

**ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ МАГНЕТРОНОВ**

*М. И. Фукс<sup>1</sup>, И. Шамильоглы<sup>1</sup>, Н. Ф. Ковалев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Electrical & Computer Engineering, University of New Mexico  
Albuquerque, NM 87131-1 356, USA

<sup>2</sup>Институт Прикладной физики РАН  
Россия, 603950 Нижний Новгород, БОКС-120, ул.Ульянова, 46

E-mail: fuchs@unm.edu; edls@unm.edu; kovalev@appl.sci-nnov.ru

В статье отражены основные этапы развития релятивистских магнетронов. Описаны конструкции, устраняющие ряд недостатков, присущих традиционным магнетронам с радиальным выводом излучения через узкую щель из одного резонатора. К таким ограничениям относятся: работа только на невырожденных колебаниях, кратных  $\pi$ -моды, и низкий порог высокочастотного пробоя. Конструкция магнетрона, рассматриваемая в данной статье, имеет дифракционный вывод излучения, все резонаторы анодного блока продолжены в коническую антенну до сечения, превышающего сечение, соответствующее частоте отсечки излучаемой волны. Такой магнетрон с аксиальным симметричным выводом излучения может работать на любой моде, и перескок на вырожденный вид колебаний не приводит к катастрофе, как это иногда случается в традиционных магнетронах. Для резонаторов, продолженных с увеличивающейся глубиной в антенну, оптимизированный вывод позволил значительно увеличить эффективность релятивистского магнетрона. Так, в первом же эксперименте достигнут электронный КПД более 60%. Замена сплошного катода на «прозрачный» для азимутального электрического поля синхронной волны сократила фронт излучаемой волны до фронта приложенного напряжения. Такой катод состоит из отдельных эмиттеров, продолженных вдоль оси, периодически расположенных на окружности с радиусом катода. Высокая эффективность получена и для магнетрона с протяженным виртуальным катодом, что позволило устранить плазму, ограничивающую длительность генерируемого импульса, и электронную бомбардировку, сокращающую жизнь катода. Показана возможность преобразования непосредственно в антенне колебаний  $\pi$ -моды в излучение с более простой структурой, включая излучение со структурой, подобной гауссовой. При этом возможна реализация более компактной конструкции магнетрона. При быстром переключении мод внешним сигналом оценено влияние шумов, приводящее к размыванию граничных магнитных полей между областями, присущими различным модам. При работе магнетрона с магнитными полями в этих расширенных границах генерация конкретных соседних мод становится непредсказуемой. На карте режимов работы магнетрона наблюдаются чередующиеся области магнитных полей, соответствующие стабильным и нестабильным режимам генерации, что затрудняет переключение мод слабым внешним сигналом.

*Ключевые слова:* Релятивистский магнетрон, катод, дифракционный вывод излучения, скрещенные поля, дрейфовое движение электронов.

DOI: 10.18500/0869-6632-2016-24-6-39-53

Ссылка на статью: Фукс М.И., Шамильоглы И., Ковалев Н.Ф. Этапы развития релятивистских магнетронов // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2016. Т. 24, No 6. P. 39–53.

## RELATIVISTIC MAGNETRONS' DEVELOPMENT STAGES

M. I. Fuks<sup>1</sup>, E. Schamiloglu<sup>1</sup>, N. F. Kovalev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical & Computer Engineering, University of New Mexico  
Albuquerque, NM 87131-1 356, USA

<sup>2</sup>Institute of Applied Physics of the RAS  
Ul'yanov St., 46, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: fuchs@unm.edu; edls@unm.edu; kovalev@appl.sci-nnov.ru

A paper presents the main stages of relativistic magnetrons' development. We describe the designs eliminating conventional magnetrons' shortcomings and restrictions which are associated with a radial output of radiation through a narrow slot in one of the magnetron resonators. A low breakdown threshold and an operation in only nondegenerate modes are among these restrictions. In the paper we consider the design of the magnetron with a diffraction output of radiation, where all magnetron's resonators are extended into conical antenna to the cross-section where the cutoff frequency is lower than the frequency of generation. This magnetron with axial symmetrical output of radiation can operate in any mode and a switch to the degenerate oscillation does not lead to a catastrophe which may occur in conventional magnetrons. We managed to increase an efficiency of the magnetron by optimizing its diffraction output with a depth of resonators increasing in the antenna. In the first experiment the electron efficiency of the magnetron achieved the value exceeding 60%. The replacement of a solid cathode to the cathode transparent to azimuthal electric field of synchronous wave, allowed us to shorten the leading edge of radiated wave to the duration of leading edge of accelerating voltage. Transparent cathode consists of separate emitters oriented along the axis and periodically placed at the circle with a radius of the cathode. High efficiency was also achieved in the magnetron with a long virtual cathode, the use of which allowed us to eliminate both plasma responsible for a pulse shortening and an electron bombardment reducing a cathode's lifespan. We showed a possibility to transform the operating  $\pi$ -mode into the output radiation with a simplified structure including the radiation with the structure similar to Gaussian. This can be achieved in a compact design of the magnetron. In a regime of fast mode switching induced by external signal, we estimated the influence of noise leading to the blurring of the boundary magnetic fields intrinsic to different modes. In magnetic fields within these broaden boundaries the generation of neighboring magnetron operating modes becomes unpredictable. Alternate regions of

magnetic fields with stable and unstable regimes of generation are observed on the map of generation regimes of the magnetron, which makes it difficult to switch the operating modes by small external signal.

*Keywords:* Relativistic magnetron, cathode, diffraction output of radiation, crossed fields, drift motion of electrons.

DOI: 10.18500/0869-6632-2016-24-6-39-53

Paper reference: Fuks M.I., Schamiloglu E., Kovalev N.F. Relativistic magnetrons' development stages. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2016. T. 24, No 6. P. 39–53.