

УДК 621.385.624

Расчет и конструирование предельно-волноводного магнетрона с магнитной реверсной системой

П. И. Акимов, Д. А. Калашников, Г. В. Мельничук, О. И. Сенатов, В. Н. Сигалаев

Представлены результаты исследований нового типа СВЧ-прибора, а именно, предельно-волноводного магнетрона с реверсной магнитной системой, который имеет при импульсной мощности более 100 МВт в S-диапазоне массогабаритные характеристики на порядок лучше, чем традиционные конструкции магнетронов.

PACS: 41.75.-j

Ключевые слова: магнетрон, магнитная реверсная система, высокочастотное поле.

Введение

Задачи разработки импульсных сверхмощных источников СВЧ-энергии продолжают оставаться актуальными в связи с перспективами создания мобильных радиолокационных средств.

Обычно в качестве стационарных источников СВЧ-энергии применяются сверхмощные магнетроны с длинным анодом. Магнитные поля в этих магнетронах создавались соленоидами, вес которых достигал 1,5—2 тс, вследствие чего приборы имели большую массу и габариты.

В работе представлены результаты исследований нового типа СВЧ-прибора, а именно, предельно-волноводного магнетрона с реверсной магнитной системой, который имеет при большой импульсной мощности массогабаритные характеристики на порядок лучше, чем традиционные конструкции магнетронов.

Конструктивные особенности и технические характеристики

Предельно-волноводный магнетрон с реверсной магнитной системой (ПВМРМ) (рис. 1) отличается от обычного предельно-волноводного магнетрона (ПВМ) тем, что осевая составляющая постоянного магнитного поля периодически изменяет знак на противоположный. Так как элект-

ронный поток взаимодействует с общим полем стоячей волны, то направление его движения не существенно, и он будет работать как обычный ПВМ. Здесь возникает проблема совмещения электродинамической системы с магнитной системой. В данном случае выбрана электродинамическая система типа многопроводной линии, нагруженной в продольном направлении емкостными элементами — связками и индуктивными элементами — закоротками. Закоротки, ограничивающие секции, выполняются из магнитомягкого материала и служат магнитопроводами реверсной магнитной системы, к которым присоединены постоянные магниты. В конструкцию катода введены кольца, изготовленные также из магнитомягкого материала и расположенные симметрично относительно поперечных плоскостей, проходящих через середину каждого из магнитопроводов. Конструкция прибора представлена на рис. 2.

В ходе выполнения проекта был проведен расчет электродинамической системы. Строгий и точный расчет дисперсии и сопротивления связи резонаторной системы со связками можно сделать только на основе методов теории поля. Однако конфигурация системы столь сложна, что такой расчет до сих пор не выполнен. В связи с этим расчет систем со связками производится в настоящее время методом эквивалентных схем, который позволяет достаточно точно рассчитать спектр видов колебаний магнетрона, соответствующий длинноволновой полосе пропускания замедляющей системы, и исследовать влияние на спектр различных размеров системы.

В качестве эквивалентной модели прибора для расчета продольной дисперсии использовалась длинная линия, нагруженная по краям индуктивностями, а в центре — емкостью (рис. 3).

Акимов Павел Иванович, начальник отдела.
Калашников Денис Александрович, старший научный сотрудник.
Мельничук Геннадий Васильевич, старший инженер.
Сенатов Олег Игоревич, начальник лаборатории.
Сигалаев Владимир Николаевич, старший инженер.
ФГУП «НПП "Торий"».
Россия, 117393, Москва, ул. Обручева, 52.
Тел. (495) 332-96-56. E-mail torlab107@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22 сентября 2011 г.

© Акимов П. И., Калашников Д. А., Мельничук Г. В., Сенатов О. И., Сигалаев В. Н., 2012

На рис. 4 представлена эквивалентная схема для расчета азимутальной дисперсии. Контур L_0C_0 в этой схеме отображает резонатор, C — ем-

кость пространства взаимодействия, L_{CB} — индуктивность связей и C_{CB} — емкость связей.

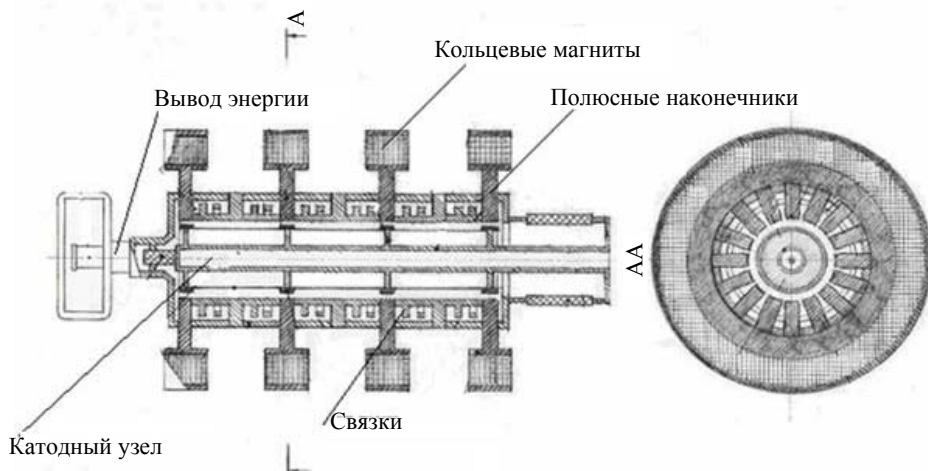


Рис. 1. Предельно-волноводный магнетрон с магнитной реверсной системой

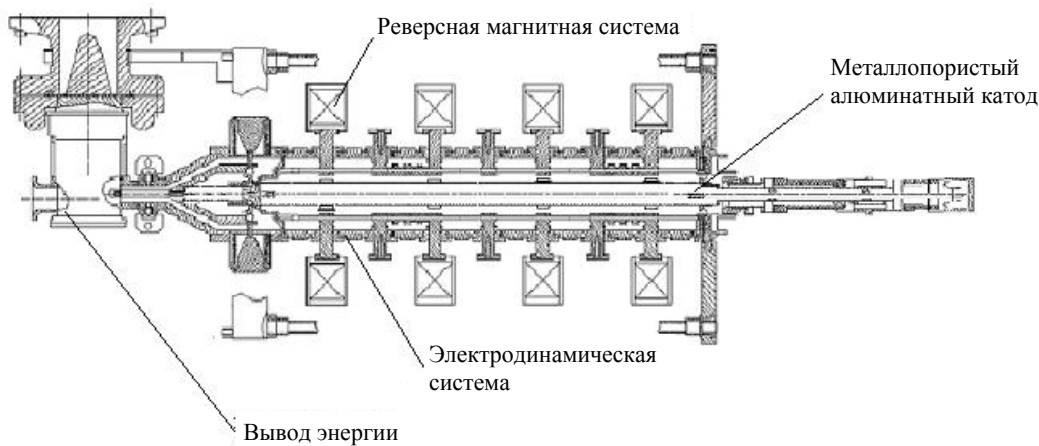


Рис. 2. Конструкция прибора

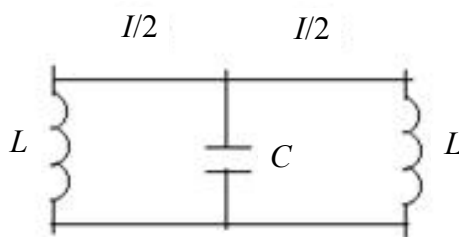


Рис. 3. Эквивалентная схема для расчета продольной дисперсии

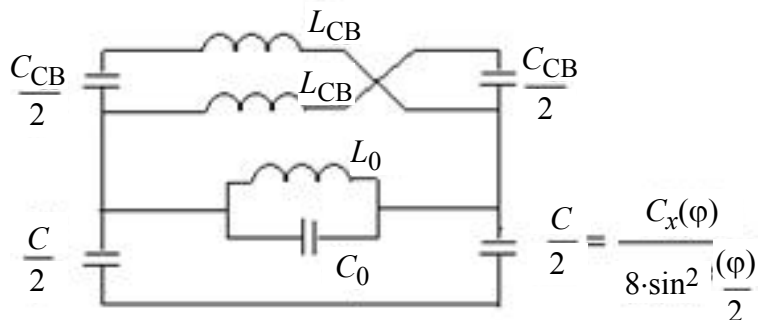


Рис. 4. Эквивалентная схема для расчета азимутальной дисперсии

В результате расчета продольной и азимутальной дисперсии была получена частота 2,7 ГГц. Рабочая частота 2 ГГц (соответствует заданию) должна быть получена в процессе настройки прибора при его сборке и холодных испытаниях.

Определена частота ближайшего паразитного вида. В процессе расчета паразитного вида индуктивность связей была оценена с учетом особенностей геометрии. Конструкция вида составила 15 %.

По результатам моделирования магнитного поля в магнитной реверсной системе получена максимальная величина продольной составляющей индукции магнитного поля в пространстве взаимодействия $B_{z\max} = 0,3$ Тл, а также определен вес магнитной системы — 40 кгс.

На рис. 5 представлено распределение продольной составляющей индукции магнитного поля вблизи поверхности полюсных наконечников магнитной реверсной системы.

Недостатком реверсной магнитной системы является наличие областей пространства взаимодействия, в которых радиальная составляющая индукции магнитного поля является значительной. Здесь возможны паразитные теньевые токи, которые необходимо минимизировать. В предложен-

ной конструкции с этой целью предполагается использовать выступы на катоде, создающую конфигурацию поля, способствующую отражению электронов, движущихся в осевом направлении. Для оптимизации предложенной геометрии использовались численные методы.

Проведен расчет частоты и добротности электродинамической системы прибора. Проведена оценка величины волнового сопротивления. Рассчитаны также распределения электрического поля, плотности тока и траектории электронов.

Оценки показывают, что ПВМРМ может иметь при импульсной мощности более 100 МВт в S-диапазоне массогабаритные характеристики (вес не более 50 кгс и объем не более 20 дм³) на порядок лучше, чем традиционные конструкции магнетронов.

Заключение

Проведенные исследования нового типа СВЧ-прибора, а именно, предельно-волноводного магнетрона с реверсной магнитной системой, показали, что он при большой импульсной мощности может иметь массогабаритные характеристики на порядок лучше, чем традиционные конструкции магнетронов.

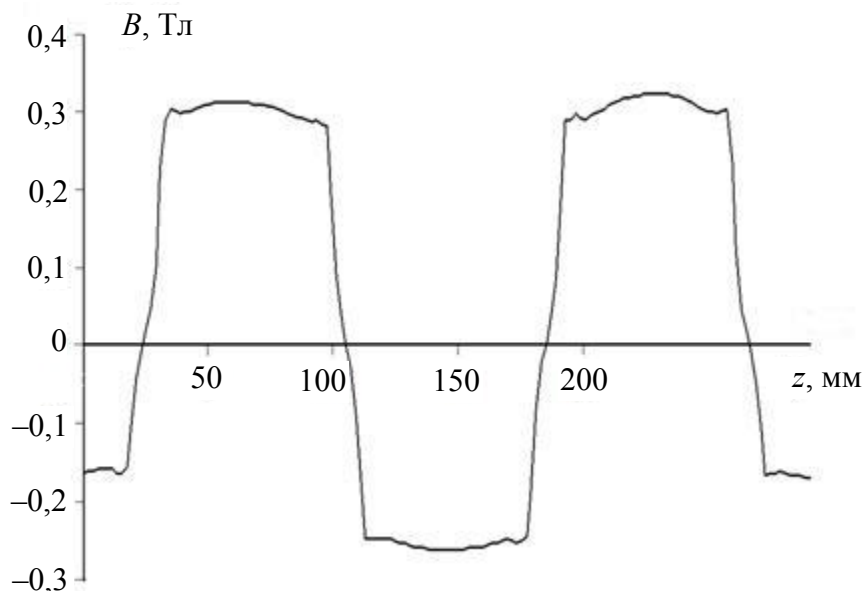


Рис. 5. Распределение продольной составляющей индукции магнитного поля вблизи поверхности полюсных наконечников магнитной реверсной системы

Литература

1. Акимов П. И., Калашиников Д. А., Мельничук Г. В., Сенатов О. И., Сигалаев В. Н. Расчет и конструирование предельно-волноводного магнетрона с магнитной реверсной систе-

мой//Десятый Всерос. семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики".

2. Акимов П. И., Козырев Д. В., Сенатов О. И., Сергеев К. Л., Фрейдович И. А. Магнетрон с длинным анодом. Патент на полезную модель. Заявка № 2008145719. Зарегистрировано 10 мая 2009 г.

Calculation and design of the extreme-waveguide magnetron with a magnetic reversible system

P. I. Akimov, D. A. Kalashnikov, G. V. Melnichuk, O. I. Senatov, V. N. Sigalaev

Thorium Research-and-Production Enterprise,

52 Obruchev str., Moscow, Russia

E-mail: torlab107@mail.ru

Made are calculation and design of the extreme-waveguide magnetron with a magnetic reversible system. This microwave device has the excellent mass features and overall dimensions.

PACS: 41.75.-j

Keywords: magnetron, magnetic reversible system, high-frequency field.

Bibliography — 2 references.

Received September 22, 2011