

09;10;12

Импульсно-периодический релятивистский магнетрон

© Л.Д. Бутаков, И.И. Винтизенко, В.И. Гусельников,
М.И. Дворецкий, П.Я. Исаков, В.Л. Каминский,
А.И. Машченко, В.Ю. Митюшкина, А.И. Рябчиков,
Н.М. Филипенко, Г.П. Фоменко, Э.Г. Фурман, В.П. Шиян

НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете

Поступило в Редакцию 10 января 2000 г.

Приводится описание основных элементов конструкции импульсно-периодического релятивистского магнетрона с питанием от секции линейного индукционного ускорителя (ЛИУ). Импульсная мощность излучения магнетрона в 10-см диапазоне достигает 200 MW, средняя мощность до 3 kW при частоте повторения импульсов 320 Hz.

В 80-х годах появились первые работы по исследованию релятивистских магнетронов в импульсно-периодическом режиме [1,2]. В работе [1] в качестве источника питания магнетрона использовалась секция линейного индукционного ускорителя с многоканальным газовым разрядником-коммутатором полосковых формирующих линий. В 90-х годах разработаны ЛИУ с магнитными коммутаторами формирующих линий, использование которых позволило увеличить частоту следования импульсов до 10^3 – 10^4 Hz [3,4]. На рис. 1 приведен внешний вид импульсно-периодического магнетрона с магнитной системой и источником питания — секцией линейного индукционного ускорителя ЛИУ 0.4/4000.

1. Секция линейного индукционного ускорителя

Основными частями секции являются модуль ускорителя и его импульсная система питания. Модуль ЛИУ 0.4/4000 отличается от аналогов [4] тем, что в одном цилиндрическом корпусе совместно с основными узлами — ферромагнитной индукционной системой, полос-

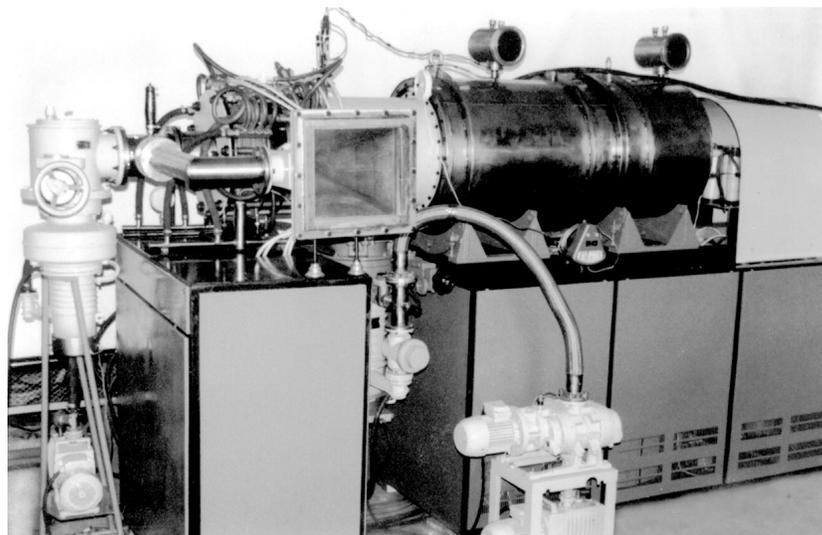


Рис. 1. Внешний вид импульсно-периодического релятивистского магнетрона.

ковыми формирующими линиями, магнитным коммутатором, системой размагничивания сердечников индукторов — расположен импульсный генератор: импульсный трансформатор и элементы ступеней сжатия. При таком конструктивном решении до минимума снижаются индуктивности цепей между ступенями сжатия и формирующей линией, что ведет к уменьшению потерь энергии и увеличению коэффициента полезного действия секции. Кроме того, снижение индуктивности позволяет осуществить зарядку формирующей линии от магнитного импульсного генератора за сотни наносекунд и эффективно реализовать частотные свойства (несколько килогерц) магнитного коммутатора [4]. Одновременно достигаются минимальные размеры модуля.

Система питания данного ускорителя содержит трехфазный источник с колебательной зарядкой первичного накопителя и тиристорный коммутатор, работающие при частотах $0.4 \div 320$ Hz.

2. Магнитная система

Для обеспечения непрерывного режима работы релятивистского магнетрона изготовлена магнитная система в виде катушек Гельмгольца из полых медной шинки сечением $8.5 \times 8.5 \text{ mm}$ с центральным отверстием диаметром 5 mm для охлаждающей жидкости. Каждая катушка магнитной системы состоит из семи двойных плоскопараллельных галет. Общее число витков в катушке 196, и для создания магнитного поля с индукцией 0.4 T необходимо пропускать ток 400 A (плотность тока 8.2 A/mm^2). Галеты в магните соединены последовательно по току и

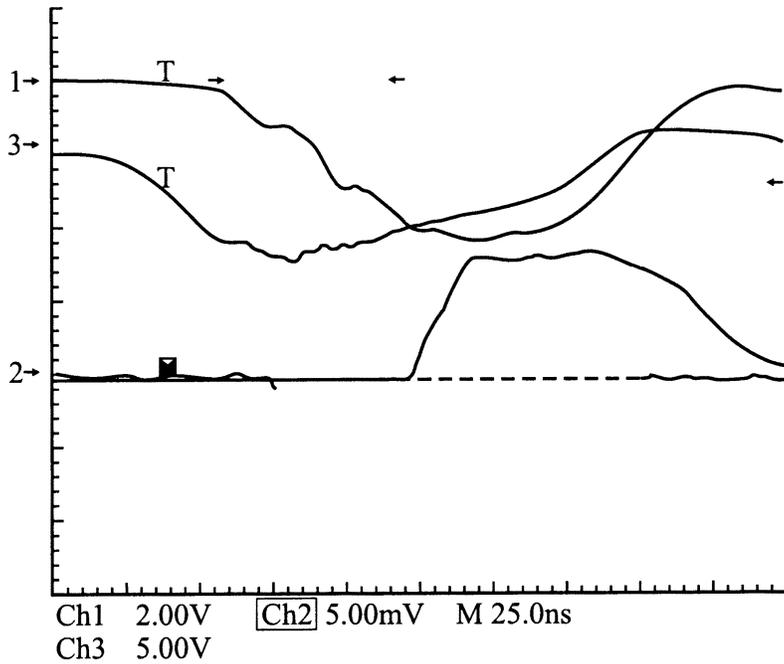


Рис. 2. Оциллограммы импульсов импульсно-периодического релятивистского магнетрона: 1 — тока, 2 — сигнала с СВЧ детектора, 3 — напряжения. Масштаб времени 25 ns на клетку.

параллельно по охлаждающей воде. Магнитная система обеспечивает непрерывную работу релятивистского магнетрона при индукции магнитного поля 0.4 Т и импульсно-периодический режим работы при 0.5 Т (3 min работы, 10 min пауза).

3. Магнетрон

Релятивистский магнетрон, в отличие от ранее применявшихся [1], имеет водяную рубашку охлаждения анодного блока, графитовый катод, выдерживающий большие температуры. Кроме того, такой катод обладает низким порогом образования взрывной электронной эмиссии и обеспечивает достаточно большое количество импульсов до снижения его эмиссионной способности.

Резонансная система магнетрона адаптирована к условиям работы с источником типа секции ЛИУ, а именно к существенному отличию импеданса магнетрона в рабочем режиме от импеданса ускорителя, а также к изменению амплитуды анодного напряжения в течение импульса. В конструкцию магнетрона внесены изменения, позволяющие повысить стойкость ламелей к разрушению падающими электронами. Вывод СВЧ излучения из магнетрона осуществляется через щель связи в одном из резонаторов анодного блока, плавный волноводный переход и пирамидальную антенну.

Работа магнетрона в частотном режиме сопровождается интенсивным газовыделением вследствие большого количества испаряемого материала катода и десорбцией ионов с поверхности анодного блока при бомбардировке электронами. Поэтому для поддержания рабочего вакуума в установке использовалась вакуумная система из паромасляных насосов с азотными ловушками производительностью 2000 l/s для откачки магнетрона со стороны вакуумной камеры и 500 l/s со стороны трубы дрейфа. Дополнительно устанавливался вакуумный тракт для откачки антенны и межэлектродного промежутка через волноводный вывод СВЧ мощности. Выбор паромасляных диффузионных насосов обусловлен тем, что, по нашему мнению, они лучше справляются с переменными (импульсными) газовыми нагрузками и откачкой водорода, который является существенным компонентом газоразделения.

4. Технические параметры

Использованные конструктивные элементы: ЛИУ с магнитным коммутатором формирующих линий; система питания ускорителя со стабилизацией напряжения зарядки первичного накопителя; магнитная система, запитываемая от источника постоянного тока; адаптированный к параметрам ЛИУ релятивистский магнетрон; мощная система вакуумной откачки — позволили реализовать различные режимы работы установки: непрерывный 0.4 ÷ 8 Hz, импульсно-периодический 8 ÷ 80 Hz, пакетно-импульсный 80–320 Hz с числом импульсов в пакете 10^3 и высокой повторяемостью амплитуды и формы выходных импульсов. Характерные осциллограммы показаны на рис. 2.

Основные технические параметры импульсно-периодического релятивистского магнетрона и секции линейного индукционного ускорителя:

Напряжение (U)	400 kV
Ток (I)	4 kA
Длительность импульса на полувывоте	110 ns
Мощность СВЧ излучения при $U = 360$ kV, $I = 3$ kA	200 MW
Средняя мощность СВЧ излучения	3 kW
Частота следования импульсов	0.4–320 Hz
Частота излучения магнетрона	2840 MHz
Ширина полосы частоты излучения	< 2%
Длительность СВЧ импульса на полувывоте	45 ns
Индукция магнитного поля	≤ 0.5 T
Неоднородность магнитного поля вдоль оси анодного блока	< 4%
Пульсации тока магнитной системы	< 0.1%.

Список литературы

- [1] Васильев В.В., Винтизенко И.И., Диденко А.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 12. С. 762–766.
- [2] Phelps D.A. // Abstr. 7 th Int. Conf. High-Power Particle Beams, Karlsruhe, 1988. P. 321.
- [3] Ashby S., Smith R., Aiello N. et al. // IEEE Transaction on plasma science. 1992. V. 20. N 3. P. 344–350.
- [4] Фурман Э.Г., Васильев В.В., Томских О.Н. и др. // Приборы и техника эксперимента. 1993. № 6. С. 46–56.