

09;10;12

О возможности механической перестройки частоты излучения релятивистского магнетрона

© И.И. Винтизенко

НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете
E-mail: alex@atpha.npi.tpu.ru

Поступило в Редакцию 8 февраля 2000 г.

Описан и экспериментально опробован способ механической перестройки частоты излучения релятивистского магнетрона. Он заключается в использовании торцевых крышек анодного блока магнетрона с различным внутренним радиусом, что позволяет изменять частоту излучения в пределах 8% без заметного снижения генерируемой мощности.

Релятивистский магнетрон — один из наиболее мощных и эффективных приборов релятивистской высокочастотной электроники [1,2]. В последнее время для питания подобных приборов применяются секции линейных индукционных ускорителей (ЛИУ) [3,4]. Характерной особенностью секции ЛИУ, разработанной в НИИ ядерной физики при ТПУ, является использование магнитного коммутатора полосковых формирующих линий. Это позволяет осуществлять генерацию СВЧ импульсов с частотой следования до 400 Hz, с высокой повторяемостью амплитуды и формы напряжения 300–400 kV, тока 3–4 kA и мощности СВЧ излучения (~ 200 MW).

В данной статье рассматриваются достаточно простой способ механической перестройки частоты излучения в релятивистском магнетроне и результаты его применения. Для проведения экспериментов был использован 6-резонаторный анодный блок 10-см диапазона длин волн с внутренними $R_1 = 2.15$ см и внешними $R_2 = 4.3$ см радиусами резонаторов, высотой $h = 7.2$ см. Из-за невозможности использования в релятивистских магнетронах связок для разделения частот между видами колебаний обычно используются анодные блоки, закрытые торцевыми крышками. Поэтому известные для классических магнетронов способы механической перестройки частоты изменением размеров торцевых

полостей в этом случае неприемлемы. Изменение частоты возможно при использовании катодов разного радиуса [5]. Так, при увеличении радиуса катода для данного магнетрона от 0.9 до 1.1 см частота генерации изменялась от 2840 до 2790 МГц, т.е. менее 2%. Уменьшение радиуса катода менее 0.9 см или увеличение более 1.1 см снижало излучаемую мощность из-за рассогласования импедансов магнетрона и секции ЛИУ. В работе [6] приводятся результаты испытаний устройства механической перестройки частоты в релятивистском магнетроне, однако патентуемое устройство не описывается.

Итак, используется закрытый торцевыми крышками анодный блок, отличающийся от открытого блока или полуоткрытого (одна торцевая крышка с внутренним радиусом $R_1 = 2.15$ см) наличием вариации переменного электрического поля по длине с пучностью в центре и узлами на краях [7]. СВЧ излучение выводится через щель связи в одном из резонаторов и плавный волноводный переход.

Наличие пучности электрического поля создает благоприятные условия для возбуждения волны H_{10} в волноводном переходе. Кроме лучшего разделения частот у закрытого анодного блока более высокие выходные параметры [8] из-за больших значений ненагруженной добротности. Известно [7], что полный к.п.д. магнетрона определяется как:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = \frac{Q_0}{Q_0 + Q_1} \cdot \eta_2, \quad (1)$$

где η_2 — электронный к.п.д.; η_1 — контурный к.п.д. магнетрона; Q_0 — ненагруженная добротность; Q_1 — внешняя добротность.

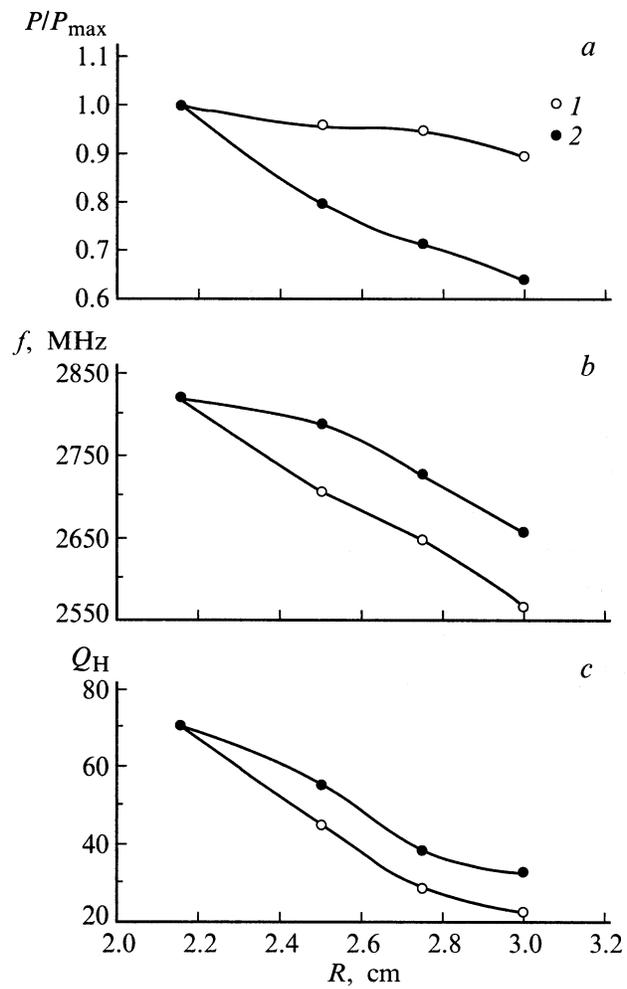
Резонансные частоты видов колебаний закрытого (f_1) и открытого (f_2) анодных блоков находятся в следующем соотношении:

$$f_1 = f_2 \sqrt{1 + (c/f_0 2h)^2}, \quad (2)$$

где c — скорость света.

В проведенных исследованиях для перестройки частоты излучения релятивистского магнетрона использовались торцевые крышки с различными внутренними радиусами.

Измерение амплитудных и частотных параметров генерируемых СВЧ импульсов осуществлялось ламповыми детекторами и перестраиваемым фильтром с полосой пропускания ~ 17 МГц на уровне 3 дБ.



Зависимость: a — мощности СВЧ излучения, b — частоты излучения, c — нагруженной добротности релятивистского магнетрона от внутреннего радиуса одной торцевой крышки (1) и радиусов двух торцевых крышек (2).

На рисунке приведены зависимости: а) мощности, б) центральной частоты излучения, в) нагруженной добротности при изменении внутренних радиусов двух торцевых крышек или одной крышки (внутренний радиус второй крышки равен $R_1 = 2.15$ см). Из представленных зависимостей можно заключить, что для перестройки частоты излучения магнетрона в пределах 8% целесообразно изменение внутренних радиусов у обеих торцевых крышек. В этом случае снижение уровня мощности не превысит 10% из-за уменьшения величины нагруженной добротности, определяемой как $Q_2 = Q_1 \cdot Q_0 / (Q_1 + Q_0) = f / \Delta f$, где Δf — полоса генерации. При изменении внутреннего радиуса только одной торцевой крышки диапазон изменения частоты уже, снижение мощности больше, что объясняется смещением пучности переменного электрического поля от геометрического центра анодного блока, ухудшением энергообмена электронов с высокочастотным полем и нарушением условий возбуждения волны H_{10} в волноводном переходе.

Таким образом, изменение внутренних радиусов торцевых крышек позволяет изменять частоту СВЧ колебаний, генерируемых релятивистским магнетроном, в пределах 8% без существенного снижения уровня мощности.

В заключение автор выражает благодарность Г.П. Фоменко за полезные обсуждения, А.И. Машенко за помощь в проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] *Bekefi G., Orzechowski T.J.* // Phys. Rev. Letters. 1976. V. 37. N 6. P. 379–385.
- [2] *Нечаев В.Е., Сулакишин А.С., Фукс М.И., Штейн Ю.Г.* // Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1979. С. 114–130.
- [3] *Васильев В.В., Винтизенко И.И., Диденко А.Н.* и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 12. С. 762–766.
- [4] *Ashly S., Smith R., Aiello N.* et al. // Trans. Plasma Sci. 1992. V. 20. N 3. P. 344–350.
- [5] *Spang S.T., Anderson P.E., Busly K.O.* et al. // Trans. Plasma Sci. 1990. N 18. P. 586–593.
- [6] *Levine J.S., Harteneck B.D., Price H.D.* // Intense microwave pulsed. III Proceedings SPIE. 10–12 July 1995. San-Diego, California. P. 74–79.
- [7] *Самсонов Д.Е.* Основы расчета и конструирования многорезонаторных магнетронов. М.: Сов. радио, 1966. 224 с.
- [8] *Винтизенко И.И., Сулакишин А.С., Фоменко Г.П.* // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. N 22. С. 1384–1388.