

09

Входной резонатор гироклистрона на несимметричных модах высокого порядка

© Ю.Ю. Данилов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

E-mail: danilov@appl.sci-nnov.ru

Поступило в Редакцию 13 февраля 2012 г.

Предложен входной резонатор для гироклистронов на несимметричных модах высокого порядка. Описаны способ селективного возбуждения резонаторной моды с вращающейся структурой и способ предотвращения самовозбуждения резонатора на гармониках гирочастоты. Представлены результаты экспериментального исследования резонатора с рабочей модой H_{711} , разработанного для мультимегаваттного импульсного гироклистрона.

Ведущая в настоящее время разработка гироклистронов на несимметричных модах высокого порядка [1–3] требует оптимизации входного резонатора: структуру поля его рабочей моды (H_{m1} или H_{m2}) необходимо максимально приблизить к вращающейся. Следовательно, возбудитель резонатора должен быть распределенным и ортогональным к каждой из паразитных „околорезонансных“ мод, чтобы исключить их возбуждение. Таким селективным возбудителем может служить одномодовый прямоугольный волновод, огибающий резонатор и связанный с ним посредством оптимизированной системы отверстий в общей стенке (рис. 1).

Волноводная мода полностью ответвляется в резонатор при выполнении условия критической связи, когда добротность связи резонатора с волноводом равна добротности резонатора, обусловленной излучением из него и омическими потерями. И рабочая мода, и „околорезонансные“ паразитные моды должны иметь низкую нагруженную добротность, чтобы исключить возможность самовозбуждения входного резонатора электронным пучком. Наиболее низкая добротность связи (и соответственно наиболее низкая нагруженная добротность) интересующей нас резонаторной H -моды обеспечивается, если ее поле вращается

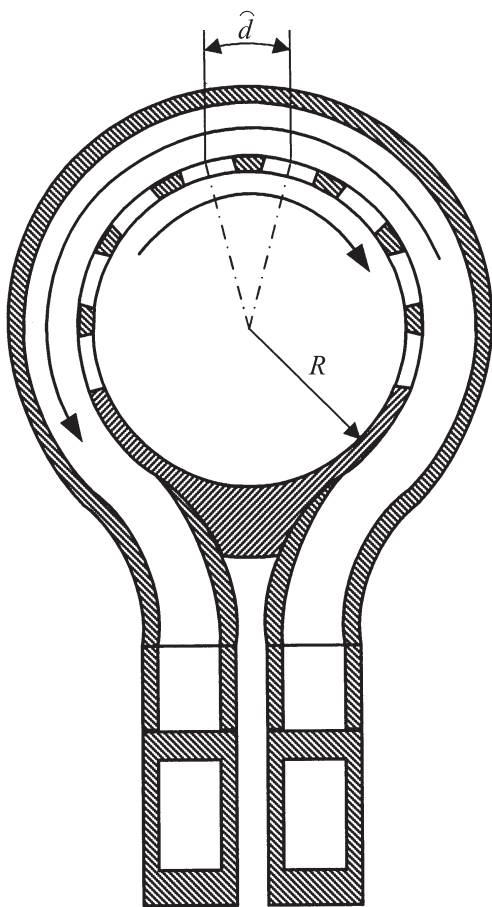


Рис. 1. Схема селективного перфорированного возбуждателя входного резонатора гироклистрона.

в направлении, противоположном волноводной моде (рис. 1), так как в этом случае магнитная связь и электрическая связь между волноводной и резонаторной модами суммируются. Селективная связь между модами противоположного вращения обеспечивается выполне-

нием условия

$$h_w + \frac{m_s}{R} = \frac{2\pi}{d}, \quad (1)$$

где h_w — постоянная распространения волноводной моды, m_s — азимутальный индекс резонаторной моды, R — радиус резонатора в месте расположения отверстий, d — период системы отверстий.

Отмеченная в [1] опасность самовозбуждения входного резонатора на второй гармонике гирочастоты исходит от высокодобротных H -мод с одной или двумя продольными вариациями. Их самовозбуждение на гармониках гирочастоты можно предотвратить, если в поперечных сечениях резонатора, где продольная компонента магнитного поля и радиальная компонента электрического поля этих мод имеют максимумы, будут присутствовать системы отверстий, закритических на гирочастоте и не закритических на ее гармониках. Для мод с одной продольной вариацией такой системой являются отверстия связи с волноводом, а для мод с двумя продольными вариациями необходимо ввести два дополнительных ряда отверстий (рис. 2), слабо возмущающих рабочую моду. Чтобы минимизировать искажение азимутальной структуры рабочей моды, число и период отверстий в обоих дополнительных рядах следует выбрать такими же, как и в системе отверстий связи.

Входной резонатор разрабатывался для 35.5 GHz мультимегаваттного импульсного гироклистрона с параметрами [2,3]: ускоряющее напряжение — 400 kV, ток и пич-фактор винтового электронного пучка — 120 А и 1.3. Поэтому, чтобы предотвратить самовозбуждение входного резонатора на гирочастоте, он моделировался на длину 2.5λ (λ — длина волны в свободном пространстве) и нагруженную добротность $\sim (20-25)$.

Селективное возбуждение вращающейся моды H_{711} в резонаторе, изготовленном из бескислородной меди, было реализовано по схеме на рис. 1 посредством эквидистантной системы круглых отверстий в общей стенке. Условие селективной связи (1) обеспечивалось подбором угла между отверстиями связи, равного 26° , и размера широкой стенки волновода, равного 8.15 mm (рис. 2). Волновод, огибающий резонатор, согласовывался с питающим и выходным волноводами стандартного сечения 7.2×3.4 mm посредством пирамидальных переходов. Связь, близкая к критической, обеспечивалась выбором числа отверстий связи, равного 8, радиуса отверстий связи, равного 2.05 mm, и толщины общей стенки резонатора и волновода, равной 0.85 mm.

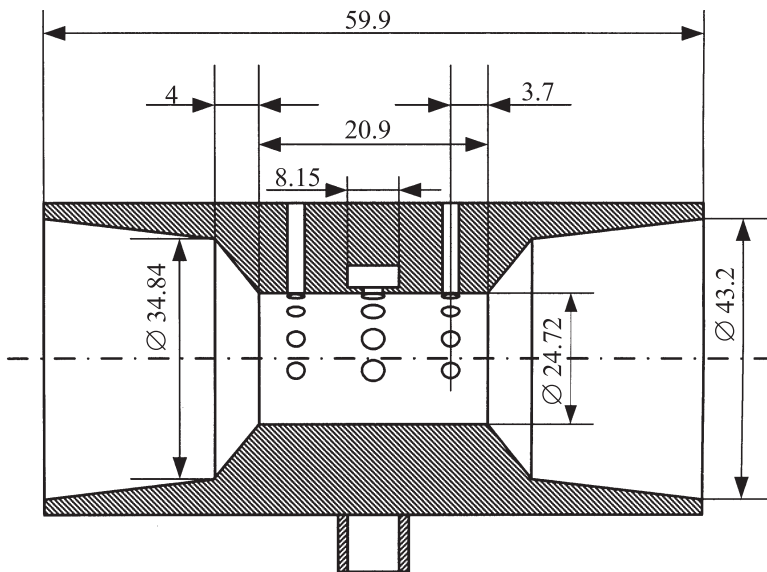


Рис. 2. Конфигурация резонатора с рабочей модой H_{711} и возбуждающего его волновода.

Резонаторная мода запиралась оптимизированными коническими рефлекторами длиной 4 mm (рис. 2), наличие остальных участков было вызвано необходимостью вписать резонатор в существующий гироклистрон.

Предназначенные для предотвращения самовозбуждения резонатора на гармониках гирочастоты круглые отверстия радиусом 1.6 mm, являясь сильно закритическими на гирочастоте, слабо возмущали рабочую моду.

Согласно измеренным на векторном анализаторе частотным зависимостям прошедшей и отраженной мощностей волноводной моды (рис. 3), ее ответвление в резонатор составило $\sim 90\%$.

Перемещением в резонаторе малого поглотителя [4] было установлено, что интенсивность поля резонаторной моды имеет одну продольную вариацию и одну вариацию по радиусу. Доля мощности моды, вращающейся по азимуту в „неправильном“ направлении (рис. 1), не превышает 5%, что было дополнительно подтверждено вращением

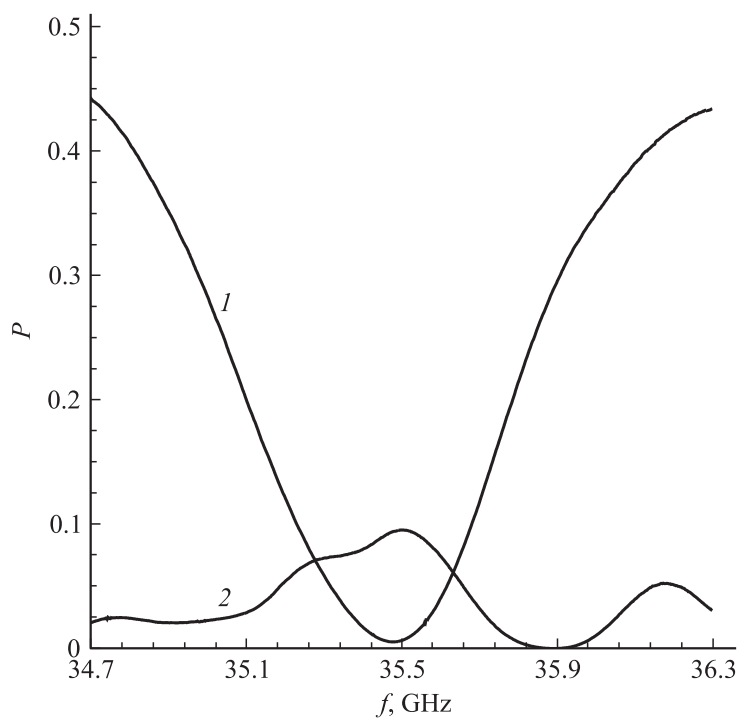


Рис. 3. Измеренные частотные зависимости прошедшей (1) и отраженной (2) мощностей волноводной моды, нормированные на ее исходную мощность.

на выходе резонатора рупора, ориентированного на прием излучения из резонатора моды H_{71} .

Вышеизложенный метод может быть применен для селективного возбуждения во входном резонаторе гироклистрона еще более высоких мод. Резонатор предложенной конфигурации (рис. 2) в дальнейшем планируется использовать в качестве входного резонатора мегаваттных и мультимегаваттных импульсных гироклистронов длинноволновой области миллиметрового диапазона.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 10-08-01120а).

Список литературы

- [1] *Зайцев Н.И., Иляков Е.В., Кузиков С.В.*, и др. // Известия вузов. Радиофизика. 2005. Т. 48. № 10–11. С. 830–834.
- [2] *Гвоздев А.К., Данилов Ю.Ю., Зайцев Н.И.* и др. // Тез. докл. VIII Всероссийского семинара по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн. Н. Новгород, 2011. С. 47–48.
- [3] *Zaitsev N.I., Danilov Yu.Yu., Gvozdev A.K.* et al. // Proceedings of 8th International Workshop „Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications“. N. Novgorod, 2011. P. 140.
- [4] *Гинзтон Э.Л.* Измерения на сантиметровых волнах. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 620 с. (Ginzton E.L. Microwave Measurements. New York: McGraw-Hill, 1957).