

09

Экспериментальное исследование перфорированного коаксиального возбудителя высшей моды бочкообразного резонатора

© Ю.Ю. Данилов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
E-mail: danilov@appl.sci-nnov.ru

Поступило в Редакцию 8 февраля 2007 г.

Реализован предложенный в [1] метод селективного возбуждения высшей моды бочкообразного резонатора коаксиальным волноводом с двумерно-периодически перфорированной стенкой. Вращающаяся волноводная мода H_{11} преобразована во вращающуюся собственную моду резонатора H_{531} с эффективностью около 98%.

PACS: 84.40.Az

Для того чтобы в резонаторе с размерами, существенно превосходящими длину волны, возбудить единственную собственную моду, источник должен не только обладать нужной (резонансной) частотой, но и быть ортогональным всем окolorезонансным модам, кроме рабочей [2]. Применительно к осесимметричным (бочкообразным) резонаторам такой подход был успешно реализован использованием двумерно-распределенной перфорации боковой поверхности и синтезом соответствующего зеркального фидера [3].

Альтернативой этому методу может служить возбуждение бочкообразного резонатора соосным ему двумерно-периодически перфорированным волноводом (рис. 1) [1]. Такой способ, в частности, привлекателен, если в бочкообразном резонаторе нужно возбудить моду, „одногогорбую“ в аксиальном направлении и обладающую вращающейся азимутальной структурой с достаточно большим азимутальным индек-

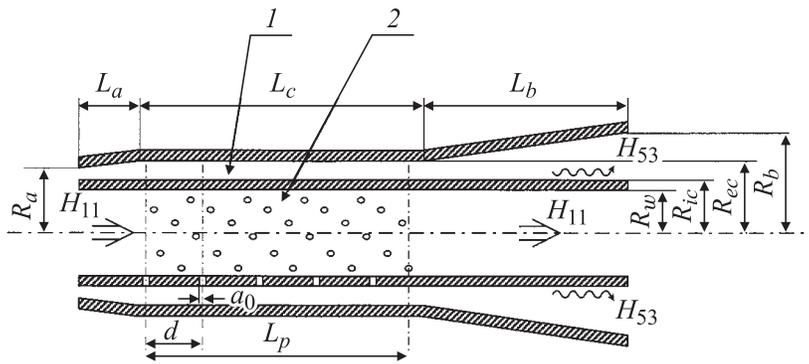


Рис. 1. Схема возбуждения бочкообразного резонатора коаксиальным ему волноводом с двумерно-периодической перфорированной стенкой: 1 — резонатор, 2 — возбуждатель.

сом $m_s \gg 1$. В этом случае радиус питающего волновода R_w должен быть:

с одной стороны, мал относительно внутренней каустики резонаторной моды

$$R_w < \frac{m_s \lambda}{2\pi} \tag{1}$$

(здесь λ — длина волны в свободном пространстве), чтобы минимизировать искажения поля резонатора,

с другой стороны, быть достаточным для обеспечения нужной связи резонатора с волноводом.

Согласно [1], в волновод целесообразно вводить бегущую моду с полем, вращающимся в противоположном резонаторной моде направлении. Центры одинаковых отверстий в стенке волновода необходимо расположить в виде достаточно частых (с периодом, малым в масштабе длины волны λ) цепочек, образующих многозаходную совокупность винтовых линий. Количество заходов m_p должно быть равно сумме азимутальных индексов волноводной и резонаторной мод

$$m_p = m_w + m_s, \tag{2}$$

а две соседние винтовые линии должны быть разнесены между собой вдоль оси системы на расстояние

$$d = \frac{2\pi}{h_w}, \quad (3)$$

где m_w и h_w — азимутальный индекс и постоянная распространения волноводной моды. При условии, что поперечные размеры системы не слишком велики, совокупность условий (1)–(3) может обеспечить селективную связь между волноводной и резонаторной модами. В случае, когда добротность связи резонатора с перфорированным коаксиальным волноводом равна его собственной добротности, обусловленной излучением из резонатора и омическими потерями, то мощность волноводной моды полностью ответвляется в резонатор [1].

Устройство описанного выше типа (рис. 1) было использовано для возбуждения модели выходного резонатора одного из разрабатываемых в ИПФ РАН гироклистронов [4]. Был рассчитан возбудитель вращающейся моды H_{531} с резонансной частотой 30 GHz и нагруженной добротностью 1100. В перфорированный волновод вводилась мода H_{11} с направлением вращения поля, противоположным возбуждаемой резонаторной моде H_{531} . Мода H_{11} формировалась системой 5 (рис. 2), состоявшей из: 1) преобразователя моды прямоугольного волновода H_{10} в моду круглого волновода H_{11} и 2) отрезка эллиптического волновода, изменяющего линейную поляризацию моды H_{11} на круговую. Перфорированный волновод и резонатор имели следующие параметры (рис. 1): $R_w = 4.45$ mm, $R_{ic} = 5.45$ mm, $R_a = 20.05$ mm, $R_{ec} = 22.13$ mm, $R_b = 24.42$ mm, $L_a = 18.8$ mm, $L_c = 91.5$ mm, $L_b = 65.7$ mm, $L_p = 88.4$ mm, $d = 13.26$ mm, $m_p = 6$, полное число отверстий перфорации $N = 126$. С целью обеспечить максимальное преобразование моды H_{11} в моду H_{531} были изготовлены и последовательно испытаны несколько вариантов перфорированных волноводов с различным радиусом отверстий связи a_0 .

Мощность, оставшаяся в моде H_{11} на выходе возбудителя, измерялась с помощью волнового трансформатора 7, конструктивно идентичного преобразователю 5, и микроволнового детектора 4 (рис. 2), который калибровался методом замещения [5].

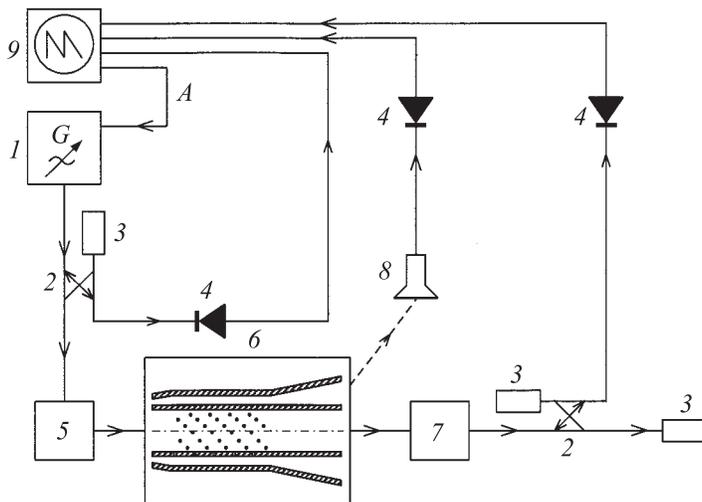


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки: 1 — свип-генератор, 2 — направленные ответвители, 3 — согласованные нагрузки, 4 — микроволновые детекторы, 5 — система формирования вращающейся моды H_{11} , 6 — резонатор с перфорированным возбуждателем моды H_{531} , 7 — преобразователь вращающейся моды H_{11} круглого волновода в моду H_{10} прямоугольного волновода, 8 — рупор, регистрирующий излучение из резонатора, 9 — осциллограф, А — автоматическая регулировка мощности.

Мощность моды H_{11} на выходе возбуждателя (рис. 3) имела минимумы на трех частотах. На тех же частотах мощность, принимаемая рупором 8 (рис. 2), ориентированным на прием излучения из резонатора моды H_{53} (рис. 1), имела максимумы.

Перемещением в резонаторе малого поглотителя [5] было установлено, что

1) эти резонансные частоты соответствуют модам с одной, двумя и тремя аксиальными вариациями,

2) интенсивность поля у каждой из этих мод имеет три вариации по радиусу и в пределах точности измерений (1%) не зависит от азимутальной координаты.

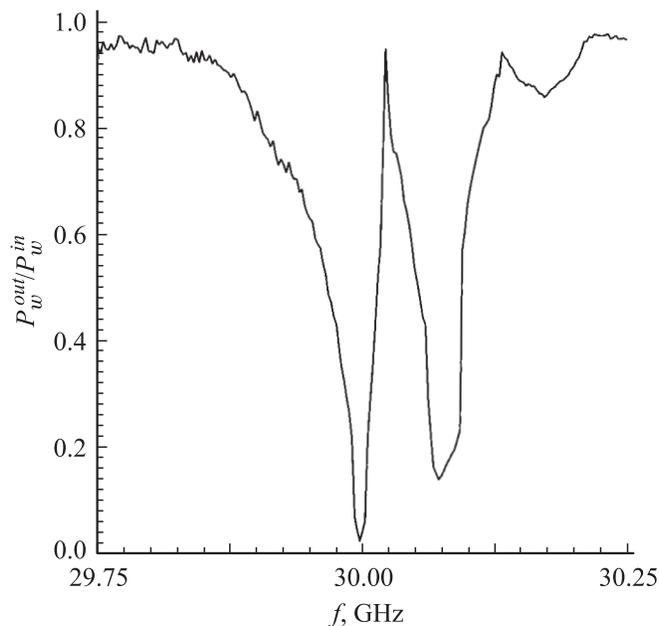


Рис. 3. Частотная зависимость мощности, содержащейся в моде H_{11} на выходе возбуждателя при оптимально подобранной связи ($a_0 = 1.75$ mm).

Перемещением и вращениями приемного рупора δ (рис. 2) на выходе резонатора было окончательно установлено, что наиболее низкочастотный резонанс на рис. 3 соответствует тому, что в резонаторе возбуждается вращающаяся мода H_{531} . Оптимизация радиуса отверстий связи возбуждателя позволила поднять коэффициент ответвления моды H_{11} в моду H_{531} до 98% (рис. 3).

В дальнейшем описанный здесь метод планируется применить для селективного возбуждения еще более высоких мод бочкообразных резонаторов и предложить его для отладки электродинамических систем гиротронов в процессе их сборки.

Автор благодарен М.И. Петелину за постановку задачи и постоянное внимание к работе и А.Б. Павельеву за плодотворное обсуждение.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ (грант № МК-3374.2005.2).

Список литературы

- [1] *Богданов А.А., Голов М.Ю., Данилов Ю.Ю., Петелин М.И.* // Изв. вузов. Радиофизика. 2006. Т. 49. № 8. С. 673–679.
- [2] *Ярив А.* Квантовая электроника. М.: Сов. радио, 1980. 488 с. (Yariv A. Quantum Electronics. New York: John Wiley & Sons, 1975).
- [3] *Alexandrov N.L., Denisov G.G., Whaley D.R., Tran M.Q.* // International Journal of Electronics. 1995. V. 79. N 2. P. 215–226.
- [4] *Зайцев Н.И., Иляков Е.В., Кузиков С.В.* и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 2005. Т. 48. № 10–11. С. 830–834.
- [5] *Гинзтон Э.Л.* Измерения на сантиметровых волнах. М.: Изд-во иностр. лит. 1960. 620 с. (Ginzton E.L. Microwave Measurements. New York: Mc Graw-Hill, 1957).