

УДК 621.385.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИРОТРОНА С МОДАМИ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ*

Ю. В. Быков, А. Л. Гольденберг, Л. В. Николаев,
М. М. Офицеров, М. И. Петелин

Экспериментально подтверждено предположение о перспективности использования мод шепчущей галереи в гиротронах повышенной мощности. Показано, что введение в цилиндрический резонатор коаксиальной вставки улучшает возможности селекции мод.

1. Один из путей повышения мощности гиротрона [1] состоит в согласованном увеличении диаметров катода и резонатора, позволяющем формировать интенсивные электронные потоки и эффективно преобразовывать их энергию в электромагнитное излучение. Однако с ростом относительных (в масштабе длины волны) поперечных размеров резонатора спектр его собственных частот сгущается, поэтому для обеспечения устойчивой одномодовой генерации приходится применять все более тонкие методы электронной и электродинамической селекции мод [2].

С этой точки зрения особенно привлекательным является использование мод шепчущей галереи (МШГ), поля которых локализованы вблизи стенок резонатора и обладают наименьшим по сравнению с другими модами того же резонатора эффективным объемом [3]. Поэтому при радиусе электронного потока, близком к радиусу резонатора, можно добиться того, чтобы в режиме эффективной генерации на МШГ условия самовозбуждения других мод не выполнялись.

Однако по мере увеличения радиуса резонатора возрастает опасность конкуренции между самими МШГ, имеющими близкие радиальные индексы. Разрежение спектра собственных частот МШГ в резонаторе фиксированного радиуса может быть достигнуто, в частности, введением в резонатор коаксиального металлического стержня.

Описываемые ниже эксперименты проводились с целью проверки приведенных здесь соображений.

2. Конструкция гиротрона позволяла рассчитывать на генерацию в диапазоне сантиметровых волн ($\lambda \approx 2$ см) поперечно-электрических (ТЕ) МШГ с индексами 521 и 911. Гиротрон работал в импульсном режиме с длительностью импульса 3 мкс при напряжении 40 кВ и токе до 40 А.

Выходная мощность измерялась калориметром с согласованной по рабочим типам волн (ТЕ₅₂₁ и ТЕ₉₁₁) водяной нагрузкой. Идентификация мод осуществлялась комбинированным методом. Для определения

* Работа доложена на VII Всесоюзной научной конференции «Электронные приборы СВЧ и области их применения» (Томск, 1972).

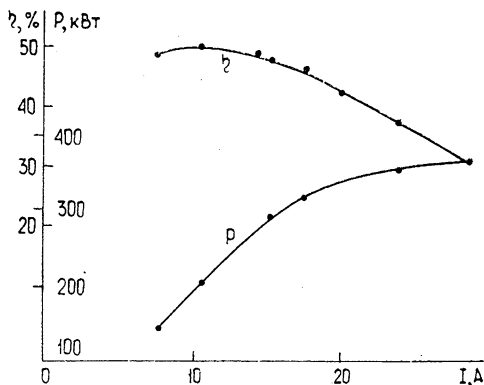
радиального индекса моды использовался тепловой метод: выходной волновод перекрывался листом фотобумаги, предварительно засвеченной и смоченной проявителем; потемнение (проявление) бумаги происходило наиболее быстро в местах, сильнее нагреваемых высокочастотным излучением. Азимутальный индекс при известном радиальном определялся по величине статического магнитного поля в режиме генерации и по взаимному расположению частот различных типов колебаний.

В гиротроне использовались открытые резонаторы двух типов: 1) резонатор традиционного для гиротронов профиля [4] и 2) такой же резонатор, но с коаксиальной цилиндрической вставкой.

3. В гиротроне с первым резонатором разнос собственных частот мод TE_{521} и TE_{911} был примерно вдвое меньше полосы отрицательной реабсорбции циклотронного излучения, что создавало опасность конкуренции этих мод*. Однако подбор радиусов резонатора и электронного потока давал возможность селективно возбуждать любую из них. Так, пропуская электроны достаточно близко к стенке резонатора и обеспечивая тем самым необходимое превышение стартового тока моды TE_{521} над стартовым током моды TE_{911} , можно было бы реализовать условия возбуждения колебаний только последнего типа. Но в этом случае КПД генератора достигал бы максимума при относительно небольшом электронном токе. С другой стороны, уменьшив радиус электронного потока, можно было возбудить одну только моду TE_{521} . Поскольку она обладает по сравнению с TE_{911} большим объемом локализации поля, насыщение КПД и мощности на ней должно происходить при относительно больших токах. Поэтому предпочтение было отдано моде TE_{521} — соотношение радиусов резонатора R_p и электронного потока R_n было выбрано с таким расчетом ($R_n/R_p = 0,8$), чтобы стартовый ток моды TE_{911} в 1,5 раза превысил стартовый ток моды TE_{521} .

Экспериментально в гиротроне наблюдалась генерация только на моде TE_{521} , причем наибольший КПД—45%—был достигнут при токе 10 А и выходной мощности 180 кВт, а наибольшая мощность—380 кВт—при токе 30 А и КПД 30% (рис. 1). На моде TE_{911} мощной генерации ни в каких режимах не наблюдалось.

Рис. 1. Зависимость выходной мощности и КПД гиротрона от тока пучка (мода TE_{521}).



4. В гиротроне с коаксиальным резонатором отношение радиусов внутренней и внешней стенок было подобрано таким образом, чтобы разнос собственных частот мод TE_{911} и TE_{521} превысил полосу отрица-

* Конструкция гиротрона допускала также (при соответствующей настройке магнитного поля) работу на модах TE_{421} и TE_{811} , хотя и с меньшей выходной мощностью. Разнос между частотами этих мод был равен полосе отрицательной реабсорбции циклотронного излучения, что в соответствии с теоретическими представлениями позволяло возбудить эти моды раздельно.

тельной реабсорбции циклотронного излучения¹. Тем самым возможность конкуренции этих мод была исключена. Электронный поток вводился в область относительно слабого высокочастотного поля моды TE_{911} , благодаря чему режимы с высокими КПД должны были иметь место при относительно больших токах. Мода TE_{911} генерировалась устойчиво, при этом мощность и КПД гиротрона были примерно такими же, как на моде TE_{521} (рис. 1).

5. В соответствии с теорией [6] в гиротроне моды с отличным от нуля азимутальным индексом обладают вращающейся структурой поля. Экспериментальным доказательством этого было практически полное отсутствие определяемой тепловым методом (см. выше) зависимости плотности потока энергии в выходном волноводе от азимутальной координаты. Для определения направления вращения структуры поля было использовано описанное в [7] квазиоптическое устройство, преобразующее в узконаправленный волновой пучок волну шепчущей галереи лишь с вполне определенным направлением вращения (рис. 2).

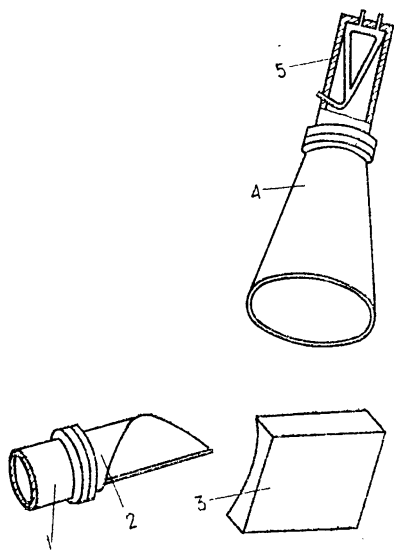


Рис. 2. Схема эксперимента по определению направления вращения структуры поля в выходном волноводе:

1—выходной волновод гиротрона, 2—излучатель, 3—зеркало, 4—рупорный переход, 5—водная нагрузка калориметра.

В описанных выше режимах структуры полей, согласно теории, должны были вращаться для моды TE_{911} в направлении попутном, а для моды TE_{521} — противоположном направлению вращения электронов. Это было подтверждено и экспериментом — при благоприятном для данной моды направлении магнитного поля в калориметр поступала значительно большая мощность, чем при смене направления магнитного поля на противоположное.

Авторы благодарны А. В. Гапонову за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Гапонов, А. Л. Гольденберг, Д. П. Григорьев, Т. Б. Панкратова, М. И. Петелин, В. А. Флягин, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 18, № 2, 280 (1975).
2. М. И. Петелин, В. К. Юлиатов, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 18, № 2, 290 (1975).
3. Л. А. Вайнштейн, Открытые резонаторы и открытые волноводы, изд. Сов. радио, М., 1966.
4. С. Н. Власов, Г. М. Жислин, И. М. Орлова, М. И. Петелин, Г. М. Рогачева, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 12, № 8, 1236 (1969).
5. С. Н. Власов, Л. И. Загрядская, И. М. Орлова, Радиотехника и электроника, (в печати).

* Использование в коаксиальном резонаторе вставки с переменным (например, коническим) профилем еще более расширяет возможности селекции мод [5].

6. А. В. Гапонов, М. И. Петелли, В. К. Юлпатов, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 10, № 9—10. 1414 (1967).
7. С. Н. Власов, Л. И. Загрядская, М. И. Петелли, Радиотехника и электроника (в печати).

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию
4 октября 1974 г.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A GYROTRON WITH WHISPERING GALLERY MODES

*Yu. V. Bykov, A. L. Gol'denberg, L. V. Nikolaev, M. M. Ofitserov,
M. I. Petelin*

The assumption on a perspective use of the whispering gallery modes in a higher power gyrotron is experimentally confirmed. It is shown that a coaxial insertion placed in a cylindrical resonator improves the possibility of mode selection.
