

09

Диплексер на основе открытого резонатора с гофрированными зеркалами

© Ю.И. Кошуринов, В.Г. Павельев, М.И. Петелин,
И.В. Турчин, Д.Ю. Щегольков

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
E-mail: ilya@ufp.appl.sci-nnov.ru

Поступило в Редакцию 1 марта 2005 г.

На основе четырехзеркального кольцевого резонатора с двумя гофрированными зеркалами создан диплексер с собственной частотой 34 GHz. При изменении частоты падающей волны более чем на 20 MHz выходной волновой пучок полностью переключается с одного направления на другое. Диплексер такого типа может быть использован для дискретного частотного сканирования мощного волнового пучка в системах подавления гидродинамических неустойчивостей плазмы в магнитных ловушках. Такие диплексеры могут быть скомпонованы в мультиплексер, пригодный для использования в системах дальней многоканальной связи и радиолокации с синтезированной полосой частот.

Мультиплексеры — устройства для объединения и разделения разночастотных сигналов — могут в зависимости от конкретного назначения иметь различные конфигурации [1–6]. В частности, для обеспечения высокой частотной селективности используются резонансные мультиплексеры [1,4–6], причем в диапазоне миллиметровых волн для снижения омических потерь и повышения электропрочности целесообразно применять резонаторы квазиоптического типа [4–6].

В данной статье описано экспериментальное исследование диплексера в виде кольцевого симметричного четырехзеркального резонатора с двумя идентичными гофрированными зеркалами 1 и 3 (рис. 1). Период и ориентация гофрировки подбираются так, чтобы при падении плоской волны (Input) на гофрированную плоскость 1 кроме зеркального луча (Non-resonant output) возникал еще только (-1) -й дифракционный луч, выходящий из плоскости падающего и зеркального лучей и направ-

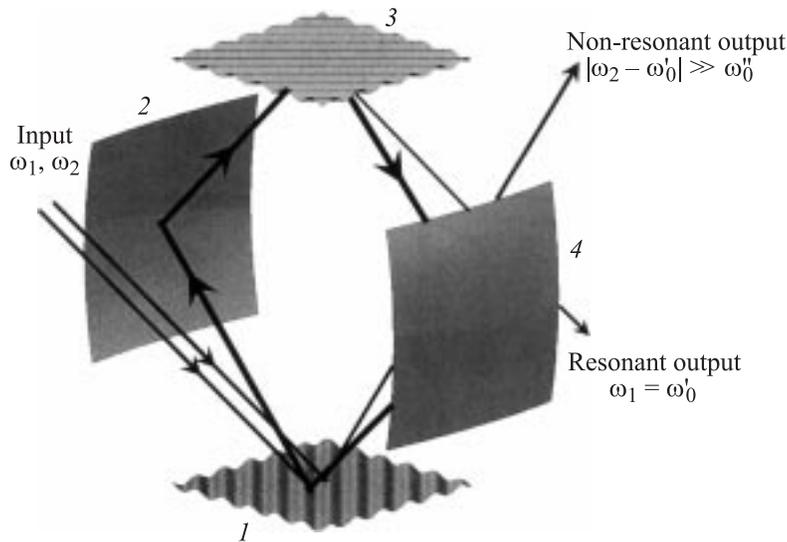


Рис. 1. Четырехзеркальный резонатор с двумя гофрированными зеркалами в режиме разделения разночастотных сигналов.

ленный к фокусирующему зеркалу 2. В целом кольцевой резонатор строится на основе симметрии, как показано на рис. 1.

Глубина гофрировки выбирается, с одной стороны, достаточно малой, чтобы при рассеянии плоской волны интенсивность (-1) -го дифракционного луча была намного меньше, чем у зеркального, и резонансные кривые высокочастотных мод не перекрывались. С другой стороны, гофрировка выбирается достаточно глубокой, чтобы радиационная добротность рабочей моды Q_{rad} , обусловленная рассеянием циркулирующего волнового потока на гофрированных резкалах, была существенно ниже добротностей Q_{ohm} и Q_{diff} , обусловленных омическими потерями и диффузией циркулирующего волнового потока за пределы зеркал. Эти ограничения можно скомбинировать к виду

$$\omega L/c \ll Q_{rad} \ll Q_{ohm}, Q_{diff}, \quad (1)$$

где L — длина контура циркуляции луча внутри резонатора.

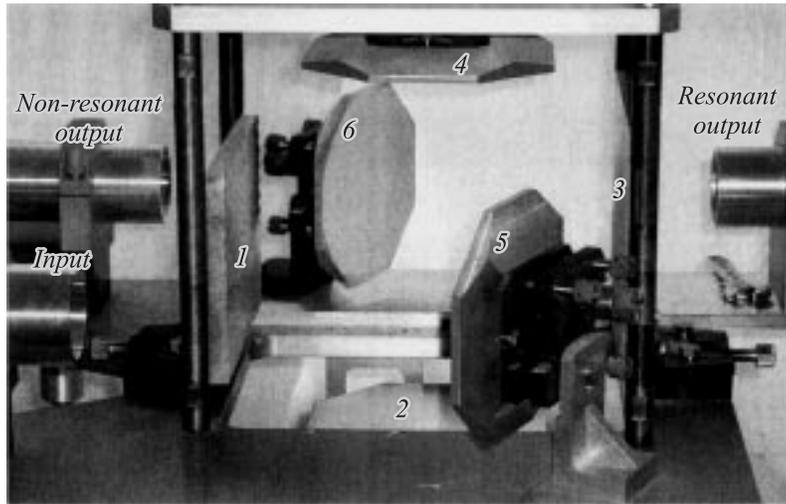


Рис. 2. Экспериментальный стенд для измерения коэффициентов передачи диплексера.

Условие (1) означает, что резонатор перегружен связью с внешними волноводными трактами, а поскольку эта связь благодаря идентичности входного и выходного гофрированных зеркал симметрична, то на своей собственной частоте ω'_0 резонатор полностью прозрачен: вся мощность от гофрированного зеркала 3 выводится в направлении „Resonant output“ (рис. 1). Если же частота падающей волны находится за пределами полосы резонатора $|\omega - \omega'_0| \gg \omega''_0 = \omega'_0 / 2Q_{rad}$, то поле в резонаторе не возбуждается и волна зеркально отражается от гофрированной плоскости 1 в направлении „Non-resonant output“. При произвольных частотах в окрестности резонанса частотная зависимость коэффициентов прохождения волны на „резонансный“ (T) и „нерезонансный“ (R) выходы описывается универсальными функциями [7]:

$$R(\omega) = \frac{\omega - \omega'_0}{\omega - \omega'_0 - i\omega''_0},$$

$$T(\omega) = \frac{-i\omega''_0}{\omega - \omega'_0 - i\omega''_0}. \quad (2)$$

Параметры резонатора

Частота, GHz	34.27
Поперечные размеры фокусирующих зеркал, mm	184 × 223
Радиусы кривизны фокусирующих зеркал, mm	1018 × 6003
Поперечные размеры гофрированных зеркал, mm	156 × 221
Период гофра, mm	8.75
Амплитуда гофра, mm	0.76
Расстояние между центрами соседних зеркал резонатора, mm	202
Мощностной коэффициент ответвления пучка на (-1)-й максимум для гофрированных зеркал, %	13
Радиационная добротность резонатора Q_{rad}	2000
Добротность резонатора $(1/Q_{ohm} + 1/Q_{diff})^{-1}$, обусловленная омическими потерями и диффузией циркулирующего волнового потока за пределы зеркал	50 000

В нижеописанном эксперименте входной и выходные лучи составляли угол 45° к плоскости циркуляции волнового потока в резонаторе (рис. 2). Плоские зеркала 1 и 3 имели синусоидальную гофрировку, ориентированную под углом 45° к этой же плоскости. Поле было E -поляризованным относительно направления канавок гофрировки. Рассеяние волны на ней рассчитывалось методом интегрального уравнения [8]. Фокусирующие зеркала 2 и 4 представляли собой вырезки эллиптических параболоидов с такими параметрами, что циркулирующий поток имел вид гауссова пучка, размер которого в плоскости циркуляции потока был вдвое меньше, чем в направлении, перпендикулярном этой плоскости. Это позволило использовать на входе и на выходе резонатора осесимметричные гауссовы пучки. Параметры резонатора, рассчитанного методом, подобным описанному в [9], приведены в таблице.

Система ввода излучения в диплексер включала в себя: переход от прямоугольного волновода с волной H_{10} к круглому волноводу с волной H_{11} ; профилированный рупор, преобразующий волну H_{11} в

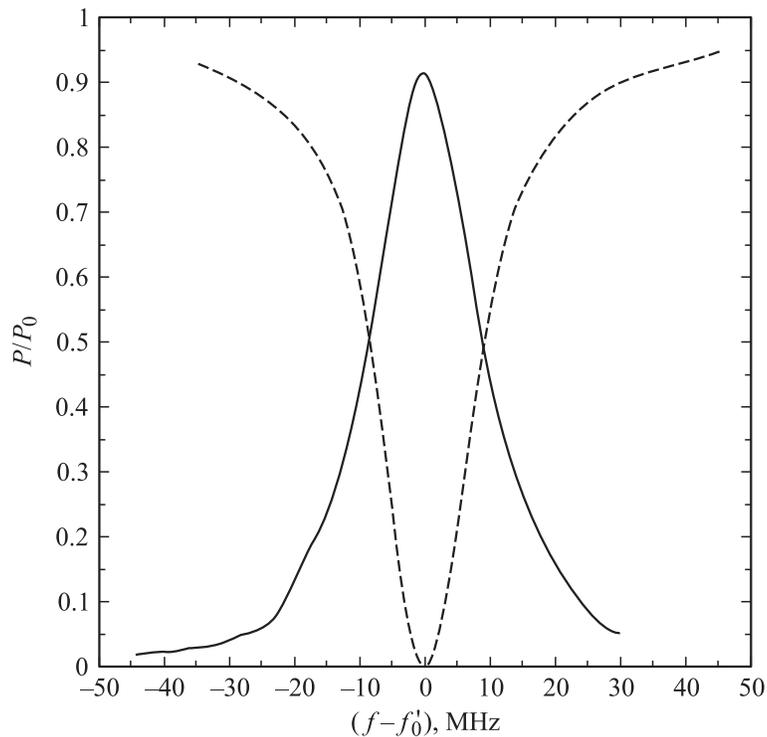


Рис. 3. Измеренные коэффициенты прохождения и отражения мощности в резонансный (сплошная линия) и нерезонансный каналы (пунктирная линия) диплексера (рис. 1) как функции частоты.

гауссов пучок с линейной поляризацией [10]; зеркало 5, фокусирующее пучок на решетку 1. Вывод энергии из диплексера производился с помощью двух систем, подобных системе ввода (рис. 2).

Схема измерения мощностных коэффициентов отражения и прохождения диплексера включала в себя: СВЧ-генератор на диоде Ганна с перестраиваемым колебательным контуром, содержащим управляемую емкость (варикап); генератор пилообразных импульсов напряжения, подаваемых на варикап для управления частотой источника излучения; прецизионный волноводный аттенюатор; диплексер; два СВЧ-детектора;

двухканальный осциллограф. Частота сигнала модулировалась со скоростью $20 \text{ MHz}/\mu\text{s}$ путем изменения управляющего напряжения на СВЧ-генераторе.

Результаты эксперимента. На рис. 3 представлены мощности, измеренные в обоих выходных каналах и отнесенные к мощности входного сигнала, как функции частоты. Ширина линии по половинному уровню мощности соответствует расчетной и составляет 18 MHz . Кривые отнормированы на уровень входного сигнала, который находился исходя из того, что мощность, идущая через „нерезонансный выход“ при помещенном внутрь резонатора поглотителе, составляет 87% . Около 13% мощности в этом случае ответвляется гребенкой внутрь пустого резонатора и поглощается поглотителем.

Заключение. Одним из возможных применений резонансного зеркального диплексера может быть дискретное частотное сканирование мощного волнового пучка вблизи несущей частоты диапазона $140\text{--}170 \text{ GHz}$ с целью подавления гидродинамической неустойчивости плазмы в магнитных ловушках [11,12].

Диплексеры описанного выше типа могут быть скомбинированы в мультиплексер [6], пригодный для использования в дальней многоканальной связи и радиолокации с синтезированной полосой частот [5,13]. Однако для такого рода приложений важны не только амплитудные, но и фазовые характеристики диплексера. Эти характеристики планируется исследовать в специальной работе.

Список литературы

- [1] *Маттей Дж., Янг Л., Джонс Е.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М.: Связь, 1972. Т. 2.
- [2] *Кириленко А.А., Сенкевич С.Л., Ткаченко В.И., Тысик Б.Г.* // Электрон. техника. Сер. Электроника СВЧ. 1991. Вып. 6 (440). С. 3.
- [3] *Henry P.S., Ruscio J.T.* // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1978. V. 26. N 6. P. 428–433.
- [4] *Chen M.H.* // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1980. V. 28. N 4. P. 363–368.
- [5] *Petelin M.I., Garyotakis G., Tolkachev A.A. et al.* // Proc. Amer. Institute of Physics Conf. 474. N.–Y.: Woodbury, 1998. P. 304.
- [6] *Турчин И.В.* // РЭ. 2003. Т. 48. № 6. С. 684–687.
- [7] *Петелин М.И., Турчин И.В.* // РЭ. 2001. Т. 46. № 12. С. 1445–1448.

- [8] *Denisov G.G., Kuzikov S.V.* // Int. J. of Infr. and Mill. Waves. 1997. V. 18. N 3. P. 733–744.
- [9] *Petelin M.I., Danilov Yu.Yu.* // Int. J. of Infr. and Mill. Waves. 1999. V. 20. P. 2023–2038.
- [10] *Pavelev V.G., Tsimring S.E., Zapevalov V.E.* // Int. J. of Electronics. 1987. V. 63. N 3. P. 379–391.
- [11] *Zohm H., Gantenbein G.* et al. // Nucl. Fus. 1999. V. 39. P. 577–580.
- [12] *Gantenbein G., Zohm H.* et al. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 85. P. 1242–1245.
- [13] *Caryotakis G., Scheitrum G., Petelin M., Postoenko Yu., Turchin I.* // Proc. of Nato Advance Research Workshop on Quasi-optical Control of Intense Microwave Transmission. Nizhny Novgorod, Russia 2005, Kluwer Academic Publishers (in press).