

УДК 621.373

ГЕНЕРАТОР ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ОТКРЫТЫМ РЕЗОНАТОРОМ ИЗ СПАРЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

В. К. Корнеенков, В. П. Шестопалов

Рассмотрено преимущество открытого резонатора (ОР), выполненного из спаренных цилиндрических зеркал, перед сферо-цилиндрическим резонатором. Приведены выходные параметры генератора со спаренными цилиндрическими зеркалами ОР и выбран оптимальный ОР.

1. Применение полусферических и сферо-цилиндрических открытых резонаторов (ОР), у которых частично покрыто одно из зеркал отражательной дифракционной решеткой [1], позволило создать несколько поколений генераторов дифракционного излучения (ГДИ), в диапазоне от 10 до 2 мм. При дальнейшем укорачивании длины волны в таких ГДИ пятно поля на отражательной дифракционной решетке резко уменьшается и взаимодействие электронного потока с полем СВЧ становится слабым. Для улучшения эффективности взаимодействия электронного потока с СВЧ полем необходимо пятно поля растянуть вдоль отражательной дифракционной решетки, для чего требуется применять зеркала ОР в ГДИ сложной формы. Одним из возможных вариантов сложной открытой резонансной электродинамической структуры, удовлетворяющей указанным выше требованиям, является ОР, выполненный из цилиндрического зеркала, на котором нанесена в виде узкой полосы отражательная дифракционная решетка, и зеркала в виде спаренных цилиндров. Оценочный расчет кривизны спаренного зеркала и расстояние между его центрами можно произвести в квазиоптическом приближении для основного типа колебаний с помощью формул, приведенных в [2]. Однако такой расчет дает лишь качественную характеристику поведения пятна поля для основного типа колебания, и окончательные рекомендации можно получить экспериментальным путем. В данной работе найдены оптимальные размеры ОР из спаренных цилиндрических зеркал и на основании приведенных исследований созданы ГДИ, эффективно действующие в миллиметровом диапазоне волн.

2. Для исследования выходных характеристик ГДИ, в которых используется ОР со спаренными цилиндрическими зеркалами, в зависимости от радиусов цилиндров и расстояния между их центрами, был разработан макет ГДИ, работающий под непрерывной откачкой в электромагните с магнитным полем $H = 3,8$ кЭ. Конструкция макета позволяет заменять (рис. 1) спаренное цилиндрическое зеркало (6), не нарушая других параметров прибора; при этом установка электронной диодной пушки, анода (2), нижнего цилиндрического зеркала (1), отражательной дифракционной решетки (3) и коллектора (4) в ходе эксперимента не изменялись.

Выбор параметров спаренных зеркал производится таким образом, чтобы пятна поля вдоль движения электронного потока составляли от 15 до 30 мм при изменении расстояния между зеркалами от 18 до 30 мм. При определении пятна поля спаренное зеркало представляется в виде двух частей сферических поверхностей, расположенных перпендикулярно образующим, а нижнее — цилиндрическое — по образующей, как плоское зеркало. Тогда в соответствии с [2] для основного типа колебания на нижнем цилиндрическом зеркале размеры пятна поля определяются формулой

$$w_2 = \sqrt{\frac{L\lambda}{\pi} \left[\frac{q_2}{q_1} (1 - g_1 q_2) \right]^{-\frac{1}{4}}},$$

где λ — длина волны, L — расстояние между зеркалами,

$$q_1 = \left(1 - \frac{L}{R_1} \right), \quad q_2 = \left(1 - \frac{L}{R_2} \right),$$

R_1 — радиус спаренных цилиндров зеркала, R_2 — радиус кривизны цилиндрического зеркала.

Расчеты размеров пятен поля для $\lambda = 4$ мм приведены в табл. 1.

Спаренное цилиндрическое зеркало представляет собой две круговые цилиндрические поверхности одинаковых радиусов и имеет следующие параметры: диаметр зеркала 60 мм; в центре зеркала на стыке двух цилиндров осуществляется вывод энергии с помощью щели связи $0,1 \times 3,6$ мм² (радиус цилиндров зеркала меняется от 60 до 110 мм, а расстояние между центрами цилиндров — от 6 до 14 мм). Нижнее цилиндрическое зеркало в действующих ГДИ имеет диаметр 58 мм и срез по лыскам 40 мм, радиус зеркала 110 мм; по образующей цилиндра образован паз шириной 10 мм и глубиной 5 мм для размещения в нем отражательной дифракционной решетки. Отражательная дифракционная решетка длиной 40 мм и шириной 10 мм имеет период 0,4 мм, глубину 0,88 мм и ширину щели 0,15 мм.

3. Оценка эффективности работы ГДИ в зависимости от радиусов и расстояния между их центрами спаренного зеркала

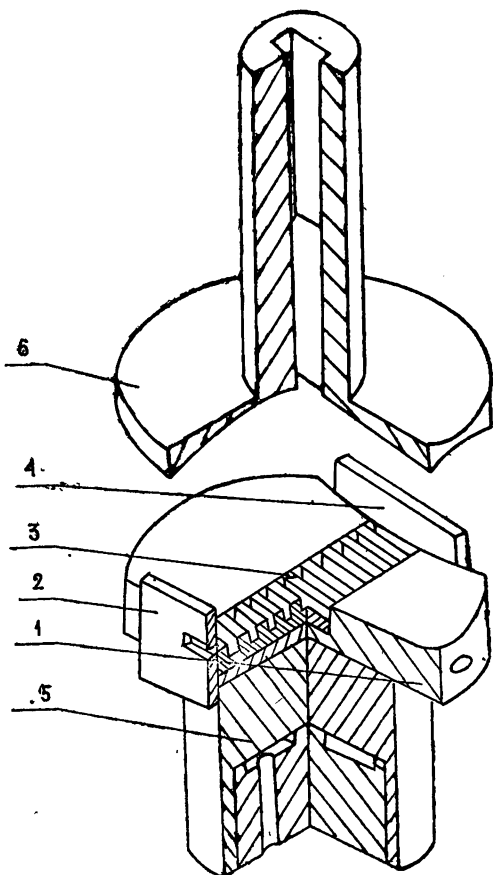


Рис. 1. Схематическое изображение спаренного цилиндрического ОР, применяемого в макете под непрерывной откачкой.

ла определяется диапазоном перестройки выходной мощности и пусковыми токами генератора. В экспериментах измерение выходной мощности производилось в непрерывном режиме работы ГДИ с помощью термпарного измерителя мощности. Результаты исследования выходных параметров генератора для различных параметров верхнего спаренного цилиндрического зеркала приведены в табл. 1.

Здесь не последнюю роль играет и изменение расстояния между центрами цилиндров спаренного зеркала в зависимости от кривизны цилиндров. При этом, вероятно, будет ощутимо изменяться и коэффициент преобразования дифракционного излучения в собственные типы колебания.

Оптимальными спаренными цилиндрическими зеркалами являются те, у которых отношение размера пятна поля вдоль отражательной дифракционной решетки к длине решетки составляет 0,45—0,5 для радиусов кривизны цилиндров 80 мм; в случае радиусов кривизны 60 мм это расстояние составляет 10 мм (дальнейшее увеличение радиусов цилиндров приводит к увеличению дифракционных потерь, так как такое зеркало приближается к плоскому, где дифракционные потери существенно зависят от незначительного перекоса зеркал). Экспериментальные данные для приборов с оптимальным и близким к оптимальному спаренному цилиндрическому ОР приведены на рис. 2 и рис. 3. На рис. 2 а указаны диапазон перестройки и пусковые токи для ГДИ-6, на рис. 2 б — для ГДИ-7 и на рис. 3 а — для ГДИ-5. Из графиков видно, что генерация колебания происходит на одном TEM_{02q} -типе колебания.

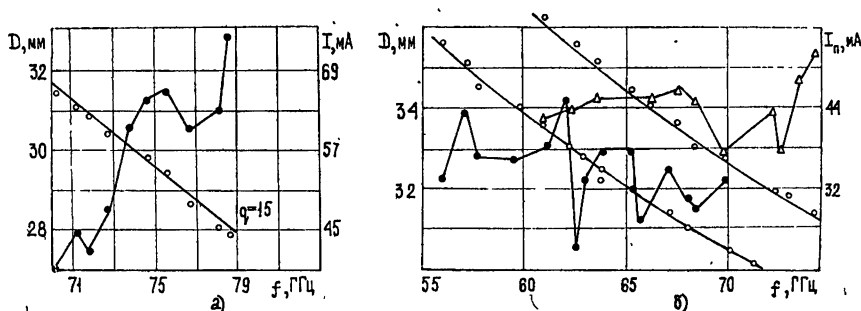


Рис. 2. Зависимость пусковых токов от частоты и частоты от расстояния между зеркалами.

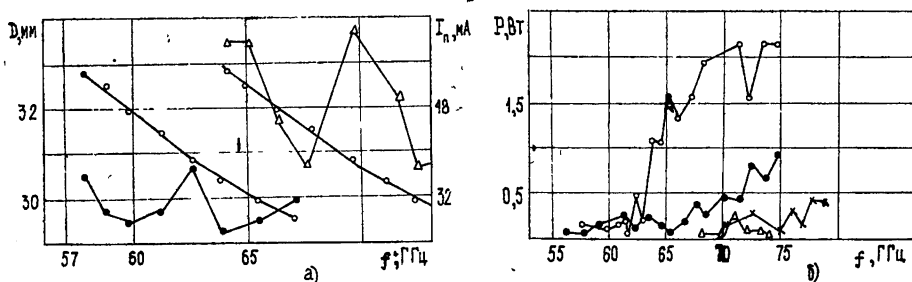


Рис. 3. а) Зависимость пусковых токов от частоты и диапазон перестройки частоты от расстояния между зеркалами, б) зависимость мощности от частоты.

Таблица 1

	Пределы измерения								
	ГДИ-1	ГДИ-2	ГДИ-3	ГДИ-4	ГДИ-5	ГДИ-6	ГДИ-7	ГДИ-8	ГДИ-9
Радиус кривизны цилиндров зеркала, мм	110	110	80	80	80	60	60	60	110
Расстояние между центрами цилиндров, мм	14	10	14	10	6	14	10	6	сферическое
Пятно поля для основного типа колебания на 4 мм при расстоянии между зеркалами 25 мм, мм	29	25	27	23	19	26,2	22,2	18	15
Диапазон перестройки прибора, ГГц	не возб.	68—72	не возб.	62—76	57—74	70—79	56—75	68—74	67—73
Пусковой ток минимальный	—	60	—	42	24	39	22,5	67,5	33,5
Выходная мощность	—	0,1	—	0,15	2,25	0,46	0,9	0,25	1,05
Рабочий ток при данной мощности	—	190	—	150	130	130	130	150	135

4. Работа прибора на одном типе колебания определяется рядом дифракционных потерь для высших типов колебаний на стыке соединения двух цилиндров зеркала. На рис. 3 б показана выходная мощность для ряда приборов (треугольники соответствуют ГДИ-8, крестики — ГДИ-6, кружки — ГДИ-7, точки — ГДИ-5). Существенно, что рабочие токи сравнительно малы и достигают 130 мА. Из графиков также видно, что диапазон перестройки, пусковые токи и выходная мощность приборов ГДИ-5 и ГДИ-7 имеют наиболее приемлемые для использования на практике характеристики. Приборы с оптимальными спаренными цилиндрическими зеркалами имеют повышенную выходную мощность при сравнительно небольших рабочих токах вследствие увеличения пятна поля вдоль дифракционной решетки и лучшего взаимодействия электронного потока с СВЧ полем.

Применение спаренных цилиндрических зеркал в ОР ГДИ позволяет создать генераторы миллиметрового диапазона повышенной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Балаклицкий, Б. К. Скрынник, О. А. Третьяков, В. П. Шестопалов, УФЖ, 14, № 4, 539 (1969).
2. Р. А. Валитов, С. Ф. Дюбко и др., Техника субмиллиметровых волн, изд. Сов. радио, М., 1969, стр. 162.

Институт радиофизики и электроники
АН УССР

Поступила в редакцию
17 ноября 1975 г.

AN OSCILLATOR OF MILLIMETER DIFFRACTION RADIATION WITH OPEN RESONATOR OF PAIRED CYLINDRICAL MIRRORS

V. K. Korneenkova, V. P. Shestopalov

The advantage of an open resonator (OR) made of paired cylindrical mirrors before a sphere-cylindrical resonator is considered. The output parameters of the oscillator with paired cylindrical mirrors are given and the optimal open resonator is chosen.