

Кроме теоретического анализа интеграла (7) производилось численное интегрирование с помощью ЭВМ БЭСМ-6. На рис 1 представлены зависимости интенсивности излучения от угла  $\phi$  для различных скоростей заряда. Из рис 1 видно, что диаграмма излучения действительно носит двугорбый характер. Это обстоятельство, по-видимому, может быть использовано при детектировании быстрых заряженных частиц широких атмосферных ливней, врывающихся в атмосферу Земли. Очевидно, по угловому распределению можно четко разделить частицы, ответственные за переднее излучение, и частицы, ответственные за эффект Черенкова.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Капица С. П — ЖЭТФ, 1960, 39, № 6, с. 1367.
- 2 Тер-Микаэлян М. Л — Изв. АН АрмССР, 1961, 14, № 1, с. 103
- 3 Тамойкин В. В — Изв. вузов — Радиофизика, 1968, 9, № 12, с. 1879
- 4 Тамойкин В. В — Astr. Space Sci, 1972, 16, № 1, p. 120
5. Ginzburg V. L., Tsytovich V. N.— Physics Reports (Review Section of Physics Letters), 1979, 49, № 1, p. 1.
6. Гатарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере — М. Наука, 1967.
7. Ватсон Г. Н. Теория бесселевых функций. Ч 1. — М. ИЛ, 1949.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
30 декабря 1982 г.

УДК 621.372.413

### ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТР НА ДВУХСЛОЙНОМ КРУГЛОМ ЭКРАНИРОВАННОМ ВОЛНОВОДЕ В РЕЖИМЕ КОМПЛЕКСНЫХ ВОЛН

Г. И. Веселов, В. А. Калмык, С. Б. Раевский

В двухслойном круглом экранированном волноводе без потерь при определенных условиях могут существовать [1,2] комплексные волны. Результаты их экспериментального исследования приводились в работах [3,4]. В [3] были измерены их фазовые постоянные и коэффициенты затухания. В [4] было описано резонансное явление, возникающее в двухслойном волноводе при одновременном возбуждении двух комплексных волн с противоположно направленными фазовыми скоростями. Представляет интерес экспериментально исследовать частотные характеристики отрезка двухслойного экранированного волновода, включенного в СВЧ тракт, в области возникновения вышеуказанного явления.

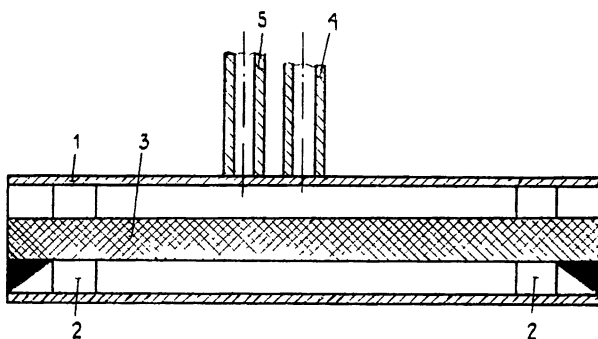


Рис. 1.

На рис. 1 схематически показана конструкция исследуемого СВЧ устройства. Оно состоит из медной трубы 1, внутри которой на центрирующих шайбах 2 из пенопласта помещен (соосно с трубой) диэлектрический стержень 3 из ПЭНДТ (полиэтилен низкого давления с двуокисью титана) с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 18$ . В центральном сечении отрезка волновода расположен возбуждающий электрод 4. На расстоянии 20 мм от него находится воспринимающий электрод 5. Оба электрода выполнены в виде штыревых антенн.

Параметры волновода:  $L = 240$  мм — его длина,  $d = 15$  мм,  $D = 32$  мм — диаметры диэлектрического стержня и экрана соответственно. Длина волновода выбрана достаточно большой, порядка  $4\lambda_v$ , чтобы открытые концы его слабо возмущали поля комплексных волн.

Поскольку рассматриваемое устройство обладает резонансными свойствами, оно экспериментально исследовалось как резонатор в двух схемах включения — на проход и на отражение. Измерения производились на панорамном измерителе КСВ типа Р2-56 (диапазон прибора 2—4 ГГц включает в себя частотный интервал существования комплексных волн в рассматриваемом волноводе).

Структурная схема экспериментальной установки при включении резонатора на проход изображена на рис 2. Сигнал со свип-генератора 1 по коаксиальному тракту подается на тройник 2, с которого часть мощности поступает на исследуемый резонатор 3, другая часть детектируется и подается на вход канала («падающая») осциллографического индикаторного блока 4. В индикаторном блоке вырабатывается сигнал ошибки для работы системы автоматической регулировки мощности (АРМ) свип-генератора, поддерживающей постоянный уровень мощности на возбуждающем устройстве резонатора. С воспринимающего электрода резонатора протектированный сигнал подается на вход канала («отраженная») индикаторного блока.

Частотная характеристика коэффициента передачи исследуемого резонатора в режиме комплексных волн, полученная на описанной установке, показана на рис 3. Частотные метки, обозначающие полосу пропускания резонатора, соответствуют значениям  $f_1 = 3195$  МГц,  $f_2 = 3543$  МГц. Частота  $f_2$  совпадает с рассчитанным теоретически [2] верхним пределом диапазона существования комплексных волн.

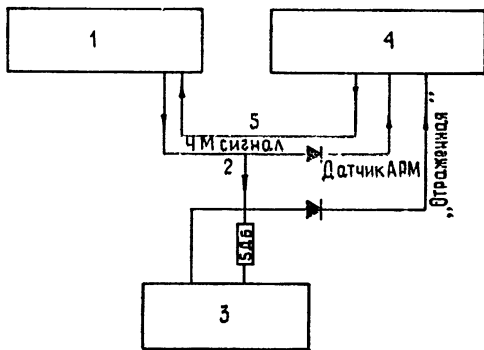


Рис. 2.

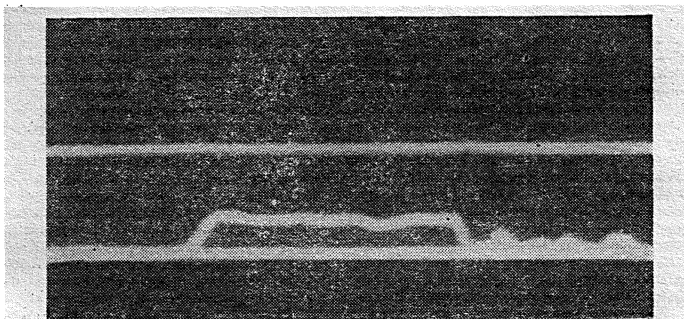


Рис. 3.

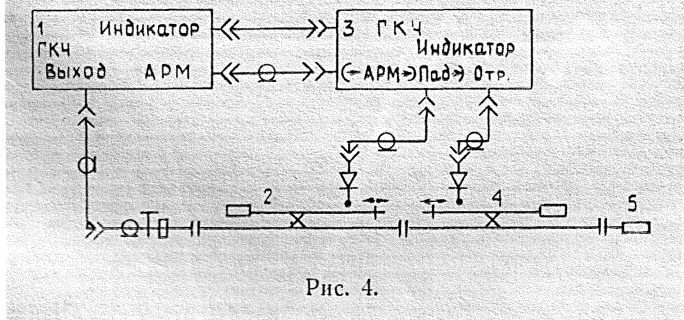


Рис. 4.

Низкий уровень сигнала на выходе резонатора объясняется двумя факторами: во-первых, экспоненциальным убыванием полей комплексных волн при удалении от источника, во-вторых, тем, что возбуждающий и воспринимающий электроды были отрегулированы так, чтобы максимально исключить их частотную зависимость в диа-

пазоне наблюдения резонансного явления. Последний фактор повлиял также на то, что экспериментально измеренная полоса резонатора оказалась уже расчетной полосы существования комплексных волн

Как видим из рис. 3, коэффициент передачи резонатора на отрезке двухслойного экранированного волновода в режиме резонансного явления, связанного с возбуждением двух комплексных волн, имеет слабую частотную зависимость, что открывает перспективы его использования при построении широкополосных частотных СВЧ фильтров.

Структурная схема измерительной установки при включении резонатора на отражение изображена на рис. 4

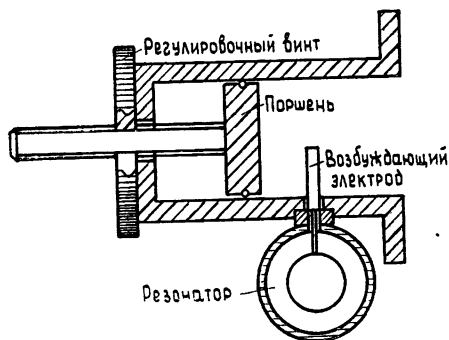


Рис. 5.

замыканию. Неравномерность его объясняется частотной зависимостью параметров тракта. При введении стержня осциллограмма частотной зависимости КСВ, когда возбуждаются две встречные комплексные волны, приобретает вид, показанный на рис. 65.

Частотная зависимость КСВ при включении в тракт резонатора без диэлектрического стержня (в отсутствие комплексных волн) показана на рис 6а. Средний уровень КСВ соответствует короткому замыканию

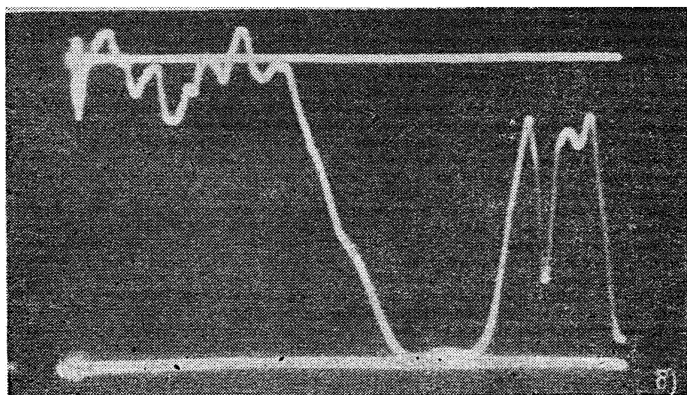
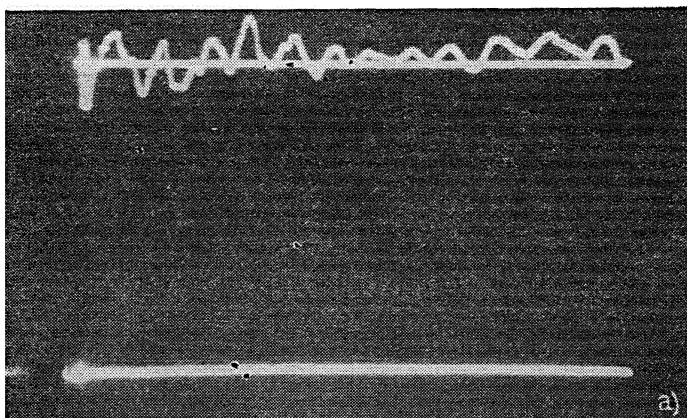


Рис. 6.

Как видно из рисунка, резонатор хорошо согласует тракт в широком диапазоне частот: метки соответствуют  $f_1 = 3,1$  ГГц,  $f_2 = 3,58$  ГГц. При этом равномерность уровня КСВ в этом диапазоне определяется в значительной мере граничными условиями на концах резонатора. При их хорошем согласовании (в эксперименте с обоих концов вводились поглощающие клинья) частотная зависимость КСВ в указанном диапазоне уменьшается. Другим фактором, определяющим непостоянство КСВ в диапазоне совместного возбуждения двух комплексных волн, является частотная зависимость коэффициента передачи возбуждающего устройства (рис. 5).

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что резонатор на отрезке круглого двухслойного экранированного волновода в режиме комплексных волн обладает всеми свойствами полосового фильтра. При исключении (или регулировке) частотной зависимости возбуждающего устройства такой резонатор будет иметь частотную характеристику, близкую к прямоугольной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов Г. И., Любимов Л. А.—Радиотехника и электроника, 1963, 8, № 9, с. 1530.
2. Раевский С. Б.—Изв. вузов—Радиофизика, 1972, 15, № 1, с. 112.
3. Калмык В. А., Раевский С. Б., Угрюмов В. П.—Радиотехника и электроника, 1978, 23, № 4, с. 699
4. Веселов Г. И., Раевский С. Б., Калмык В. А.—Радиотехника, 1980, 35, № 9, с. 59.

Московский институт  
электронной техники

Поступила в редакцию  
7 июля 1982 г

УДК 621.372.8

### ДИФРАКЦИОННАЯ ДОБРОТНОСТЬ СЛАБОКОНИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ГИРОТРОНОВ

*В. Е. Запелалов, О. В. Малыгин*

1. В резонаторах гиротронов наибольшей дифракционной добротностью

$$Q_{\text{диф}} = \omega_s L / v_{\text{гр}} (1 - |R(\omega_s)|) \quad (1)$$

(здесь  $\omega_s$  — собственная частота  $s$ -й моды,  $R$  — коэффициент отражения от выходного сечения) обладают моды  $H_{mpq}$  [1] с одной продольной вариацией поля ( $q = 1$ ), образованные суперпозицией волн с малым продольным волновым числом  $|h| \ll \pi/L$  и, соответственно, имеющих наименьшую групповую скорость

$$v_{\text{гр}} = c^2 h / \omega_s \ll c \lambda / 2L. \quad (2)$$

Коэффициент отражения  $R$  мод, возбуждающихся на частоте, близкой к критической, может быть представлен в виде [2, 3]

$$1 - |R| \sim h \quad (3)$$

Дифракционная добротность мод с  $h \ll 2\pi/\lambda$  зависит от параметра нерегулярности [4]  $\xi = v_{mp}^2 (L/D_0)^{2t}$  ( $v_{mp}$  —  $p$ -й корень производной функции Бесселя  $m$ -го порядка). Слабая конусность регулярных участков резонаторов, показанная на рис. 1 штриховыми линиями, очевидно, в той же степени может повлиять на дифракционную добротность. Анализ этой зависимости представляет определенный интерес как для оценки требований к допускам на изготовление цилиндрических резонаторов, так и для определения профиля резонатора в тех случаях, когда дифракционную добротность желательно понизить по сравнению с добротностью цилиндрических резонаторов. Такая необходимость возникает, например, в гиротронах с большой плотностью тока пучка [5], а также в гиротронах субмиллиметрового и коротковолновой части миллиметрового диапазонов [6]. Зависимость дифракционной добротности резонатора от слабой конусности исследуется в данной работе.

2. Отношение дифракционных добротностей одной и той же моды в цилиндрическом  $Q_0$  и слабоконическом  $Q$  резонаторах, как следует из (1)—(3), равно

$$Q_0/Q \approx (h/h_0)^2. \quad (4)$$