

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. М. К. ЯНГЕЛЯ

РАДИОТЕХНИКА

Республиканский
межведомственный
научно-технический
сборник

Основан в 1965 г.

ВЫПУСК 89

ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

1989

ДК 621.372

И. Н. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, А. С. ГНЕСЬ, Н. О. ГНЕСЬ

**РЕЖЕКТОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ СВЧ НА ОСНОВЕ
ВОЛНОВОДНО-КОАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР**

Проводящий штырь, введенный в волновод в середине его широкой стенки, оказывает режектирующее воздействие на проходящую электромагнитную волну. При $l \sim \lambda/4$ (l — длина штыря, λ — длина волны в вакууме) это воздействие становится резонансным, но из-за низкой эквивалентной добротности такого резонатора получаемые характеристики не могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к элементам селекции и режекции в практических устройствах. Характеристики таких режектирующих устройств существенно улучшаются подключением к проводящему штырю,

вводимому в волновод, отрезка коаксиальной линии, настраиваемого с помощью перемещаемого короткозамыкающего поршня [1]. Реализуется также возможность изменения частоты настройки фильтра в широких пределах при сохранении остальных его параметров. Подключение к волноводу с помощью штыря более высокодобротного резонансного элемента, чем отрезок коаксиальной линии, формирование режектирующего устройства на основе подключения нескольких таких узлов должно, на наш взгляд, привести к дополнительному улучшению характеристик режекции.

Цель работы — экспериментальное исследование режекторных фильтров СВЧ на основе волноводно-коаксиальных структур. Электрическое поле падающей волны единичной амплитуды H_{10} в прямоугольном волноводе определяется выражением

$$E = \sin(\pi x/a) e^{-i\beta z}, \quad (1)$$

где a — размер широкой стенки волновода; β — постоянная распространения в волноводе, $\beta = 2\pi/\lambda_b$; λ_b — длина волны в волноводе, $\lambda_b = \lambda(1 - \lambda/2a)^{-1/2}$.

Для резонансного штыря конечных размеров, введенного в волновод в середине широкой стенки и нагруженного на сопротивление Z_1 , можно записать [2]:

$$\cos(\pi r/a) = Z_c k l (1/a\beta) \cos(\pi r/a) + Z_1 I \delta(y), \quad (2)$$

где r — радиус штыря; Z_c — волновое сопротивление вакуума, $Z_c = 120\pi$, Ом; k — постоянная распространения вакуума, $k = 2\pi/\lambda$; I — значение тока в штыре; $\delta(y)$ — дельта-функция;

$$Z_1 = Z_{\text{инд}} + R_a + Z_{\text{емк}} + Z_{\text{вх.}} \quad (3)$$

Согласно работе [2] для нахождения индуктивного $Z_{\text{инд}}$ и активного R_a сопротивлений штыря воспользуемся следующими соотношениями:

$$Z_{\text{инд}} = Z_c (b/\lambda) [\ln(2a/\pi r) - 2]; \quad (4)$$

$$R_a = (Z_c/4\pi\lambda\sigma)^{1/2} l_1/r, \quad (5)$$

где b — размер узкой стенки волновода; σ — проводимость материала штыря; l_1 — длина штыря.

Формулы (2), (4) записаны для случая, когда существование высших типов волн, обусловленных наличием неоднородности в виде штыря в волноводе, не учитывается ($r \ll a$).

Величина $Z_{\text{емк}}$ равна емкостному сопротивлению между торцом штыря и стенкой волновода и определяется по формулам [3]

$$Z_{\text{емк}} = -\frac{1}{2\pi C}; \quad (6)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{\delta} + \epsilon_0 r \left[\ln\left(\frac{16\pi r}{\delta}\right) - 1 \right]. \quad (7)$$

Здесь f — рабочая частота; C — емкость участка штырь-волновод; ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; δ — зазор между штырем и стенкой волновода.

Для величины $Z_{вх}$ получим [4]

$$Z_{вх} = Z_{шт} \frac{Z_n + jZ_{шт} \operatorname{tg} \left[\frac{2\pi(b-\delta)}{\lambda} \right]}{Z_{шт} + jZ_n \operatorname{tg} \left[\frac{2\pi(b-\delta)}{\lambda} \right]}, \quad (8)$$

($Z_{шт}$ — волновое сопротивление штыря в волноводе).

Согласно [1] имеем $Z_{шт} = 60 [\ln(\lambda/2\pi r) + 0,116]$ (9). Величину Z_n представим как эквивалентное сопротивление подключенной к штырю коаксиальной линии или объемного резонатора.

Для коаксиальной линии $Z_n = j\rho \operatorname{tg}(2\pi l/\lambda)$ (10), где $\rho = 138 \lg(D/d)$ — волновое сопротивление линии; D и d — внутренний диаметр экрана и диаметр центрального проводника линии соответственно; l — длина линии.

Для объемного резонатора, представляемого колебательным контуром

$$\begin{aligned} Z_n &= R_{эқв} + j \left(2\pi f L_{эқв} - \frac{1}{2\pi f C_{эқв}} \right) = R_{эқв} + j 2\pi f L_{эқв} \left(1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_p^2} \right) = \\ &= R_{эқв} + j R_{эқв} Q \left(\frac{\lambda_p^2 - \lambda^2}{\lambda \lambda_p} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

в котором $R_{эқв}$; $L_{эқв}$; $C_{эқв}$ — параметры эквивалентного колебательного контура; λ_p — резонансная длина волны; Q — добротность колебательного контура.

В случае использования объемного резонатора в виде отрезка прямоугольного волновода, возбужденного на виде колебаний H_{101} для $R_{эқв}$ запишем следующее соотношение [5]:

$$R_{эқв} = \frac{R_n \pi^2 b \left[(a^2 + d_1^2) + \frac{ad_1}{2b} (a^2 + d_1^2) \right]}{16 (a^2 + d_1^2)^2}. \quad (12)$$

Здесь R_n — поверхностное сопротивление материала стенок резонатора $R_n = (\pi/\mu_0/\sigma)^{1/2}$; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума; d_1 — длина отрезка волновода. Найдем значение коэффициента отражения Γ от штыря в волноводе [2]: $\Gamma = -Z_c I (\lambda_b/a\lambda)$ (13). Величина I определяется из (2) с учетом (3) — (12). Коэффициент передачи будет соответственно $T = 1 + \Gamma$ (14), ослабление L мощности сигнала, проходящего через устройство (дБ), $L = 10 \lg |T^2|$ (15). Из условия равенства суммы реактивных сопротивлений нулю, подставив численные значения в соответствующие выражения, определим высоту зазора δ .

Экспериментально изучались четыре типа режектирующих устройств. Первый представлял собой волновод с подсоединенным к нему отрезком перестраиваемой коаксиальной линии, центральный проводник которой входит в волновод в центре его широкой стенки и не доходит до противоположной широкой стенки, образуя

с ней небольшой зазор $\delta < b$ (рис. 1, а, б). Второй тип устройства аналогичен первому с той лишь разницей, что вместо коаксиальной линии к волноводу подсоединялся перестраиваемый объемный резонатор, через который проходит общий с волноводом штырь (рис. 1, в, г). Третье устройство создавалось из двух первых, включенных в волновод последовательно на расстоянии $\lambda_p/4$, а четвертое — аналогично третьему, только с двумя устройствами второго типа.

Оценки предельно достижимого ослабления L для исследованных типов режектурирующих устройств проводились с помощью соотношений (2)—(15) при следующих значениях входящих в них

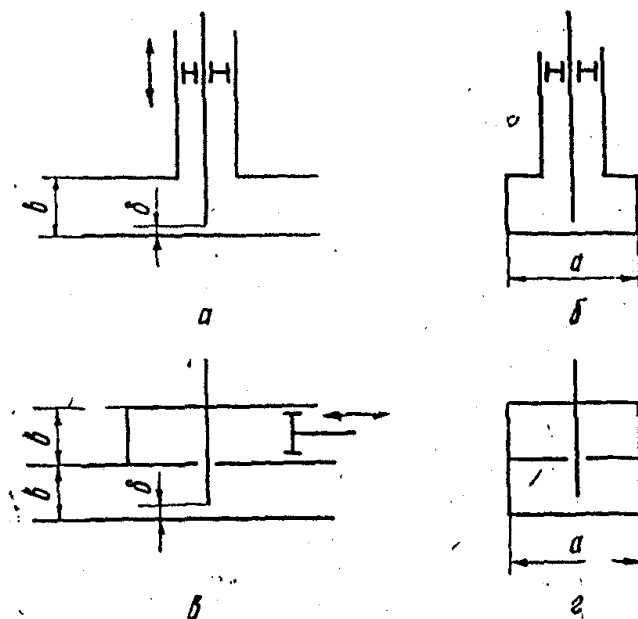


Рис. 1

величин: $a = 2,3 \cdot 10^{-2}$ м, $b = 1 \cdot 10^{-2}$ м, $\lambda_p = 3 \cdot 10^{-2}$ м, $\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ См/м, $r = 2 \cdot 10^{-4}$ м, $D = 8 \cdot 10^{-3}$ м, $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $d_1 = 2 \cdot 10^{-2}$ м, $Q \sim 1 \cdot 10^3$. Высота зазора δ , найденная из соотношений, была порядка $3 \cdot 10^{-3}$ м. Величина L как для первого, так и для второго типа устройств составила около 34 дБ, причем основным фактором, определяющим максимум L при заданных размерах, является значение активного сопротивления штыря R_a . Полоса режекции на уровне 3 дБ для устройств второго типа меньше, чем у первого.

Результаты измерения характеристик рассмотренных устройств приведены на рис. 2. Кривые показывают изменение глубины режекции и полосы режектурируемых частот в зависимости от типа устройства. Высота зазора δ меняется в пределах $(2,6 - 3,4) \times 10^{-3}$ м для различных типов устройств. Устройство третьего типа обладает большим значением предельной режекции (56 дБ), чем устройство первого типа (27 дБ), но полоса режекции на уровне

2 дБ у него больше 2 ГГц (у первого устройства 2 ГГц). В то же время четвертое устройство при большей максимальной режекции (60 дБ), чем у второго (28 дБ), имеет и меньшую полосу режекции на уровне 3 дБ (120 МГц), чем второе (380 МГц). На уровнях 10, 20, 30, 40 дБ полосы режекции четвертого устройства 40, 20, 10 и 4 МГц соответственно.

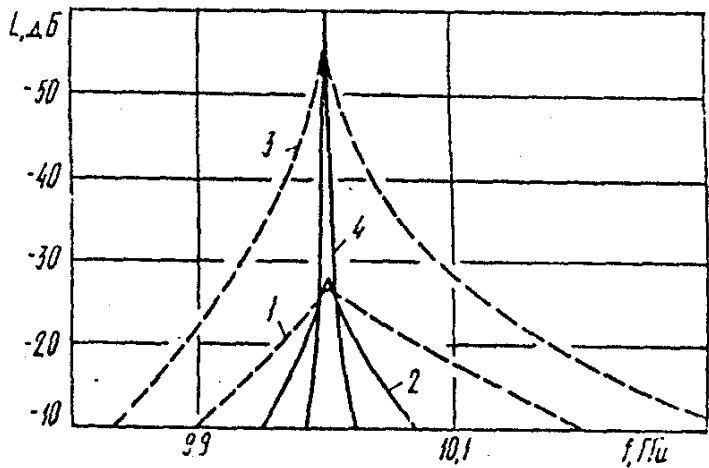


Рис. 2

Последний результат нельзя объяснить с помощью приведенных соотношений и представления устройства четвертого типа в виде подключенных к волноводу двух устройств второго типа, хотя для первых трех устройств это справедливо. По-видимому, в данном случае необходимо использование или разработка иного описания процессов, происходящих в системе.

Список литературы: 1. *Tomar R. S., Chinmoy Dus Gupta. // J. Appl. Phys.* 1983. Vol. 58, N 8. P. 4623—4628. 2. *Левин Л. Теория волноводов / Пер. с англ. М., 1981. 312 с.* 3. *Кугушев А. М., Голубева Н. С. Основы радиоэлектроники. М., 1969. 880 с.* 4. *Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. М., 1970. Т. 1. 440 с.* 5. *Рамо С., Уиннери Дж. Поля и волны в современной радиотехнике / Пер. с англ. под ред. Ю. Б. Кобзарева. М.; Л., 1950. 568 с.*

Поступила в редколлегию 15.01.88