СВЯЗЬ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ЩЕЛЬЮ

Л. И. Белоусова, Л. П. Сальникова

Харьков

При создании ряда устройств и приборов СВЧ широко используется электромагнитная связь линий передачи. Одним из условий осуществления этой связи является наличие продольной щели в общей стенке волноводов.

В [1] было исследовано распространение электромагнитных волн в структуре, состоящей из двух параллельно расположенных прямоугольных волноводов, в общей бесконечно тонкой стенке которых прорезана непрерывная продольная щель так, что один ее край совпадает с основанием волноводов. В настоящей работе рассмотрен случай произвольного расположения продольной щели в общей стенке волноводов (рис. 1). Задача о распространении электромагнитных волн в исследуемой структуре решена тем же методом, что и в работе [1].

В результате получена аналогичная система линейных алгебраических уравнений, в которых величины, зависящие от соотношения размеров связываемых волноводов, остались неизменными, а функции, определяемые механизмом связи волноводов, имеют другой вид:

$$\sum_{n=0}^{\infty} x_n \left\{\varepsilon_n [W_m^n - \overline{W}_m^n] - \delta_{mn}\right\} = 0, \qquad (1)$$

где x_n, ε_n означает то же, что и в работе [1]:

$$W_m^n = \begin{cases} V_m^n - 2V_0^n R_m - \dfrac{R_{m-1}}{\widetilde{R}_\delta^{-1}} [W_\delta^n - 2V_0^n \widetilde{R}_\delta^0], & m \neq 0; \\ V_\delta^n - 2V_0^n R_\delta^0, & m = 0; \end{cases}$$

$$\delta_{mn} = \begin{cases} 0, & m \neq n; \\ 1, & m = n \text{ для } E\text{-волн}; \\ (-1)^n, & m = n \text{ для } H\text{-волн}. \end{cases}$$

Величины $V_m^n, V_\delta^n, W_\delta^n, R_m, R_\delta^k \tilde{R}_\delta^k$ для E-волн и для H-волн вычислены в [2].

Из условия существования нетривиального решения системы (1) следует характеристическое уравнение для определения постоянных распространения собственных волн структуры.

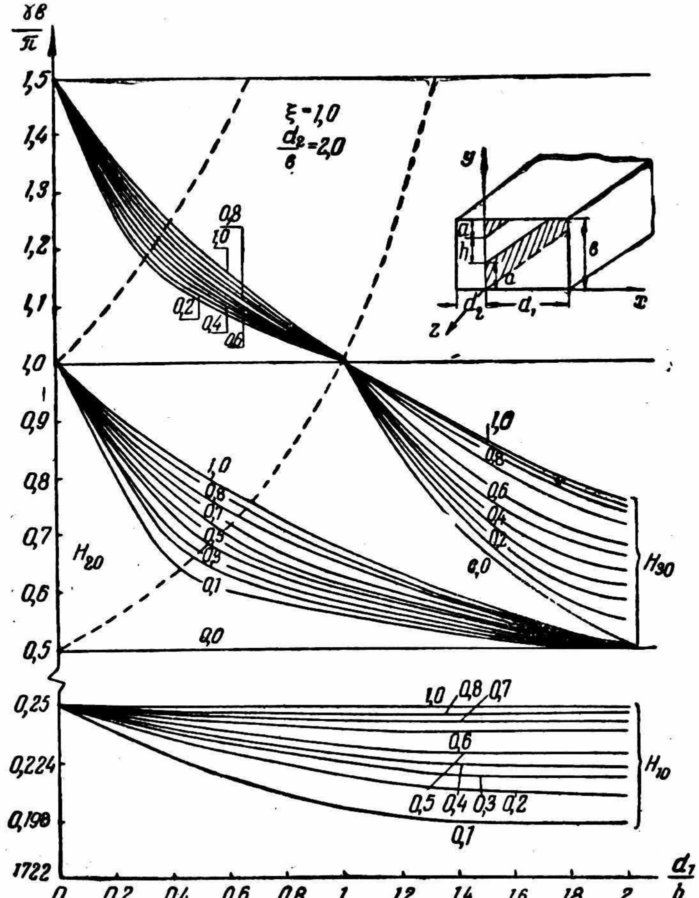

Рис. 1.

В приближении $\frac{Pb}{d_1+d_2} \ll 1$ для H_{p0} волн из (1) получаем

$$\frac{\gamma_0 b}{\pi} \cdot \frac{2\sin\gamma_0 d_1 \sin\gamma_0 d_2}{\sin\gamma_0(d_1+d_2)} = -\frac{1}{\ln\sin\frac{\pi\left[1-(1-\xi)\frac{h}{2b}\right]}{1+\xi} + \ln\sin\frac{\pi h}{2b}}; \quad (2)$$

$d' = \xi d$; $\frac{h}{b}$ — ширина щели.

Этим приближением можно пользоваться для нахождения критических частот волн H_{p0} при $\frac{pb}{d_1+d_2} < 0{,}3$.

Численный анализ точного характеристического уравнения был произведен для низших волн структуры H_{10}, H_{20}, H_{30}. Под H_{pm}-волнами понимаем волны, которые при $h \to b$ переходят в H_{pm}-волны волновода размером $(d_1 + d_2)\,b$. На рис. 1 представлены зависимости постоянных распространения этих волн от соотношения размеров связанных волноводов при различных значениях ширины щели. Размеры одного из волноводов фиксированы $\frac{d_2}{b} = \text{const} = 2$, ширина второго волновода изменяется от 0 до 2. Щель расположена в центре общей стенки волноводов.

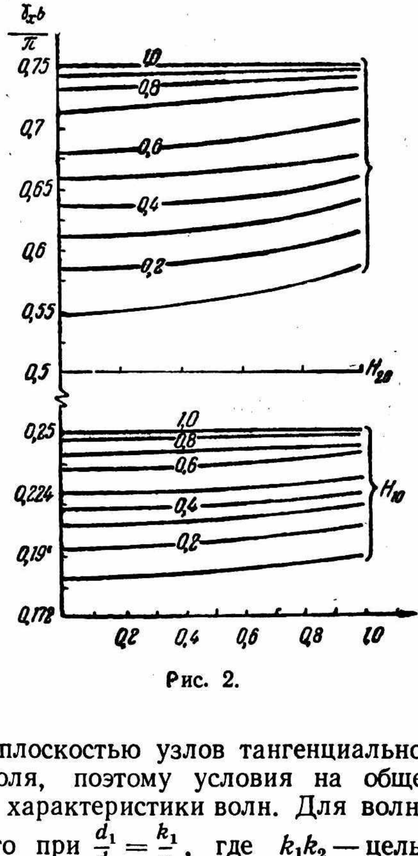

Рис. 2.

Пунктирными линиями на рис. 1 проведены кривые, вдоль которых амплитуды основной гармоники в обоих волноводах равны по величине.

В предельном случае $d_1 - 0$ структура представляет собой закрытый прямоугольный волновод шириной d_2, и рассматриваемые волны H_{10}, H_{20}, H_{30} переходят в соответствующие волны этого волновода. При $d_1 = d_2$ для волны H_{20} и $d_1 = \frac{d_2}{2}$ для волны H_{30} плоскость $x = 0$ является плоскостью узлов тангенциальной компоненты электрического поля, поэтому условия на общей стенке волноводов не влияют на характеристики волн. Для волны H_{pm} узловые точки имеют место при $\frac{d_1}{d_2} = \frac{k_1}{k_2}$, где $k_1 k_2$ — целые числа, причем $k_1 + k_2 = p$.

На рис. 2 приведена зависимость критических частот исследуемых волн от положения щели связи в общей стенке равных волноводов. Значения относительной ширины щели указаны на кривых. Чем уже щель, тем сильнее изменяются характеристики волн при смещении щели относительно центра общей стенки.

При исследовании связанных волноводов наибольший интерес представляет определение коэффициента связи $k_{\text{св}}$ или длины волны пространственных биений как функции геометрических параметров структуры и частоты. Используя найденные фазовые характеристики собственных волн, можно рассчитать величину $\Lambda_\delta = \frac{2\pi}{\Delta H}$,

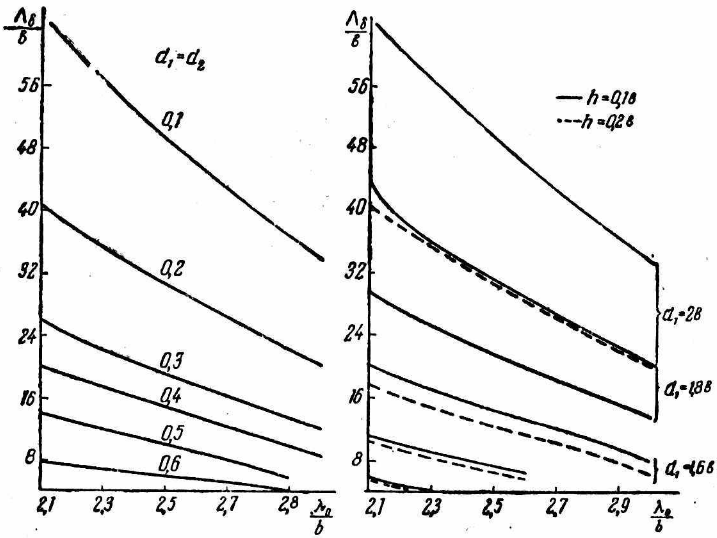

Рис. 3.

где ΔH — разность продольных постоянных распространения волн, собственных волн, соответствующих синфазному и противофазному возбуждению в каждом из волноводов основной волны. В нашем случае симфазной волной является H_{20}-волна, противофазной — H_{30}, в чем можно убедиться рассмотрев случай $d_1 = d_2$; $h \to \to 0$. По данным, приведенным на рис. 1, вычислена зависимость величины Λ_δ от частоты при различных значениях параметра $\frac{h}{b}$ для центральной щели при $d_1 = d_2$ (рис. 3,*а*) и $d_1 \neq d_2$ (рис. 3,*б*). Длина волны пространственных биений возрастает с уменьшением щели связи и с увеличением частоты. Из кривых рис. 3,*а* видно, что полная передача мощности из одного волновода в другой через продольную щель происходит на интервале $\sim 10\lambda_0$. Зависимость

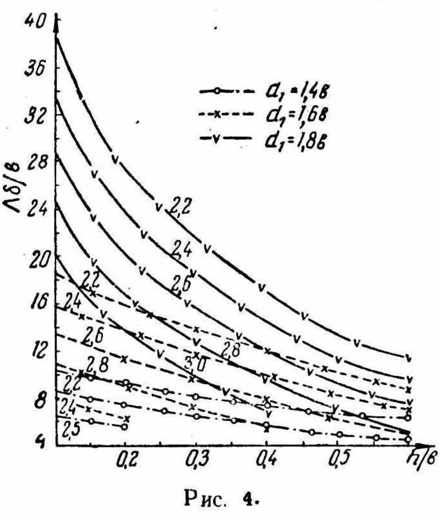

Рис. 4.

Λ_δ от изменения ширины щели при постоянной частоте (на кривых указаны значения λ_0) представлена на рис. 4 для $d_1 = 1,8b$; $\frac{d_1}{b} = 1,6$; $\frac{d_1}{b} = 1,4$.

Необходимо отметить, что одновременно с парой волн, суперпозиция которых является причиной пространственных биений, в структуре может распространяться волна H_{10}, имеющая более низкую критическую частоту. Эта волна существует только при наличии щели связи и по мере ее увеличения переходит в H^0_{10}-волну волновода размерами $(d_1 + d_2)\,b$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Белоусова, Л. П. Сальникова. Прямоугольный волновод с продольной ножевой диафрагмой. Сб. «Радиотехника», вып. 10. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969, с. 133—137.
2. В. П. Шестопалов. Метод задачи Римана-Гильберта в теории дифракции и распространения электромагнитных волн. Изд-во ХГУ, Харьков, 1971. 400 с.