

Л. Н. БАРКОВ, В. П. БРОВЯКОВ, Р. А. ВЕЧКАНОВА

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ КРИТИЧЕСКОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ П- и Н-ВОЛНОВОДОВ

Задача об определении критических длин волн П- и Н-образных (гребневых) волноводов обычно сводится к решению трансцендентных уравнений, составленных с большей или меньшей точностью. Поскольку трансцендентные уравнения точному решению не поддаются, то решение их производится приближенно численными или графическими методами, и результаты решений приводятся в виде таблиц [3], графиков [5—7, 11—13], номограмм [2]. Однако, учитывая неудобство пользования графическим и табличным материалом, целесообразно иметь аналитическую зависимость критической длины волны $\lambda_{кр}$ от геометрических размеров сечения гребневого волновода. Такие зависимости даны в работах [1, 2].

Выражение, приведенное в работе [2], имеет вид

$$\frac{\lambda_{кр}}{2l} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\left(2 \frac{a}{g} + \frac{2C_H}{\varepsilon}\right) 2 \frac{h}{g} \left(1 - \frac{a}{l}\right)}, \quad (1)$$

где a, l, g, h — размеры гребневого волновода (рис. 1, а);

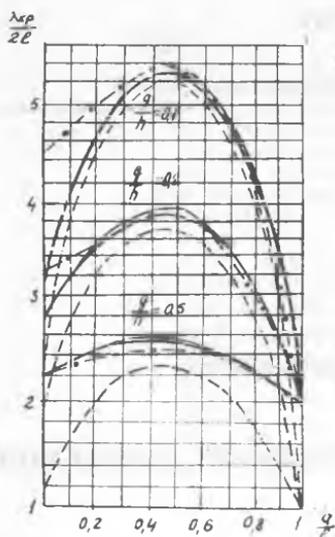
C_H — емкость неоднородности, обусловленной гребнем;

ε — абсолютная диэлектрическая проницаемость.

$$\frac{2C_H}{\varepsilon} = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{\left(\frac{g}{h}\right)^2 + 1}{\frac{g}{h}} \operatorname{arccch} \left[\frac{1 + \left(\frac{g}{h}\right)^2}{1 - \left(\frac{g}{h}\right)^2} \right] - 2 \ln \frac{4 \frac{g}{h}}{1 - \left(\frac{g}{h}\right)^2} \right\}.$$

Переходя к отношениям $\frac{a}{l}, \frac{h}{l}, \frac{g}{h}$, полностью характеризующим сечение волновода, можно записать

$$\frac{\lambda_{кр}}{2l} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\left(2 \frac{a}{l} \cdot \frac{l}{h} \cdot \frac{h}{g} + \frac{2C_H}{\varepsilon}\right) 2 \frac{h}{l} \left(1 - \frac{a}{l}\right)}. \quad (2)$$



- по формуле (2),
- по формуле (5),
- по формуле (6)
- экспериментальные кривые

δ.
Рис. 1.

На рис. 1, б приведены графики $\frac{\lambda_{кр}}{2l} = f\left(\frac{a}{l}\right)$ для различных $\frac{g}{h}$ и $\frac{h}{l} = 0,5$, рассчитанные по формуле (2).

Из рисунка видно, что формула (2) справедлива лишь для определенных соотношений $\frac{a}{l}$, $\frac{h}{l}$, $\frac{g}{h}$. В предельном случае при переходе к прямоугольному волноводу, когда

$$\frac{g}{h} \rightarrow 1,$$

$$\left| \frac{a}{l} - 0,5 \right| \rightarrow 0,5, \quad (3)$$

значения $\frac{\lambda_{кр}}{2l}$ лежат ниже уровня 2 и критическая длина волны, вычисленная при условиях (3), оказывается меньше, чем критическая длина волны прямоугольного волновода с такими же размерами, что противоречит физическому смыслу.

Указанные недостатки делают невозможным в ряде случаев применение выражения (2), например, для расчета ступенчатых переходов от прямоугольного к *H*- и *H*-волноводам.

В работе [1] приведено выражение, позволяющее вычислять критическую длину волны гребневых волноводов при вариациях геометрических размеров в больших пределах, чем при использовании формулы (1),

$$\frac{\lambda_{кр}}{2l} = \frac{\pi}{l} \left[\frac{\pi^2}{4l^2} - \frac{\frac{\pi d}{2l} \sin \frac{\pi b}{l}}{gl + d \left(b + \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi b}{l} \right)} - \left(\frac{\pi^2}{4l^2} - \frac{\frac{\pi}{2l} \sin \frac{\pi b}{l}}{b + \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi b}{l}} \right) \left(\frac{d}{h} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

или, переходя к отношениям $\frac{a}{l}$, $\frac{h}{l}$, $\frac{g}{h}$,

$$\frac{\lambda_{кр}}{2l} = 2 \left[1 - \frac{2}{1 + \frac{\pi \left(1 - \frac{a}{l} \right) + \frac{\pi}{h/g - 1}}{\sin \pi \left(1 - \frac{a}{l} \right)}} \left(1 - \frac{2}{1 + \frac{\pi \left(1 - \frac{a}{l} \right)}{\sin \pi \left(1 - \frac{a}{l} \right)}} \right) \left(1 - \frac{g}{h} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Рассчитанные по формуле (5) кривые зависимости $\frac{\lambda_{кр}}{2l} = f\left(\frac{a}{l}\right)$ для различных $\frac{g}{h}$, приведены на рис. 1 б.

Значения $\frac{\lambda_{кр}}{2l}$, вычисленные по формуле (5), не зависят от отношения $\frac{h}{l}$, что противоречит выводам, полученным как с помощью решения электродинамических уравнений [11—13], так и с помощью эквивалентных схем [2, 3], а также экспериментальным результатам [5, 6, 8].

Предлагаемое эмпирическое выражение лишено недостатков, присущих формулам (2) и (5), и дает достаточно хорошее совпадение с результатами, полученными при решении трансцендентных уравнений [11, 12, 13, 5, 8]:

$$\frac{\lambda_{кр}}{2l} = \frac{\pi}{2} \sqrt{2\gamma \left(\frac{2y}{x\gamma} + \frac{2C_n}{\pi} \right) (1-y) + 4x \left\{ \left(y - \frac{1}{2} \right)^2 \times \right.} \quad (6)$$

$$\left. \times \left[1 + \frac{16}{\pi^2} \left(\frac{1}{x} - 1 \right) + \frac{4}{\pi^2} - \frac{1}{4} \right] \right\},$$

где $x = \frac{g}{h}$, $y = \frac{a}{l}$, $\gamma = \frac{h}{l}$.

Результаты расчетов по формуле (6) для $\frac{h}{l} = 0,5$ представлены на рис. 1б. Выражение (6) может быть использовано при любых x, y, γ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Седых В. М., Дмитриев В. М., Ляпунов Н. В. «Радиотехника и электроника», № 2, 1966.
2. Tsung shan Chen. «Trans JRE», МТТ—5, № 1, 1957.
Русский перевод: «Вопросы РЛТ», № 41, 1957.
3. Справочник по волноводам. Пер. с англ. под ред. Я. Н. Фельда. Изд-во «Советское радио», 1952.
4. Жук М. С., Молочков Ю. Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. Изд-во «Советское радио», 1966.
5. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот, т. 1, Изд-во «Советское радио», 1965.
6. Родионов В. М. Сборник номограмм. Изд-во «Советское радио», 1964.
7. Ефимов И. Е. Радиочастотные линии передачи. Изд-во «Советское радио», 1961.
8. Hopfer S. «Trans. JRE», МТТ—3, № 5, 1955.
9. Поляков С. М. «Вопросы радиоэлектроники», Сер. 1, № 10, 1965.
10. Черемных М. А. «Измерительная техника», № 2, 1965.
11. Дерюгин Л. Н. «Радиотехника», № 6, 1948.
12. Фунтова Н. Ф. «Ученые записки МГПИ им. Ленина», т. 88, 1954.
13. Гальченко Н. А. и др. «Радиотехника и электроника», № 1, 1970.
14. Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники. Изд-во «Советское радио», 1967.