

УДК 621 372 09

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА ЭКРАНИРОВАННОМ РАЗРЫВЕ МНОГОМОДОВОГО ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ВОЛНОВОДА

Д. В. Виноградов, Г. Г. Денисов

На основе асимптотической теории дифракции рассмотрены различные случаи прохождения высших волн многомодового осесимметричного волновода через экранированный разрыв. Проведенное экспериментальное исследование подтвердило результаты расчетов, в частности, предположение о возможности разделения в сверхразмерном волноводе с таким разрывом волн с различной поперечной структурой.

1. В ряде электродинамических и электронных систем находят применение многомодовые волноводы с разрывами, в том числе с экранированными разрывами [1-5]. В частности, экранированный разрыв может служить селективным передающим элементом (выделять одну из волн), на его основе может быть сделан и простой селективный рефлектор.

Рассмотрим осесимметричный экранированный разрыв (рис. 1). Различные случаи дифракции волн на разрыве поясним, опираясь на лучевое описание полей (см., например, [6]), согласно которому волна с продольным волновым числом h и частотой $\omega \equiv kc$ представляется суперпозицией лучей, распространяющихся под углом Бриллюэна

$$\theta = \arccos(h/k), \quad (1)$$

причем волновые числа k и h связаны соотношением

$$k^2 = h^2 + v_{m,p}^2/a^2, \quad (2)$$

где индекс $v_{m,p}$ определяется поперечной структурой волны, a — радиус волновода. Лучи, образующие симметричные волны, проходят через ось волновода, а для несимметричных волн с азимутальным индексом $m \neq 0$ они касаются каустической поверхности — цилиндра с радиусом

$$a_m = (m/v_{m,p})a. \quad (3)$$

В дальнейшем будем предполагать, что в волноводе распространяется большое число волн, так что

$$ka \gg 1. \quad (4)$$

При излучении волны из открытого конца сверхразмерного волновода и рассеянии ее на экране возможны следующие ситуации:

а) перехват значительной части потока лучей апертурой приемного волновода после одного или нескольких отражений от экрана (рис. 1а, б);

б) перехват значительной части потока лучей апертурой коаксиального волновода (рис. 1в);

в) поток лучей попадает на кромку приемного волновода. При этом часть мощности поступает в приемный волновод, часть в коаксиальный волновод, а часть, зависящая от поляризации волны, рассеивается на кромке (рис. 1г).

Поскольку различным волновым волнам соответствуют в общем случае различные углы Бриллюэна θ , то ясно, что экранированный разрыв преодолевается ими по-разному. Выполненные на основе асимптотической теории дифракции расчеты [7] подтверждают эти качественные представления. Так, при ширине разрыва, соответствующей максимуму коэффициента передачи η_p одной из волн (рабочей), другие волны испытывают на порядок большие потери (см. табл. 1).

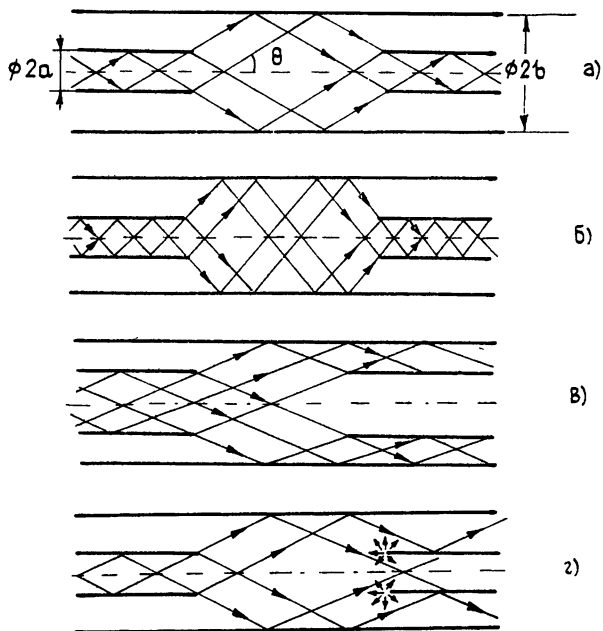


Рис. 1. Ход лучей в экранированном разрыве многомодового волновода.

В случае попадания потока лучей на кромку приемного волновода (рис. 1г) мощность волн, отраженных от разрыва назад, для волн E - и H -поляризации пропорциональна различной степени параметра ka :

$$P_{\text{отр}}/P_{\text{пад}} \sim (ka)^{-3} \quad (5)$$

для E_{0n} -волн и

$$P_{\text{отр}}/P_{\text{пад}} \sim (ka)^{-1} \quad (6)$$

— для H_{0n} -волн.

Соответственно в сверхразмерном волноводе (4) отражение волн от разрыва более существенно для волн H -типа.

Таблица 1

Расчетные значения коэффициентов передачи через экранированный разрыв для рабочей и ближайшей к ней волны H_{0n} -типа ($b/a = 2,2$)

Рабочая волна	η_p	Ближайшая волна	η_n
H_{01}	0,53	H_{02}	0,01
H_{02}	0,68	H_{03}	0,03
H_{05}	0,74	H_{04}	0,05
H_{07}	0,97	H_{06}	0,07

2. Экспериментально была исследована дифракция волн на экранированном разрыве осесимметричного волновода в двух случаях:

1) дифракция волн H_{01} и H_{02} на сверхразмерном экранированном разрыве: $ka = 14$, $kb = 30$; 22;

2) дифракция волн H_{01} , H_{31} , E_{01} на разрыве относительно небольшого поперечного сечения: $ka \approx 5$, $kb \approx 10$.

Измерения проводились в диапазоне частот $f = 35 \div 38$ ГГц и $f = 8 \div 12$ ГГц с помощью панорамных измерителей КСВ. Элементы матрицы рассеяния, в частности коэффициенты передачи на выбранной волне, определялись по измерению КСВ при селективном отражении волн с помощью конических втулок [8] или брэгговских рефлекторов [9], а также методом замещений.

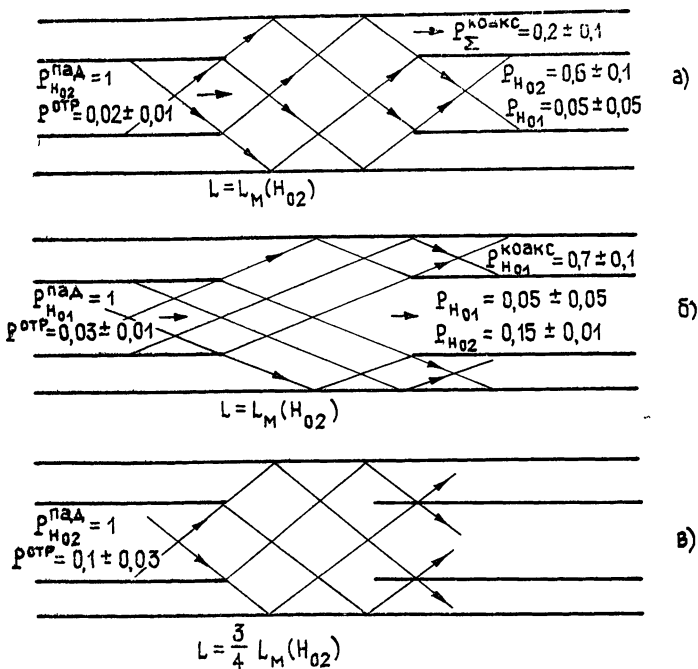


Рис. 2. Результаты экспериментального исследования экранированного разрыва ($ka \approx 14$, $kb \approx 30$). Прохождение волн H_{02} (а) и H_{01} (б) через разрыв, настроенный на передачу волны H_{02} ; отражение волн H_{02} от кромки приемного волновода (в).

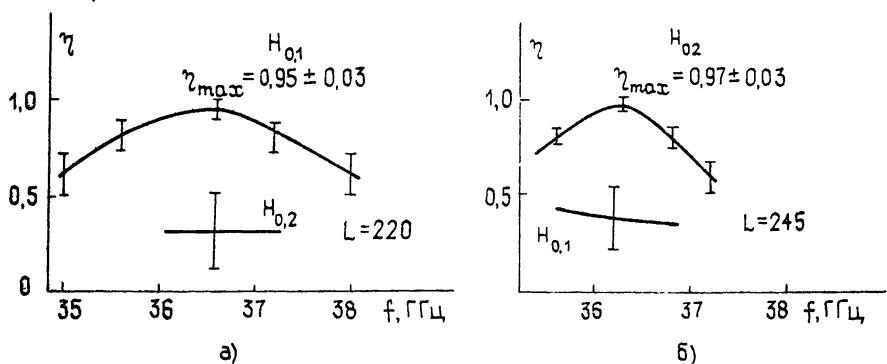


Рис. 3. Частотные свойства экранированного разрыва ($ka \approx 14$, $kb \approx 22$), настроенного на передачу волны H_{01} (а) и волну H_{02} (б).

Случай 1. Этот случай с удовлетворительной точностью рассчитывается по методике [7]. Согласно расчету экранированный разрыв с параметрами $ka = 14$, $kb = 30$ обеспечивает передачу одной из волн H_{01} или H_{02} с коэффициентом $\eta = 0,5 \div 0,7$ при малом ($\eta_{\text{п}} < 0,05$) коэффициенте передачи другой. При параметрах $ka = 14$, $kb = 22$ потери од-

ной из этих волн можно сделать весьма малыми (порядка нескольких процентов) при значительных потерях (порядка 50%) второй. Результаты экспериментального исследования этих систем обобщены на рис. 2, 3. Коэффициенты передачи и отражения волн в пределах точности измерений совпали с расчетными. Ширина разрыва, соответствующая максимальному коэффициенту передачи (L_M), отличалась от расчетной не более чем на 10%.

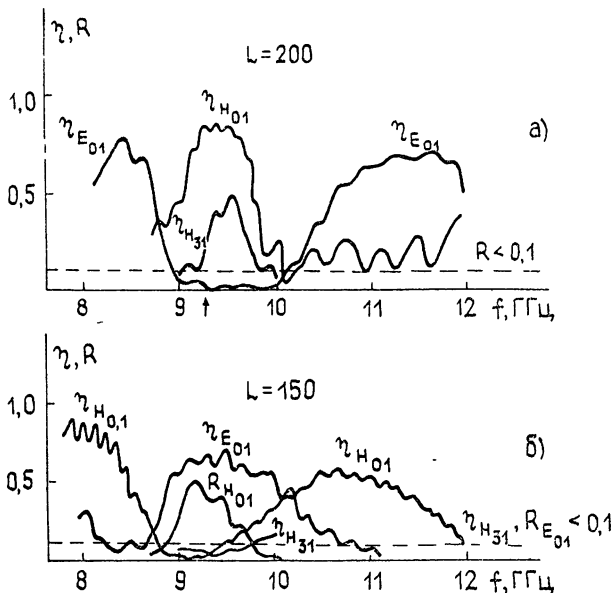


Рис 4 Частотные характеристики экранированного разрыва ($ka \approx 5$, $kb \approx 10$) при его различной ширине.

Случай 2. В случае дифракции волн на разрыве волновода относительно небольшого поперечного сечения ($ka=5$, $kb=10$) существенное влияние на коэффициенты прохождения и отражения оказывает поляризация волны. В частности, в эксперименте коэффициент отражения волны E_{01} от исследованного экранированного разрыва при любой его ширине не превышал $R \leq 0,1$, в то время как для волны H_{01} он мог достигать значений порядка $R \approx 0,5$ (рис. 4). Частотная зависимость коэффициентов прохождения для всех исследованных волн представляла чередование полос пропускания и потерь (рис. 4), которые смещались при изменении ширины разрыва. Полосы пропускания различных волн сдвинуты относительно друг друга, и на выбранной частоте коэффициенты прохождения могут сильно различаться. Так, в эксперименте, на частоте $f=9,3$ ГГц при ширине разрыва $L=200$ мм (рис. 4а) коэффициент прохождения через разрыв волны H_{01} существенно превышал коэффициенты прохождения для других волн:

$$\eta_{H_{01}} \approx 0,85, \quad \eta_{H_{31}} \approx 0,3, \quad \eta_{E_{01}} < 0,1.$$

При ширине разрыва $L=150$ мм (рис. 4б) на той же частоте наибольшим коэффициентом прохождения обладала волна E_{01} :

$$\eta_{E_{01}} \approx 0,67, \quad \eta_{H_{01}}, \eta_{H_{31}} < 0,1.$$

Таким образом, экспериментальное исследование дифракции волн на экранированном разрыве подтвердило предположение о возможности разделения в сверхразмерном волноводе волн с различной поперечной структурой. В случае симметричных волн расчет коэффициентов передачи и отражения методом асимптотической теории дифракции дает значения, близкие к полученным в эксперименте.

Авторы благодарны М. И. Петелину за внимание к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Р. Б., Матвеев Р. Ф., Мериакри В. В. Многоволновые волноводы со случайными неоднородностями — М. Сов радио, 1972. — 232 с
2. Каченеленбаум Б. З. // Радиотехника и электроника. 1963. Т. 8. № 7. С. 1111.
3. Ваганов Р. Б. // Изв. вузов. Радиофизика 1969. Т. 12 № 4. С. 630.
4. Marcatili E. A. // Bell System Techn. J. 1961. V 40. P. 185.
5. Barnett L. R., Baird J. M., Fliflet A. W., Granotstein V. L. // IEEE Trans. Microwave Theory Techn. 1980. V. MTT-28. № 12. P. 1477.
6. Боровиков В. А., Кинбер В. Е. Геометрическая теория дифракции. — М.. Связь, 1978. — 247 с.
7. Виноградов Д. В // Изв. вузов. Радиофизика 1988 Т. 31 № 1. С. 74.
8. Власов С. Н., Орлова И. М., Петелин М. И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1972. Т. 15. № 12. С. 1913.
9. Денисов Г. Г., Резников М. Г. // Изв. вузов. Радиофизика 1982. Т. 25. № 5. С. 562.

Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
2 июля 1987 г.

INVESTIGATION OF WAVE DIFFRACTION ON THE SHIELDING SLOT OF A CIRCULAR OVERMODED WAVEGUIDE

D. V. Vinogradov, G. G. Denisov

Different cases of travelling higher modes in a circular overmoded waveguide through the shielding slot are considered in terms of the asymptotic theory of diffraction. The calculations have been experimentally verified. In particular, the hypothesis is confirmed that waves with different transverse structures can be separated in over-sized waveguides with such a slot.
