

- 4 Корнилов С. А., Шулепов С. Н. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1986. Т. 6. С. 20.
- 5, Гогоберидзе Г. Б., Корнилов С. А., Шулепов С. Н. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1986. Т. 7. С. 19.
6. Корнилов С. А., Павлов В. М. // Изв. вузов. Радиофизика, 1983, Т. 26. № 3, С. 380.
7. Сметанин А. И. Диссертация. М., МГПИ, 1981.

Ленинградский электротехнический институт связи

Поступила в редакцию  
15 апреля 1988 г.

УДК 621.372.828

## К ВОПРОСУ СХОДИМОСТИ ПРОЕКЦИОННОГО ШИВАНИЯ НА СТЫКЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ

А. Н. Коваленко

В настоящее время при моделировании полосковых структур, представляющих каскадное соединение отрезков регулярных линий, широко используется метод частичных областей, или метод шивания. Многочисленные примеры применения этого метода к решению задач дифракции на полосковых структурах рассмотрены в работе [1]. Опубликованные результаты не дают достаточно полной информации о характере сходимости проекционного шивания на ступенчатых нерегулярностях микрополосковых структур, и этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

Решение вопроса сходимости численными методами связано с проблемой построения эффективных алгоритмов расчета собственных волн микрополосковых линий (МПЛ) высоких номеров, причем не только констант распространения, но и полей. Эффективный метод расчета собственных волн МПЛ предложен в [2]. Принципиальным моментом, позволившим практически осуществить схему проекционного шивания при учете большого числа собственных волн, является улучшение сходимости рядов для матричных коэффициентов.

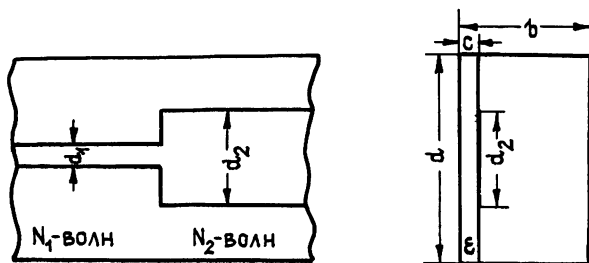


Рис. 1.

На основе предложенного в [3, 4] алгоритма создана быстродействующая программа для расчета элементов многомодовой матрицы рассеяния стыка экранированной МПЛ (рис. 1). В каждой линии учитывалось до 50 волн ( $N_1 < 50$ ,  $N_2 < 50$ ). Комплексные волны в процесс шивания не включались.

В итоге анализа численных результатов установлено, что на частотах  $f$ , удовлетворяющих условию  $f < 0,5f_{кр}$  ( $f_{кр}$  — критическая частота первой высшей волны подполосочного типа), величина действительной части коэффициентов отражения  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  и коэффициентов прохождения  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  основной волны значительно меньше мнимой и практически не зависит от числа шиваемых волн. Поэтому при определении модуля коэффициента отражения в указанном диапазоне частот можно ограничиться «шиванием» лишь по одной основной волне ( $N_1 = 1$ ,  $N_2 = 1$ ). При этом  $|S_{11}| = = |S_{22}| \approx |W_2 - W_1| / (W_2 + W_1)$ , где  $W_{1,2}$  — волновые сопротивления стыкуемых линий.

Однако одномодовое «шивание» не позволяет учесть изменение фазы коэффициентов отражения и прохождения, которое на частоте  $f = 0,5f_{кр}$  может достигать  $\sim 20$  градусов. Учет относительно небольшого числа волн (порядка 10) может привести к ухудшению результатов.

При изменении числа «шиваемых» волн  $N$  от единицы до  $N_{гр}$  имеет место резкая зависимость мнимой части коэффициентов отражения и прохождения от  $N$ . При  $N > N_{гр}$  результаты стабилизируются и медленно сходятся к предельным значениям. Значение  $N_{гр} = 10 - 30$  зависит от геометрических параметров, проницаемости подложки и частоты. Если среди волн с номерами от единицы до  $N_{гр}$  есть комплекс-

ные, их необходимо также включать в процесс «сшивания». Пропуск пары комплексных волн может изменить фазу на несколько градусов.

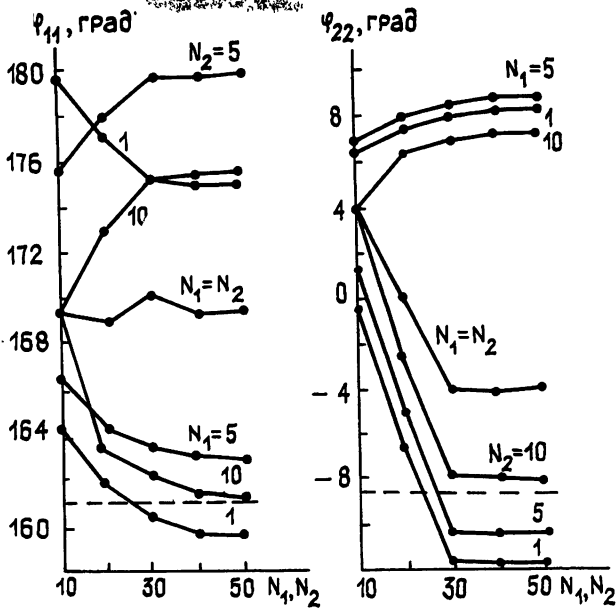


Рис. 2.

На рис. 2 представлены результаты вычисления фазы  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{22}$  ( $S_{11} = |S_{11}| \times \exp(i\varphi_{11})$ ,  $S_{22} = |S_{22}| \exp(i\varphi_{22})$ ) в зависимости от числа «сшиваемых» волн при  $a=1.1$  мм,  $b=7$  мм,  $c=1$  мм,  $d_1=1$  мм,  $d_2=5$  мм. Частота  $f=9$  ГГц, проницаемость подложки  $\epsilon=10$ . Следует отметить различный характер сходимости при  $N_1 < N_2$  и  $N_1 > N_2$  и значительное отличие (в процентном отношении) от результатов работы [5] (пунктирные прямые). При учете небольшого числа волн ( $N_1 \leq 10$ ) в первой (более узкой) линии внутренняя сходимость улучшается. При этом результаты для  $\varphi_{11}$  близки к полученным в [5].

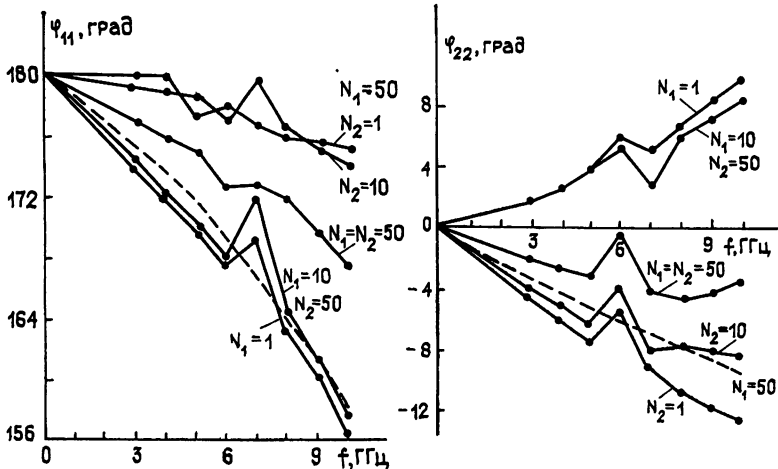


Рис. 3.

Частотные зависимости  $\varphi_{11}$  и  $\varphi_{22}$ , полученные при различных значениях  $N_1$  и  $N_2$ , представлены на рис. 3. Для сопоставления приведены результаты из [6] (пунктирные кривые). Немонотонный характер частотных характеристик объясняется переходом отдельных волн из действительной области в комплексную и наоборот. При этом фаза скачкообразно изменяется.

Рассматривался также вопрос о влиянии на сходимость размеров экрана. В табл. 1 сведены результаты, показывающие ухудшение сходимости при увеличении размера  $a$ . Отличие результатов при разных значениях  $a$  обусловлено комплексным характером спектра экранированной микрополосковой линии.

$N_1$	$N_2$	$\varphi_{11}$ , град		$N_1$	$N_2$	$\varphi_{22}$ , град	
		$a=11$ мм	$a=19$ мм			$a=11$ мм	$a=19$ мм
10	10	169,5	173,0	10	10	3,9	2,5
20	20	168,8	167,5	20	20	-0,2	4,0
30	30	170,1	171,5	30	30	-4,4	-2,0
40	40	169,4	172,3	40	40	-4,2	-4,9
50	50	169,3	172,8	50	50	-4,1	-5,5
1	10	164,5	169,1	10	1	-0,7	-0,6
1	20	161,8	164,5	20	1	-6,6	-2,2
1	30	160,5	164,1	30	1	-11,7	-9,3
1	40	159,8	163,5	40	1	-11,7	-12,4
1	50	159,7	163,2	50	1	-11,8	-13,0

Приведенные результаты, сопоставленные с полученными в [6], показывают, что при моделировании ступенчатых нерегулярностей МПЛ с использованием схемы проекционного сшивания нужно учитывать не менее 30 волн, включая комплексные, чтобы обеспечить десятипроцентную точность расчета фазы элементов матрицы рассеяния.

Медленная сходимости и необходимость включения в процесс сшивания комплексных волн существенно усложняет численную реализацию алгоритмов на основе метода сшивания. В настоящее время исследуется вопрос о практической возможности использования при моделировании полосковых структур двумерной теории неоднородностей [7]. Первые результаты моделирования разрыва МПЛ, полученные на основе этой теории, опубликованы в [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никольский В. В., Никольская Т. И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1981. Т. 24, № 12. С. 1423.
2. Коваленко А. Н. // Изв. вузов. Радиофизика. 1978. Т. 21. № 2. С. 188.
3. Коваленко А. Н. В кн.: Машинное проектирование устройств и систем СВЧ.— М.: МИРЭА, 1977. С. 89.
4. Коваленко А. Н. В кн.: Машинное проектирование устройств и систем СВЧ.— М.: МИРЭА, 1978. С. 52.
5. Koster N. L., Jansen R. H. // IEEE Trans. MTT. 1986. V. 34. № 2. P. 213.
6. Коваленко А. Н. // Радиотехника и электроника. 1984. Т. 29. № 7. С. 1408.
7. Никольский В. В. // Сб. научно-методических статей по прикладной электродинамике.— М.: Высш. школа, 1978. Вып. 2. С. 34.

Московский институт радиотехники,  
электроники и автоматики

Поступила в редакцию  
10 октября 1988 г.

УДК 621.372.8

## РЕЗОНАНСНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОГО ТРОЙНИКА

*М. В. Луханин, Л. А. Рудь*

В настоящем сообщении излагаются принципы и результаты применения нетрадиционного подхода к решению задачи согласования  $H$ -плоскостных  $T$ -образных сочленений прямоугольных волноводов в заданной части рабочего диапазона частот. В его основе лежит предварительный анализ резонансных свойств и синтез геометрии более простой структуры — скачкообразного расширения волновода конечной длины с последующим установлением таких параметров элемента связи резонансного поля расширения с перпендикулярно подключенным к нему волноводом, при которых передача мощности  $H_{10}$ -волны из бокового плеча образуемого  $T$ -сочленения в два прямых будет максимальной. В качестве элемента связи расширения с боковым волноводом выбрана симметричная диафрагма конечной толщины, что в итоге и пред-