

УДК 621.372.8

*Н. Я. МАКАРОВА, С. А. ПОГАРСКИЙ*, канд. физ.-мат. наук

**ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРОМ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В МНОГОМОДОВЫХ  
СИСТЕМАХ**

---

Современное состояние радиофизики и радиотехники характеризуется непрерывным продвижением в область все более высоких частот. В связи с этим возникает необходимость в более детальном исследовании и широком применении новых типов линий передачи и функциональных узлов на их основе. Одним из наиболее перспективных и широко применяемых видов являются многоэлементные микрополосковые линии и функциональные узлы на их основе, которые наряду с устройствами на диэлектрических волноводах и монокристаллических пленках составляют элементную базу современной микроэлектроники.

Среди всех характеристик и параметров любого из типов линий передачи наиболее существенным является знание спектра собственных волн, способных распространяться в конкретных условиях. Многоэлементные линии передачи, выполненные с помощью микрополосковой технологии, занимают в ряду канализирующих систем особое место. Такое положение обусловле-

но целым рядом причин. Главная из них — многомодовость спектра собственных квази- $T$  волн. В силу многосвязности области поперечного сечения таких линий в них принципиально возможно существование  $N-1$  собственных квази- $T$  типов колебаний, где  $N$  — число проводников, находящихся в области сечения. Здесь существенен вопрос: возможна ли реализация всего спектра волн?

Исследованиям в этой области посвящено значительное количество работ [1—5]. В частности, [2; 4] показывают, что в многоэлементной микрополосковой линии, где все проводники расположены в одной плоскости, возбуждение всего спектра колебаний (без принятия специальных мер) невозможно. Преобладающими являются синфазный и противофазный типы колебаний квази- $T$  — аналоги четного и нечетного типов колебаний для простейшего случая двух связанных микрополосковых линий [4]. В случае применения одинаковых по ширине токоведущих проводников постоянные распространения синфазного (+) и противофазного (—) квази- $T$  типов будут определяться из соотношения

$$\begin{aligned} \gamma_- = k_0 \sqrt{\beta_{0-}}; \quad \gamma_+ = k_0 \sqrt{\beta_{0+}} \left\{ 1 + \left[ \left( 1 - \frac{\beta_{1+}}{\varepsilon_r} \right)^2 + \beta_{0+} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon_r} \right)^2 \right] 2(C_1^i + C_1^j) \lambda^2 \ln(1/\lambda) \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\beta_{0\pm} = (C_{\pm}^i \pm C_{\pm}^j) / (C_1^i \pm C_1^j)$ ;  $C_{i,1}^i$ ,  $C_{i,1}^j$  — собственные и взаимные погонные емкости проводников;  $\lambda = k_0 h$ ;  $h$  — толщина подложки.

Остальные типы колебаний оказываются вырожденными, имея приблизительно одинаковые фазовые скорости, но различные токовые распределения на полосках. Для снятия вырождения необходимы специальные технологические меры и приемы, которые из-за планарного расположения проводников существенным образом могут изменить структуру возбуждаемых полей и волн, и сам вид структуры. При расположении микрополосковых проводников в нескольких плоскостях (так называемые многопроводные линии) существенным образом усложняется характер взаимодействия между токоведущими проводниками [5]. В такой линии возбуждается полный спектр собственных квази- $T$  колебаний, из которого принципиально возможно выделение любого типа колебаний и поддержание его в достаточно широком частотном диапазоне [6]. При наличии в микрополосковом тракте различных неоднородностей возможно излучение электромагнитных колебаний в окружающее пространство. Угол к плоскости, под которым излучается электромагнитная волна, а также ее поляризация существенным образом зависят от типа колебаний в самой микрополосковой линии, структура которой нарушается введенной неоднородностью. Оп-

ределенное значение имеет и характер вводимой неоднородности.

Экспериментально исследовался макет четырехпроводной микрополосковой линии, размещенной на металлическом экране специальной конструкции. На рис. 1 представлены топология и сечение макета, где 1 — металлические проводники, образующие резонатор; 2 — диэлектрическая подложка; 3 — П-об-

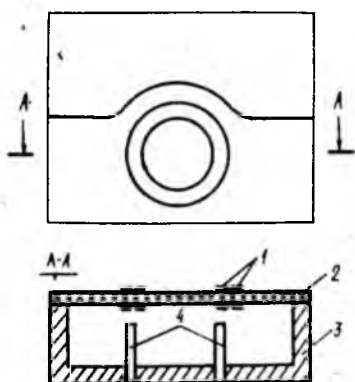


Рис. 1

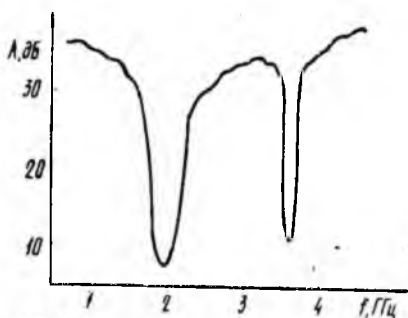


Рис. 2

разное металлическое основание; 4 — подстроечные элементы, позволяющие осуществлять гальваническую связь между микрополосковыми проводниками нижнего слоя и заземленным основанием. Возбуждение резонатора на основе многопроводной линии осуществлялось с помощью обычной микрополосковой линии, связанной через зазор с резонатором. Связь резонатора с возбуждающей его линией выбиралась в пределах 10—15 дБ — случай, когда можно пренебречь взаимным влиянием собственно исследуемого резонатора и элементов связи [1]. При отсутствии гальванического контакта элементов резонатора и подстроечных элементов конструкция, показанная на рис. 1, представляет собой полосно-заграждающий фильтр, работающий на «отсос» электромагнитной энергии из основного тракта и обеспечивающий заграждение около 35 дБ в полосе от 2 ГГц до 3,8 ГГц с неравномерностью около  $\pm 3$  дБ [6]. Однако достаточно большие пульсации АЧХ в полосе заграждения (даже на уровне 30 дБ) заставляют искать пути выравнивания АЧХ, в частности, с помощью введения в область взаимодействия подстроечных элементов. Использованный способ возбуждения резонатора на многопроводной линии позволяет предполагать возможность возбуждения всего спектра колебаний квази-Т. Это так и происходит, однако, вследствие конструктивной асимметрии устройства (отсутствие экрана сверху для обеспечения возможного расположения полупроводниковых, ферритовых и других элементов и доступа к области взаимодействия) усло-

вия для возбуждения всех квази- $T$  типов оказываются неодинаковыми, чем, собственно, и объясняются пульсации амплитуды в полосе заграждения. Подстроечными элементами (штырями с изменяемой глубиной погружения) при небольшом введении до 30 % их длины удается выровнять АЧХ. При дальнейшем введении их в область взаимодействия происходит «глушение» части типов колебаний квази- $T$ , а при наличии гальванического контакта одного из микрополосковых проводников с заземленным основанием — полное подавление этих типов колебаний. Наибольшей устойчивостью обладают типы колебаний, обладающие симметрией относительно какой-либо из координатных плоскостей. Типы колебаний квази- $T$ , не обладающие такой симметрией, подавляются в первую очередь. На рис. 2 представлена кривая АЧХ для случая, когда оба штыря полностью введены в область взаимодействия и обесценивают гальванический контакт обоих нижних элементов резонатора с заземленным основанием. В данном случае (см. рис. 1) спектр колебаний квази- $T$  состоит из четырех типов колебаний: симметрично-несимметричных, несимметрично-симметричных (симметрия или несимметрия структуры полей типов колебаний рассматривается относительно координатных плоскостей) и двух типов колебаний квази- $T$ , не обладающих ни симметрией, ни асимметрией относительно координатных плоскостей. Именно два последних типа и оказались подавленными в результирующем спектре колебаний, о чем свидетельствуют только два провала в АЧХ. Типы колебаний, обладающие какой-либо симметрией, имеют максимальную разницу фазовых скоростей, а следовательно, максимально разнесены на частотной оси. Замыкание на заземленную плоскость только одного штыря позволяет сохранить один из этих типов.

Таким образом, проведенные исследования показали реальную возможность управления сложным спектром электромагнитных колебаний, возбуждаемых в многопроводных электродинамических системах, и возможность создания управляемых функциональных СВЧ элементов с достаточно широкими функциональными возможностями, в частности электрически управляемых фильтров, установив вместо штырей, например  $p-i-n$  диоды.

**Список литературы:** 1. *Trougton P.* Design of complex microstrip circuits by measurement and computer modeling//Proc. IEE. 1971. 114, N 914. P. 469—471. 2. *Wolf I.* Microstrip bandpass filter using degenerated mode of a microstrip ring resonator//Electron. Lett. 1978. 8, N 12. P. 302—303. 3. *Кошевой Г. И., Сологуб В. Г.* Расчет характеристик основной квази- $T$  волны в системе из микрополосковых линий с узкими полосками//Радиотехника и электроника, 1985. 30, № 3. С. 455—457. 4. *Кошевой Г. И., Сологуб В. Г.* Об электромагнитном взаимодействии между элементами периодической системы несимметричных полосковых линий//Радиотехника и электроника. 1980. 25, № 12. С. 2542—2547. 5. *Погарский С. А., Сапрыкин Н. И., Седых В. М.* Экспериментальное исследование свойств многопроводной микрополосковой линии передачи//Радиотехника. 1983. Вып. 65. С. 40—42. 6. *Литвиненко Л. Н.,*

*Погарский С. А.* Экспериментальное исследование свойств некоторых типов многопроводных микрополосковых линий. X., 1985. 14 с. (Препринт/АН УССР. Ин-т радиоэлектроники; 1—290).

*Поступила в редколлегию 15.05.87*