

УДК 621.372

## КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЯЗАННЫХ ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ С СИЛЬНО НЕУРАВНОВЕШЕННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СВЯЗЬЮ

Н. Д. МАЛЮТИН, А. Н. СЫЧЕВ

Рассчитаны первичные параметры связанных полосковых линий, имеющих разную физическую длину в области связи. Расчет проведен в квазистатическом приближении путем декомпозиции полосковой структуры по двум ортогональным осям, вдоль которых распространяются квази- $T$ -волны.

Связанные полосковые линии (СПЛ) с неуравновешенной электромагнитной связью находят применение для построения разнообразных СВЧ устройств [1, 2]. Неравенство фазовых скоростей нормальных волн в СПЛ такого типа позволяет реализовывать дополнительные функциональные возможности устройств, которые не характерны для связанных линий с уравновешенной связью [3].

Количественной характеристикой неуравновешенности связи является коэффициент  $k_\theta = \gamma_2 / \gamma_1$ , где  $\gamma_{1,2}$  — коэффициенты распространения нормальных волн в СПЛ [3]. Коэффициент  $k_\theta$  дополняет систему относительных первичных параметров, состоящую, в частности, из коэффициентов емкостной и индуктивной связи  $k_c = C_{12} / \sqrt{C_{11} C_{22}}$ ;  $k_L = L_{12} / \sqrt{L_{11} L_{22}}$ , где  $C_{ij}$ ,  $L_{ij}$  — емкостные и индуктивные коэффициенты матриц  $C$ ,  $L$ .

Связанные полосковые линии, характеризующиеся  $k_\theta \neq 1$ , обычно содержат в поперечном сечении полосковых линий неоднородный диэлектрик, что позволяет получать  $3 > k_\theta > 0,3$ . Структура СПЛ (рис. 1) позволяет достигать увеличения верхнего предела изменения  $k_\theta$  за счет конструкции СПЛ. Путем варьирования исходными параметрами конструкции (рис. 1) можно решить специальную задачу управления степенью неуравновешенности связи.

Рассмотрим расчет первичных параметров связанных линий (рис. 1) в предположении, что в них распространяются квази- $T$ -волны [4].

В общем случае меандровую линию можно рассматривать как  $n$ -проводную, каждая полоска которой связана со сплошной полоской, имеющей номер  $n+1$ , и соединена перемычками с соседними полосками. На частотах, не превышающих 1 ГГц, при длине соседних полосок меандрового проводника 6...8 мм, как показали экспериментальные исследования, можно без существенного ухудшения точности расчета

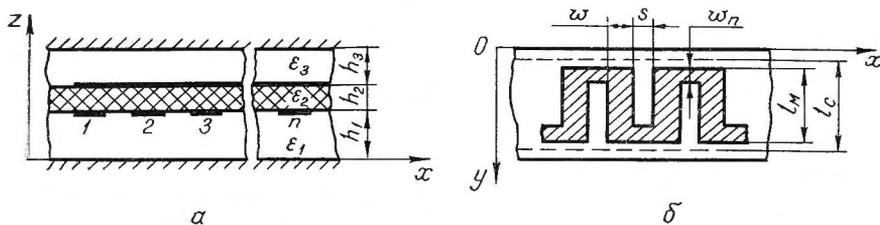


Рис. 1

параметров значительно упростить расчетную схему и перейти от  $n+1$ -проводной системы к двухпроводной с соответствующими эквивалентными первичными параметрами в виде матриц  $C$ ,  $L$  размером  $2 \times 2$ . Основная посылка такого упрощения — пренебречь дисперсией за счет взаимодействия соседних полосок меандрового проводника, считая, что картина волнового процесса в основном зависит от связи линий на участке длиной  $l$  (см. рис. 1). Подобный подход к расчету первичных параметров в квазистатическом приближении использован, например, в работе [5].

Обозначим размеры СПЛ следующим образом;  $l_M$  — длина полосок меандровой линии в направлении оси  $y$ ;  $l$  — длина связанных линий в направлении оси  $x$ ;  $l_c$  — ширина сплошной полоски;  $\omega$  — ширина полосок меандрового проводника;  $\omega_n$  — ширина перемычек;  $s$  — зазор между полосками;  $h_i$  — толщины диэлектрических слоев ( $i=1, 2, 3$ );  $\epsilon_i$  — относительные диэлектрические проницаемости соответствующих слоев диэлектрика ( $i=1, 2, 3$ ).

Декомпозицию полосковой структуры проведем, выделив по средней линии участки меандрового проводника с ортогональными направлениями токов проводимости (рис. 1б). При расчете погонных емкостных коэффициентов  $C_{ij}$  поступим следующим образом. Найдем суммарные частичные емкости меандровой линии и сплошной полоски в направлениях  $x$  и  $y$ , считая взаимодействие полосок меандра по напряжению синфазным, а затем вычислим  $C_{ij}$  через частичные емкости структуры. При расчете индуктивностей используем то обстоятельство, что проводники меандровой линии, ориентированные вдоль оси  $y$ , не имеют связи со сплошной полоской по магнитному полю в направлении оси  $x$ . Это, однако, не означает равенства нулю коэффициента индуктивной связи  $L_{12}$ , поскольку структура имеет проводники (перемычки меандровой линии и сплошную полоску), ориентированные вдоль оси  $x$ . Воспользуемся также возможностью определения погонной индуктивности регулярной части меандрового проводника на модели, соответствующей противофазному возбуждению соседних полосок по напряжению, так как в реальных рассматриваемых линиях указанные полоски по току возбуждаются также противофазно. Погонные параметры в направлении оси  $x$  при этом определим как суммарные емкости и индуктивности в ортогональных направлениях, отнесенные к длине сплошной полоски  $l$ , совпадающей с длиной меандровой линии в направлении оси  $x$ .

Представим погонные параметры в виде сумм матриц

$$C = C_x + C_y; \quad (1) \quad L = L_x + L_y, \quad (2)$$

в которых матрицы  $C_x$ ,  $L_x$  составлены из емкостных и индуктивных

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ивашка В. П.* Фазовые и энергетические характеристики связанных микрополосковых линий // Литовский физич. сб.— 1980.— Т. 20.— № 2.— С. 85—93.
2. *Воробьев П. А., Малюгин Н. Д., Федоров В. Н.* Квази-Т-волны в устройствах на связанных полосковых линиях с неуравновешенной электромагнитной связью // Радиотехника и электроника.— 1982.— Т. 27.— № 9.— С. 1711—1718.
3. *Аристархов Г. М., Вершинин Ю. П.* Анализ фильтров на связанных линиях с неравными фазовыми скоростями // Радиотехника и электроника.— 1983.— Т. 28.— № 9.— С. 1714—1724.
4. *Нефедов Е. И., Фиалковский А. Т.* Полосковые линии передачи.— М.: Наука, 1980.— 312 с.
5. *Исследование периодических неоднородностей в полосковых и микрополосковых линиях / А. М. Лерер, В. М. Лерер, В. Д. Рязанов, В. А. Следков // Радиотехника и электроника.— 1984.— Т. 29.— № 10.— С. 1877—1886.*
6. *Иоссель Ю. Я., Кочанов Э. С., Струнский М. Г.* Расчет электрической емкости.— Л.: Энергоиздат, 1981.— 288 с.

Поступила в редакцию после переработки 25.08.86.