



# РАДИОТЕХНИКА

**1984**  
**2**

рования параметр  $g_1$  выбран на рис. 1, 3 в качестве аргумента. Такое построение позволяет вследствие слабой зависимости  $\delta_i$  от  $g_1$  ориентировочно оценить  $\delta_i$  до проведения основных расчетов.

При критическом режиме и  $\lambda > 0,47$  у функции  $\delta_i = f(g_1, \lambda, a)$  появляются две особенности — неоднозначность и наличие минимального значения  $g_1$  для каждого  $\lambda$ , порожденные, очевидно, специфическим выбором системы параметров. Стрелками на рис. 2 показано направление увеличения  $\tau$ .

Иногда при критическом режиме задается допустимая величина  $\delta_{н.}$ . Тогда из (1) можно исключить зависимость от  $g_1$  и производить точный расчет  $\delta_i$ , пользуясь рис. 4.

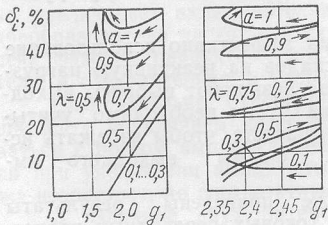


Рис. 3

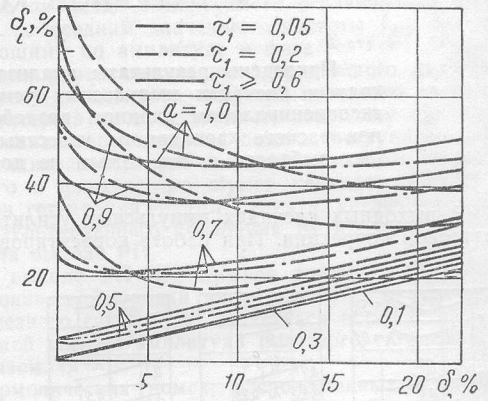


Рис. 4

Все графики рис. 1—4 построены для следующих диапазонов изменения параметров, определенных из анализа практически встречающихся случаев:  $a \in (0,1 \div 1)$ ;  $g_1 \in (0 \div 2,5)$ ;  $\delta_{н.} = 5, 10, 20\%$  (для колебательного режима);  $\lambda = 0,1; 0,25; 0,5; 0,75$ .

На рис. 4  $r_1 = \lambda t_{1y}$ , где  $t_{1y}$  — нормированное время установления фронта. Связь между  $t_{1y}$  и  $t_y$  дана в [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаханян Т. С. Линейные импульсные усилители.— М.: Связь, 1970.
2. Цыкин Г. С., Рында А. И. Радиотехника, 1972, т. 27, № 5.
3. Баланов А. Т., Волосков А. В., Волоскова Н. М. и др. Электросвязь, 1977, № 3.

Поступила после доработки 11 апреля 1983 г.

УДК 621.372.061

В. В. КОНИН

### РАСЧЕТ МОСТОВЫХ УСТРОЙСТВ СВЧ

Рассматриваются мостовые устройства (МУ) СВЧ кольцевого типа с длиной кольца  $1,5\Lambda_0$ ;  $\Lambda_0$ ;  $0,5\Lambda_0$ . Выводятся формулы для расчета волновых сопротивлений участков кольца МУ с требуемым распределением мощности и произвольными сопротивлениями плеч. Приводятся схемы МУ с плечами, включенными в кольцо по параллельной, последовательной и смешанной схемам.

Мостовые устройства (МУ) применяются в интегральных схемах (ИС) СВЧ. Выполнение ИС СВЧ на микрополосковой, щелевой, копланарной линиях и их комбинациях позволяет полнее реализовать такие свойства МУ, как заданное деление мощности, трансформацию сопротивлений, развязку при включении плеч в кольцевую часть моста параллельно или последовательно. МУ можно использовать в таких режимах, когда к плечам подключены нагрузки с произвольным активным сопротивлением, например, линии передачи, полупроводниковые элементы, резисторы и т. д. Данные по расчету МУ, работающих в таких условиях, отсутствуют.

В настоящей работе для МУ, плечи которых являются произвольными активными нагрузками, определены волновые сопротивления участков кольца, обеспечивающие

требуемое деление мощности, идеальное согласование плеч и развязку на средней частоте. Рассчитываются наиболее употребительные МУ: «гибридное кольцо» длиной  $1,5\lambda_0$  [1] (рис. 1, а-д), симметричный кольцевой мост [1, 2] (рис. 1, е), симметричный мост с последовательным включением плеч (рис. 1, ж), двухшлейфный ответвитель [1]

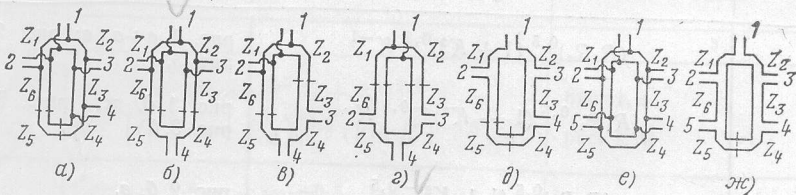


Рис. 1

(рис. 2, а), ответвители с последовательно и параллельно включенными плечами (рис. 2, б-е), кольцевой делитель (U-мост [1]) (рис. 3, а), кольцевой делитель с последовательными боковыми плечами (рис. 3, б).

МУ общего вида представляет собой линию, свернутую в кольцо (ЛСК), выполненную из каскадно включенных отрезков линий длиной  $\lambda_0/4$  ( $\lambda_0$  — длина волны в линии передачи, соответствующая частоте). На расстояниях, кратных  $\lambda_0/4$ , в

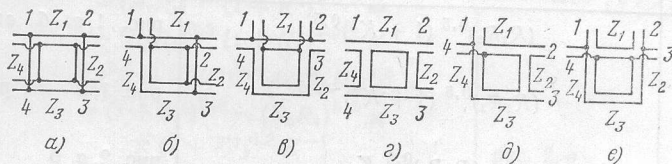


Рис. 2

ЛСК включаются линии передачи (плечи), являющиеся вводами или выводами энергии. На рис. 1—3 цифрами 1—5 обозначены плечи МУ с сопротивлениями  $R_1—R_5$ , волновые сопротивления четвертьволновых отрезков ЛСК обозначены  $z_1—z_6$ .

Принцип работы МУ заключается в следующем. При возбуждении моста с любого из плеч по СКЛ распространяются две волны навстречу друг другу и в СКЛ устанавливается стоячая волна. Если заданы сопротивления  $R_1—R_5$ , то можно выбрать такие  $z_1—z_6$ , при которых напряжение или ток в определенных узлах стоячей волны равны нулю. В сечения СКЛ, в которых ток равен нулю, включаются последовательные плечи, а в сечения, в которых напряжение равно нулю, включаются параллельные плечи. Плечо, в котором напряжение (ток) равно нулю, называется развязанным. Для схем (рис. 1—3) развязанные плечи 1 и 4, 2 и 3, за исключением МУ рис. 1, е, ж, для которых четвертое плечо заменено двумя — 4 и 5. При подаче энергии в плечо 1 (4) она распределяется между плечами 2 и 3 для схем рис. 1—3, при подаче энергии в плечо 2 (3) она распределяется между плечами 1 и 4 для схем рис. 1, а-д и рис. 2, 3; при подаче энергии в плечо 2 (3) схемы рис. 1, е, ж она распределяется между плечами 1 и 5, 4.

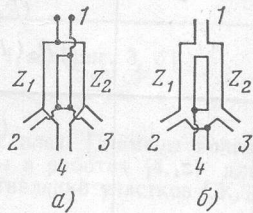


Рис. 3

Формулы для расчета  $z_1—z_6$  получены методом [2], обобщенным на МУ с последовательно включенными плечами. СКЛ разрывалась в сечении, к которому подключено развязанное плечо. Концы СКЛ, появляющиеся в месте разрыва, нагружались короткозамкнутыми нагрузками (для сечения, в котором напряжение равно нулю) или нагрузками с бесконечно большим сопротивлением (для сечения, в котором ток равен нулю). В результате получалась разветвленная на два канала цепь. Далее, используя свойства четвертьволнового трансформатора, короткозамкнутой четвертьволновой и разомкнутой полуволновой линии, методом свертывания [3] рассчитывали входное сопротивление разветвленной цепи и приравнивали входному сопротивлению плеча, с которого возбуждалось МУ. Применяя подобную операцию для всех плеч и решая систему уравнений, определяли сопротивления  $z_1—z_6$  через сопротивления плеч  $R_1—R_5$  и коэффициент деления по мощности  $K^2$ .

Расчетные формулы для схем рис. 1—3 сведены в таблицу.

В таблице для схем рис. 1—3  $K = |S_{21}|/|S_{31}|$ , где  $S_{21}$ ,  $S_{31}$  — коэффициент матрицы рассеяния МУ.

Приведенные ниже соотношения позволяют рассчитать волновые сопротивления всех участков МУ в зависимости от требуемого деления мощности и заданных или

Сопrotивление	Формула	Схема
1	2	3
$z_1$	$(R_1 R_2)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} K^{-1}$ $(R_1 R_2)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K +$ $(R_2 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5}$ $(R_1 R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5}$ $(R_2 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$ $(R_1 R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$	<p>рис. 1, а÷в, е; рис. 2, з÷е; рис. 3, а</p> <p>рис. 1, <math>\partial</math> ж; рис. 2, а÷в; рис. 3, б</p> <p>рис. 2, б, в,</p> <p>рис. 1, ж; рис. 2, в; рис. 3, б</p> <p>рис. 2, д, е</p> <p>рис. 2, е</p>
$z_2$	$(R_1 R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$ $(R_1 R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} +$ $(R_2 R_3)^{0,5} K$ $(R_2 R_3)^{0,5} K^{-1}$	<p>рис. 1, а, б, е; рис. 3, а</p> <p>рис. 1, д, ж; рис. 3, б</p> <p>рис. 2, а, б</p> <p>рис. 2, з, д</p>
$z_3$	$(R_3 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} K^{-1}$ $(R_3 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K +$ $(R_3 R_2)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} K^{-1}$ $[R_3 (R_4 + R'_{32})]^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K$	<p>рис. 1, а, рис. 2, 2</p> <p>рис. 1, <math>\partial</math>; рис. 2, а, <del>ж</del></p> <p>рис. 1, е</p> <p>рис. 1, ж</p>
$z_4$	$(R_3 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K$ $(R_1 R_4)^{0,5} K$ $(R_1 R_4)^{0,5} K^{-1}$	<p>рис. 1, в, з</p> <p>рис. 2, а</p> <p>рис. 2, е</p>
$\frac{z_6 z_4}{z_5}$	$(R_2 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$ $(R_2 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} +$	<p>рис. 1, а</p> <p>рис. 1, <math>\partial</math></p>
$z_6/z_5$	$(R_2/R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$	<p>рис. 1, б, в</p>
$\frac{z_4/z_3}{z_2/z_3}$	$(R_4/R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K$ $(R_1/R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$	<p>рис. 1, б = <math>z_2/z_3</math></p> <p>рис. 1, в, з</p>
$z_5$	$(R_2 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5}$	<p>рис. 1, з</p>
$z_1/z_6$	$(R_1 R_2)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} K^{-1}$	<p>рис. 1, з</p>

Сопrotивление	Формула	Схема
1	2	3
$z_8$	$(R_2 R_{31})^{0,5} (1 + K^2)^{0,5}$ $[R_2 (R_5 + R'_{31})]^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5}$	рис. 1, e рис. 1, ж
$z_3/z_4$	$(R_3/R_1)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} = (R_3/R_4)^{0,5} \times$ $\times (1 + K^2)^{-0,5} K$ $(R_3/R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} K^{-1} = (R_1 R_3)^{0,5} \times$ $\times (1 + K^2)^{-0,5} = (R_3 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K$	рис. 2, б рис. 2, д
$\frac{z_3 z_4}{z_3}$	$(R_1 R_2 R_3)^{0,5} (R_2 + R_3)^{-0,5} = (R_3 R_1 R_4)^{0,5} \times$ $\times (R_1 + R_4)^{-0,5} = (R_2 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} =$ $= (R_1 R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} =$ $= (R_3 R_4)^{0,5} (1 + K^2)^{-0,5} K$ $(R_1 R_3)^{0,5} (1 + K^2)^{0,5} = (R_2 R_4)^{0,5} \times$ $\times (1 + K^2)^{0,5} = (R_3 R_4)^{0,5} \times$ $\times (1 + K^2)^{0,5} K^{-1}$	рис. 2, e <i>и т.д.</i> рис. 2, в
$R_{31}$	$R_5 R_4 (z_5/z_4)^2 [R_5 + R_4 (z_5/z_4)^2]^{-1}$	рис. 1, e
$R_{32}$	$R_4 R_5 (z_4/z_5)^2 [R_4 + R_5 (z_4/z_5)^2]^{-1}$	рис. 1, e
$R'_{31} [R_4]$	$R_4 (z_5/z_4)^2, [R_2 + R_3]$	рис. 1, ж, [рис. 3, а]
$R'_{32} [R_4]$	$R_5 (z_4/z_5)^2, [R_2 R_3 (R_2 + R_3)^{-1}]$	рис. 1, ж, [рис. 3, б]

выбранных из конструктивных соображений сопротивлений их плеч. Примеры конструкций МУ, выполненных по большинству схем рис. 1—3, даны в работах [4, 5] для случаев  $K=1$ , равных сопротивлений плеч и одинаковых сопротивлений участков СКЛ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройства сложения и распределения мощности высокочастотных колебаний / Под ред. З. И. Моделя. — М.: Сов. радио, 1980.
2. Пылакив В. А. Радиотехника, 1973, т. 28, № 9.
3. Трохименко Я. К. Метод обобщенных чисел и анализ линейных цепей. — М.: Сов. радио, 1972.
4. Калина В. Г. Электронная техника, серия I, 1982, вып. 10 и 11.
5. Калина В. Г. Электронная техника, серия I, 1983, вып. 2.

Поступила 25 мая 1983 г.