

Л. Е. МАЛЫШЕНКО, В. Т. ЦАРЕНКО, канд. техн. наук

КОММУТАТОР МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

В радиоприемной, антенно-фидерной и измерительной технике широко применяются волноводные коммутаторы (ВК) для решения задач адаптации радиоприема, формирования диаграмм направленности с заданными характеристиками, измерений сигналов СВЧ по методу сравнения с эталоном.

Опишем результаты теоретического анализа и экспериментального исследования двухканального волноводного коммутатора миллиметрового диапазона, который выполнен на базе симметричного Y -соединения в H -плоскости и двух $p-i-n$ диодных переключающих модулей (ПМ).

Данный ВК явился ячейкой, взятой за основу при создании многоканальных коммутаторов. Передача сигнала P_1 в ВК из генераторного плеча 1 в одно из плеч 2 или 3 (рис. 1) определяется электрическим состоянием ПМ в данном плече. Так, при состояниях режимов отражения ПМ в плече 2 и согласования ПМ в плече 3 сигнал P_1 с минимальными потерями поступает в плечо 3, а мощность сигнала, отраженная во втором плече, направляется Y -соединением в плечо 3. При изменении состояния ПМ на противоположное сигнал P_1 поступает в плечо 2.

Конструктивно каждый из ПМ выполнен в виде волноводной трехщелевой диафрагмы с вмонтированными в нее $p-i-n$ диодами

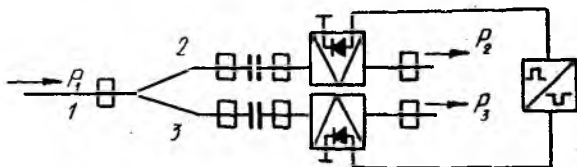


Рис. 1

2А513А. Размеры щелей и место расположения в них диодов рассчитывались и экспериментально корректировались исходя из требований реализации двух резонансных состояний: последовательного резонанса при прямосмещенных диодах и параллельного в случае использования обесточенных диодов. Причем в состоянии последовательного резонанса ПМ представляет сильно отражающую неоднородность, в состоянии параллельного — хорошо согласованную с волноводным трактом.

Известно, положение отражающих плоскостей, соответствующих включенным ПМ в плечи Y -соединения, существенно определяет основные качественные характеристики ВК — потери прямого

прохождения L_0 , развязку выходных плеч L_{3M} и входной коэффициент стоячей волны $K_{свн}$ [1].

Оптимальное местоположение ПМ относительно центра симметрии Y-соединения находим с учетом наиболее вероятной зоны разброса коэффициентов отражения ПМ, зависящей от дисперсии параметров серийных $p-i-n$ диодов и неточности индивидуальной настройки каждого из модулей.

Местоположение ПМ оцениваем через посредство длин оптимальных добавок $\Delta l_2, \Delta l_3$ к длинам выходных плеч l_2, l_3 , которые принимались кратными четверти длины волны в волноводе для средней частоты диапазона: $l_2 = l_3 = (2n-1)\lambda_{вср}/4$.

В основу анализа положена связь матрицы собственных значений векторов выходных составляющих поля с матрицей их входных значений и матрицей рассеяния нагруженного Y-соединения [2; 3]:

$$\begin{bmatrix} \dot{b}_1 \\ \dot{b}_2 \\ \dot{b}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \dot{a}_1 \\ \dot{a}_2 \\ \dot{a}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\alpha} \dot{\gamma} \dot{\gamma}' \\ \dot{\gamma}' \dot{\alpha} \dot{\gamma} \\ \dot{\gamma} \dot{\gamma}' \dot{\alpha} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} &= (s^1 + s^2 + s^3)/3; \quad \dot{\gamma} = (s^1 + s^2 e^{j2\pi/3} + s^3 e^{-j2\pi/3})/3; \\ \dot{\gamma}' &= (s^1 + s^2 e^{-j2\pi/3} + s^3 e^{j2\pi/3})/3; \end{aligned}$$

s^1, s^2, s^3 — собственные значения векторов матрицы $[S]$, равные 1, $e^{j2\pi/3}$, $e^{-j2\pi/3}$ соответственно

$$[S] = \begin{bmatrix} \dot{\alpha} \dot{\gamma} \dot{\gamma}' \\ \dot{\gamma}' \dot{\alpha} \dot{\gamma} \\ \dot{\gamma} \dot{\gamma}' \dot{\alpha} \end{bmatrix}.$$

Из равенства (1) вытекает система линейных алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} \dot{b}_1 &= \dot{\alpha} \dot{a}_1/3 + \dot{\gamma} \dot{a}_2/3 + \dot{\gamma}' \dot{a}_3/3; \quad \dot{b}_2 = \dot{\gamma}' \dot{a}_1/3 + \dot{\alpha} \dot{a}_2/3 + \dot{\gamma} \dot{a}_3/3; \\ \dot{b}_3 &= \dot{\gamma} \dot{a}_1/3 + \dot{\gamma}' \dot{a}_2/3 + \dot{\alpha} \dot{a}_3/3. \end{aligned} \quad (2)$$

Частным решением системы (2) при учете изотропности заполнения ($s^2 = s^3$, $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}'$) является выражение для входного коэффициента отражения

$$\dot{\Gamma}_{вх} = \dot{b}_1/\dot{a}_1 = \dot{\alpha}/3 + (\dot{a}_{12}/\dot{\Gamma}_2 + \dot{a}_{13}/\dot{\Gamma}_3) \dot{\gamma}/3. \quad (3)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \dot{a}_{12} &= \frac{\dot{\gamma} \dot{\Gamma}_2 (3\dot{\Gamma}_3 - \dot{\alpha} + \dot{\gamma})}{(3\dot{\Gamma}_3 - \dot{\alpha})(3\dot{\Gamma}_2 - \dot{\alpha}) - \dot{\gamma}^2}; \\ \dot{a}_{13} &= \frac{\dot{\alpha} \dot{\Gamma}_3 (3\dot{\Gamma}_2 - \dot{\alpha} + \dot{\gamma})}{(3\dot{\Gamma}_3 - \dot{\alpha})(3\dot{\Gamma}_2 - \dot{\alpha}) - \dot{\gamma}^2}. \end{aligned}$$

После несложных преобразований выражение (3) приводим к виду

$$\dot{\Gamma}_{вх} = \frac{\dot{C}_1 \dot{\Gamma}_2^2 \dot{\Gamma}_3 - \dot{C}_2 \dot{\Gamma}_2 \dot{\Gamma}_3 + \dot{C}_3 \dot{\Gamma}_3 - \dot{C}_4 \dot{\Gamma}_2^2 + \dot{C}_5 \dot{\Gamma}_2 + \dot{C}_6}{\dot{D}_1 \dot{\Gamma}_2^2 \dot{\Gamma}_3 - \dot{D}_2 \dot{\Gamma}_2 \dot{\Gamma}_3 + \dot{D}_3 \dot{\Gamma}_3 - \dot{D}_4 \dot{\Gamma}_2^2 + \dot{D}_5 \dot{\Gamma}_2 + \dot{D}_6}, \quad (4)$$

в котором $\dot{C}_1, \dots, \dot{C}_6, \dot{D}_1, \dots, \dot{D}_6$ — константы, зависящие от $\dot{\gamma}, \alpha; \dot{\Gamma}_2 = |\dot{\Gamma}_2| e^{i(2\beta\Delta l_2 - \pi)}$; $\dot{\Gamma}_3 = |\dot{\Gamma}_3| e^{i(2\beta\Delta l_3 - \pi)}$ — коэффициенты отражения от выходных плеч ВК, нагруженных на реальные ПМ, на средней частоте рабочего диапазона f_0 .

Эффективность функционирования ВК обычно достигается при использовании ПМ с идентичными характеристиками, поэтому целесообразно принять условие $\Delta l_2 = \Delta l_3 = \Delta l$.

Строгое решение задачи о нахождении добавок $\Delta l_2 = \Delta l_3$ заключается в минимизации выражения (4), как функционала искомой переменной Δl . Однако в аналитическом виде решение такой задачи громоздко, что создает трудности при практической реализации.

Рассмотрим приближенное решение задачи в предположении $\dot{\Gamma}_{вх} = 0$. Тогда из выражения (4) получаем уравнение

$$\dot{C}_1 \dot{\Gamma}_2^2 \dot{\Gamma}_3 - \dot{C}_2 \dot{\Gamma}_2 \dot{\Gamma}_3 + \dot{C}_3 \dot{\Gamma}_3 - \dot{C}_4 \dot{\Gamma}_2^2 + \dot{C}_5 \dot{\Gamma}_2 + \dot{C}_6 = 0,$$

которое в целях численного анализа удобнее привести к кубическому: $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$, где $x = \cos 2\beta\Delta l$.

Значения добавок Δl , рассчитанные для варьируемых значений $|\dot{\Gamma}_2|, |\dot{\Gamma}_3|$, близких к оптимальным, даны в таблице и на рис. 2 (сплошные линии). Расчеты выполнены с помощью ЭВМ ЕС-1022.

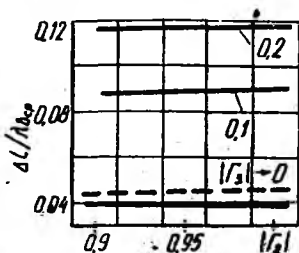


Рис. 2

$ \dot{\Gamma}_3 $	0			0,1			0,2		
$ \dot{\Gamma}_2 $	0,9	0,95	0,99	0,9	0,95	0,99	0,9	0,95	0,99
$\Delta l/\lambda_{вср}$	0,04	0,04	0,04	0,089	0,090	0,0903	0,116	0,118	0,119

В экспериментальной части работы исследован двухканальный ВК, выполненный на волноводах сечением $7,2 \times 3,4$ мм, в котором была предусмотрена регулировка модулей коэффициентов $|\dot{\Gamma}_2|, |\dot{\Gamma}_3|$ и изменение положения плоскостей включения ПМ в выходные плечи 2, 3.

Экспериментально значение $\Delta l_{экс}$ определяли нахождением варьируемого положения ПМ для фиксированных значений $|\dot{\Gamma}_2|, |\dot{\Gamma}_3|$, при которых достигались экстремальные значения параметров ВК — минимум L_0 и максимум $L_{эм}$ на средней частоте заданного диапазона. Результат экспериментального нахождения показан на рис. 2 пунктирной линией. Измерения выполнены с

помощью панорамного измерителя $K_{свч}$ Р2-65 и специальной транзисторной схемы для импульсного управления ВК [4].

Параметры опытного образца в полосе частот $\lambda_0 \pm 0,5$ ГГц следующие: начальные потери $L_0 \leq 1,6$ дБ; развязка плеч $L_3 \geq 24$ дБ; время коммутации $t_k \approx 7$ нс; $K_{свч}$ входа $\leq 1,5$.

Список литературы: 1. СВЧ устройства на полупроводниковых диодах. Проектирование и расчет / Под ред. И. В. Мальского, Б. В. Сестрорецкого.— М.: Сов. радио, 1969.— 200 с. 2. Альтман Дж. Л. Устройства сверхвысоких частот: Пер. с англ./Под ред. И. В. Лебедева.— М.: Мир, 1968.— 180 с. 3. Силаев М. А., Брянцев С. Ф. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств.— М.: Сов. радио, 1970.— 300 с. 4. Царенко В. Т. Управление устройствами СВЧ диапазона на *p-i-n*-диодах // Приборы и техника эксперимента.—1983, № 2.— С. 131—132.

Поступила в редколлегию 09.07.85.

УДК 621.372

В. Ю. ТИХОВСКИЙ, П. В. НЕШМОНИН

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ДВУСТОРОННЕЙ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ ЛИНИИ

Ряд недавно разработанных линий передачи используется в качестве базовых элементов для компонентов и систем. Новой перспективной структурой является волноводно-щелевая линия (ВЩЛ),

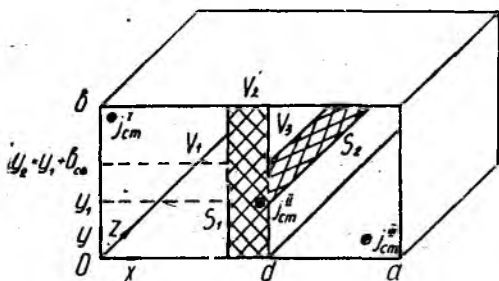


Рис. 1

которая, обладая неоспоримыми преимуществами в миллиметровом диапазоне, широко применяется в интегральных схемах (рис. 1). Благодаря таким свойствам, как широкополосность, совместимость с полупроводниковыми элементами и гибридными интегральными схемами, простота сочленения со стандартными волноводами, нечувствительность к допускам, малые потери на излучение, низкая промышленная стоимость, ВЩЛ нашли применение в широкополосных четырехплечных направленных ответвителях, фильтрах, антеннах, переключателях, генераторах, балансных смесителях, аттенюаторах, ограничителях, фазовращателях, модуляторах миллиметрового диапазона.

Несмотря на широкое практическое применение ВЩЛ, их теоретическому анализу посвящено сравнительно мало работ, в которых разработано несколько методов расчета параметров ВЩЛ [1]. Поскольку достаточно универсальная и точная методика расчета ВЩЛ отсутствует, необходимо изучить новый тип линий передачи.