

09; 12

© 1991

О ВНУТРЕННЕМ СОГЛАСОВАНИИ ТУРНИКЕТНЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

А.В. Х о х л о в, О.В. Б р я н ц е в а

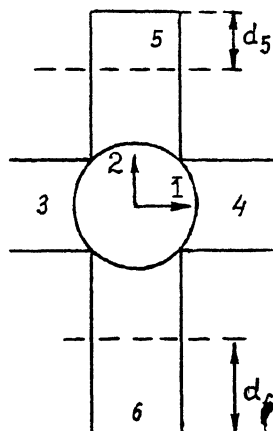
Турникетное соединение волноводов используется в качестве разделителей и преобразователей поляризаций [1-3] в различных областях современной радиоэлектроники: радиоастрономии, физике плазмы, радиосвязи, радиополяриметрии и т.п. и оказывается вне конкуренции при создании прецизионных измерительных систем [4]. При рассмотрении его свойств обычно предполагается, что соединение лишено потерь, а трехэлементное согласующее устройство [5] обеспечивает нулевые коэффициенты отражения во всех плечах соединения. В реальных турникетных соединениях волноводов всегда имеют место отражения от сочленения круглого и прямоугольных волноводов, полностью не компенсируемые подбором реактивностей согласователя, и получить нулевые коэффициенты отражения не удастся даже при идеально согласованных нагрузках во всех плечах соединения (неполное внутреннее согласование). Конечность коэффициентов отражения сказывается на точности разделения ортогонально поляризованных компонент при использовании турникетного соединения волноводов в качестве разделителя поляризаций. Однако количественная оценка неполного внутреннего согласования и его влияния на качество разделения ортогонально поляризованных компонент пока не проводилась.

В настоящей статье получено аналитическое выражение для волновой матрицы рассеяния турникетного разделителя поляризаций при неполном внутреннем согласовании волноводов и исследована зависимость поляризационных характеристик турникетного разделителя поляризаций от величины отражений в круглом и прямоугольных волноводах последнего.

1. Волновая матрица рассеяния турникетного соединения волноводов – симметричного двенадцатиполосника (рис. 1) при неполном внутреннем согласовании имеет вид [3]:

$$S = \begin{vmatrix} \beta & 0 & \dot{\epsilon} & -\dot{\epsilon} & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 0 & \dot{\epsilon} & -\dot{\epsilon} \\ \dot{\epsilon} & 0 & \dot{\alpha} & \dot{\delta} & \dot{\gamma} & \dot{\gamma} \\ -\dot{\epsilon} & 0 & \dot{\delta} & \alpha & \dot{\gamma} & \dot{\gamma} \\ 0 & \dot{\epsilon} & \dot{\gamma} & \dot{\gamma} & \alpha & \dot{\delta} \\ 0 & -\dot{\epsilon} & \dot{\gamma} & \dot{\gamma} & \dot{\delta} & \dot{\alpha} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

Рис. 1. Турникетный разделитель поляризации: 1-6 - нумерация плеч, пунктир - плоскости отсчета полей.



где $\dot{\alpha} = \frac{1}{4} (\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 + \dot{S}_4)$, $\dot{\beta} = \frac{1}{2} (\dot{S}_2 + \dot{S}_4)$, $\dot{\gamma} = \frac{1}{2} (\dot{S}_1 - \dot{S}_3)$, $\dot{\delta} = \frac{1}{4} (\dot{S}_1 - \dot{S}_2 + \dot{S}_3 - \dot{S}_4) = \dot{\alpha} - \dot{\beta}$, $\dot{\epsilon} = \frac{\sqrt{2}}{4} (\dot{S}_2 - \dot{S}_4)$,

$\dot{S}_1, \dot{S}_2, \dot{S}_3, \dot{S}_4$ - собственные (в общем случае комплексные) значения волновой матрицы рассеяния (1). В турникетных разделителях поляризации два противоположных волновода креста, например, плечи 5 и 6, закорачиваются на расстояниях d_5 и d_6 , отсчитываемых от плоскостей отсчета полей и отличающихся по длине на $\lambda/4$, где λ - длина волны в прямоугольном волноводе, и турникетное соединение волноводов превращается в восьмиполосник. Его волновую матрицу рассеяния S' можно получить, совместно решая уравнения для всех отраженных волн [3], применяя метод сигнальных графов [6] или разбивая (1) на непересекающиеся подматрицы и перемножая их с векторами напряжений в несогласованных плечах [7]. В последнем случае имеем:

$$S' = S_{ii} + S_{ij} \Gamma_{jj} (1 - S_{jj} \Gamma_{jj})^{-1} S_{ji}, \quad (2)$$

где S_{ii} - подматрица, содержащая только входы с источником сигнала и согласованными нагрузками (с первого по четвертый), S_{jj} - подматрица, содержащая только входы с короткозамкнутыми отрезками волновода длиной d_5 и d_6 (пятый и шестой), S_{ij} и S_{ji} - смешанные подматрицы, Γ_{jj} - диагональная матрица из коэффициентов отражения короткозамыкателей:

$$\dot{\Gamma}_5 = -e^{-j \frac{4\pi d_5}{\lambda}} = \dot{\Gamma}, \quad \dot{\Gamma}_6 = -e^{-j \frac{4\pi d_6}{\lambda}} = -\dot{\Gamma} \quad (3)$$

и волновая матрица рассеяния разделителя поляризации S' принимает вид

$$S' = \begin{array}{c|cc} & 0 & \dot{\epsilon} & -\dot{\epsilon} \\ \hline \dot{\beta} & & & \\ \hline 0 & \dot{\beta} + \frac{2\dot{\epsilon}^2 \dot{\gamma}^2 (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} & \frac{2\dot{\epsilon} \dot{\gamma} \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} & \frac{2\dot{\epsilon} \dot{\gamma} \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} \\ \hline \dot{\epsilon} & \frac{2\dot{\epsilon} \dot{\gamma} \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} & \alpha - \frac{2\dot{\gamma}^2 \dot{\Gamma}^2 \dot{\beta}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} & \delta - \frac{2\dot{\gamma}^2 \dot{\Gamma}^2 \dot{\beta}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} \\ \hline -\dot{\epsilon} & \frac{2\dot{\epsilon} \dot{\gamma} \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} & \delta - \frac{2\dot{\gamma}^2 \dot{\Gamma}^2 \dot{\beta}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} & \alpha - \frac{2\dot{\gamma}^2 \dot{\Gamma}^2 \dot{\beta}}{1 - \dot{\gamma}^2 \dot{\beta} (2\dot{\alpha} - \dot{\beta})} \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline S_{11} & S_{12} \\ \hline S_{31} & S_{34} \\ \hline \end{array} \quad (4)$$

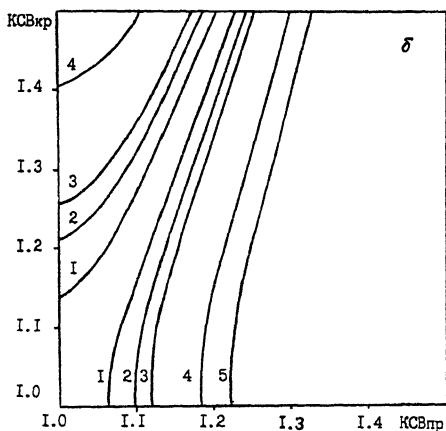
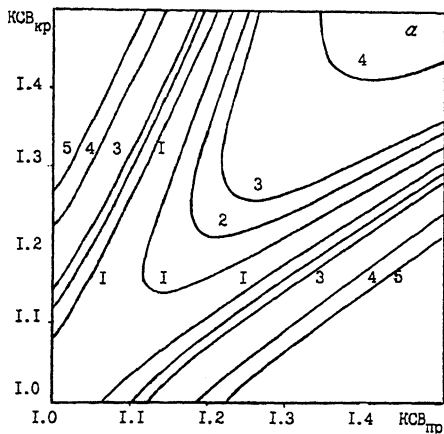


Рис. 2. Зависимость поляризационной развязки V_3 от КСВ круглого ($KCB_{кр} = \frac{1 + |\beta|}{1 - |\beta|}$) и прямоугольных ($KCB_{пр} = \frac{1 + |\alpha|}{1 - |\alpha|}$) волноводов: а - в режиме разложения на волны с круговой поляризацией, б - в режиме разложения на линейно-поляризованные волны. 1 - $V_3 = -60$ дБ, 2 - $V_3 = -53$ дБ, 3 - $V_3 = -50$ дБ, 4 - $V_3 = -43$ дБ, 5 - $V_3 = -40$ дБ.

Те же значения коэффициентов матрицы рассеяния можно получить методом сигнальных графов [5].

Волновая матрица рассеяния (4) состоит из четырех квадратных подматриц, причем $S1$ содержит всю информацию о коэффициентах отражения разделителя поляризаций и, следовательно, о его к.п.д., а $S3$ - о качестве поляризационного разделения. Таким образом, параметры разделителя поляризации полностью определяются четырьмя

коэффициентами исходной матрицы (1), характеризующими внутреннее согласование волноводов турникетного соединения ($\dot{\alpha}$, $\dot{\beta}$, $\dot{\gamma}$ и $\dot{\varepsilon}$). Модули $\dot{\alpha}$ и $\dot{\beta}$ можно определить экспериментально, если во всех плечах турникетного соединения поместить согласованные нагрузки и измерить коэффициенты стоячей волны в прямоугольных и круглом волноводах, а их фазы принять равными 0 или $\pi/2$ в зависимости от выбранного расположения плоскостей отсчета полей. Модули и фазы двух других коэффициентов можно рассчитать, используя унитарность матрицы рассеяния (1):

$$\sum_{m=1}^4 S'_{mi}{}^* S'_{mj} = \delta_{ij} \quad (j, i = \overline{1, 4}), \quad (5)$$

где δ_{ij} - символ Кронеккера. Обычно [3], принимая $\dot{\alpha} = \dot{\beta} = 0$, получают $\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2}}$, $\gamma = \frac{1}{2}$. Анализ соотношений (5) в общем случае показывает, что при $\dot{\alpha} \neq 0$ и $\dot{\beta} \neq 0$ действительным значениям последних соответствуют мнимые значения $\dot{\gamma}$ и $\dot{\varepsilon}$ и наоборот.

Пусть плоскости отсчета полей выбраны так, что $\dot{\alpha} = j\alpha$, $\dot{\beta} = j\beta$. Тогда $\dot{\varepsilon}$ и $\dot{\gamma}$ действительны, а их модули равны:

$$|\dot{\varepsilon}| = \sqrt{\frac{1-\beta^2}{2}}, \quad |\dot{\gamma}| = \sqrt{\frac{1}{4} - \left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right)^2}. \quad (6)$$

2. Как следует из соотношений (6), при неполном внутреннем согласовании турникетного соединения $\varepsilon < 1/\sqrt{2}$, и часть мощности входного сигнала отражается в круглый волновод, а $|\gamma| = \frac{1}{2}$ только при $\alpha = \frac{\beta}{2}$. Поляризационные развязки В3 и В4 выходов, т.е. третьего и четвертого плеч, определяются просачиванием противоположно поляризованных сигналов и не зависят от $\dot{\varepsilon}$, входящего сомножителем во все коэффициенты подматрицы S_3 . Развязки В3 и В4 в режиме разложения на волны с круговой и линейной поляризацией различны. В первом режиме

$$\begin{aligned} B_3 &= 10 \lg \left[\frac{1}{2} (S_{31} + jS_{32})(S_{31}^* - jS_{32}^*) \right], \\ B_4 &= 10 \lg \left[\frac{1}{2} (S_{41} + jS_{42})(S_{41}^* - jS_{42}^*) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

а во втором -

$$\begin{aligned} B_3 &= 10 \lg \left[\frac{1}{2} (S_{31} + S_{32})(S_{31}^* + S_{32}^*) \right], \\ B_4 &= 10 \lg \left[\frac{1}{2} (S_{41} + S_{42})(S_{41}^* + S_{42}^*) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

На рис. 2 представлены рассчитанные на микроЭВМ по формулам (7) и (8) зависимости ВЗ от коэффициентов стоячей волны (КСВ) в круглом и прямоугольном волноводах. Как следует из рис. 2, внутреннее рассогласование существенно влияет на поляризационную развязку выходов и только при определенном соотношении α и β может достигать -50 и даже -60 ДБ. Область наибольшей поляризационной развязки в первом режиме захватывает обширный интервал КСВ и имеет // -образную форму, а во втором режиме - более компактна и близка к прямоугольной, причем КСВ в круглом волноводе может быть больше, чем в прямоугольных. Экспериментальные исследования турникетных соединений волноводов [1-2, 4] показывают, что при тщательном согласовании возможно получить КСВ в прямоугольных и круглом волноводах < 1.1 . Тогда поляризационная развязка выходов превышает -50 дБ и внутренним рассогласованием турникетного соединения можно пренебречь.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Райнуайн М. // Приборы для науч. исслед. 1969. № 7. С. 87-88.
- [2] Борисов В.В., Епифанова О.В., Хохлов А.В./ Приборы и техника эксперимента. 1990. № 4. С. 129-132.
- [3] Альтман Дж. Устройства СВЧ. М.: Мир, 1968. 487 с.
- [4] Хохлов А.В. // Радиотехника. 1990. № 11. С. 65-68.
- [5] Fourikis N. // IRE Austr. Proc. 1973. V. 34. N 10. P. 403-405.
- [6] Силаев М.А., Брянцев С.Ф. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств. М.: Сов. радио, 1970. 248 с.
- [7] Машковцев Б.М., Цибизов К.Н., Емелин Б.Ф. // Теория волноводов. М.: Наука, 1966. 351 с.

Поступило в Редакцию
13 мая 1991 г.