

# ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР ВОЛНОВОДНОГО ОДНОПОЛОСНОГО МОДУЛЯТОРА С УЧЕТОМ ДИХРОИЗМА ПОЛУВОЛНОВОЙ СЕКЦИИ

*Б. Н. Князьков, М. С. Яновский*

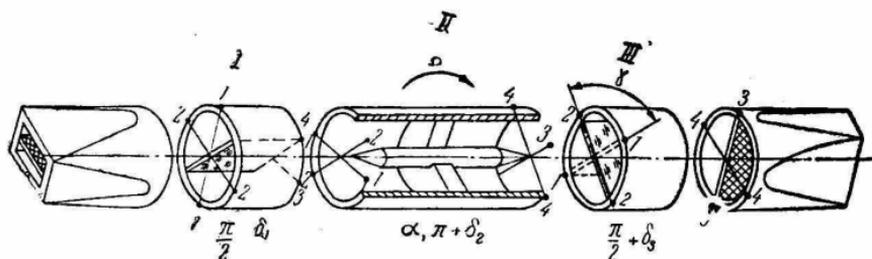
Харьков

Для получения сдвига частоты в волноводных трактах применяются однополосные модуляторы, представляющие собой линейные фазовращатели, в которых осуществляется равномерное во времени изменение сдвига фазы. Основными элементами таких фазовращателей являются волноводные анизотропные фазовые секции, создающие определенный сдвиг фаз между ортогональными составляющими волны, поляризованными вдоль главных осей сечения секции. Фазовращатель (рисунок) содержит две четвертьволновые секции, одна из которых преобразует линейно-поляризованную волну типа  $H_{11}$  в круглом волноводе в поляризованную по кругу, а другая осуществляет обратное преобразование. Между ними помещается полуволновая фазовая секция, плоскость анизотропии которой может вращаться механическим либо электрическим способом [1]. Поворот плоскости анизотропии полуволновой секции на угол  $\pm\psi$  вызывает фазовый сдвиг выходного колебания относительно входного на угол  $\pm 2\psi$ , и, следовательно, при равномерном вращении плоскости анизотропии с частотой  $\Omega$  мы получаем сдвиг частоты входного сигнала  $\omega$  на величину, равную двойной частоте ее вращения ( $\pm 2\Omega$ ).

В электрически управляемых однополосных модуляторах в волноводной полуволновой секции устанавливается ферритовый стержень, на который воздействует поперечное вращающееся магнитное поле [2]. Предложена также полуволновая секция с плазмой, вращение плоскости анизотропии которой достигается за счет

приложенного неоднородного по азимуту вращающего электрического поля [3].

Такие электрически управляемые полуволновые секции обладают различным ослаблением (дихроизмом) для волн, поляризованных вдоль главных осей анизотропии диэлектрической проницаемости. Наличие дихроизма оказывает существенное влияние на амплитуды спектральных составляющих выходного сигнала — на составляющую сдвинутой частоты ( $\omega \pm 2\Omega$ ), зеркальной частоты ( $\omega \mp 2\Omega$ ) и частоты входного сигнала  $\omega$ . Последние два



Однополосный волноводный модулятор с ферритовой полуволновой фазовой секцией: I и III — четвертьволновые секции; II — полуволновая секция.

колебания присутствуют в спектре в основном из-за отклонения дифференциального фазового сдвига в секциях от номинального, обусловленного работой прибора в полосе частот [4].

В связи с этим интересно рассмотреть совместное влияние дихроизма полуволновой секции и отклонения фазовых сдвигов в секциях от номинальных на выходной спектр прибора. Что касается дихроизма четвертьволновых секций, то его влияние может быть скомпенсировано соответствующим поворотом плоскости анизотропии этих секций относительно направления поляризации входного сигнала [4].

Будем полагать, что оси максимального и минимального ослабления совпадают с главными осями анизотропии диэлектрической проницаемости, что, по-видимому, всегда реализуется на практике.

Матрица рассеяния согласованного восьмиполюсника, эквивалентной анизотропной волноводной секции фазовращателя, имеет вид

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{13} & S_{14} \\ 0 & 0 & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & 0 & 0 \\ S_{41} & S_{42} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $s_{ik}$  — комплексный коэффициент передачи между  $i$ -ми и  $k$ -ми зажимами восьмиполосника. Угол между плоскостью анизотропии секции и плоскостью входных зажимов 1—1 обозначим  $\theta_0$ , а угол между плоскостью анизотропии и плоскостью выходных зажимов 3—3 обозначим  $\theta$ . Секцию будем характеризовать дифференциальным фазовым сдвигом  $\Delta$ , а дихроизм секции — величиной  $\alpha$  — модулем коэффициента передачи для зажимов, совпадающих с одним из главных сечений секции, если коэффициент передачи для ортогональных зажимов равен единице. Коэффициенты передачи  $s_{ik}$  можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} s_{13} &= s_{31} = \cos \theta_0 \cos \theta - \alpha e^{i\Delta} \sin \theta_0 \sin \theta; \\ s_{14} &= s_{41} = \cos \theta_0 \sin \theta + \alpha e^{i\Delta} \sin \theta_0 \cos \theta; \\ s_{23} &= s_{32} = -\sin \theta_0 \cos \theta - \alpha e^{i\Delta} \cos \theta_0 \sin \theta; \\ s_{24} &= s_{42} = -\sin \theta_0 \sin \theta + \alpha e^{i\Delta} \cos \theta_0 \cos \theta. \end{aligned} \quad (2)$$

При этом фазовые сдвиги и ослабления, одинаковые для обеих базисных поляризаций, опущены.

Обозначим отклонения фазовых сдвигов в секциях от номинальных соответственно  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\delta_3$ . Для четвертьволновой секции I имеем

$$\theta_0 = \frac{\pi}{4}, \theta = 0, \alpha_1 = 1, \Delta_1 = \frac{\pi}{2} + \delta_1,$$

для вращающейся полуволновой секции II

$$\theta_0 = \pm \Omega t, \theta = 0, \alpha_2 = \alpha, \Delta_2 = \pi + \delta_2$$

и для четвертьволновой секции III

$$\theta_0 = \mp \Omega t + \gamma, \theta = \frac{\pi}{4}, \alpha_3 = 1, \Delta_3 = \frac{\pi}{2} + \delta_3.$$

Здесь  $\gamma$  — угол между плоскостями максимального замедления в секциях I и III. Плоскости зажимов 1—1 секций II и III совпадают соответственно с плоскостями зажимов 3—3 I и II секций.

Коэффициент передачи фазовращателя  $S$  между входными зажимами 1—1 секции I и выходными зажимами 4—4 секции III (выход фазовращателя) следующий:

$$S = s_{13}^1 s_{13}^2 s_{13}^3 + s_{14}^1 s_{23}^2 s_{14}^3 + s_{13}^1 s_{14}^2 s_{24}^3 + s_{14}^1 s_{24}^2 s_{24}^3, \quad (3)$$

где верхние индексы соответствуют номеру секции.

После подстановки коэффициентов передачи (2) каждой фазовой секции в (3) получим следующее выражение для спектральных составляющих сигнала на выходе однополосного модулятора, если на вход его поступает синусоидальное немодулированное колебание  $E \sin \omega t$ :

$$e_0 = \frac{E}{2} [1 + 2\alpha \cos \delta_2 + \alpha^2]^{\frac{1}{2}} \cos \frac{\delta_1}{2} \cos \frac{\delta_3}{2} \sin [(\omega \pm 2\Omega)t + \varphi - \gamma];$$

$$e_{\omega} = -\frac{E}{2} [1 - 2\alpha \cos \delta_2 + \alpha^2]^{\frac{1}{2}} \cos \gamma \sin \frac{\delta_1 + \delta_3}{2} \sin (\omega t + \varphi_1) -$$

$$-\frac{E}{2} [1 - 2\alpha \cos \delta_2 + \alpha^2]^{\frac{1}{2}} \sin \gamma \sin \frac{\delta_1 - \delta_3}{2} \sin (\omega t + \varphi_2);$$

$$e_{\Omega} = -\frac{E}{2} [1 + 2\alpha \cos \delta_2 + \alpha^2]^{\frac{1}{2}} \sin \frac{\delta_1}{2} \sin \frac{\delta_3}{2} \sin [(\omega \mp 2\Omega) t + \varphi + \gamma],$$

где

$$\varphi = \xi - \arctg \left[ \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \operatorname{tg} \frac{\delta_2}{2} \right];$$

$$\varphi_1 = \xi + \arctg \left[ \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \operatorname{ctg} \frac{\delta_2}{2} \right];$$

$$\varphi_3 = \xi + \arctg \left[ \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \operatorname{tg} \frac{\delta_2}{2} \right]$$

и

$$\xi = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{2}.$$

Спектральные составляющие, поляризованные в плоскости зажимов 3—3 третьей секции, выписывать не будем — они не попадают на выход фазовращателя, так как поглощаются в пленочном сопротивлении волноводного перехода (рис. 1). При  $\alpha_2 = 1$  и  $\gamma = 0$  эти выражения переходят в полученные ранее для фазовращателя Фокса (4). Ортогональное расположение идентичных четвертьволновых фазовых секций ( $\gamma = \frac{\pi}{2}$ ), предложенное в работе (5), также приводит к компенсации побочной составляющей частоты  $\omega$  на выходе прибора.

Дихроизм полуволновой секции не влияет на уровень побочного сигнала зеркальной частоты ( $\omega \mp 2\Omega$ ) относительно уровня полезного сигнала частоты ( $\omega \pm 2\Omega$ ): оба сигнала ослабляются за счет дихроизма в одинаковой мере. Вместе с тем наличие дихроизма полуволновой секции приводит к повышению уровня побочного сигнала частоты  $\omega$  на выходе прибора по отношению к уровню полезного сигнала сдвинутой частоты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. A. G. Fox. An adjustable wave-guide phase changer. Proc IRE. 35, № 12, 1489, 1947.
2. I. C. Sacheris. Microwave single-sideband modulator using ferrites. Proc IRE, 42, № 8, 1242, 1954.
3. М. С. Яновский, Е. М. Кулешов, Б. Н. Князьков. Плазменный сдвигатель частоты. Авт. свид. № 141510, «Бюллетень изобретений», № 19, 1961.
4. М. С. Яновский, Б. Н. Князьков. Частотный спектр волноводных однополосных модуляторов. «Изв. вузов. Радиотехника», 5, № 5, 1962.
5. М. С. Яновский, Б. Н. Князьков. О возможности уменьшения спектральных искажений и расширения диапазона непрерывных волноводных фазовращателей. «Радиотехника», 21, № 7, 1966.