

ЭЛЕКТРИЧЕСКИ РЕГУЛИРУЕМЫЙ СВЧ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Э. Г. МИРЗАБЕКЯН, Р. Н. СИМОНЯН

В работе рассматривается один вид электрически регулируемого преобразователя поляризации для получения круговой поляризации высокой степени. Рассматривается частотное свойство преобразователя.

Экспериментально полученная эллиптичность в 3 см диапазоне составляла 0,995.

Преобразователи поляризации, позволяющие получить высокую степень круговой поляризации, широко применяются в разных областях экспериментальной физики и радиоэлектроники (являются важным узлом образцовых фазовращателей поляризационного типа и т. д.).

Предлагаемый преобразователь поляризации состоит из фазовых пластин φ_1 , φ_2 , ферритового стержня Φ , расположенных в круглом волноводе, находящемся в регулируемом магнитном поле, рис. 1.

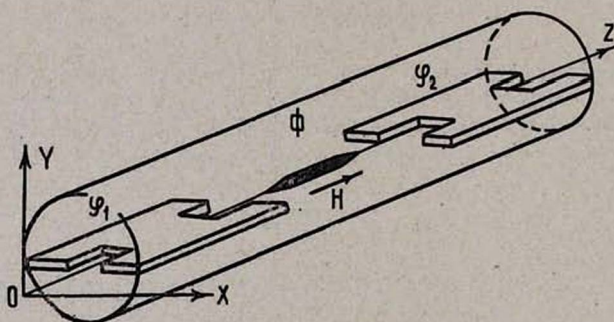


Рис. 1.

Для дальнейших математических расчетов предположим, что пластины φ_1 , φ_2 расположены в плоскости XOZ и имеют одинаковые дифференциальные фазовые сдвиги

$$\psi_1 = \psi_2 = \psi.$$

Отметим, что указанные условия не критичны в отношении физических свойств данного преобразователя, а выбраны лишь для упрощения математических выводов.

Такому расположению фазовых пластин φ_1 , φ_2 соответствует матрица преобразования Джонса

$$\| \hat{S}_\psi \| = \begin{vmatrix} e^{j\psi} & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Обозначим через H_0 внешнее магнитное поле, тогда угол поворота плоскости поляризации со стороны ферритового стержня определяется как

$$\vartheta = \mu \cdot H_0,$$

где μ — некоторый постоянный коэффициент.

Матрица Джонса для вращателя плоскости поляризации имеет вид

$$\|S_\vartheta\| = \begin{vmatrix} \cos \vartheta & -\sin \vartheta \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Тогда матрица Джонса для данного преобразователя поляризации записывается при помощи $\|\dot{S}_\psi\|$ и $\|S_\vartheta\|$ в следующем виде

$$\|\dot{S}_\Sigma\| = \|\dot{S}_\psi\| \cdot \|S_\vartheta\| \cdot \|\dot{S}_\psi\|.$$

Имея в виду (1) и (2), матрице $\|\dot{S}_\Sigma\|$ можно придать вид

$$\|\dot{S}_\Sigma\| = \begin{vmatrix} e^{2j\psi} \cos \vartheta & -e^{j\psi} \sin \vartheta \\ e^{j\psi} \sin \vartheta & \cos \vartheta \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Определим отношение осей эллипса поляризации преобразованной волны.

Отношение осей эллипса преобразованной волны определим при помощи параметров Стокса преобразованной волны.

Обозначим соответственно параметры Стокса преобразованной и исходной волн через [1]

$$I, Q', U', V' \text{ и } I, Q, U, V.$$

Тогда

$$\begin{vmatrix} I' \\ Q' \\ U' \\ V' \end{vmatrix} = \|\dot{D}\| \begin{vmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} I &= E_m^2, & I' &= E_m'^2, \\ Q &= E_m^2 \cos 2\beta, & Q' &= E_m'^2 \cos 2\beta', \\ U &= E_m^2 \cos 2\alpha \cdot \sin 2\beta, & U' &= E_m'^2 \cos 2\alpha' \cdot \sin 2\beta', \\ V &= E_m^2 \sin 2\alpha, & V' &= E_m'^2 \sin 2\alpha'. \end{aligned}$$

β, β' — ориентации плоскости поляризации исходной и преобразованной волн, $\tan \alpha, \tan \alpha'$ — отношение осей эллипса поляризации исходной и преобразованной волн, $\|\dot{D}\|$ — матрица преобразования параметров Стокса, элементы d_{ij} которой однозначно определяются элементами i, j матрицы $\|\dot{S}_\Sigma\|$.

Найдя из (4) четвертый параметр Стокса — V' и предположив, что падающая волна имеет линейно поляризационный ($\alpha = 0$) характер

и что потери в преобразователе малы (то есть $E_m^2 = E_m'^2$), можно написать уравнение

$$\sin 2\alpha' = d_{41} + d_{42} \cos 2\beta + d_{43} \sin 2\beta, \quad (5)$$

где d_{41} , d_{42} , d_{43} — элементы матрицы $\|\tilde{D}\|$, которые имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} d_{41} &= \frac{1}{2} j (\gamma_{11} \gamma_{21}^* + \gamma_{12} \gamma_{22}^* - \gamma_{11}^* \gamma_{21} - \gamma_{12}^* \gamma_{22}), \\ d_{42} &= \frac{1}{2} j (\gamma_{11} \gamma_{21}^* - \gamma_{12} \gamma_{22}^* - \gamma_{11}^* \gamma_{21} + \gamma_{12}^* \gamma_{22}), \\ d_{43} &= \frac{1}{2} j (\gamma_{11} \gamma_{22}^* + \gamma_{12} \gamma_{21}^* - \gamma_{11}^* \gamma_{22} - \gamma_{12}^* \gamma_{21}). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Имея в виду (3), элементы γ_{ij} определяются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{11} &= e^{2j\psi} \cos \vartheta, & \gamma_{21} &= e^{j\psi} \sin \vartheta, \\ \gamma_{12} &= -e^{j\psi} \sin \vartheta, & \gamma_{22} &= \cos \vartheta. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

После подстановки (6) и (7) в (5) можно получить следующее уравнение

$$\sin 2\alpha' = -Z \sin (2\beta + \eta), \quad (8)$$

где

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{1}{\cos \psi} \cdot \operatorname{tg} \vartheta, \quad Z = \sqrt{\sin^2 2\vartheta \cdot \sin^2 \psi + \sin^2 2\psi \cdot \cos^4 \vartheta}.$$

Отношение осей эллипса поляризации определяется как

$$r' = \operatorname{tg} \alpha'.$$

Из (8) легко получить

$$r' = \frac{1 - \sqrt{1 - Z^2 \sin^2 (2\beta + \eta)}}{Z \sin (2\beta + \eta)}. \quad (9)$$

Исследуем это выражение в точках $r' \pm 1$, то есть когда данный преобразователь работает в режиме преобразования из линейной в круговую поляризацию. Из выражения (9) видно, что преобразованная волна имеет круговую поляризацию при условии

$$Z \sin (2\beta + \eta) = \pm 1.$$

При этом Z должно удовлетворять условию

$$|Z| \geq 1.$$

Определим величину $r'_{\max}$ как наибольшее значение отношения осей преобразованной волны в зависимости от β при данном значении ϑ .

Из (9) легко показать, что значение $r'_{\max}$ достигается при условии

$$\beta = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \eta.$$

При этом

$$r'_{\max} = \frac{1 - \sqrt{1 - Z^2}}{Z}. \quad (10)$$

На основе (10) на рис. 2 построены кривые, выражающие зависимость $r'_{\max} = r'_{\max}(\vartheta)$ при разных значениях дифференциального фазового сдвига ψ пластины φ .

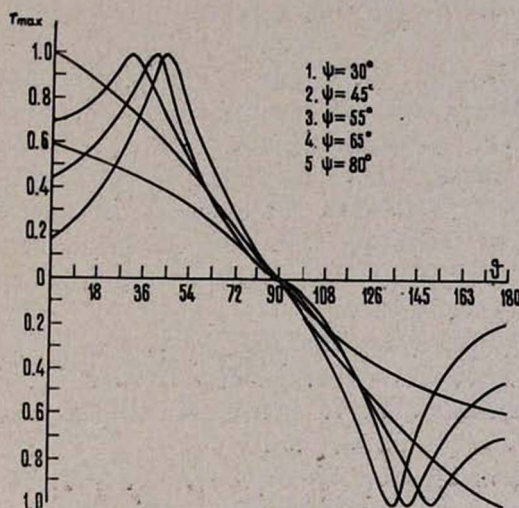


Рис. 2.

Как видно из этих кривых, при значениях дифференциального фазового сдвига $\psi > 45^\circ$ существует такое значение ϑ , при котором преобразованная волна имеет круговую поляризацию. Приведенные кривые симметричны относительно точки $\vartheta = 90^\circ$. Значения $r' \geq 0$ определяют право- или лево-поляризованную преобразованную волну.

В режиме преобразования линейно-поляризованной волны в круговую поляризацию преобразователь эквивалентен пластине „ $\lambda/4$ “ с определенной ориентацией под углом ϑ , нахождение которого представляет определенный интерес.

Из условия круговой поляризации

$$Z \sin(2\beta + \eta) = \pm 1$$

находим ориентацию плоскости поляризации подающей линейно-поляризованной волны, при которой преобразованная волна имеет круговую поляризацию,

$$\beta = \pm \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{Z} - \frac{1}{2} \eta.$$

Ориентация эквивалентной пластины „ $\lambda/4$ “ определяется углом

$$\vartheta = \beta \mp 45^\circ, \quad (11)$$

где верхний знак определяет ориентацию эквивалентной „пластины“, соответствующей преобразованию в правую круговую поляризацию, а нижний знак соответствует левой поляризации.

Формулу (11) можно заменить простой приближенной формулой, учитывая, что величина Z близка к единице при преобразовании в круговую поляризацию.

Тогда

$$\theta \simeq -\frac{1}{2} \eta.$$

Теперь вкратце остановимся на частотных свойствах данного преобразователя.

В реальном случае переменные ψ , θ зависят от частоты $\psi = \psi(f)$, $\theta = \theta(f)$ и, следовательно, при перестройке частоты будет нарушено условие круговой поляризации. Однако нетрудно убедиться в том, что если в рабочем интервале частот $[f_1 + f_2]$ выполняется условие $90^\circ > \psi \geq 45^\circ$ и $|\theta(f)| \leq 90^\circ$, то для любого значения частоты из этого интервала частот, подбором внешнего магнитного поля, можно добиться круговой поляризации преобразованной волны, расширяя тем самым рабочий диапазон частот.

На основе приведенных рассуждений был собран экспериментальный образец предлагаемого преобразователя в 3 см диапазоне волн. Результаты экспериментального исследования в хорошей степени находились в согласии с теоретическими.

Изготовленный образец имел следующие электрические параметры: эллиптичность $r'_{\max} = 0,995$, рабочую полосу частот $\Delta f \simeq 5\%$, рабочий интервал перестройки частоты $\Delta F \simeq 15\%$ (вне этой полосы не измерялось). Величина дифференциального фазового сдвига пластины была $\psi = 65^\circ$, а потребляемый ток $I < 20$ ма при количестве витков $N = 3000$ вит.

Институт радиофизики и электроники

АН АрмССР

Поступила 4.I.1971

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г. В. Розенберг, УФН, 46, № 1 (1956).

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՂԵԿԱՎԱՐՎՈՂ Գ. Բ. Հ. ԲԵՎԵՌՆԱՆ ԶԵՎԱՓՈԽԻՉ

Է. Հ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ, Ռ. Ն. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

Քննարկված է էլեկտրական ղեկավարվող Գ. Բ. Հ. բեռնացման ձևափոխման մեկ եղանակ, որը թույլատրում է ստանալ բարձր աստիճանի շրջանային բեռնացում: Քննարկված է նաև ձևափոխիչի հաճախային հատկությունները:

Փորձական ճանապարհով ստացված էլիպսականությունը 3-սմ ալիքների շերտում կազմում է 0,995:

A MICROWAVE ELECTRIGALLY CONTROLLABLE POLARIZATION CONVERTER

E. H. MIRZABEKIAN, P. N. SIMONIAN

An electrically controllable converter to get the circular polarization of high accuracy is considered and its frequency characteristic is discussed.

The experimentally obtained ellipsoidal polarization was 0,995 in 3 cm waveband.