

## К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

*И. Б. Нагибин*

Харьков

Широкое распространение в технике СВЧ получили устройства с круговой поляризацией [1, 2, 3, 4]. Однако их общим недостатком является узкополосность [5, 6]. Повышение требований к СВЧ приборам требует сведения к минимуму всех возникающих погрешностей измерения амплитудно-фазовых и других характеристик, в том числе и за счет эллиптичности или гантельности поля. Наиболее эффективным способом борьбы с погрешностями таких устройств является создание широкополосных поляризаторов.

Борьбу с гантельной поляризацией вести трудно, а порой невозможно. Что же касается эллиптической поляризации, то, применяя соответствующие компенсирующие устройства, можно получить поляризацию, близкую к круговой.

В данной работе для получения круговой поляризации предлагается использовать прямоугольный волновод с крестообразной щелью на его широкой стенке (см. рис. 1).

При распространении по волноводу волны типа  $H_{10}$  крестообразной щелью в общем случае будет излучаться волна эллиптической поляризации, что видно из соотношений [7]

$$H_x = D \frac{\alpha\pi}{\mu a} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{j(\omega t - \alpha z)}; \quad (1)$$

$$H_z = -jD \frac{\pi^2}{\mu a^2} \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{j(\omega t - \alpha z)}, \quad (2)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость среды;

$D$  — постоянная величина;

$x$  — координата центра щели;

$a$  — размер по широкой стенке волновода;

$\alpha$  — волновой коэффициент.

Из выражений (1) и (2) находим, что для получения круговой поляризации необходимо выполнить условие

$$x = \frac{a}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda_0} - 1}. \quad (3)$$

Согласно формуле (3), расстояние центра щелей мало изменяется в довольно большом диапазоне частот; на волне, близкой к центральной,

$$x \cong \frac{a}{4}.$$

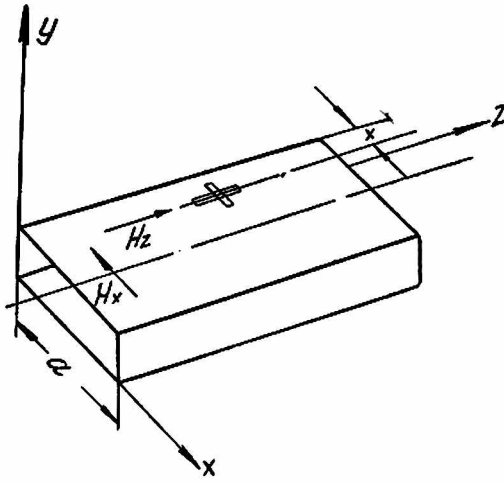


Рис. 1. Волноводный поляризатор.

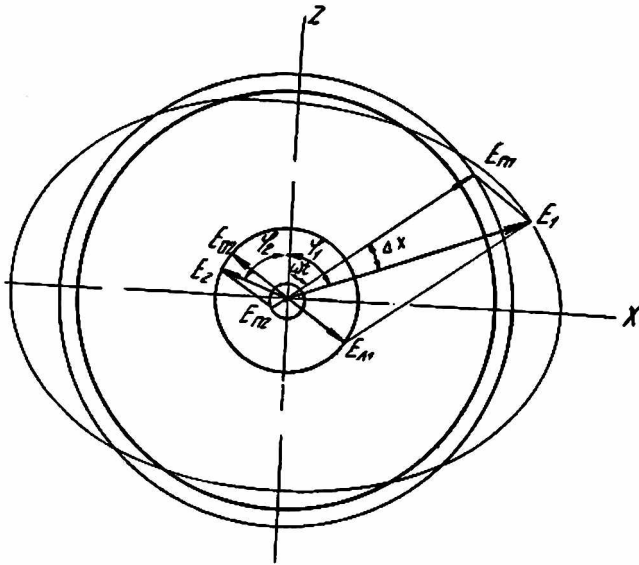


Рис. 2. Компоненты поляризованного поля при наличии к. с. в. в волноводном поляризаторе.

В связи с тем, что изменять величину  $x$  в поляризационных устройствах затруднительно, выберем

$$x = \frac{a}{4}. \quad (4)$$

Тогда в диапазоне частот имеем

$$\frac{|H_x|}{|H_z|} = \sqrt{\left(\frac{2a}{\lambda_0}\right)^2 - 1}. \quad (5)$$

С другой стороны,

$$\frac{|H_x|}{|H_z|} = \frac{|E_z|}{|E_x|} = r, \quad (6)$$

где  $E_z$  и  $E_x$  — компоненты поля, излученные в пространство;  
 $r$  — коэффициент эллиптичности поляризованного поля.

Как видно из формул (5) и (6), при изменении  $\lambda_0$  изменяется величина эллиптичности поляризованного поля.

Запишем получаемое на выходе поляризатора поляризованное поле в виде [4]

$$Ee^{-i\varphi} = E_n e^{i\omega t} + E_l e^{-i\omega t}, \quad (7)$$

где  $\varphi$  — угол ориентации вектора эллиптически поляризованного поля;  
 $E_n$ ,  $E_l$  — амплитудные величины векторов круговой поляризации соответственно правого и левого вращения.

В частном случае при

$$E_n = 0 \text{ или } E_l = 0 \quad (8)$$

соотношение (7) обращается в выражение для круговой поляризации.

Рассмотрим случай, когда в прямоугольном волноводе поляризатора движутся падающая и отраженная волны. Тогда, как показано в работе [8], поляризатором будут излучаться две эллиптически поляризованных волны с противоположным направлением вращения (рис. 2).

За счет падающей волны имеем

$$E_1 e^{-i\varphi_1} = E_{n_1} e^{i\omega t} + E_{l_1} e^{-i\omega t}, \quad (9)$$

где  $E_1$  — поляризованный вектор при прохождении падающей волны;  
 $E_{n_1}$ ,  $E_{l_1}$  — амплитудные величины векторов соответственно правого и левого вращения падающей волны;

$\varphi_1$  — угол ориентации вектора поля  $E_1$  и обратного.

$$E_2 e^{-i\varphi_2} = E_{n_2} e^{i(\omega t + \gamma)} + E_{l_2} e^{-i(\omega t - \gamma)}, \quad (10)$$

где  $E_2$  — поляризованный вектор при прохождении отраженной волны;  
 $E_{n_2}$ ,  $E_{l_2}$  — амплитудные величины векторов соответственно правого и левого вращений отраженной волны;

$\varphi_2$  — угол ориентации вектора поля  $E_2$ ;

$\gamma$  — начальный угол ориентации  $E_{n_2}$  и  $E_{l_2}$ .

В общем случае суммарное поле равно

$$E_2 e^{-i\varphi} = E_1 e^{-i\varphi_1} + E_2 e^{-i\varphi_2} = E_{n_2} e^{i\omega t} + E_{l_2} e^{-i\omega t}, \quad (11)$$

где  $E_2$  — напряженность электрического поля эллиптически поляризованной суммарной волны;

$E_{n_2} = E_n + E_{n_1} e^{i\gamma}$  — суммарный поляризованный по кругу вектор правого вращения;

$E_{l_2} = E_l + E_{l_1} e^{i\gamma}$  — суммарный поляризованный по кругу вектор левого вращения.

Для удовлетворения условия (8) положим в выражении (11)

$$E_{л2} = 0.$$

Тогда

$$E_{л1} = -E_{л2} e^{i\gamma}, \quad (12)$$

что выполняется при

$$|E_{л1}| = |E_{л2}|, \quad (13)$$

$$\gamma = \pi, \quad (14)$$

причем из соотношений (9) и (10) находим, что в этом случае

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi.$$

Задаваясь соответствующим комплексным значением коэффициента отражения  $\Gamma$ , можно получить круговую поляризацию в широкой полосе частот.

Найдем зависимость  $\Gamma$  от  $r$  при выполнении условия (14). Запишем уравнение эллипсов встречно вращающихся полей в полярной системе координат

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{\cos^2 \varphi + \frac{1}{r^2} \sin^2 \varphi}}; \quad (15)$$

$$E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{\cos^2 \varphi + \frac{1}{r^2} \sin^2 \varphi}}, \quad (16)$$

где  $E_{1m} = E_{пад}\beta$  — максимальная величина поляризованного поля, возникающего за счет падающей волны;

$E_{2m} = E_{отр}\beta$  — максимальная величина поляризованного поля, возникающего за счет отраженной волны;

$E_{пад}, E_{отр}$  — напряженность электрического поля соответственно падающей и отраженной волны в прямоугольном волноводе;

$\beta$  — переходное затухание.

Суммарное поле представится в виде

$$E_{\Sigma} = \sqrt{\frac{E_{1m}^2 + E_{2m}^2 - 2E_{1m}E_{2m} \cos 2\varphi}{\cos^2 \varphi + \frac{1}{r^2} \sin^2 \varphi}}. \quad (17)$$

Экстремальное значение  $E_{\Sigma}$  будет при угле  $\varphi = \frac{n\pi}{2}$ , где  $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ , который является корнем уравнения

$$\begin{aligned} \frac{dE_{\Sigma}}{d\varphi} &= 0; \\ \sin 2\varphi &= 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Исследовав выражение (17) на максимум и минимум, находим

$$E_{\max} = E_{1m} - E_{2m}; \quad (19)$$

$$E_{\min} = (E_{1m} + E_{2m})r, \quad (20)$$

где  $E_{\max}, E_{\min}$  — соответственно максимальное и минимальное значения напряженности эллиптически поляризованного поля суммарной волны.

Но

$$\frac{E_{\min}}{E_{\max}} = r^* \quad (21)$$

где  $r^*$  — коэффициент эллиптичности суммарного поля. Подставив формулы (19) и (20) в выражение (21) и выразив  $E_{m_1}$ ,  $E_{m_2}$  соответственно через  $E_{\text{пад}}$  и  $E_{\text{отр}}$ , получим

$$r^* = \frac{E_{\text{пад}} + E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}} - E_{\text{отр}}} r. \quad (22)$$

Из выражения (22) легко заметить, что

$$\Gamma = \frac{r^* - r}{r^* + r} \quad (23)$$

или КСВ

$$k = \frac{r^*}{r}. \quad (24)$$

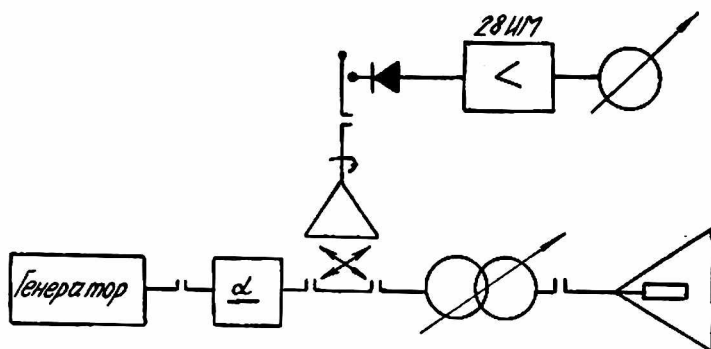


Рис. 3. Поляризационная установка с трансформаторной компенсацией эллиптичности поля.

Из выражений (22) и (23) находим условие получения круговой поляризации в диапазоне частот

$$\Gamma = \frac{1-r}{1+r} \quad (25)$$

или

$$k = \frac{1}{r}. \quad (26)$$

и окончательно из выражений (6) и (26) находим

$$k = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{2a}{\lambda_0}\right)^2 - 1}}. \quad (27)$$

Таким образом, если обеспечить  $k = \frac{1}{r}$  в полосе частот, то можно во всем диапазоне получить на выходе поляризатора круговую поляризацию, а следовательно, отклонение  $\Delta\psi$  свести к минимуму.

Исследовались два метода получения круговой поляризации. Схема одной из экспериментальных установок показана на рис. 3.

В установке энергия, излучаемая генератором СВЧ, поступала в волноводный поляризатор с крестообразной щелью. Подбор необходимой комплексной величины коэффициента отражения для компенсации эллиптичности производился трансформатором полных сопротивлений 52И. Коэффициент стоячей волны контролировался при помощи ИВЛУ-140 и усилителем 28И.

Характеристики поляризованного поля снимались при помощи рупорной антенны, укрепленной на стойке с лимбом, детекторной головки и усилителя 28И.

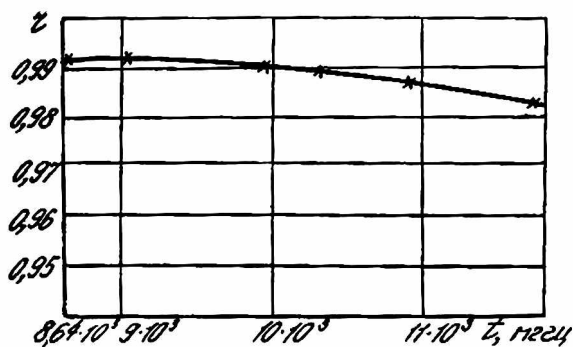


Рис. 4. Экспериментальные кривые зависимости коэффициента эллиптичности  $z$  от частоты  $f$ , полученные при использовании трансформаторной компенсации эллиптичности поля.

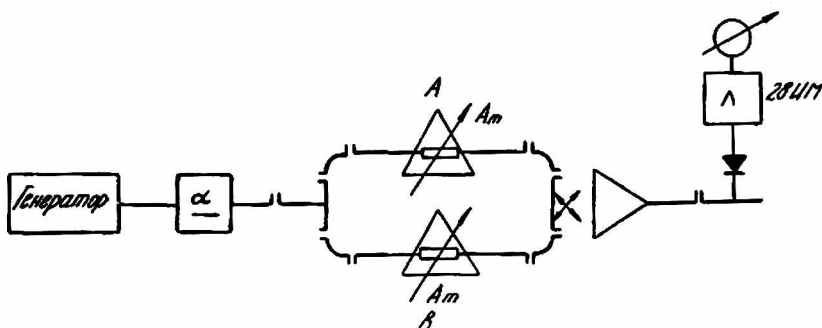


Рис. 5. Поляризационная установка с аттенуаторной компенсацией эллиптичности поля.

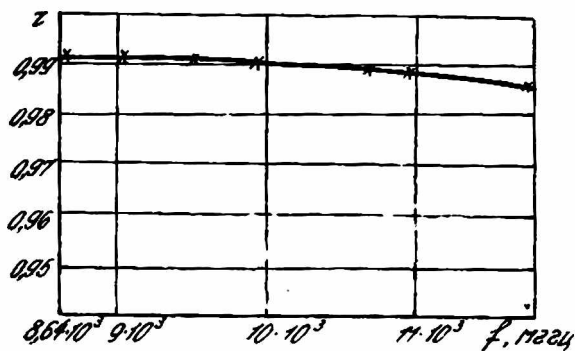


Рис. 6. Экспериментальные кривые зависимости эллиптичности  $z$  от частоты  $f$ , полученные при использовании аттенуаторной компенсации эллиптичности поля.

Результаты эксперимента приведены на рис. 4. Как видно из графика, данное поляризационное устройство позволяет получить во всем исследуемом диапазоне частот поле с коэффициентом эллиптичности  $r \geq 0,93$ , что соответствует  $\Delta\phi_m \leq 35'$ .

Схема другой экспериментальной установки изображена на рис. 5. Сигнал из  $E$ -плеча тройника поступает по симметричным плечам  $A$  и  $B$  к центру щели в противофазе. Так как плечи  $A$  и  $B$  идентичны, то условие (14) удовлетворяется независимо от рабочей частоты.

В одно плечо устройства включен переменный аттенюатор, с помощью которого можно изменять величину затухания проходящего сигнала. Это дает возможность обеспечить требуемое для ликвидации эллиптичности значение  $k$  с. в.

В экспериментальной установке для идентичности плеч  $A$  и  $B$  к симметричным плечам тройника были присоединены переменные аттенюаторы. Между выходами аттенюаторов помещался поляризатор в виде отрезка волновода с крестообразной щелью. Тройник через  $E$ -плечо питался от генератора СВЧ. Излучаемое поляризованное поле исследовалось ранее описанным методом. Результаты эксперимента приведены на рис. 6.

Как видно из графика, экспериментальные данные подтверждают возможность применения предлагаемого поляризационного устройства для получения поляризации, близкой к круговой в полосе частот. Так, согласно рис. 4, коэффициент эллиптичности в исследуемом диапазоне частот не превышает  $r \geq 0,98$ , что соответствует  $\Delta\phi_m = 35'$  (рис. 6).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Эпштейн. Измерительная аппаратура сверхвысоких частот. Изд-во «Судостроение», Л., 1965.
2. А. Ф. Харвей. Техника сверхвысоких частот, т. 1. Изд-во «Советское радио», 1965.
3. Р. А. Валитов. Радиотехнические измерения. Изд-во «Советское радио», 1963.
4. Ю. В. Шубарин. Антенны сверхвысоких частот. Изд-во ХГУ, Харьков, 1960.
5. R. R. Tompkins A dispersiales dielectric Qnorterwave plate in circular waveguide proc. IRE. №48 p. 1. № 6, 1960.
6. В. И. Бекетов. Анализ и синтез поляризационных элементов, «Радиотехника», т. 19, № 10, 1964.
7. И. В. Лебедев. Техника и приборы сверхвысоких частот. Госэнергоиздат, 1961.
8. Ю. И. Давидчевский. Труды ХВАИВУ, Харьков, 1965.