

## НАСТРОЙКА АНТЕННЫ НА КРУГОВУЮ ПОЛЯРИЗАЦИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ОБЛУЧАТЕЛЯ И ЗЕРКАЛА

Ю. В. Шубарин

Харьков

Реакция зеркала на облучатель и отражения от последнего могут значительно уменьшить коэффициент эллиптичности кругополяризованной антенны [1, 2], так как они влияют на поляризацию облучателя.

Цель настоящего сообщения — дать формулу для определения нужной поляризации облучателя кругополяризованной неосесимметричной зеркальной антенны и предложить методику настройки его на эту поляризацию с использованием отражений от облучателя и зеркала.

Облучатель должен создавать в некоторой точке раскрыва поле с нужной поляризацией, зависящей от законов амплитудных распределений ортогональных компонент [3, 4]. В работе [4] найден аналитический способ определения нужной поляризации в осесимметричных антеннах. Обобщим его для синфазных раскрывов любой формы с любыми амплитудными распределениями.

Обозначим через  $A_x(x, y)$  и  $A_y(x, y)$  амплитудные распределения ортогональных, сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ , компонент. Тогда, полагая, что в направлении нормали к раскрыву на расстоянии  $R$  коэффициент эллиптичности  $r = 1,0$ , и используя интеграл Кирхгофа, имеем

$$\frac{|\dot{E}_x(R)|}{|\dot{E}_y(R)|} = \frac{|\dot{E}_{sx}(x_0y_0)|}{|\dot{E}_{sy}(x_0y_0)|} \frac{\left| \int_S A_x(x, y) ds \right|}{\left| \int_S A_y(x, y) ds \right|} = 1,0,$$

где  $\dot{E}_x(R)$ ,  $\dot{E}_y(R)$  и  $\dot{E}_{sx}(x_0y_0)$ ,  $\dot{E}_{sy}(x_0y_0)$  — компоненты поля в дальней зоне и в точке  $x_0y_0$  раскрыва, по отношению к которой нормированы законы амплитудных распределений.

Тогда коэффициент эллиптичности поляризованного эллипса

$$r_s(x_0y_0) = \frac{|\dot{E}_{sy}(x_0y_0)|}{|\dot{E}_{sx}(x_0y_0)|} = \frac{\left| \int_S A_x(x, y) dS \right|}{\left| \int_S A_y(x, y) dS \right|}. \quad (1)$$

Например, при  $A_y(x, y) = 1$  и  $A_x(x, y) = \cos \frac{\pi x}{L_x}$  в случае прямоугольного раскрыва  $S = L_x L_y$  получим  $r_s(00) = 0,63$ , следовательно, большая полуось параллельна оси  $O_x$ .

Кругополяризованная антенна (рис. 1) состоит из зеркала 1, облучателя 2, фазирующей секции с диэлектрической пластиной 3, перехода 4,

прямоугольного волновода 5, поглощающей пластины 6. Последняя обычно служит для поддержания плоскости поляризации на входе диэлектрической пластины. Эквивалентная схема антенны (рис. 2) идентична 8-полюснику, исследованному в работе [1], но у нас коэффициент отражения  $\dot{\Gamma}_z$ , касательной  $\dot{C}_k^-$  и нормальной  $\dot{C}_n^+$  к диэлектрической пластине составляющих учитывает отражения не только от облучателя, но и от зеркала.

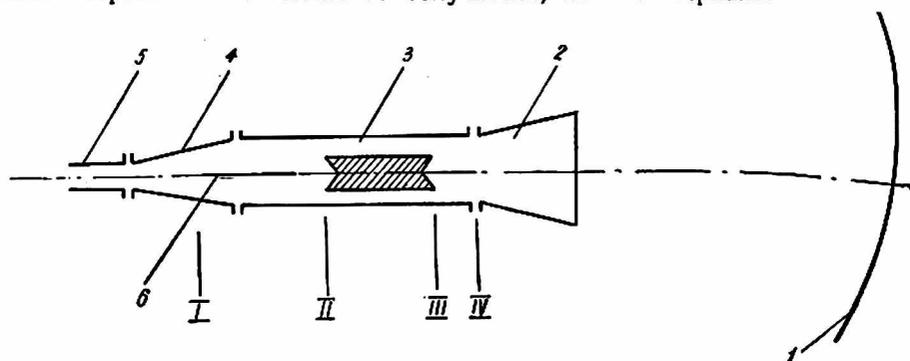


Рис. 1. Схема однозеркальной кругополяризованной антенны с фазировущей секцией.

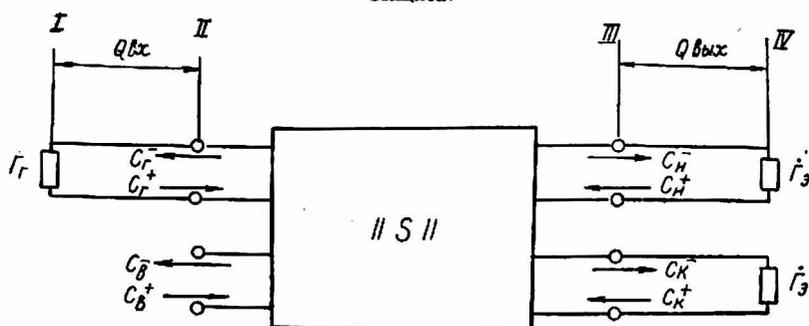


Рис. 2. Эквивалентная схема антенны.

Так как на вход 8-полюсника падает сумма волн, отраженных от облучателя ( $\dot{C}^+$ )<sub>обл</sub> и от зеркала ( $\dot{C}^+$ )<sub>з</sub>, то суммарная волна

$$\dot{C}^+ = (\dot{C}^+)_{\text{обл}} + (\dot{C}^+)_{\text{з}} = (\dot{\Gamma}_{\text{обл}} + \dot{\Gamma}_{\text{з}} \sqrt{1 - |\dot{\Gamma}_{\text{обл}}|^2}) \dot{C}^-,$$

откуда эквивалентный коэффициент отражения

$$\dot{\Gamma}_z = \frac{\dot{C}^+}{\dot{C}^-} = \dot{\Gamma}_{\text{обл}} + \dot{\Gamma}_{\text{з}} \sqrt{1 - |\dot{\Gamma}_{\text{обл}}|^2} = |\dot{\Gamma}_{\text{з}}| e^{i\psi_z}. \quad (2)$$

В работе [1] получена система уравнений для определения отраженных от восьмиполюсника волн. Детерминант системы  $\Delta$  и детерминанты для определения волн  $\dot{C}_b^+$ ,  $\dot{C}_r^+$ ,  $\dot{C}_k^+$  и  $\dot{C}_n^+$  после подстановки коэффициентов рассеяния имеют вид

$$\begin{aligned} \Delta &= 1 - (\cos \theta + i \sin \theta \cos 2\varphi) \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma}'_r; \\ \Delta_b &= [(\cos \theta - i \sin \theta \cos 2\varphi) + \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma}'_r] \dot{\Gamma}'_r e^{i2\theta_{\text{вх}}}; \\ \Delta_r &= \sin \theta \sin 2\varphi \cdot \dot{\Gamma}'_r e^{i(2\theta_{\text{вх}} + \frac{\pi}{2})}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta_K^- &= (1 + \dot{\Gamma}' e^{i\theta}) \cos \varphi e^{-i(\theta\phi - \frac{\theta}{2})}, \\ \Delta_H^- &= (1 + \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma}' e^{-i\theta}) \cos \varphi e^{-i(\theta\phi + \frac{\theta}{2})}, \\ \dot{\Gamma}' &= \dot{\Gamma}_s e^{-i2(\theta_{\text{вх}} + \theta\phi)} = \dot{\Gamma}_s e^{i\theta}; \end{aligned} \quad (4)$$

где

$\theta_{\text{вх}}, \theta_{\text{вых}}$  — электрические длины участков I — II и III — IV;

$\theta\phi - \frac{\theta}{2}$  — электрическая длина секции для поляризации, перпендикулярной диэлектрической пластине;

$\theta$  — сдвиг фаз волн  $\dot{C}_K^-$  и  $\dot{C}_H^-$  после прохождения секции.

Поляризационное отношение поля в направлении главного максимума облучателя

$$\dot{\rho} = \frac{\dot{C}_K^-}{\dot{C}_H^-} = \frac{\Delta_K^-}{\Delta_H^-} = e^{-i\theta} \operatorname{ctg} \varphi \frac{1 + \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma}' e^{i\theta}}{1 + \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma}' e^{-i\theta}}. \quad (5)$$

При  $\dot{\Gamma}_r = 0$   $\dot{\rho} = e^{-i\theta} \operatorname{ctg} \varphi$ , т. е. поляризация поля полностью определяется сдвигом фаз ортогональных компонент  $\theta$  и углом  $\varphi$  между плоскостью поляризации и диэлектрической пластиной и не зависит от отражений. Однако установка поглощающей пластины может привести к снижению к. п. д. антенны и ухудшению ее согласования. Поэтому положим  $\dot{\Gamma}_r = -1,0$  (пластина отсутствует), тогда модуль и фаза (5)

$$|\dot{\rho}| = |\operatorname{ctg} \varphi| \sqrt{\frac{1 + |\dot{\Gamma}_s|^2 + 2|\dot{\Gamma}_s| \cos \psi}{1 + |\dot{\Gamma}_s|^2 + 2|\dot{\Gamma}_s| \cos(\psi - 2\theta)}}. \quad (6)$$

$$\psi_p = -\theta \operatorname{arctg} \frac{2[\cos(\psi - \theta) + |\dot{\Gamma}_s| \cos \theta] |\dot{\Gamma}_s| \sin \theta}{1 + 2|\dot{\Gamma}_s| \cos(\psi - \theta) \cos \theta + |\dot{\Gamma}_s|^2 \cos 2\theta}, \quad (7)$$

где  $\psi = \psi_s + \delta + \theta$ .

Коэффициент эллиптичности  $r$  и угол ориентации  $\beta$  относительно оси, перпендикулярной к диэлектрической пластине,

$$r = \frac{|\dot{\rho}|^2 + 1}{2|\dot{\rho}| |\sin \psi_p|} - \sqrt{\left(\frac{|\dot{\rho}|^2 + 1}{2|\dot{\rho}| |\sin \psi_p|}\right)^2 - 1}; \quad \beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg}^2 \frac{|\dot{\rho}| \cos \psi_p}{|\dot{\rho}|^2 - 1}. \quad (8)$$

Следовательно, для кругополяризованной секции ( $\theta = \frac{\pi}{2}$ ,  $|\varphi| = \frac{\pi}{4}$ ) имеем

$$r_s = \frac{1 - |\dot{\Gamma}_s|}{1 + |\dot{\Gamma}_s|}; \quad \beta_s = \frac{\psi}{2}. \quad (9)$$

Коэффициент отражения от произвольного зеркала неизвестен, его можно определить экспериментально. Для осесимметричного он приближенно равен [5]

$$\dot{\Gamma}_s \cong \frac{G_0}{2kf} e^{-l(2kf + \psi_0)}, \quad (10)$$

где  $G_0$ ,  $f$  и  $\psi_0$  — коэффициент усиления облучателя, фокусное расстояние и постоянная фаза.

Выбором  $kf$  (или смещением облучателя) можно получить как синфазное, так и противофазное сложение отраженных облучателем и зеркалом волн, при этом коэффициент облучателя изменяется в пределах

$$\frac{1 - (|\dot{\Gamma}_0| + |\dot{\Gamma}_s|)}{1 + (|\dot{\Gamma}_0| + |\dot{\Gamma}_s|)} < r_s < \frac{1 - (|\dot{\Gamma}_0| - |\dot{\Gamma}_s|)}{1 + (|\dot{\Gamma}_0| - |\dot{\Gamma}_s|)}, \quad (11)$$

при  $\theta = \frac{\pi}{2}$ ,  $|\varphi| = \frac{\pi}{4}$ .

Например, при  $f/\lambda = 10$  и облучателе — пирамидальном рупоре с  $a/\lambda = 0,75$  имеем  $G_0 = 6$ ,  $|\dot{\Gamma}_s| = 4,8 \cdot 10^{-2}$ , коэффициент отражения от раскрыва облучателя  $|\dot{\Gamma}_0| = \frac{1 - \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}{1 + \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} \cong 0,14$ , тогда при смещении облучателя на  $\Delta f = \lambda/4$   $r_{S_{\max}} = 0,82$ ;  $ar_{S_{\min}} = 0,65$ .

Таким образом, для получения нужной поляризации в точке  $x_0 y_0$  раскрыва можно использовать отражения от облучателя и зеркала, применяя следующую методику при  $\theta = \frac{\pi}{2}$ .

1. Поворотом фазирующей секции вокруг продольной оси установить плоскость диэлектрической пластины параллельно нужной ориентации большой полуоси поляризационного эллипса в раскрыве.

2. Изменением  $\theta_{\text{вх}}$  или  $\theta_{\text{вых}}$  регулировать  $\psi$ , установив по максимуму коэффициента эллиптичности всей антенны  $r_A$  нужную ориентацию большой полуоси поляризационного эллипса. В результате этой регулировки получим  $\beta_S = \frac{\pi}{2}$ , поэтому  $\psi = 2\beta_S = \pi$ ,  $\psi_p = -\frac{\pi}{2}$ ,  $r = |p| = |\text{ctg } \varphi| \frac{1 - |\dot{\Gamma}_s|}{1 + |\dot{\Gamma}_s|}$  из формул (6), (7), (8) и (9),

При  $|\varphi| = \frac{\pi}{4}$  смещаем облучатель из фокуса вдоль фокальной оси на  $|\Delta f| < \lambda/4$  (т. е. в пределах допусков), регулируя  $|\dot{\Gamma}_s|$  (так, чтобы  $\frac{1 - |\dot{\Gamma}_s|}{1 + |\dot{\Gamma}_s|} = r_s$ ), и вновь добиваясь наиболее близкого к 1,0 коэффициента эллиптичности всей антенны  $r_A$ . Если пределы (11) узки, то  $r_A < 1$ , тогда применяется пункт 4. Изменением  $\varphi$  (малым) получить  $r_A = 1$ .

Коэффициент стоячей волны фидерного тракта КСВ<sub>ф</sub> и уменьшение к. п. д. антенны  $\Delta\eta_A$  за счет отражений равны

$$\text{КСВ}_\phi = \frac{1 + |C_b^-|}{1 - |C_b^-|}, \quad \Delta\eta_A = |C_b^-|^2 + |C_r^-|^2 (1 - |\dot{\Gamma}_r|^2) \quad (12)$$

В случае предлагаемой методики, полагая в формуле (3)

$$\dot{\Gamma}_r = -1, \quad \theta = \frac{\pi}{2}, \quad |\varphi| = \frac{\pi}{4},$$

имеем  $|C_b^-| = |\dot{\Gamma}_s|^2$ ; для необходимого  $r_s = 0,7$  находим  $|\dot{\Gamma}_s| = \frac{1 - r_s}{1 + r_s} = 0,176$ , поэтому из выражения (12) получаем  $\text{КСВ}_\phi = \frac{1 + |\dot{\Gamma}_s|^2}{1 - |\dot{\Gamma}_s|^2} = 1,06$  и  $\Delta\eta_A = |\dot{\Gamma}_s|^4 \cong 0,1\%$ .

Если установлена поглощающая пластина, то, полагая в (3)  $\Gamma_r = 0$ ,  $\theta = \frac{\pi}{2}$  имеем  $|C_b^-| = |\dot{\Gamma}_s| |\cos 2\varphi|$ ,  $|C_r^-| = |\dot{\Gamma}_s| |\sin 2\varphi|$ . Так как для  $r_s =$

$\approx 0,7$  нужно  $\varphi = 55^\circ$ , то при данных рассмотренного примера  $|\dot{\Gamma}_s| = 0,1 \div 0,2$  получим

$$КСВ_\varphi = \frac{1 + |\dot{\Gamma}_s| |\cos 2\varphi|}{1 - |\dot{\Gamma}_s| |\cos 2\varphi|} = 1,07 \div 1,14$$

и

$$\Delta\eta_A = |\dot{\Gamma}_s|^2 = (1 \div 4) \%$$

Следовательно, если нужный  $r_s$  сильно отличается от 1,0, то поглощающая пластина может значительно ухудшить согласование и к. п. д., поэтому желательно применять рекомендуемую методику, использующую отражения.

Фаза коэффициента отражения от зеркала определяется в основном его участком, близким к вершине, т. е. как и в случае осесимметричного параболического, слагаемым  $2kf = 2\frac{2\pi}{\lambda} f$ , и изменяется на  $\pi$  при относительной расстройке рабочей длины волны на  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{\lambda}{4f}$ . Если в пределах этой расстройки изменения  $\theta$  в секции и  $\dot{\Gamma}_0$  пренебрежимы, то в п. 3 методики вместо смещения облучателя вдоль фокальной оси следует подстраивать рабочую частоту в пределах  $\left| \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right| < \frac{\lambda}{4f}$ . При этом, возможно, потребуются повторить регулировку п. 2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Бондарцев, А. И. Шалман. «Радиотехника и электроника», 1965, № 12.
2. Ю. В. Шубарин, Н. Н. Горобец, В. А. Волошин. XXII Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио, секция антенных устройств, 1966.
3. L. J. Kuskowski, A. M. Mc. Coy. I. R. E. Intern. Conv. Res. 1, 35, 1960.
4. Ю. В. Шубарин, Н. Н. Горобец. «Радиотехника и электроника», 1965, № 1.
5. Антенны сантиметровых волн (под ред. Я. Н. Фельда), Изд-во «Советское радио», 1951.