

ПОТЕРИ НА ОБРАЗОВАНИЕ КРОССПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА НЕОДНОРОДНОЙ СФЕРЕ

Конечные размеры рассеивателя и участки, обладающие радиусом кривизны, являются причиной появления кроссполяризованных составляющих. Потери падающей энергии на образование кроссполяризованной составляющей могут составлять существенную долю от общей рассеянной энергии. Оценка этих потерь может быть произведена только численно. Для количественной оценки вводится понятие коэффициента потерь на образование кроссполяризованной составляющей.

Направление распространения волны и система координат показаны на рис. 1.

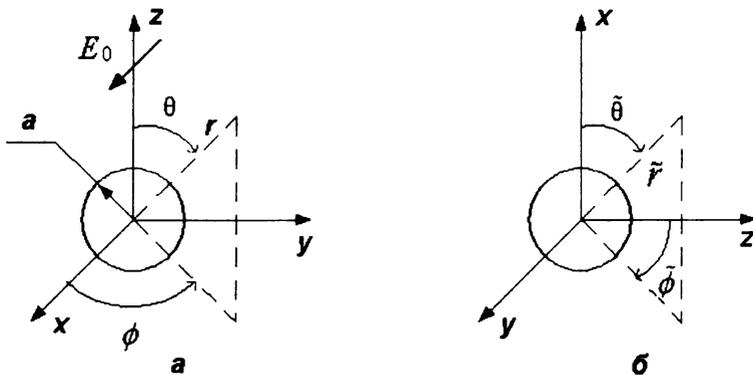


Рис. 1. Направление распространения волны и системы координат

Составляющие дифрагировавшего поля в системе координат (рис. 1,а) записываются в следующем виде:

$$E_{\theta} = -E_0 \frac{e^{-ik_0 r}}{ik_0 r} S_{\parallel}(\theta) \cos \phi, \quad (1)$$

$$E_{\phi} = E_0 \frac{e^{-ik_0 r}}{ik_0 r} S_{\perp}(\theta) \sin \phi,$$

где из (1) можно выделить части, характеризующие угломестную зависимость поля:

$$S_{\parallel}(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \cdot (-1)^n \langle \tau_n(\theta) M_n - \pi_n(\theta) N_n \rangle, \quad (2)$$

$$S_{\perp}(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \cdot (-1)^n \langle \pi_n(\theta) M_n - \tau_n(\theta) N_n \rangle.$$

Следует заметить, что составляющие E_{θ} и E_{ϕ} (1) не являются основной (ОП) и кроссполяризационной (КП) составляющими для падающей волны E_0 .

Для определения ОП и КП следует перейти к другой сферической системе координат, изображенной на рис. 1,б. Для этой системы координат:

$$E_{оп} = E_{\theta}^{-} = -E_0 \frac{e^{-ik_0 r}}{ik_0 r} \left[1 - (\sin\theta \cos\phi)^2 \right]^{1/2} \langle \cos\theta \cos^2\phi S_{\parallel}(\theta) + \sin^2\phi S_{\perp}(\theta) \rangle, \quad (3)$$

$$E_{кп} = E_{\phi}^{-} = E_0 \frac{e^{-ik_0 r}}{ik_0 r} \left[1 - (\sin\theta \cos\phi)^2 \right]^{1/2} \langle \sin\phi \cos\phi S_{\parallel}(\theta) - \sin\phi \cos\phi \cos\theta S_{\perp}(\theta) \rangle.$$

Численные расчеты для дифракции волн с линейной поляризацией

Определим выражение для потерь на образование КП (линейная поляризация):

$$\alpha_{кп} = \frac{P_{кп}}{P_{п}} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_{\theta_0}^{\theta_0} |S_{кп}(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi}{\pi \int_0^{\pi} \langle |S_{\perp}(\theta)|^2 + |S_{\parallel}(\theta)|^2 \rangle \sin\theta d\theta}, \quad (4)$$

где $P_{кп}$ – переизлученная сферой мощность (кроссполяризация);

$P_{п}$ – переизлученная сферой за период мощность;

$S_{кп}(\theta, \phi)$ – часть, характеризующая угломестную зависимость поля;

θ_0 – значение угла θ , которое определяет конус углов.

По формуле (4) произведен численный расчет для определения потерь на образование кроссполяризационных потерь.

На рис. 2 приведен график зависимости потерь на образование потерь КП для радиуса сферы $k_0 a = 0.5, 1, 3, 5$.

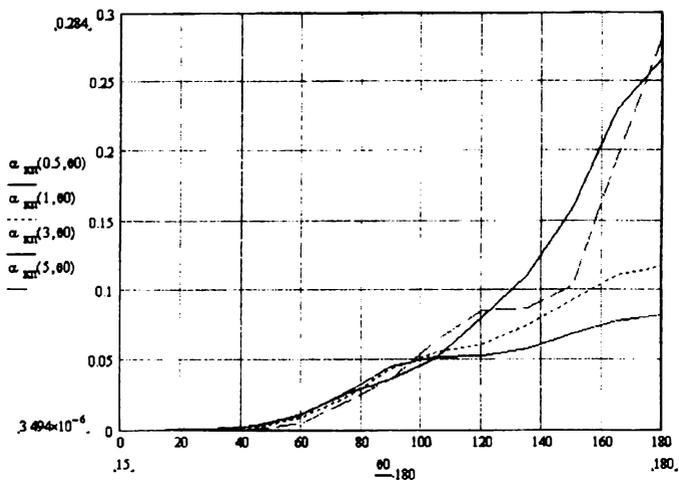


Рис. 2. Потери на образование КП при $k_0 a = 0.5, 1, 3, 5$

Численные расчеты для дифракции волн с круговой поляризацией

Определим выражение для потерь на образование КП (круговая поляризация):

$$\alpha_{\text{КП}} = \frac{P_{\text{лв}}}{P_{\text{лв}} + P_{\text{пв}}} = \frac{\int_0^{\theta_0} |S_{\text{лв}}(\theta)|^2 \sin \theta d\theta}{\int_0^{\pi} (|S_{\text{пв}}(\theta)|^2 + |S_{\text{лв}}(\theta)|^2) \sin \theta d\theta}, \quad (5)$$

где $P_{\text{лв}}$ – переизлученная сферой мощность (левое вращение);

$P_{\text{пв}}$ – переизлученная сферой мощность (правое вращение);

$P_{\text{лв}} + P_{\text{пв}}$ – переизлученная сферой за период мощность;

$S_{\text{пв}}(\theta), S_{\text{лв}}(\theta)$ – части, характеризующие угломестную зависимость поля.

По формуле (5) произведен численный расчет для определения потерь на образование кроссполаризационных потерь.

На рис. 3 приведены графики зависимости потерь на образование потерь КП для радиуса сферы $k_0 a = 0.5, 1, 3, 5$.

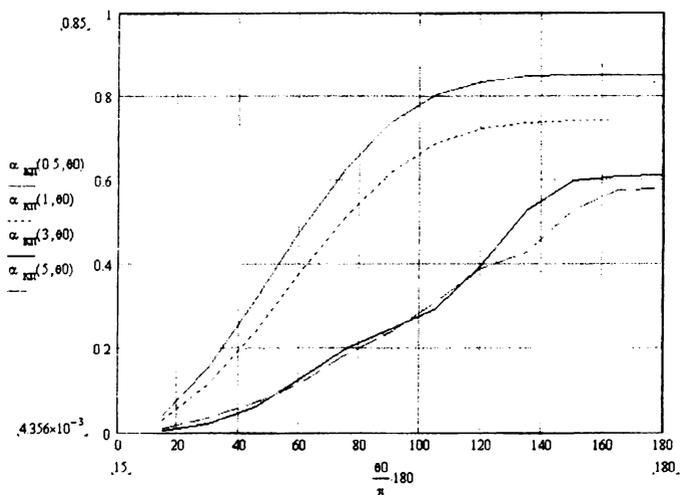


Рис. 3. Потери на образование КП при $k_0 a = 0.5, 1, 3, 5$

Частным случаем и проверкой полученных выше формул является длинноволновое приближение коэффициента рассеяния (приближения Релея), когда $k_0 a \ll 1$. Используя в рядах по полиномам Лежандра один член ($n = 1$) и асимптотику сферических функций Бесселя, получим следующие результаты:

$$S_{оп}(\theta) \approx -i \frac{1}{8} (k_0 a)^3 (1 - \cos \theta),$$

$$S_{кп}(\theta) \approx i \frac{3}{2} (k_0 a)^3 (1 + \cos \theta).$$
(6)

Потери на кроссполаризацию:

$$\alpha_{кп} = 1 - \left(\frac{\frac{1}{4} \int_0^{\theta_0} (1 - \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta}{\frac{1}{4} \int_0^{\pi} (1 - \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta + \frac{9}{4} \int_0^{\pi} (1 + \cos \theta)^2 \sin \theta d\theta} \right) \quad (7)$$

По формуле (7) произведен численный расчет для определения потерь на образование кроссполаризационных потерь.

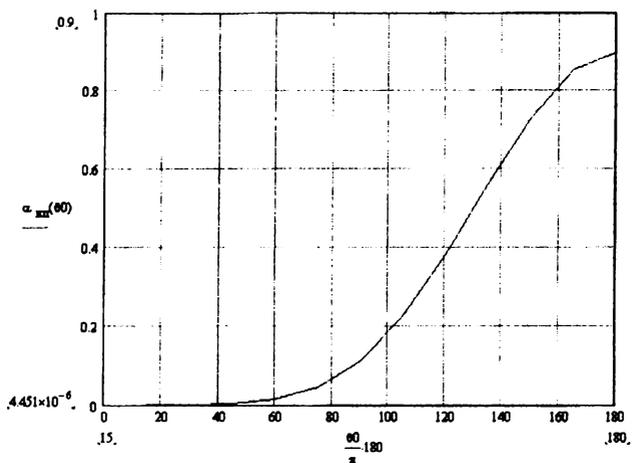


Рис. 4. Потери на образование кроссполяризации для $k_0 a = 0.001$ (приближения Релея)

Заключение

Большая часть результатов получена впервые и представляет собой самостоятельный интерес.

Приведенные в работе формулы являются общими и позволяют исследовать дифракционные характеристики составных сферических тел.