

## 2. Вертикальная поляризация

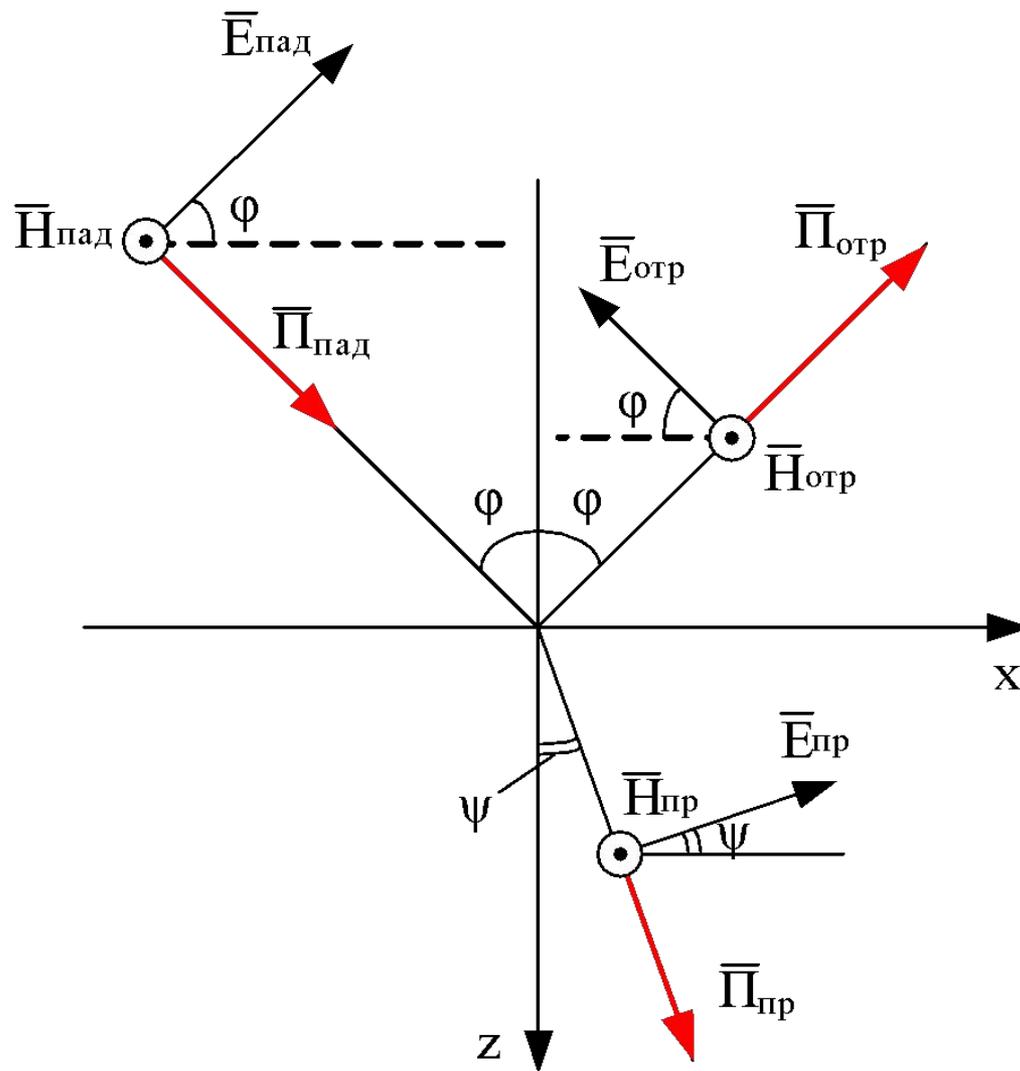


Рис.13.3.

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{i\ddot{a}\ddot{a}} \cos \varphi - E_{i\ddot{o}\ddot{o}} \cos \varphi = E_{i\ddot{o}} \cos \psi \\ \dot{A}_{i\ddot{a}\ddot{a}} + \dot{A}_{i\ddot{o}\ddot{o}} = \dot{A}_{i\ddot{o}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 + R = \dot{O} \\ \frac{\cos \varphi}{Z_{c1}} - \frac{R \cos \varphi}{Z_{c1}} = \frac{\dot{O} \cos \psi}{Z_{c2}} \end{array} \right.$$

$$R_{II} = \frac{Z_{c1} \cos \varphi - Z_{c2} \cos \psi}{Z_{c1} \cos \varphi + Z_{c2} \cos \psi}$$

$$T_{II} = \frac{2Z_{c2} \cos \varphi}{Z_{c1} \cos \varphi + Z_{c2} \cos \psi}$$

(13.10)

- формулы Френеля.

## Эффект Брюстера

$$\varphi + \psi = 90^\circ$$

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{\sin \varphi}{\sin(90^\circ - \varphi)} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

$$\varphi_{A\delta} = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \quad (13.11)$$

## § 13.3 Явление полного внутреннего отражения (ПВО)

$$\mu_2 \varepsilon_2 < \mu_1 \varepsilon_1 \quad (n_2 < n_1)$$

$$\sin \psi = \frac{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}}{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}} \sin \varphi$$

$$\sin \psi > \sin \varphi$$

$$\psi > \varphi$$

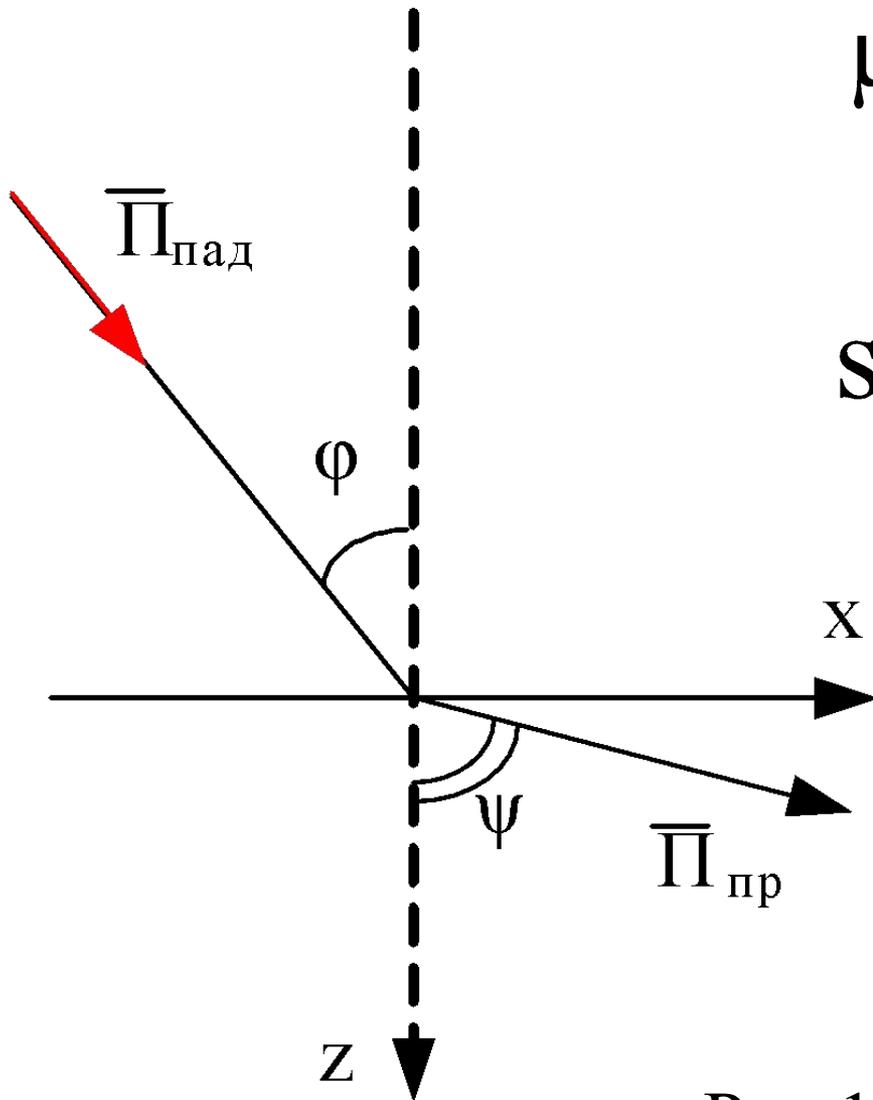


Рис.13.4.

По определению

$$\varphi_{\text{ПО}} = \varphi \Big|_{\psi=90^\circ} \quad \sin \varphi_{\text{и}} = \frac{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}}{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}}$$

$$\varphi_{\text{и}} = \arcsin \frac{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}}{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}} \quad (13.12)$$

$$\varphi \geq \varphi_{\text{и}} \rightarrow |R| = 1$$

$$\sin \psi = \frac{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}}{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}} \sin \varphi > 1$$

$$\varphi = \varphi_{\hat{II}} : \sin \psi = 1$$
$$\sin \psi > 1 : \psi = \frac{\pi}{2} + j\alpha'$$

$$\sin \psi = ch\alpha'$$

$$\cos \psi = -jsh\alpha'$$

$$ch^2\alpha' - 1 = sh^2\alpha'$$

$$\cos \psi = -j \sqrt{\sin^2 \psi - 1}$$

$$sh\alpha' = \sqrt{\frac{\mu_1 \varepsilon_1}{\mu_2 \varepsilon_2} \sin^2 \varphi - 1} \quad (13.13)$$

$$\varphi = \varphi_{\hat{H}} : sh\alpha' = 0$$

1) Рассмотрим перпендикулярную поляризацию:

$$R_{\perp} = \frac{Z_{c2} \cos \varphi - Z_{c1} \cos \psi}{Z_{c2} \cos \varphi + Z_{c1} \cos \psi} = \frac{1 + j \frac{Z_{c1} sh\alpha'}{Z_{c2} \cos \varphi}}{1 - j \frac{Z_{c1} sh\alpha'}{Z_{c2} \cos \varphi}}$$

Обозначим  $\frac{Z_{c1} \operatorname{sh} \alpha'}{Z_{c2} \cos \varphi} = A$

$$R_{\perp} = \frac{1 + jA}{1 - jA} = \frac{e^{j \arctg A}}{e^{-j \arctg A}} = e^{2j \arctg A}$$

$$R_{\perp} = e^{j \Phi_{R_{\perp}}}$$

$$\Phi_{R_{\perp}} = 2 \arctg \frac{Z_{c1} \operatorname{sh} \alpha'}{Z_{c2} \cos \varphi}$$

- фазовый сдвиг  
при отражении

2) Аналогично для параллельной поляризации:

$$R_{\parallel} = e^{j\Phi_{R_{\parallel}}}$$

$$\Phi_{R_{\parallel}} = 2 \operatorname{arctg} \frac{Z_{c1} \operatorname{sh} \alpha'}{Z_{c2} \cos \varphi}$$

(13.14)

$$\epsilon_2 < \epsilon_1$$

$$\mu_2 = \mu_1$$

$$Z_{\tilde{n}2} > Z_{\tilde{n}1}$$

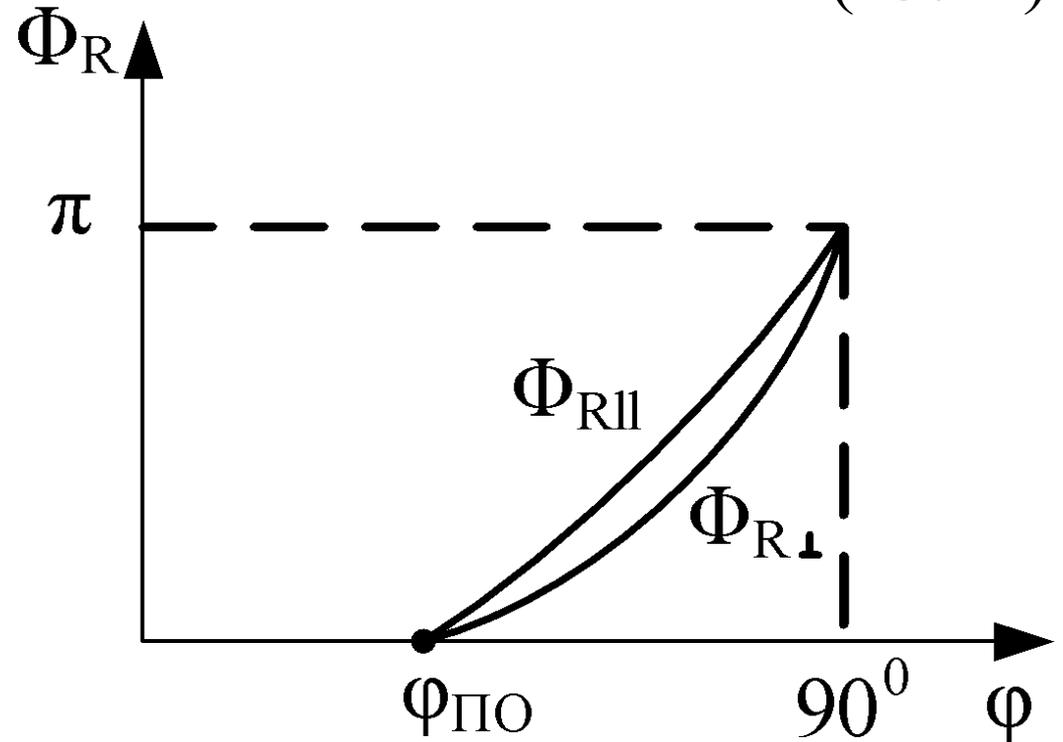


Рис.13.5.

Рассмотрим преломленную волну при явлении ПВО

$$\bullet \quad \dot{E}_{np} = \dot{E}_{np0} e^{-j(\beta_2 \sin \psi X + \beta_2 \cos \psi Z)}$$

$$\varphi > \varphi_{\text{ПО}} \rightarrow \cos \psi = -jsh\alpha'$$

По закону Снелля

$$\beta_2 \sin \psi = \beta_1 \sin \varphi$$

$$\bullet \quad \dot{E}_{np} = T \dot{E}_{nad0} e^{-j\beta_1 \sin \varphi X} e^{-\beta_2 sh\alpha' Z}$$

$$\bullet \quad \dot{E}_{np} = T \dot{E}_{nad0} e^{-j\beta_X X} e^{-\alpha_Z Z}$$

$$\beta_x = \beta_1 \sin \varphi$$

$$\alpha_z = \beta_2 \operatorname{sh} \alpha'$$

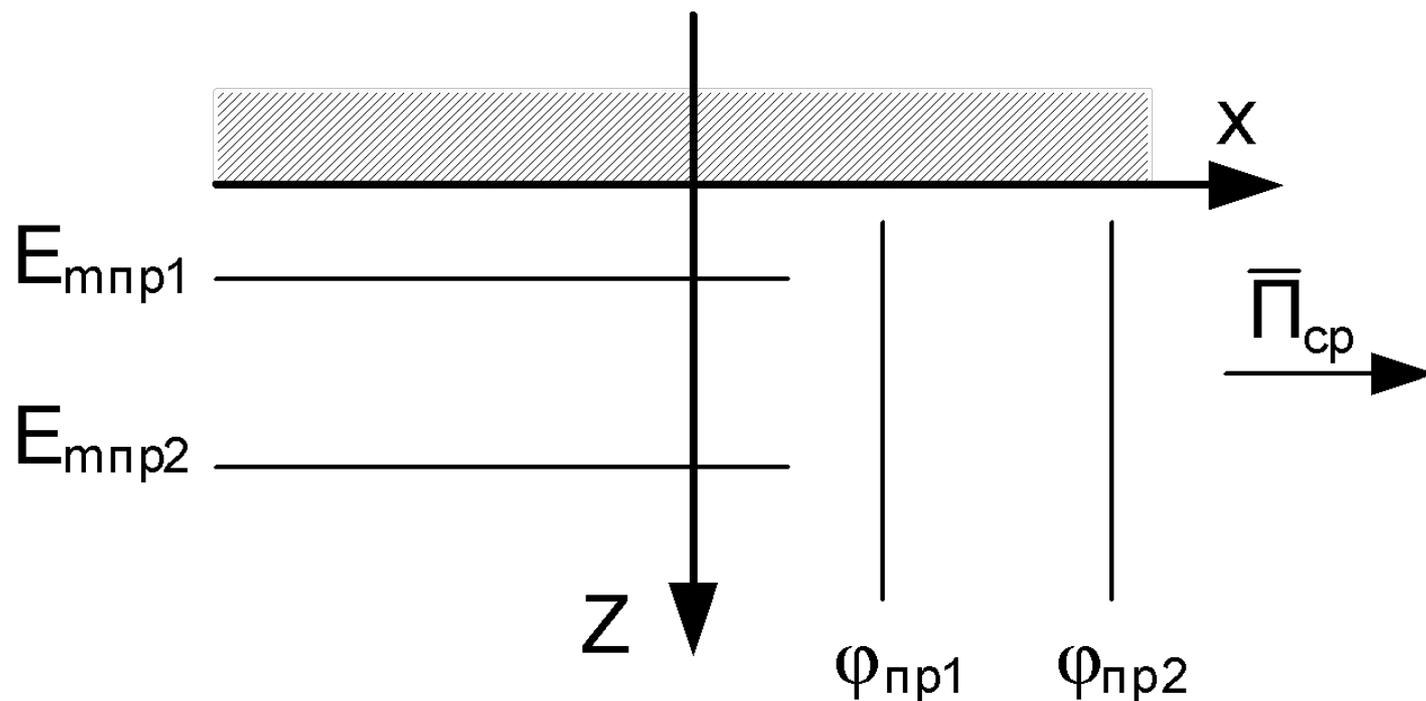


Рис.13.6.

1) Фазовая скорость:

$$V_{\phi} = \frac{\omega}{\beta_1 \sin \varphi} = \frac{\omega}{\frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_1 \mu_1} \sin \varphi} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1} \sin \varphi} =$$

$$= \frac{V_{\phi 1}}{\sin \varphi}$$

Если  $\sin \varphi < 1$ , то  $V_{\phi} > V_{\phi 1}$

$$V_{\phi} = \frac{\omega}{\beta_2 \sin \psi} = \frac{V_{\phi 2}}{\sin \psi}$$

$$\sin \psi \geq 1 \quad V_{\hat{o}} \leq V_{\hat{o}2}$$

$$V_{\hat{o}1} \leq V_{\hat{o}} \leq V_{\hat{o}2}$$

$$\varphi = \varphi_{\hat{H}} \rightarrow V_{\hat{o}} = V_{\hat{o}2},$$

$$\varphi = 90^{\circ} \rightarrow V_{\hat{o}} = V_{\hat{o}1}.$$

2) Коэффициент ослабления:

$$\varphi = \varphi_{\text{ПО}} \rightarrow \alpha_Z = 0,$$

$$\varphi = 90^{\circ} \rightarrow \alpha_Z = \beta_2 \sqrt{\frac{\mu_1 \varepsilon_1}{\mu_2 \varepsilon_2} - 1}$$

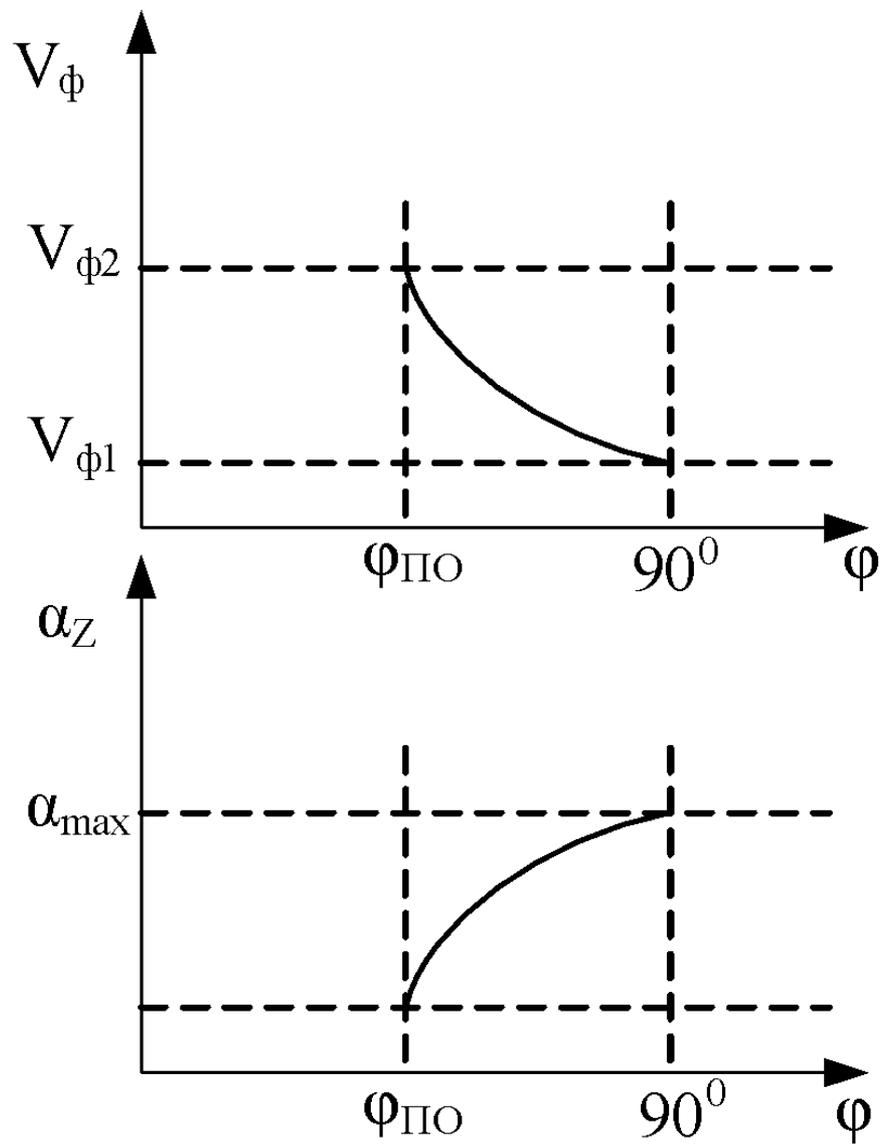


Рис.13.7.

## § 13.4 Приближенные граничные условия Щукина-Леонтовича

$$\varphi \gg \psi$$

$$\dot{E} i\delta = \dot{E} i\delta_0 e^{-j\gamma_2 Z}$$

$$\gamma_2 = \beta_2 - j\alpha_2$$

$$\dot{E} i\delta = \dot{E} i\delta_0 e^{-\alpha_2 Z} e^{-j\beta_2 Z}$$

$$\ddot{I} \tilde{n}\delta = \ddot{I} \tilde{n}\delta_0 e^{-2\alpha_2 Z}$$

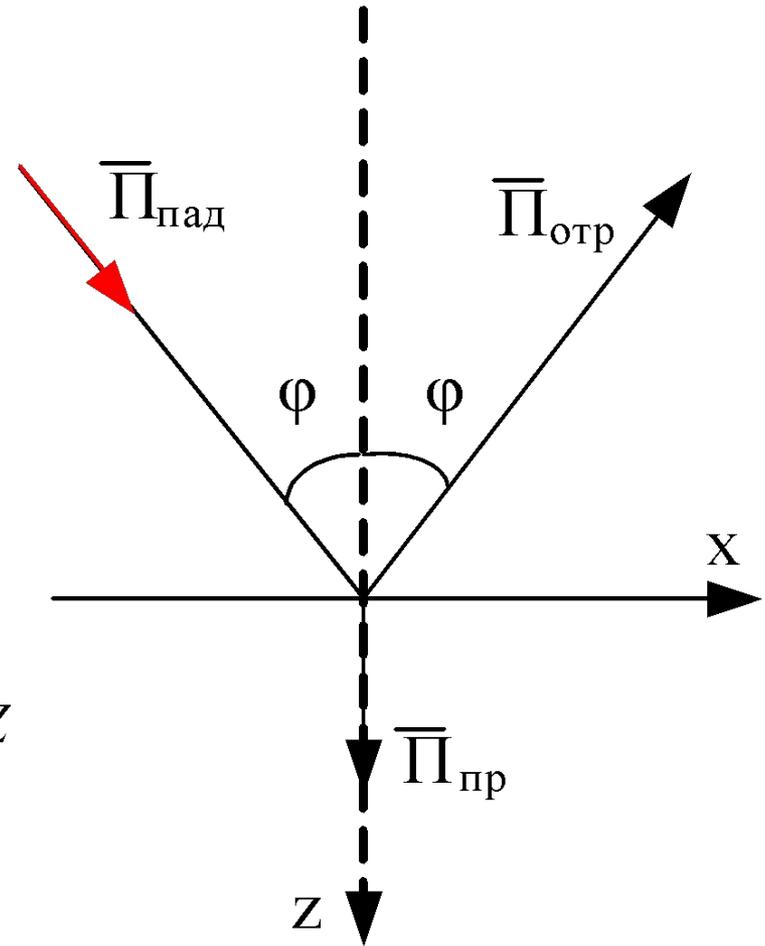


Рис.13.8.

Граничные условия:

$$\bar{H}_{\tau 1} = \bar{H}_{\tau 2}$$

$$\bar{E}_{\tau 1} = \bar{E}_{\tau 2}$$

$$\bar{H}_{\tau 1} \approx \bar{H}_2$$

$$\bar{E}_{\tau 1} \approx \bar{E}_2$$

(13.18)

$$Z_{C2} = \frac{\dot{E}_{\tau x}}{\dot{H}_{\tau y}}$$

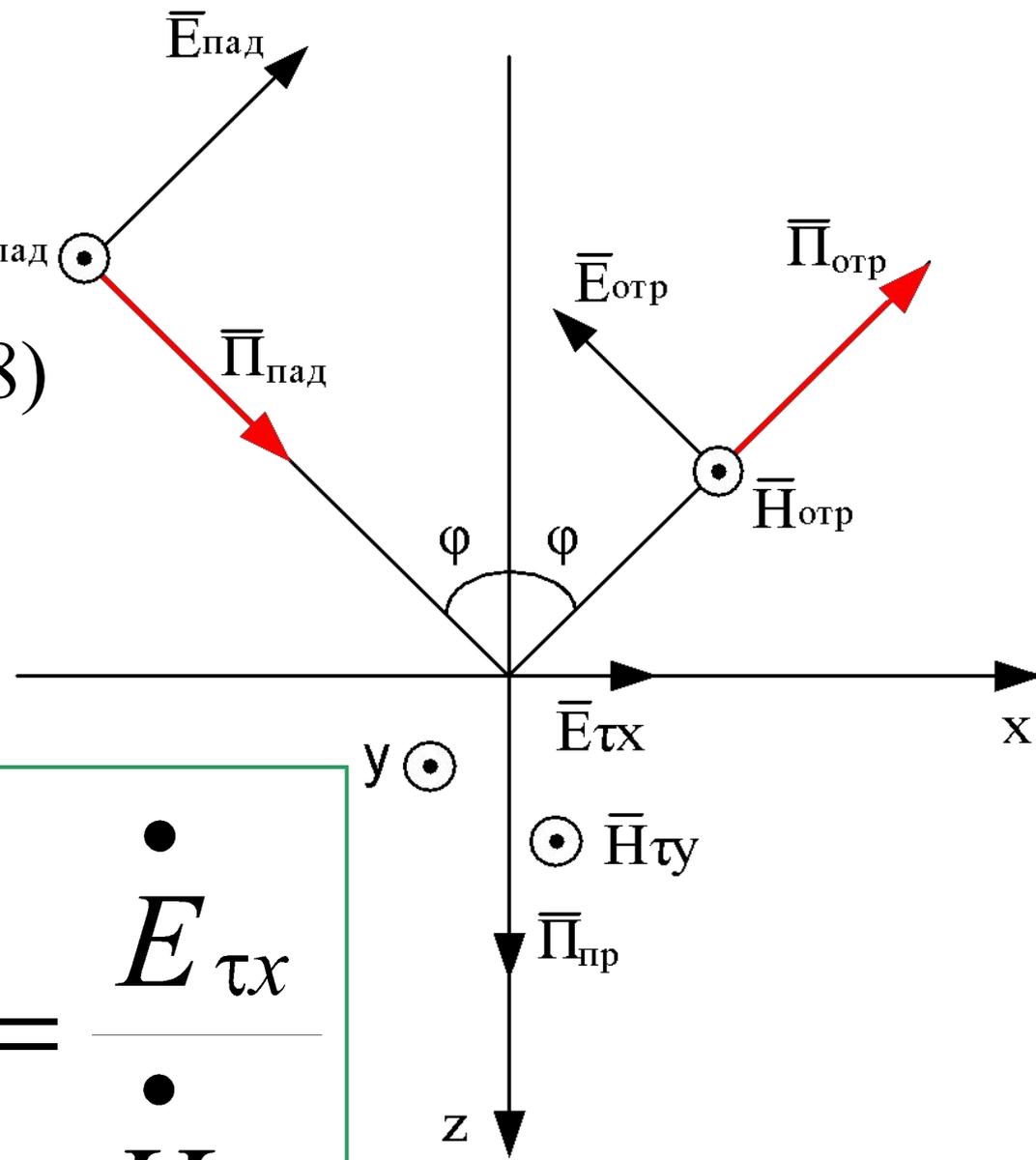
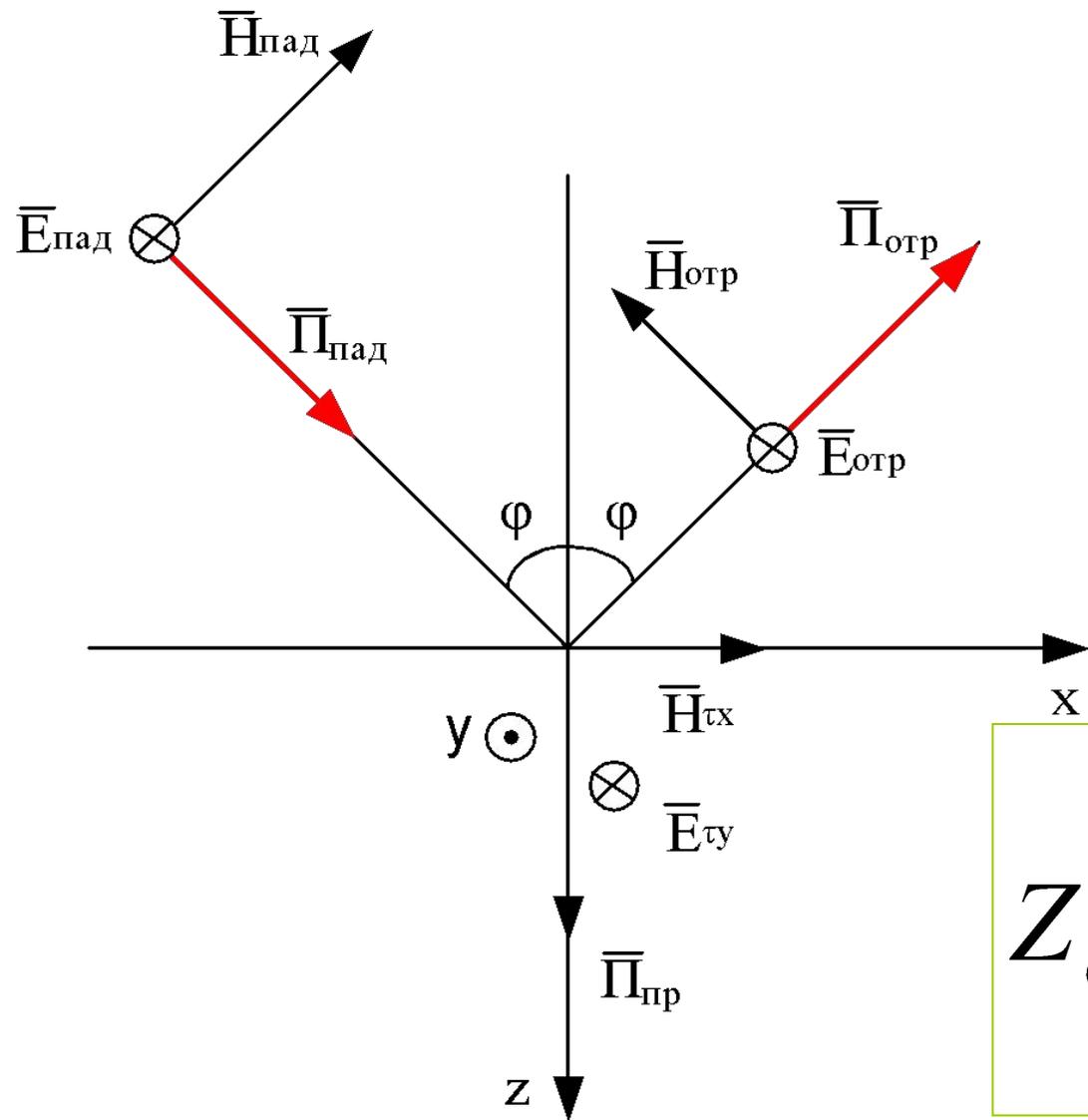


Рис.13.9.



$$Z_{C2} = - \frac{\dot{E}_{\tau y}}{\dot{H}_{\tau x}}$$

$$Z_{C2} = \frac{\dot{E}_{\tau 2}}{\dot{H}_{\tau 2}} = \frac{\dot{E}_{\tau 1}}{\dot{H}_{\tau 1}}$$

Рис.13.10.

(13.19)

Если среда 2 металлоподобная

$$Z_{CI} = \frac{\dot{E}_{\tau i}}{\dot{H}_{\tau i}}$$

$$Z_{CM} = \sqrt{\frac{\omega \mu_{ам}}{2\sigma_m} (1 + j)}$$

# Применение граничных условий Леонтовича

$$R_{\perp} = \frac{Z_{c2} \cos \varphi - Z_{c1} \cos \psi}{Z_{c2} \cos \varphi + Z_{c1} \cos \psi}$$

1) Идеальный металл

$$\sigma \rightarrow \infty \quad Z_{c2} = 0 \rightarrow R_{\perp} = -1$$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{E}_{\tau} = \dot{E}_{na\partial 0} + \dot{E}_{отр} \\ \dot{E}_{отр} = R_{\perp} \dot{E}_{na\partial 0} \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \dot{E}_{\tau} = \dot{E}_{na\partial 0} + \\ \boxed{\otimes} R_{\perp} \dot{E}_{na\partial 0} = 0 \\ -1 \end{array} \quad (13.20)$$

$$\dot{H}_\tau = \left( \begin{array}{c} \dot{H}_{na\partial 0} - \dot{H}_{comp} \\ R_\perp \dot{H}_{na\partial 0} \end{array} \right) \cos \varphi = 2 \cos \varphi \dot{H}_{na\partial 0} = 2 \dot{H}_{\tau na\partial} \quad (13.21)$$

2) Реальный металл

$$|Z_{C2}| \ll 1 \rightarrow R_\perp \approx -1$$

$$\text{Т.к. } E_{\tau} = 0 \text{ из (13.20)}$$

$$H_{\tau} \approx 2 H_{\tau i \dot{a} \ddot{a}}$$

$$E_{\tau} \approx Z_{c \dot{I}} H_{\tau}$$