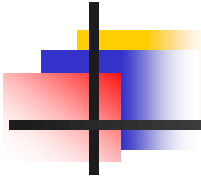


Ch 7: Ống dẫn sóng và hợp cộng hưởng

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com



❖ Nội dung chương 7:

7.1 Giới thiệu ống dẫn sóng.

7.2 Ống dẫn sóng hai bản song song.

7.3 Ống dẫn sóng hình chữ nhật.

7.4 Hệ số tắt dần trong ống dẫn sóng thực.

7.5 Hộp cộng hưởng.

7.6 Ống dẫn sóng quang (optical waveguide).

7.1 Giới thiệu ống dẫn sóng:

❖ Đường dây:

Hai dây dẫn

$$f < f_{\text{cut}}$$

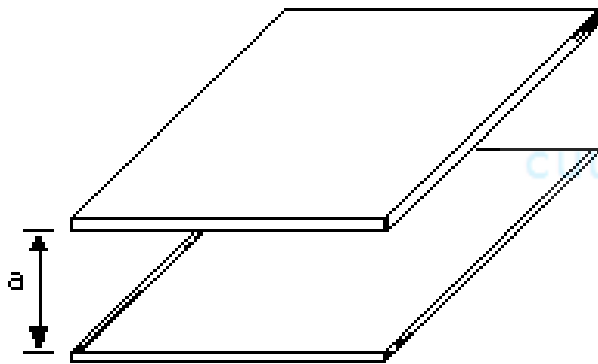
Sóng TEM

❖ Ống dẫn sóng (ods):

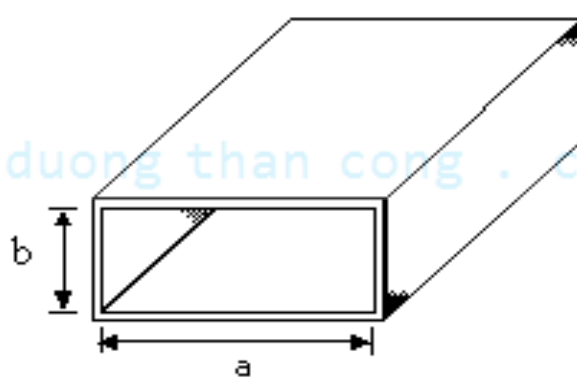
Không gian bên trong vật dẫn

$$f > f_{\text{cut}}$$

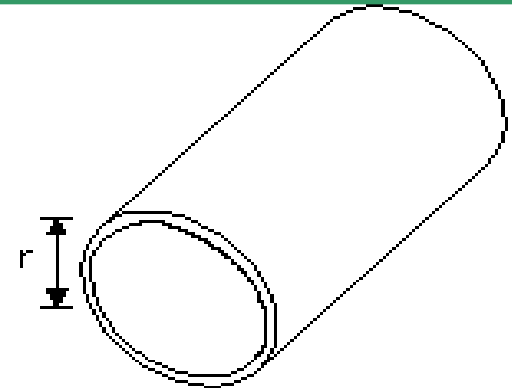
Sóng TE và TM



a) Ods 2 bản song song

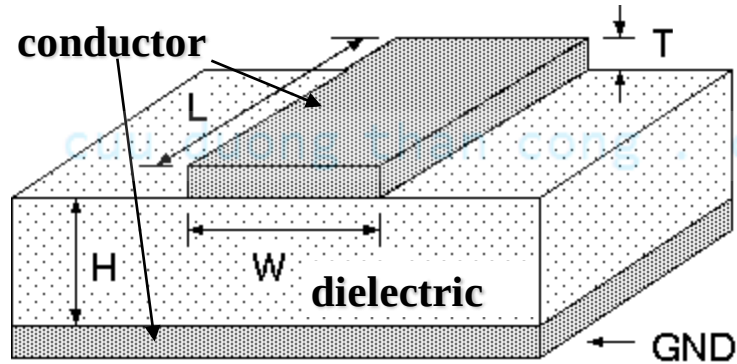
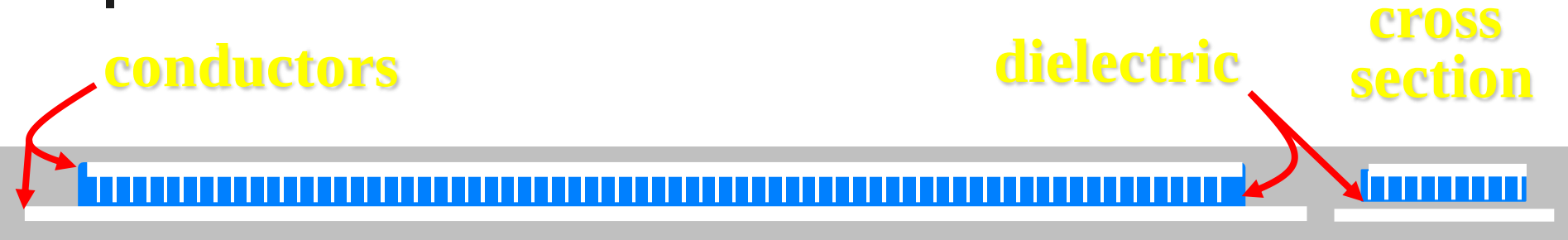


b) Ods hình chữ nhật

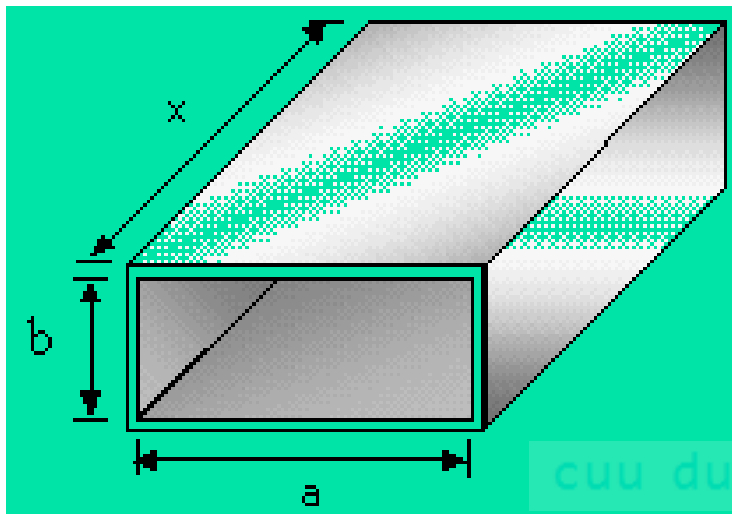


c) Ods hình trụ tròn

❖ Ods 2 bản song song :



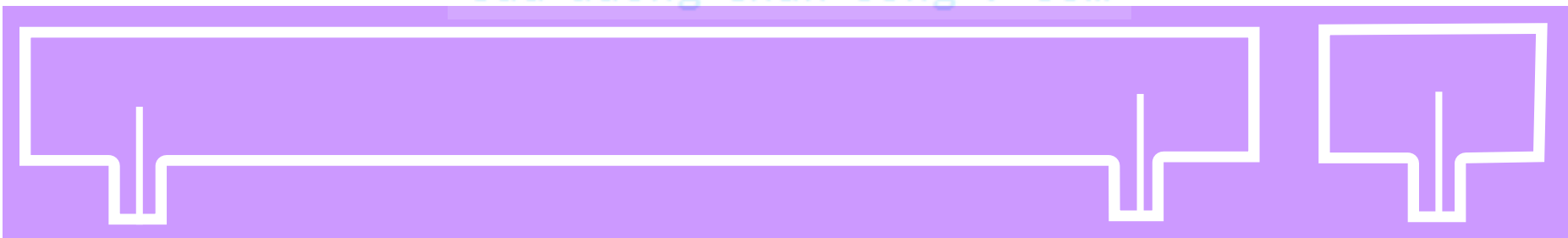
❖ Ods hình chữ nhật:



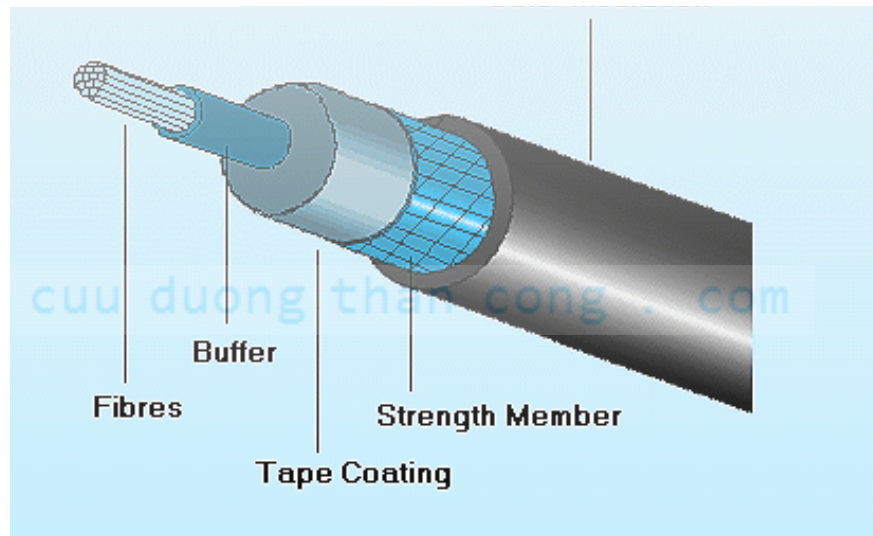
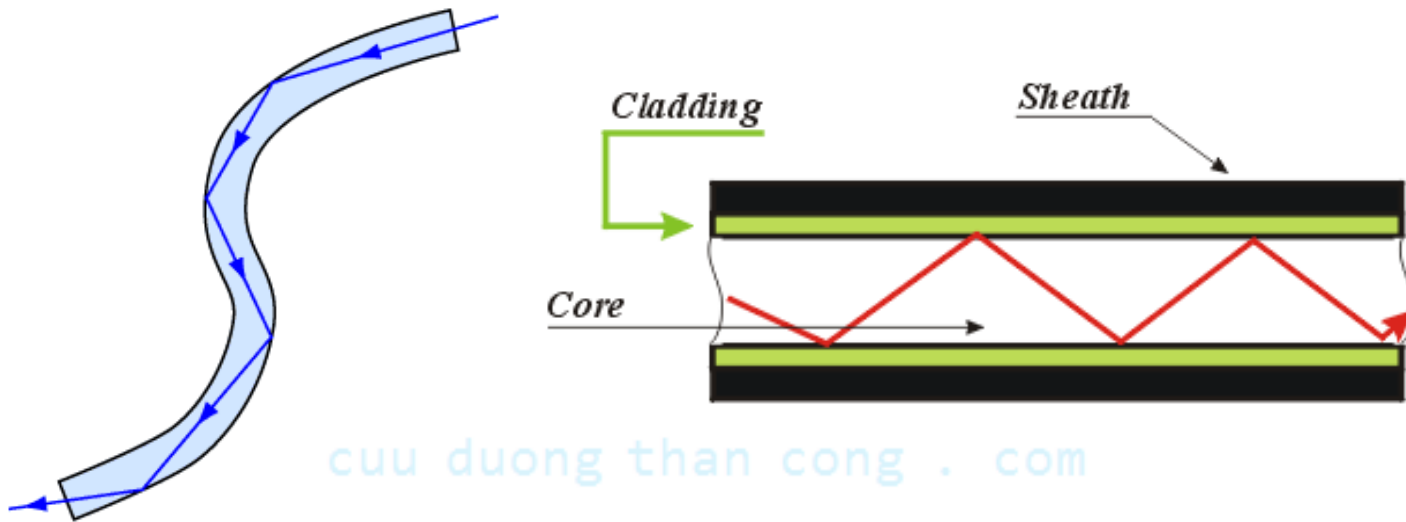
**rectangular
waveguides**



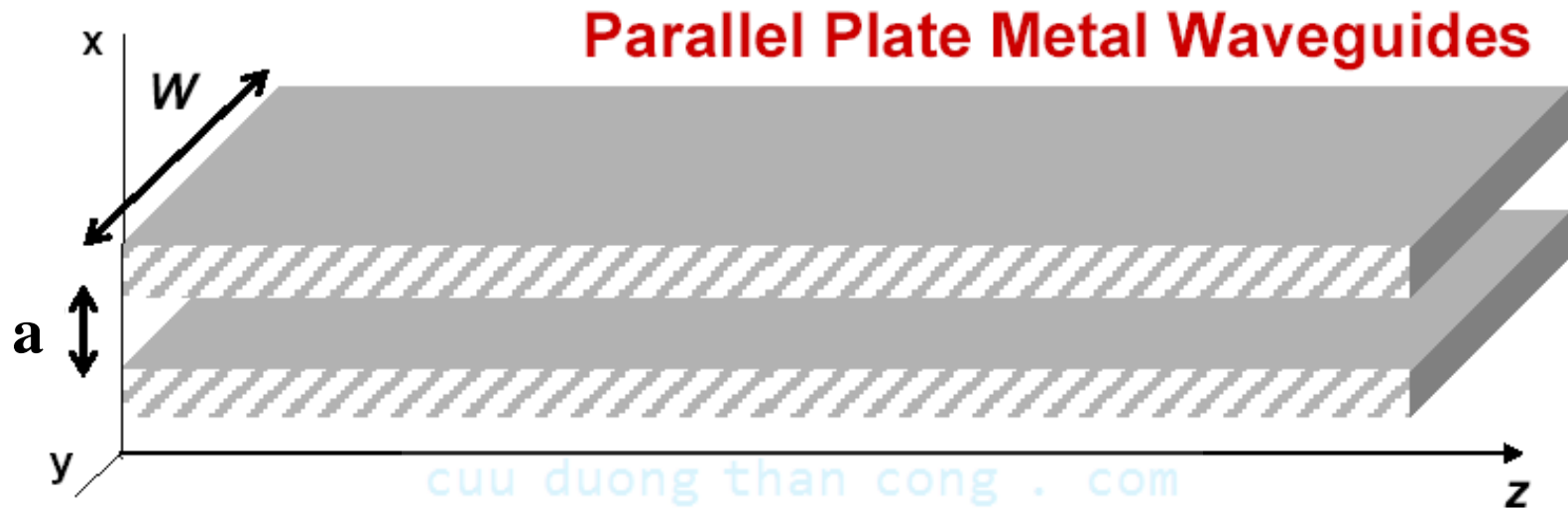
**cross
section**



❖ Ods hình trụ tròn (cáp quang):



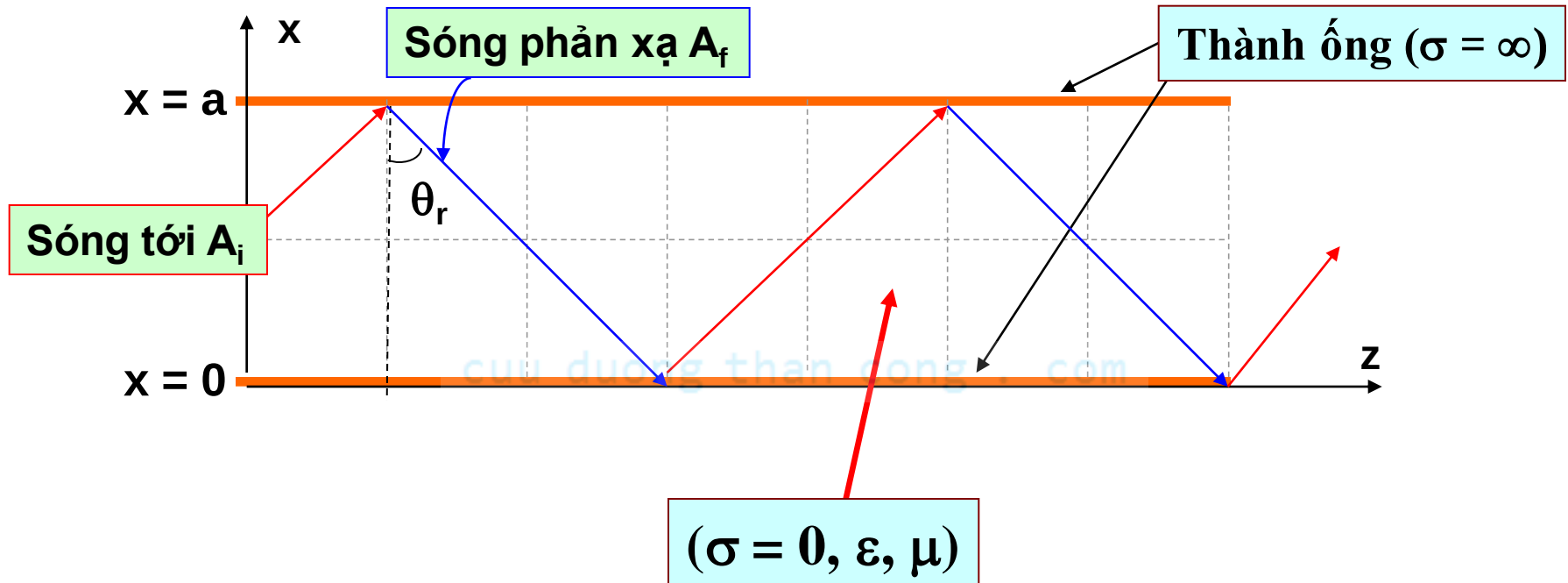
7.2: Ống dẫn sóng 2 bản song song:



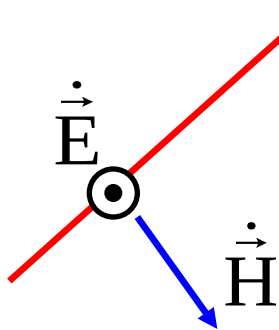
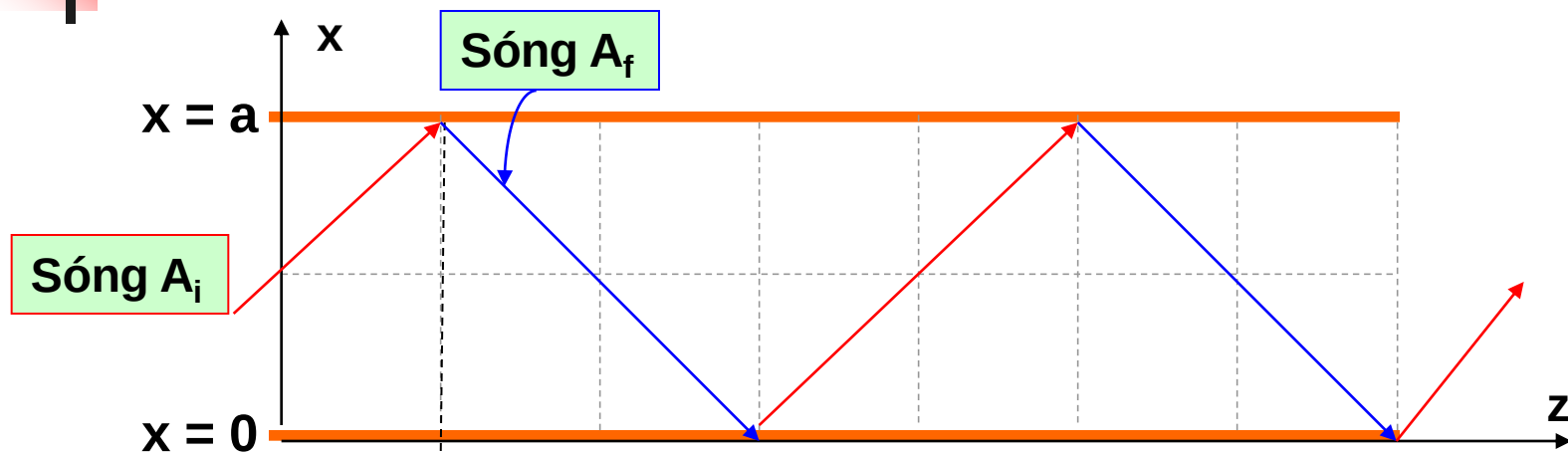
❖ Xét ods tạo thành từ 2 bản dẫn tốt đặt cách nhau một khoảng là a , giữa là điện môi lý tưởng.

❖ Chúng ta đã khảo sát cấu trúc này ở lý thuyết đường dây. Nhưng nguyên lý làm việc hoàn toàn khác. Các bản dẫn không tham gia dẫn dòng nên loại bỏ được hiệu ứng bề mặt.

a) Nguyên lý làm việc của ods 2 bản song:



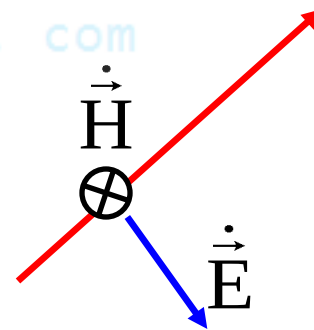
b) Các kiểu sóng:



$$\vec{E} = E_y \vec{a}_y$$

$$\vec{H} = H_x \vec{a}_x + H_z \vec{a}_z$$

→ $\dot{E}_z = 0$: TE wave



$$\vec{E} = E_x \vec{a}_x + E_z \vec{a}_z$$

$$\vec{H} = H_y \vec{a}_y$$

→ $\dot{H}_z = 0$: TM wave

c) Kiểu sóng TM:

❖ Giả sử TĐT điều hòa, dạng phức :

$$\begin{aligned}\dot{E}_x &= E_x(x).e^{-\gamma z} \quad ; \quad \dot{E}_z = E_z(x).e^{-\gamma z} \\ \dot{H}_y &= H_y(x).e^{-\gamma z}\end{aligned}$$

❖ Hệ phương trình Maxwell :

$$\text{rot } \vec{H} = \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ \partial/\partial x & 0 & \partial/\partial z \\ 0 & \dot{H}_y & 0 \end{vmatrix} = j\omega\epsilon \vec{E}$$



$$\begin{cases} \gamma \dot{H}_y = j\omega\epsilon \dot{E}_x & (1) \\ \frac{\partial \dot{H}_y}{\partial x} = j\omega\epsilon \dot{E}_z & (2) \end{cases}$$

$$\text{rot } \dot{\vec{E}} = \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ \partial/\partial x & 0 & \partial/\partial z \\ \dot{E}_x & 0 & \dot{E}_z \end{vmatrix} = -j\omega\mu \dot{\vec{H}}$$



$$-\gamma \dot{E}_x - \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} = -j\omega\mu \dot{H}_y \quad (3)$$

❖ Phương trình của thành phần $\dot{E}_z$:

$$\dot{E}_x = \frac{\gamma}{j\omega\epsilon} \dot{H}_y \quad \longrightarrow \quad \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} + \left(\frac{\gamma^2}{j\omega\epsilon} - j\omega\mu \right) \dot{H}_y = 0$$

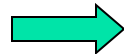
$$\longrightarrow \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial x^2} + (\gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon) \dot{E}_z = 0 \quad (\gamma = j\beta_z)$$

$$\longrightarrow \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial x^2} + K_c^2 \dot{E}_z = 0$$

$$(K_c^2 = \omega^2 \mu \epsilon + \gamma^2 = \omega^2 \mu \epsilon - \beta_z^2)$$

❖ Các thành phần khác:

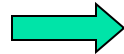
$$-\frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} = \left(\gamma + \frac{\omega^2 \mu \varepsilon}{\gamma} \right) \dot{E}_x$$



$$\dot{E}_x = -\frac{\gamma}{K_C^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x}$$

cuu duong than cong . com

$$\dot{E}_x = \frac{\gamma}{j\omega\varepsilon} \dot{H}_y$$

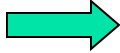


$$\dot{H}_y = \frac{\dot{E}_x}{\eta_{TM}}$$

$$(\eta_{TM} = \frac{\beta_z}{\omega\varepsilon})$$

cuu duong than cong . com

❖ Kiểu sóng TM_m :


$$\dot{E}_z = C \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cdot e^{-\gamma z}$$

$m = 0, 1, 2, 3 \dots$
(chỉ số kiểu sóng)

(Khi $m = 0$: sóng TEM)

$$\dot{E}_x = -\frac{\gamma}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x}$$

$$\dot{H}_y = \frac{\dot{E}_x}{\eta_{TM}}$$

$$K_c^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2$$

$$\gamma = j\beta_z$$

$$\beta_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}$$

$$(\eta_{TM} = \frac{\beta_z}{\omega\epsilon})$$

d) Kiểu sóng TE_m :

$$\frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial x^2} + K_c^2 \dot{H}_z = 0$$

$$\dot{H}_z = C \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cdot e^{-\gamma z}$$

$m = 1, 2, 3 \dots$
(chỉ số kiểu sóng)

(Khi $m = 0 : H_x \text{ \& } E_y = 0$)

$$\dot{H}_x = -\frac{\gamma}{K_c^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x}$$

$$\dot{E}_y = -\eta_{TE} \cdot \dot{H}_x$$

$$(\eta_{TE} = \frac{\omega\mu}{\beta_z})$$

e) Kết luận:

i. Tần số tới hạn (f_{th}):

$$f > \frac{v}{2} \cdot \frac{m}{a} = f_{th}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} < \frac{2a}{m} = \lambda_{th}$$

ii. Hệ số pha:

$$\beta_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2} = \beta \sqrt{1 - (f_{th} / f)^2}$$

❖ Nếu $f < f_{th}$: $\gamma^2 = (m\pi / a)^2 - \omega^2 \mu \epsilon > 0$

$$\alpha_z = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{v}\right)^2}$$

➡ Lưu ý !!!

iii. Vận tốc pha trong ods:

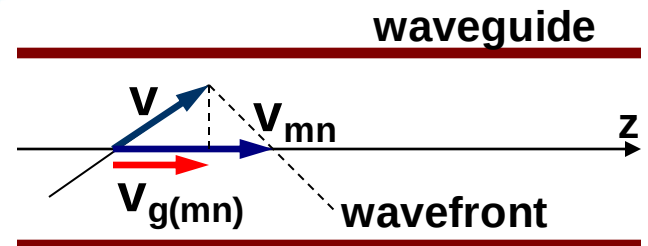
$$V_m = \frac{\omega}{\beta_z} = \frac{V}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{th}}{f}\right)^2}} \geq V$$

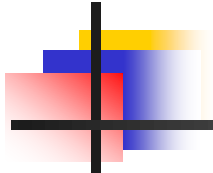
❖ Nhận xét:

- a) Vận tốc pha trong ods luôn lớn hơn vận tốc truyền sóng trong không gian tự do .
- b) Khi truyền tín hiệu, TĐT biến thiên sẽ bị điều chế để mang theo thông tin. Lúc này, vận tốc của nhóm sóng (vận tốc của các mặt phẳng vuông góc với trục z) là cần thiết:

Và ta chứng minh được:

$$V_{g(mn)} \cdot V_{mn} = V^2$$





iv. Bước sóng:

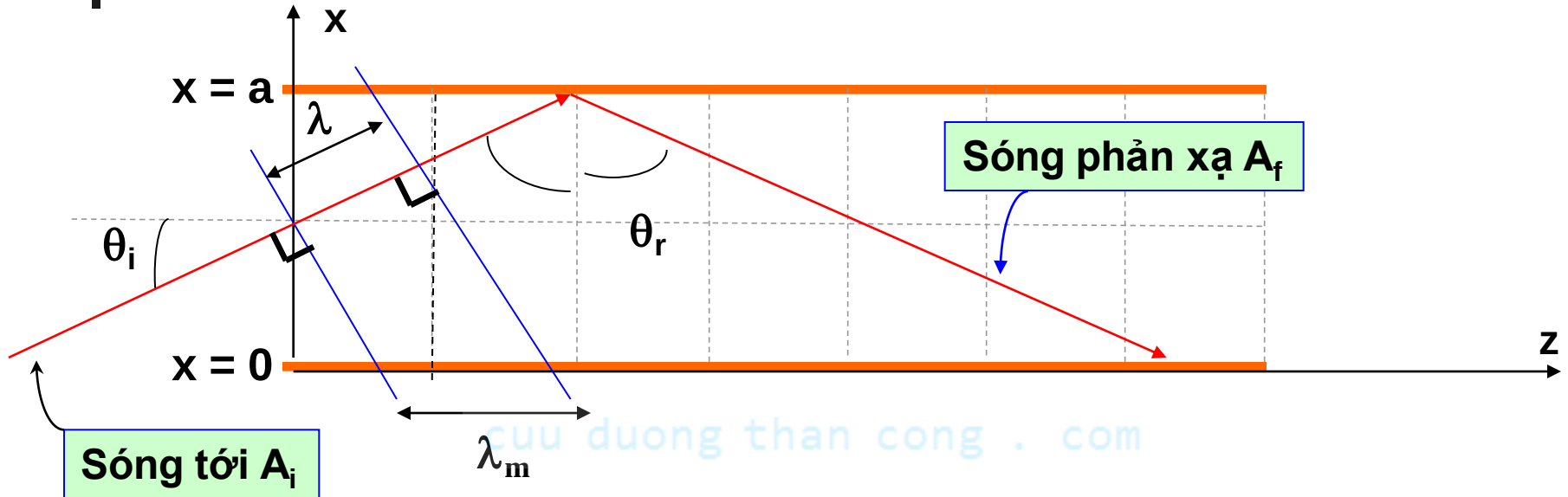
$$\lambda_m = \frac{2\pi}{\beta_z} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (f_{th} / f)^2}}$$

v. Trở sóng:

$$\eta_{TE} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - (f_{th} / f)^2}}$$

$$\eta_{TM} = \eta \sqrt{1 - (f_{th} / f)^2}$$

vi. Góc của sóng tới:

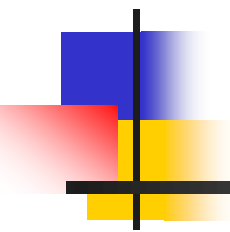


❖ Góc của sóng tới:

$$\cos\theta_i = \frac{\lambda}{\lambda_m} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_{th}}{f}\right)^2}$$

❖ Góc của sóng phản xạ:

$$\theta_r = 90^\circ - \theta_i$$



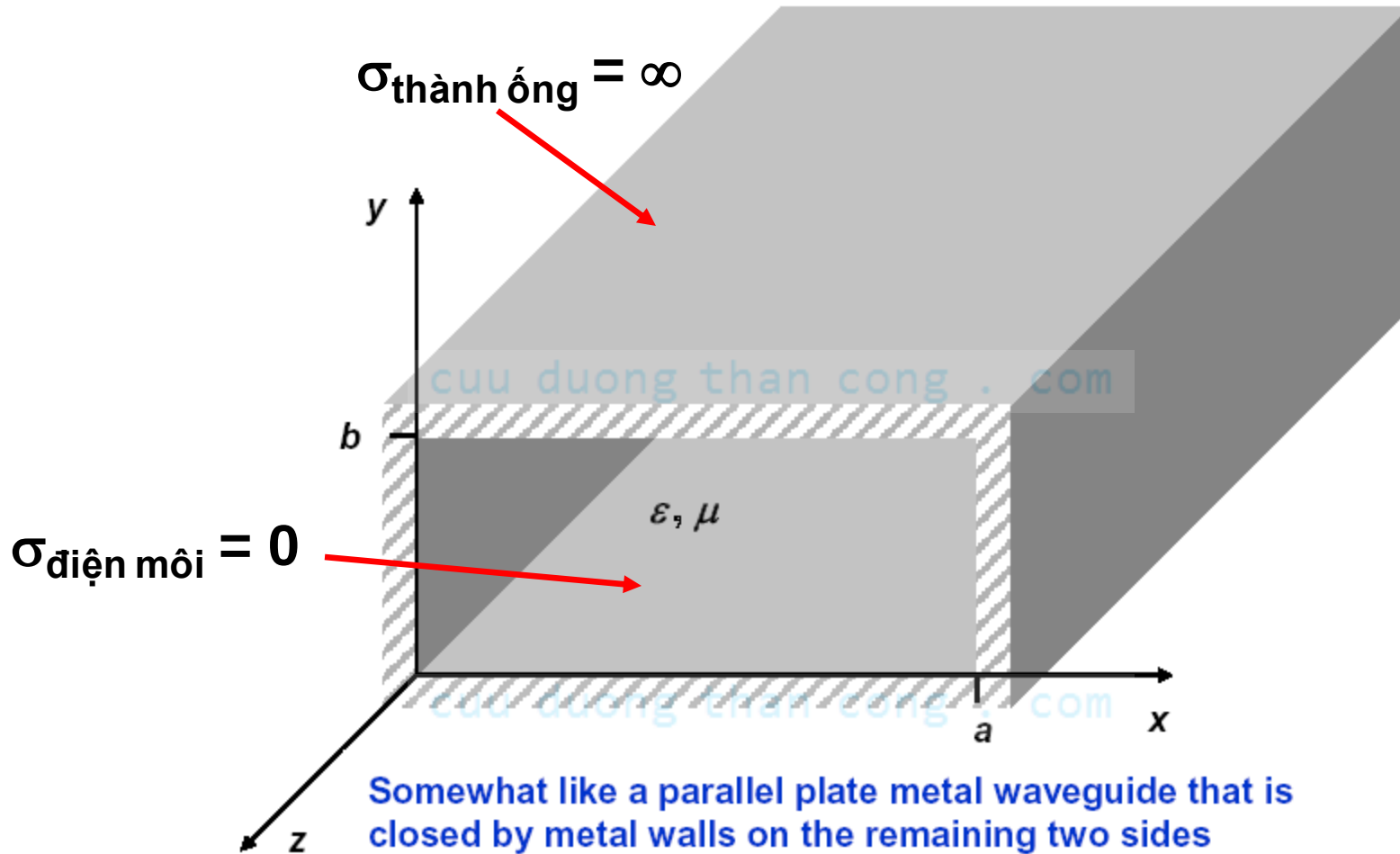
7.3 Ống dẫn sóng hình chữ nhật:

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

7.3.1 Mô hình ods hình chữ nhật:

Rectangular Metal Waveguides



➡ Ods hình chữ nhật không tổn hao lý tưởng

7.3.2 Phương trình cho $\vec{E}_z$ & $\vec{H}_z$:

❖ Giả sử TĐT điều hòa có các vector :

$$\begin{cases} \vec{E} = \vec{E}_0(x, y)e^{-\gamma z} \\ \vec{H} = \vec{H}_0(x, y)e^{-\gamma z} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = -\gamma \vec{E} \\ \frac{\partial \vec{H}}{\partial z} = -\gamma \vec{H} \end{cases} \quad (\gamma = j\beta_z)$$

7.3.2 Phương trình cho $\dot{E}_z$ & $\dot{H}_z$:

❖ $\text{rot} \dot{\vec{H}} = j\omega\epsilon \dot{\vec{E}}$

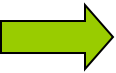
$$\begin{cases} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} + \gamma \dot{H}_y = j\omega\epsilon \dot{E}_x & (1) \\ -\gamma \dot{H}_x - \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} = j\omega\epsilon \dot{E}_y & (2) \\ \frac{\partial \dot{H}_y}{\partial x} - \frac{\partial \dot{H}_x}{\partial y} = j\omega\epsilon \dot{E}_z & (3) \end{cases}$$

❖ $\text{rot} \dot{\vec{E}} = -j\omega\mu \dot{\vec{H}}$

$$\begin{cases} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} + \gamma \dot{E}_y = -j\omega\mu \dot{H}_x & (4) \\ -\gamma \dot{E}_x - \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} = -j\omega\mu \dot{H}_y & (5) \\ \frac{\partial \dot{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \dot{E}_x}{\partial y} = -j\omega\mu \dot{H}_z & (6) \end{cases}$$

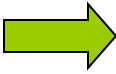
7.3.2 Phương trình cho $\dot{E}_z$ & $\dot{H}_z$:

❖ Khử H_y từ (1) và (5) , ta tìm được E_x :


$$\dot{E}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} - j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} \right)$$

cuu duong than cong . com

❖ Khử H_x từ (2) và (4) , ta tìm được E_y :


$$\dot{E}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} + j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} \right)$$

7.3.2 Phương trình cho $\dot{E}_z$ & $\dot{H}_z$:

❖ Khử E_y từ (2) và (4) , ta tìm được H_x :

$$\Rightarrow \dot{H}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} + j\omega\epsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} \right)$$

cuu duong than cong . com

❖ Khử E_x từ (1) và (5) , ta tìm được H_y :

$$\Rightarrow \dot{H}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} - j\omega\epsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} \right)$$

7.3.2 Phương trình cho $\dot{E}_z$ & $\dot{H}_z$:

❖ Cuối cùng ta có các ptnh:

$$K_c^2 = \gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon = -\beta_z^2 + \frac{\omega^2}{V^2}$$

$$\frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial y^2} + K_c^2 \dot{E}_z = 0$$

$$\frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial y^2} + K_c^2 \dot{H}_z = 0$$

❖ Như vậy, sóng điện từ trong ods c.nhật tổng quát là tổng của:

a) Sóng điện ngang **TE (Transverse Electric)** : $E_z = 0$, $H_z \neq 0$.

b) Sóng từ ngang **TM (Transverse Magnetic)** : $E_z \neq 0$, $H_z = 0$.

7.3.3 Kiểu sóng TM ($\dot{H}_z = 0$) & ($\dot{E}_z \neq 0$)

❖ Dùng PP phân ly biến số, giả sử :

$$\dot{E}_z = X(x).Y(y)e^{-\gamma z}$$

❖ Thế vào phương trình : $\frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial y^2} + K_c^2 \dot{E}_z = 0$

$$\Rightarrow \frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} + K_c^2 = 0 \quad \Rightarrow -M^2 - N^2 + K_c^2 = 0$$

❖ Ta giải ra :
$$\begin{cases} X = A \sin(Mx + \varphi) \\ Y = B \sin(Ny + \psi) \end{cases}$$

❖ Dùng điều kiện biên:

$$E_z(x=0)=0 \rightarrow \sin(\varphi)=0 \rightarrow \varphi=0$$

$$E_z(x=a)=0 \rightarrow \sin(Ma + \varphi)=0 \rightarrow M = \frac{m\pi}{a}$$

$$E_z(y=0)=0 \rightarrow \sin(\psi)=0 \rightarrow \psi=0$$

$$E_z(y=b)=0 \rightarrow \sin(Nb + \psi)=0 \rightarrow N = \frac{n\pi}{b}$$

❖ Ta giải ra :

$$\dot{E}_z = C.\sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right).\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right).e^{-\gamma z}$$

❖ Và dùng:

$$\dot{E}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} \right) \quad \dot{H}_x = \frac{1}{K_c^2} (j\omega\epsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y})$$

$$\dot{E}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} \right) \quad \dot{H}_y = \frac{1}{K_c^2} (-j\omega\epsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x})$$

❖ Bộ nghiệm của sóng từ ngang TM:

$$\dot{E}_x = -\frac{C\gamma}{K_c^2} \frac{m\pi}{a} \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-\gamma z}$$

$$\dot{H}_x = -\frac{1}{\eta_{TM}} \dot{E}_y$$

$$\dot{E}_y = -\frac{C\gamma}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-\gamma z}$$

$$\dot{H}_y = \frac{1}{\eta_{TM}} \dot{E}_x$$

$$\dot{E}_z = C \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-\gamma z}$$

$$K_c^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

$$\beta_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

$$\eta_{TM} = \frac{\beta_z}{\omega\epsilon}$$

$$\gamma = j\beta_z$$

Nhận xét:

- Vô số kiểu TM_{mn} lan truyền trong ods: $TM_{11}, TM_{12}, TM_{32} \dots$
- Không tồn tại kiểu sóng TM_{mn} ứng với $m = 0$ hay $n = 0$.

7.3.4 Kiểu sóng TE ($\dot{E}_z = 0$) & ($\dot{H}_z \neq 0$)

❖ Dùng PP phân ly biến số, giả sử :

$$\dot{H}_z = X(x).Y(y)e^{-\gamma z}$$

❖ Thế vào phương trình :
$$\frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial y^2} + K_c^2 \dot{H}_z = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} + K_c^2 = 0 \Rightarrow -M^2 - N^2 + K_c^2 = 0$$

❖ Ta giải ra :
$$\begin{cases} X = A \sin(Mx + \varphi) \\ Y = B \sin(Ny + \psi) \end{cases}$$

❖ Mặt khác:
$$\dot{E}_x = \frac{-j\omega\mu}{K_c^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} = \frac{-j\omega\mu}{K_c^2} X(x).B.N.\cos(Ny + \psi)e^{-\gamma z}$$

$$\dot{E}_y = \frac{j\omega\mu}{K_c^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} = \frac{j\omega\mu}{K_c^2} Y(y).A.M.\cos(Mx + \varphi)e^{-\gamma z}$$

❖ Dùng điều kiện biên:

$$E_y(x=0)=0 \rightarrow \cos(\varphi)=0 \rightarrow \varphi = \pi / 2$$

$$E_y(x=a)=0 \rightarrow \cos(Ma + \varphi)=0 \rightarrow M = \frac{m\pi}{a}$$

$$E_x(y=0)=0 \rightarrow \cos(\psi)=0 \rightarrow \psi = \pi / 2$$

$$E_x(y=b)=0 \rightarrow \cos(Nb + \psi)=0 \rightarrow N = \frac{n\pi}{b}$$

❖ Ta giải ra :

$$\dot{H}_z = C.\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right).\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right).e^{-\gamma z}$$

❖ Và dùng:

$$\dot{H}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} \right)$$

$$\dot{E}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} \right)$$

$$\dot{H}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-\gamma \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} \right)$$

$$\dot{E}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} \right)$$

❖ Bộ nghiệm của sóng điện ngang TE:

$$\ddot{H}_x = \frac{C\gamma}{K_c^2} \frac{m\pi}{a} \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-\gamma z}$$

$$\ddot{H}_y = \frac{C\gamma}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-\gamma z}$$

$$\dot{H}_z = C \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-\gamma z}$$

$$\dot{E}_x = \eta_{TE} \dot{H}_y$$

$$\dot{E}_y = -\eta_{TE} \dot{H}_x$$

$$K_c^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

$$\beta_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

$$\eta_{TE} = \frac{\omega\mu}{\beta_z}$$

$$\gamma = j\beta_z$$

Nhận xét:

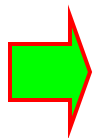
- Vô số kiểu TE_{mn} lan truyền trong ods: $TE_{10}, TE_{11}, TE_{02} \dots$
- Không tồn tại kiểu sóng TE_{mn} ứng với **cả $m = 0$ và $n = 0$** .

7.3.5 Tính chất ods hình chữ nhật:

1. Tần số tới hạn (f_{th} hay f_c):

Để sóng lan truyền không tổn hao thì $\gamma = j\beta_z$: thuần ảo.

$$f > f_{th} = \frac{\omega_{th}}{2\pi} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$



$$\beta_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \in \mathbb{R}$$

❖ Và nếu $f < f_{th}$: $\alpha_z = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{v}\right)^2} \in \mathbb{R}$

➡ Sóng truyền theo trục z sẽ suy hao : α_z (Np/m)

❖ VD 7.3.1: Hiện tượng tới hạn của ods

Ods hcn không tổn hao lý tưởng, lấp đầy không khí, kích thước $a \times b = 5\text{cm} \times 2\text{cm}$, kích hoạt ở tần số 1 GHz. (a) CMR kiểu sóng TM_{21} không thể truyền (bị tắt dần) ở tần số này ? (b) Tìm chiều dài ods để biên độ trường điện còn 0,5% giá trị biên độ tại $z = 0$?

a) Ta tính hệ số truyền cho kiểu sóng TM_{21} : (lưu ý $v = c$)

$$\gamma^2 = K_c^2 - \left(\frac{\omega}{v}\right)^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{v}\right)^2$$

$$\gamma^2 = \left(\frac{2\pi}{0,05}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{0,02}\right)^2 - \left(\frac{2\pi \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}\right)^2 > 0$$

➡ **Kiểu sóng TM_{21} không thể truyền trong ods.**



VD 7.3.1: Hiện tượng tới hạn của ods (tt)

Ods hcn không tổn hao lý tưởng, lấp đầy không khí, kích thước $a \times b = 5\text{cm} \times 2\text{cm}$, kích hoạt ở tần số 1 GHz. (a) CMR kiểu sóng TM_{21} không thể truyền (bị tắt dần) ở tần số này ? (b) Tìm chiều dài ods để biên độ trường điện còn 0,5% giá trị biên độ tại $z = 0$?

b) Ta tính hệ số tắt dần:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{0,05}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{0,02}\right)^2 - \left(\frac{2\pi \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}\right)^2} = 200 \text{ (m}^{-1}\text{)} \Rightarrow \alpha = 200 \text{ (Np/m)}$$

Theo bài toán: $E_0 e^{-\alpha z} = 0,005 E_0$

$$\Rightarrow z_0 = -\frac{1}{200} \ln(0,005) = 26,5 \text{ mm}$$

❖ Một số loại ods trong công nghiệp:

<http://www.walmba.org/wavegd.htm>

EIA designation (Standard US) and /RG number	RCSC Designation (Standard UK)	Band	Inside Dimensions inches	Outside Dimensions inches (typ)	Standard Freq Range, GHz	Cutoff Freq GHz, Source #1, (Source #2)	Loss per foot Low end - High end of waveguide band	Power Handling Low to High freq MW=Megawatts, kW=Kilowatts
WR650 /RG69	WG 6	-	6.50, 3.25	6.66, 3.41	1.12 to 1.70	? (0.91)	-	-
WR430 /RG104	WG 8	-	4.30, 2.15	4.46, 2.31	1.70 to 2.60	? (1.37)	-	-
WR340	WG 9A	-	3.40, 1.70	3.56, 1.86	2.10 to 3.00	? (1.6)	-	-
WR284 /RG48	WG 10	-	2.84, 1.34	3.00, 1.50	2.60 to 3.95	? (2.08)	-	2.2 - 3.2 MW
WR229	WG11A	-	2.29, 1.145	2.418, 1.273	3.30 to 4.90	? (2.58)	-	1.6 - 2.2 MW



Một số loại ods trong công nghiệp:

WR187 /RG49	WG12	-	1.872, 0.872	2.000, 1.000	3.95 to 5.85	? (3.16)	-	1.4 - 2.0 MW
WR159	WG13	-	1.590, 0.795	1.718, 0.923	4.90 to 7.05	? (3.71)	-	0.79 - 1.0 MW
WR137 /RG50	WG14	-	1.372, 0.622	1.500, 0.750	5.85 to 8.20	? (4.31)	-	560 - 710 kW
WR112 /RG51	WG15		1.122, 0.497	1.250, 0.625	7.05 to 10.00	? (5.27)	-	350 - 460 kW
WR90 /RG52	WG16	X	0.900, 0.400	1.000, 0.500	8.20 to 12.4	? (6.56)	-	200 - 290 kW
WR75	WG17	-	0.750, 0.375	0.850, 0.475	10.0 to 15.0	? (7.87)	-	170 - 230 kW
WR62 /RG91	WG18	Ku	0.622, 0.311	0.702, 0.391	12.4 to 18.0	9.50 (9.52)	-	120 - 160 kW
WR51	WG19	-	0.510, 0.255	0.590, 0.335	15.0 to 22.0	? (11.57)	-	80 - 107 kW
WR42 /RG53	WG20	K	0.420, 0.170	0.500, 0.250	18.0 to 26.5	14.08 (14.05)	0.26 - 0.20 dB	43 - 58 kW one source

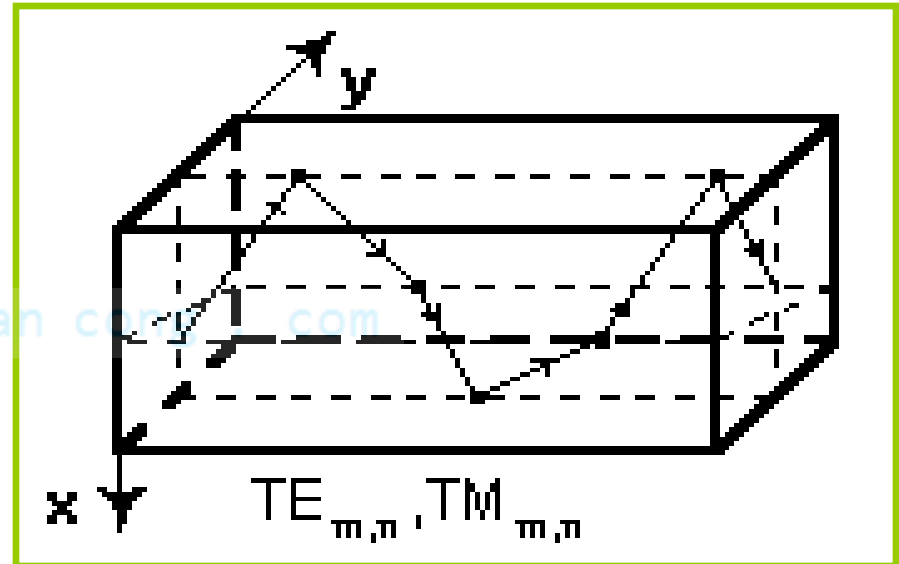
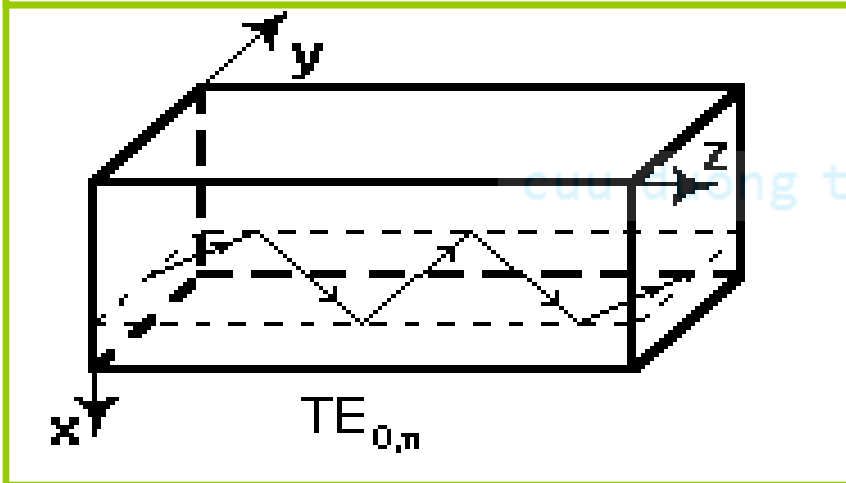
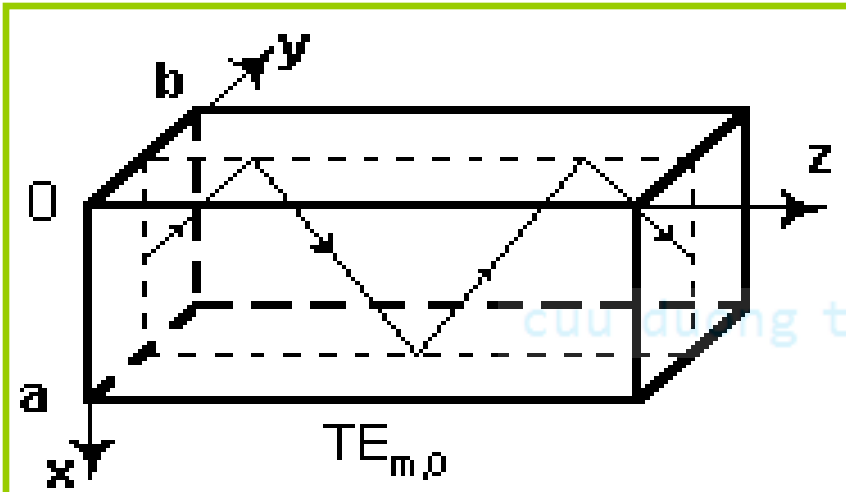


Một số loại ods trong công nghiệp:

WR28 /RG96	WG22	Ka	0.280, 0.140	0.360, 0.220	26.5 to 40.0	21.08 (21.08)	0.44 - 0.30 dB	96 - 146 kW
WR22 /RG97	WG23	Q	0.224, 0.112	0.304, 0.192	33.0 to 50.0	26.34 (26.82)	0.62 - 0.42 dB	64 - 97 kW
WR19	WG24	U	0.188, 0.094	0.268, 0.174	40.0 to 60.0	31.36 (31.06, 30.69)	0.77 - 0.54 dB	48 - 70 kW
WR15 /RG98	WG 25	V	0.148, 0.074	0.228, 0.154	50.0 to 75.0	39.87 (39.90, 39.34)	0.10 - 0.80 dB	30 - 40 kW
WR12 /RG99	WG 26	E	0.122, 0.061	0.202, 0.141	60.0 to 90.0	48.35 (48.40, 49.18)	1.8 - 1.0 dB	? kW
WR10	WG 27	W	0.100, 0.050	0.180, 0.130	75.0 to 110.0	59.01 (58.85)	2.0 - 1.4 dB	14 - 25 kW
WR8	WG 28	F	0.080, 0.040	0.160, 0.120	90.0 to 140.0	73.77 (73.84)	3.0 - 2.0 dB	8.8 - 13 kW

2. Các kiểu truyền sóng:

❖ Tại tần số $f > f_{th}$, trong ods có thể truyền các kiểu sóng TE_{mn} hoặc TM_{mn} thỏa mãn các giá trị **có thể của m và n** .



❖ Kiểu sóng cơ bản là kiểu sóng có f_{th} bé nhất.



VD 7.3.2: Tính ods hình chữ nhật

Ods hcn không tổn hao lý tưởng, lấp đầy không khí, kích thước $a \times b = 2,85\text{cm} \times 1,262\text{cm}$. (a) Tìm khoảng tần số để chỉ có kiểu sóng TE_{10} lan truyền trong ods ? (b) Nếu tần số kích hoạt ods là 12 GHz, có bao nhiêu kiểu sóng có thể truyền trong ods ? (c) Giải lại câu a) nếu ods lấp đầy điện môi lý tưởng ($\epsilon_r = 4, \mu_r = 1$)?

a) Ta lần lượt xác định: $f_{\text{th}}(\text{TE}_{10}) = \frac{v}{2a} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,0285} = 5,3 \text{ (GHz)}$

$$f_{\text{th}}(\text{TE}_{01}) = \frac{v}{2b} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,01262} = 11,9 \text{ (GHz)}$$

$$f_{\text{th}}(\text{TE}_{20}) = \frac{v}{a} = 10,6 \text{ (GHz)}$$



Dải tần của kiểu TE_{10} : $5,3 \text{ GHz} < f < 10,6 \text{ GHz}$.

❖ VD 7.3.2: Tính ods hình chữ nhật (tt)

Ods hcn không tổn hao lý tưởng, lấp đầy không khí, kích thước $axb = 2,85\text{cm} \times 1,262\text{cm}$. (a) Tìm khoảng tần số để chỉ có kiểu sóng TE_{10} lan truyền trong ods ? (b) Nếu tần số kích hoạt ods là 12 GHz, có bao nhiêu kiểu sóng có thể truyền trong ods ? (c) Giải lại câu a) nếu ods lấp đầy điện môi lý tưởng ($\epsilon_r = 4, \mu_r = 1$)?

b) Tính số kiểu sóng khi kích hoạt 12 GHz:

$$f_{th} = \frac{v}{2a} \sqrt{m^2 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 n^2} = 5,3(\text{GHz}) \sqrt{m^2 + 5,1n^2} < 12 \text{ GHz}$$

$$\longrightarrow m^2 + 5,1n^2 < 5,13$$

Cho $n = 0; m = 1, 2$: kiểu TE_{10}, TE_{20} .

Cho $n = 1; m = 0$: kiểu TE_{01} .

Có 3 kiểu sóng.

❖ VD 7.3.2: Tính ods hình chữ nhật (tt)

Ods hcn không tổn hao lý tưởng, lấp đầy không khí, kích thước $a \times b = 2,85\text{cm} \times 1,262\text{cm}$. (a) Tìm khoảng tần số để chỉ có kiểu sóng TE_{10} lan truyền trong ods ? (b) Nếu tần số kích hoạt ods là 12 GHz, có bao nhiêu kiểu sóng có thể truyền trong ods ? (c) Giải lại câu a) nếu ods lấp đầy điện môi lý tưởng ($\epsilon_r = 4, \mu_r = 1$)?

c) Lấp đầy điện môi: $v = c/2 = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$$f_{\text{th}}(\text{TE}_{10}) = \frac{v}{2a} = \frac{1,5 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,0285} = 2,63 \text{ (GHz)}$$

$$f_{\text{th}}(\text{TE}_{01}) = \frac{v}{2b} = \frac{1,5 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,01262} = 5,943 \text{ (GHz)}$$

$$f_{\text{th}}(\text{TE}_{20}) = \frac{v}{a} = 5,3 \text{ (GHz)}$$

➡ **Dải tần của kiểu TE_{10} : $2,63 \text{ GHz} < f < 5,3 \text{ GHz}$.**

❖ VD 7.3.3: Tính ods hình chữ nhật

Tìm các kiểu sóng có thể lan truyền trong ống dẫn sóng kkhí, cạnh $a = 3 \text{ cm}$, $b/a = 1$, tần số kích hoạt là 9 GHz , 11 GHz ?

Giải

$$f_{\text{th}} = \frac{v}{2a} \sqrt{m^2 + n^2} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} \sqrt{m^2 + n^2} = 5(\text{GHz}) \cdot \sqrt{m^2 + n^2}$$

❖ Khi $f = 9 \text{ GHz}$: cuuduongthancong.com

$$f_{\text{th}} = 5(\text{GHz}) \cdot \sqrt{m^2 + n^2} < 9(\text{GHz}) \quad \longrightarrow \quad m^2 + n^2 < 3,24$$

▪ Cho $n = 0$: $\Rightarrow m = 1$: TE_{10} .

▪ Cho $n = 1$: $\Rightarrow m = 0$: TE_{01} .
 $m = 1$: TE_{11} ; TM_{11} .

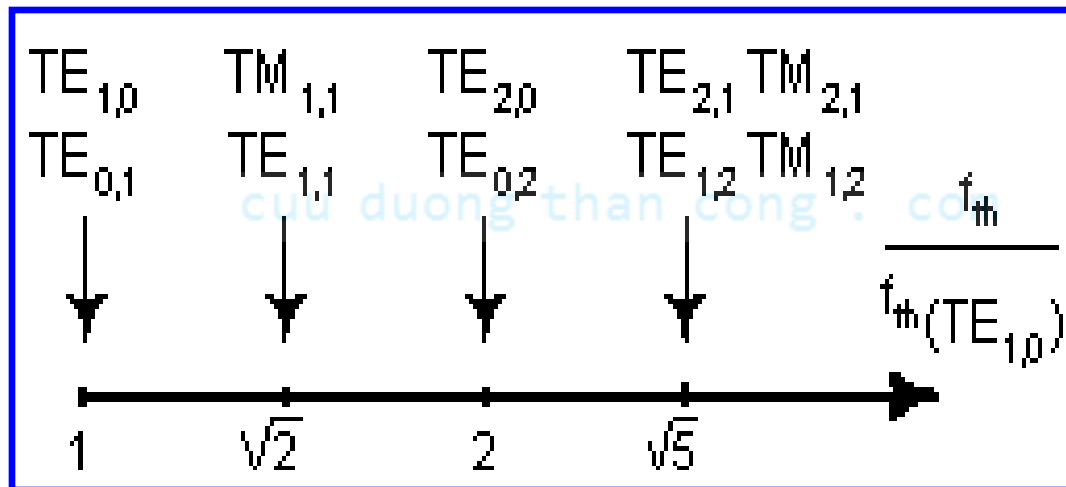
➤ Như vậy có 4 kiểu sóng.

❖ Khi $f = 11 \text{ GHz}$:

$$f_{\text{th}} = 5(\text{GHz}) \cdot \sqrt{m^2 + n^2} < 11(\text{GHz}) \rightarrow m^2 + n^2 < 4,84$$

- Cho $n = 0 \Rightarrow m = 1, 2$: TE_{10} ; TE_{20} .
- Cho $n = 1 \Rightarrow m = 0, 1$: TE_{01} ; TE_{11} ; TM_{11} .
- Cho $n = 2 \Rightarrow m = 0$: TE_{02} .

➤ Như vậy tồn tại 6 kiểu sóng.



❖ VD 7.3.4: Tính ods hình chữ nhật

Tìm các kiểu sóng TE_{m0} có thể lan truyền trong ods không khí, $a \times b = 5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$, tần số kích hoạt là 10 GHz ? Xác định θ_r , λ_{m0} và v_{m0} cho từng kiểu sóng ?

Giải

❖ Với kiểu sóng TE_{m0} : $f_{th} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2} = \frac{v}{2} \frac{m}{a} = m \cdot (3 \text{ GHz})$

Có: $10 \text{ GHz} > m \cdot 3 \text{ GHz} \rightarrow m = 1, 2, 3. \rightarrow$ Kiểu: $TE_{10}, TE_{20}, TE_{30}$.

❖ Ta có: $v = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $\lambda = 3 \text{ cm}$; và :

$$\theta_r = 90 - \cos^{-1} \sqrt{1 - (f_{th} / f)^2}$$

Mode	$f_{th}(\text{GHz})$	θ (deg)	$\lambda_{m,0}(\text{cm})$	$v_{m,0}(\text{m/s})$
TE_{10}	3	72.54	3.145	3.145×10^8
TE_{20}	6	53.13	3.75	3.75×10^8
TE_{30}	9	25.84	6.882	6.882×10^8

$$v_{m,n} = \frac{v}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{th}}{f}\right)^2}}$$
$$\lambda_{m,n} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{th}}\right)^2}}$$

❖ VD 7.3.5: Tính ods hình chữ nhật

Cho ods không khí, cạnh $a = 3 \text{ in.}$, $b = 1,5 \text{ in.}$:

- a) Tìm f_{th} và λ_{th} của kiểu sóng TE_{10} ?
b) Tìm β_z ; v_{10} và η_{TE} khi tần số $f = 2,45 \text{ GHz}$; kiểu TE_{10} ?
Tìm các thành phần của TĐT theo hằng số C ?

Giải

- a) Với kiểu sóng $\text{TE}_{1,0}$:

$$f_{\text{th}} = \frac{v}{2a} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 3.0,0254} = 1,97 \text{ GHz} ; \lambda_{\text{th}} = \frac{v}{f_{\text{th}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,97 \cdot 10^9} = 15,23 \text{ cm}$$

- b) Ta có:

$$\beta_z = \sqrt{\left(\frac{2\pi f}{v}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{49\pi}{3}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{3.0,0254}\right)^2} = 30,55 \text{ (rad / m)}$$

$$v_{10} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{1 - \left(\frac{1,97}{2,45}\right)^2}} = 5,05 \cdot 10^8 \text{ (m / s)}$$

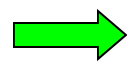


Tính các thành phần TĐT trong ods:

$$\eta_{TE} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{th}}{f}\right)^2}} = \frac{120\pi}{\sqrt{1 - \left(\frac{1,97}{2,45}\right)^2}} = 634,1 (\Omega)$$

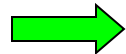
❖ Sóng TE_{1,0}: $\dot{H}_z = C \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-\gamma z} = C \cos \frac{\pi x}{a} e^{-\gamma z}$

$$\dot{H}_x = \frac{-\gamma}{K_c^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} = \frac{C\gamma}{(\pi/a)^2} \frac{\pi}{a} \sin \frac{\pi x}{a} e^{-\gamma z} = j0,74.C \sin \frac{\pi x}{a} e^{-\gamma z}$$



$$\dot{E}_y = -\eta_{TE} \dot{H}_x = -j469.C \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-\gamma z}$$

$$\dot{H}_y = \frac{-\gamma}{K_c^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} = 0$$



$$\dot{E}_x = \eta_{TE} \dot{H}_y = 0$$

3. Công suất trung bình truyền trong ods:

- Công suất trung bình truyền qua tiết diện ngang ods :

$$P = \int_{S_{ng}} \langle P_z \rangle \cdot dS_z = \frac{1}{2} \int_{S_{ng}} \operatorname{Re} \left\{ \vec{E} \times \vec{H}^* \right\}_z dS_z$$

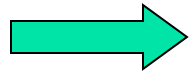
cuu duong than cong . com

$$\text{○ Có: } \operatorname{Re} \left\{ \vec{E} \times \vec{H}^* \right\}_z = \operatorname{Re} \left\{ \dot{E}_x \cdot \dot{H}_y^* - \dot{E}_y \cdot \dot{H}_x^* \right\} \begin{cases} = \eta [|\dot{H}_x|^2 + |\dot{H}_y|^2] \\ = \frac{1}{\eta} [|\dot{E}_x|^2 + |\dot{E}_y|^2] \end{cases}$$

cuu duong than cong . com

3. Công suất trung bình truyền trong ods:

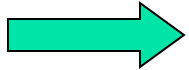
❖ Tính theo trường điện:



$$P = \frac{1}{2\eta} \int_0^a \int_0^b [|\dot{E}_x|^2 + |\dot{E}_y|^2] .dx.dy$$

$$\eta: \begin{cases} \eta_{TM} \\ \eta_{TE} \end{cases}$$

❖ Tính theo trường từ :



$$P = \frac{\eta}{2} \int_0^a \int_0^b [|\dot{H}_x|^2 + |\dot{H}_y|^2] .dx.dy$$

$$\eta: \begin{cases} \eta_{TM} \\ \eta_{TE} \end{cases}$$

❖ Nhận xét: Tương tự tính công suất upw trong đmôi lý tưởng.

Trở sóng có thể dùng các công thức cho ods 2 bản song song.

❖ VD 7.3.6: Công suất truyền trong ods

❖ Tính P truyền qua tiết diện ngang ods (axb) với kiểu sóng TE₁₀ theo trị max trường điện trong ods E_m ?

Giải

❖ Kiểu TE₁₀ : Nếu C = real = trị max của thành phần dọc trục:

$$\dot{H}_z = C \cdot \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cdot e^{-j\beta_z z}$$

$$\dot{H}_x = C \frac{j\beta_z}{\pi/a} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cdot e^{-j\beta_z z}$$

$$\dot{E}_x = \eta_{TE} \cdot \dot{H}_y = 0$$

$$\dot{H}_y = 0$$

$$\dot{E}_y = -\eta_{TE} \cdot \dot{H}_x = \eta_{TE} \cdot C \frac{j\beta_z}{\pi/a} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cdot e^{-j\beta_z z} = E_m \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cdot e^{-j\beta_z z} e^{-j90^\circ}$$

(E_m = trị max của trường điện trong ods)

VD 7.3.6: Công suất truyền trong ods (tt)

❖ Tính theo trường điện:

$$P = \frac{1}{2\eta} \int_0^a \int_0^b [|\dot{E}_x|^2 + |\dot{E}_y|^2] . dx . dy$$

→

$$P = \frac{1}{2\eta_{TE}} \int_0^a \int_0^b [E_m^2 \sin^2(\pi x/a)] . dx . dy$$

→

$$P = \frac{1}{4\eta_{TE}} [E_m^2 . a . b]$$

❖ VD 7.3.7: Tính công suất kiểu sóng

Ods hcn không tổn hao lý tưởng, lấp đầy không khí, kích thước $a \times b = 3\text{cm} \times 2\text{cm}$, truyền đi kiểu sóng TE_{10} ở tần số 7 GHz. Xác định: (a) Tần số tới hạn, hệ số pha, trở sóng của kiểu sóng ? (b) Công suất truyền qua tiết diện ngang của ods biết biên độ cực đại của trường điện là $3 \cdot 10^5 \text{ V/m}$?

a) Dùng các công thức (lưu ý $v = c$):

$$f_{\text{th}}(\text{TE}_{10}) = \frac{v}{2a} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,03} = 5 \text{ (GHz)}$$

$$\beta = \beta_{10} = \sqrt{\left(\frac{2\pi f}{v}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2\pi \cdot 7 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{0,03}\right)^2} = 102,6 \text{ (rad / m)}$$

$$\eta_{\text{TE}_{10}} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{\text{th}}}{f}\right)^2}} = \frac{377}{\sqrt{1 - \left(\frac{5}{7}\right)^2}} = 538,7 \text{ } (\Omega)$$

❖ VD 7.3.7: Tính công suất kiểu sóng (tt)

b) Sóng TE_{1,0} : $H_z = C \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-\gamma z} = C \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z}$

$$H_x = \frac{-j\beta}{K_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} = \frac{j\beta C}{(\pi/a)} \sin \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z}$$

$$E_y = -\eta_{TE10} H_x = -\eta_{TE10} \frac{j\beta C}{(\pi/a)} \sin \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z} = -j3.10^5 \sin \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z}$$

$$P = \frac{1}{2\eta_{TE10}} \int_0^a \int_0^b 9.10^{10} \sin^2 \frac{\pi x}{a} dx dy$$

❖ Công suất trung bình truyền qua tiết diện ngang ods:

$$P = \frac{1}{2.538,7} \frac{9.10^{10} .0,03.0,02}{2} = 25,06 \text{ kW}$$

4. Phân bố đường sức TĐT trong ods:

❖ Đường sức điện & đường sức từ lặp lại nhưng đảo chiều:

- sau 1 khoảng a/m dọc theo trục x .
- sau 1 khoảng b/n dọc theo trục y .
- sau 1 khoảng $\lambda_{mn}/2$ dọc theo trục z .

cuu duong than cong . com

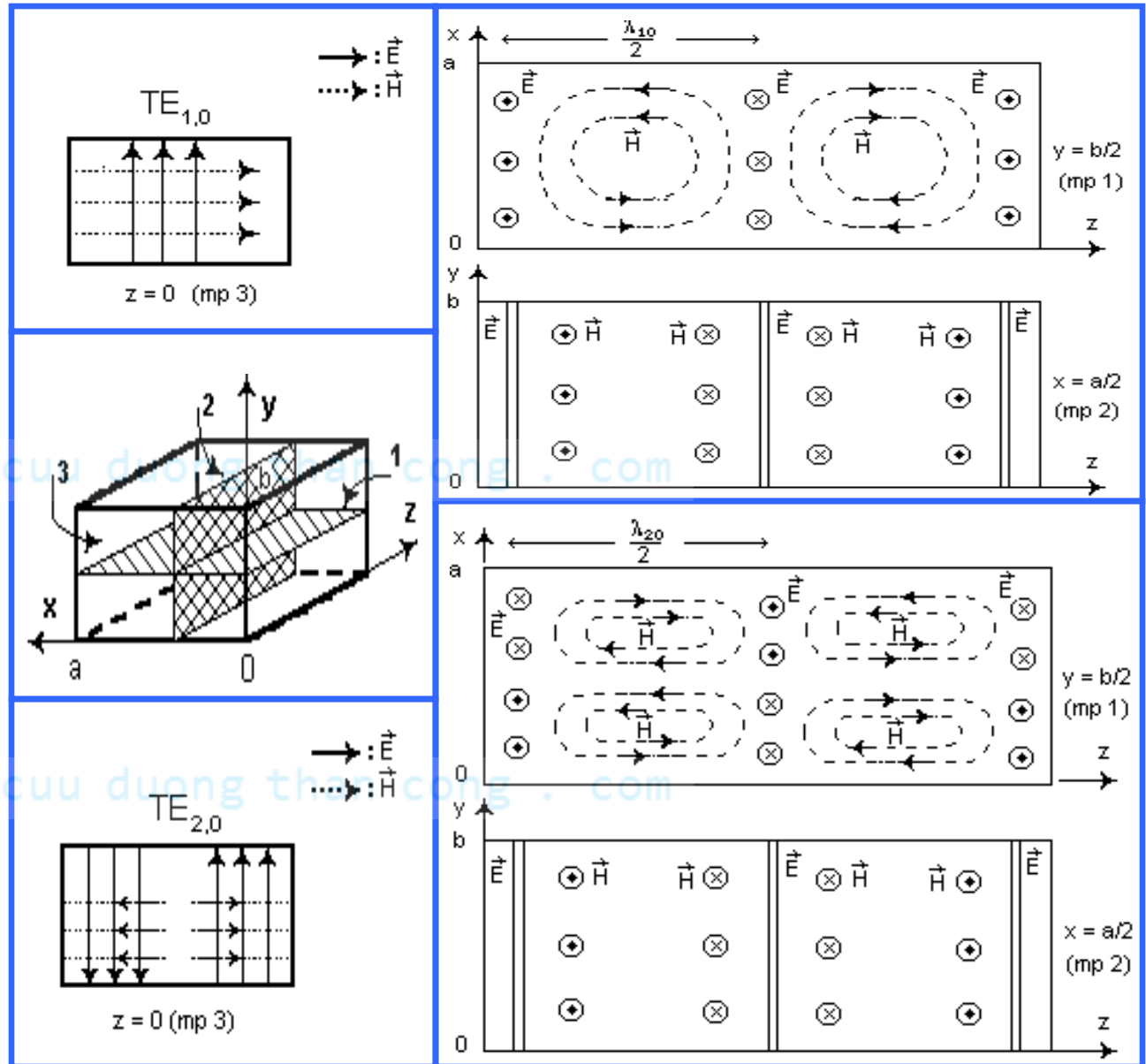
cuu duong than cong . com

a) Sóng $TE_{m,0}$:

■ Với $m =$ số nửa sóng theo trục x .

■ Sau một khoảng a/m dọc theo trục x , đường sức điện và từ lặp lại nhưng đảo chiều.

■ Sau một khoảng $\lambda_{m,0}/2$ dọc theo trục z , đường sức điện và từ lặp lại nhưng đảo chiều.

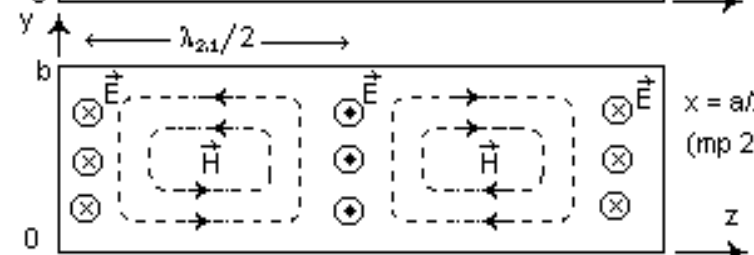
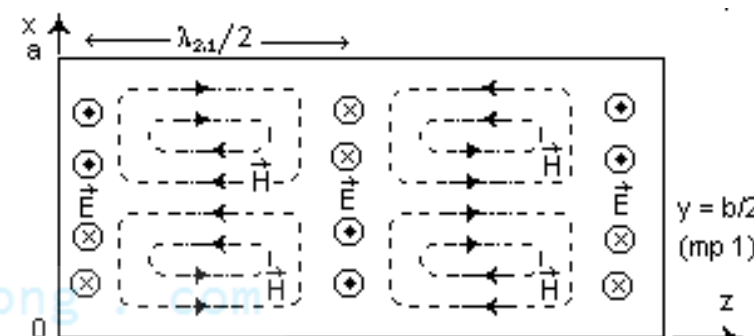
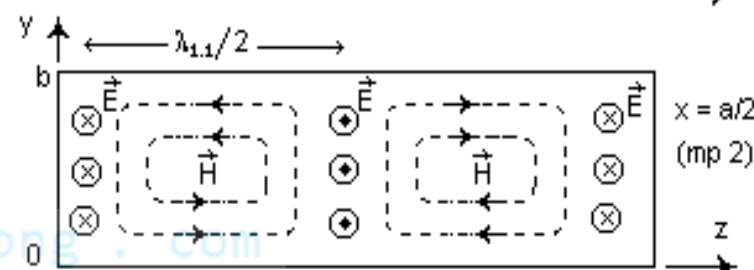
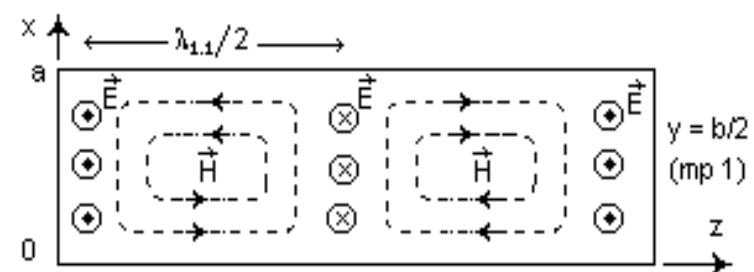
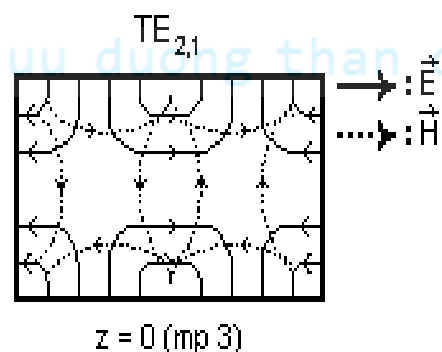
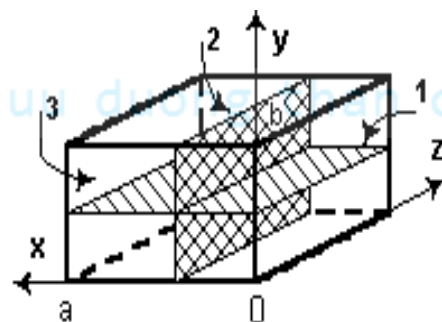
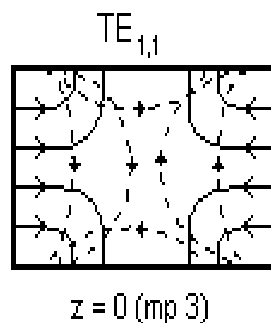


b) Sóng $TE_{m,n}$:

- Với m = số nửa sóng theo trục x .
- Với n = số nửa sóng theo trục y .

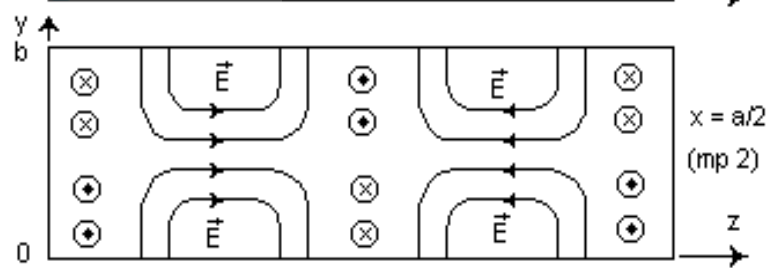
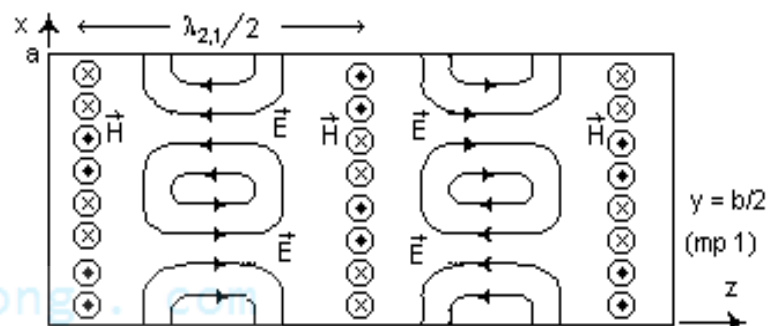
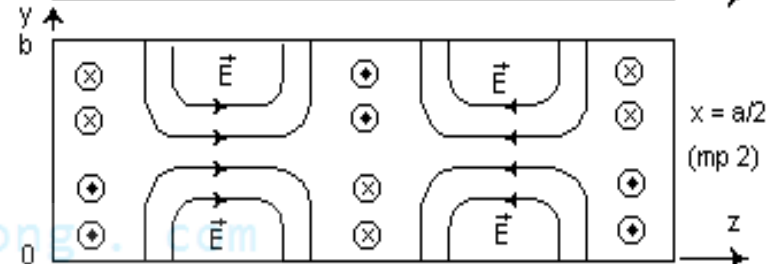
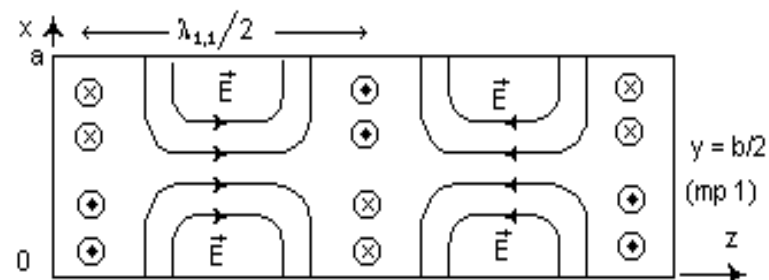
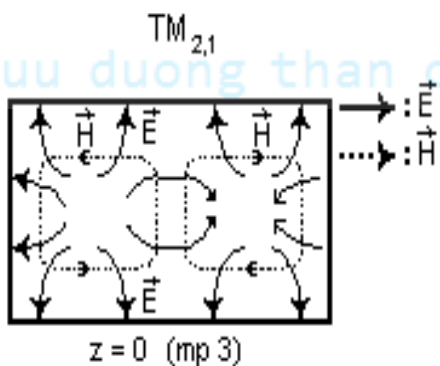
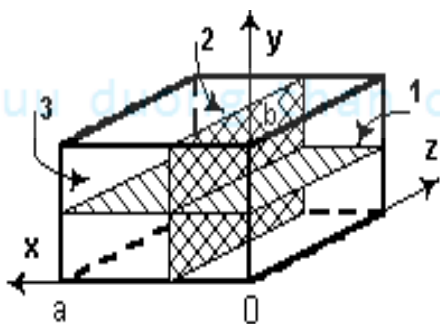
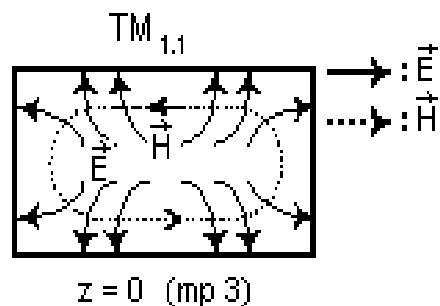
■ Sau một khoảng a/m dọc theo trục x , đường sức điện và từ lặp lại nhưng đảo chiều.

■ Sau một khoảng $\lambda_{m,0}/2$ dọc theo trục z , đường sức điện và từ lặp lại nhưng đảo chiều.



c) Sóng $TM_{m,n}$:

- Với m = số nửa sóng theo trục x .
- Với n = số nửa sóng theo trục y .
- Sau một khoảng a/m dọc theo trục x , đường sức điện và từ lặp lại nhưng đảo chiều.
- Sau một khoảng $\lambda_{m,0}/2$ dọc theo trục z , đường sức điện và từ lặp lại nhưng đảo chiều.



5. Ứng dụng ống dẫn sóng:

Rectangular Metal Waveguides

Rectangular metal waveguides are commonly used to guide electromagnetic power when dealing with high power levels (radars, satellite and space communications, wireless/mobile base stations, etc)

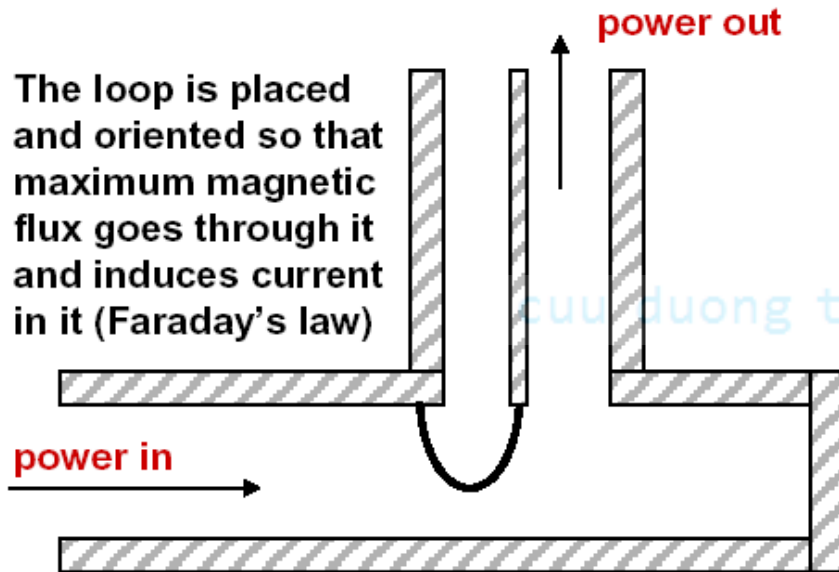


They are usually made of copper – and the best are gold plated

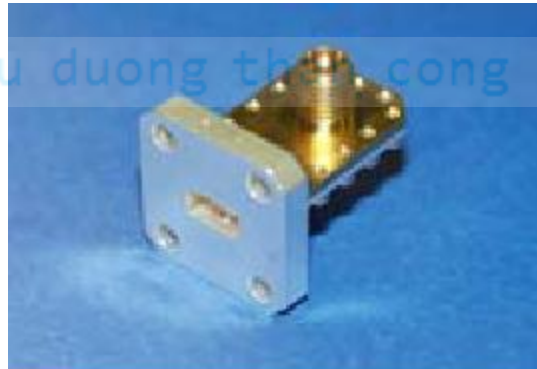
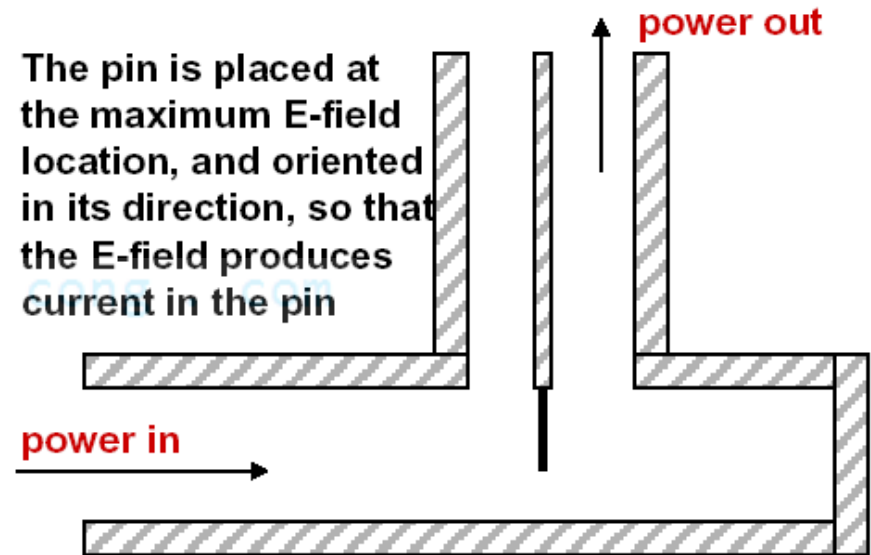
6. Kết nối ods và cáp đồng trục:

Sometimes it is necessary to transfer power between a waveguide and a coax cable

Loop Design



Pin Design



7.4 Hệ số tắt dần trong ống dẫn sóng thực:

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

7.4.1 Khái niệm:

❖ Khi $\sigma_{\text{th.ống}} < \infty$ và $\sigma_{\text{đm}} \neq 0$: biên độ TĐT giảm theo $e^{-\alpha z}$.

$$\vec{E} = \vec{E}_0(x, y)e^{-\alpha z}e^{-j\beta z} \quad ; \quad \vec{H} = \vec{H}_0(x, y)e^{-\alpha z}e^{-j\beta z}$$

❖ Có thể xem hệ số tắt dần là tổng của 2 thành phần:

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_w$$

a) Thành phần tắt dần do điện môi thực: α_d .

b) Thành phần tắt dần do độ dẫn điện của thành ống không phải là vô cùng lớn : α_w .

7.4.2 Thiết lập công thức tính α_d :

❖ Gọi $\tilde{\epsilon}$ là độ thấm điện phức của điện môi thực trong ods .

$$\gamma^2 = K_c^2 - \omega^2 \mu \tilde{\epsilon} = K_c^2 - \omega^2 \mu (\epsilon - j \frac{\sigma}{\omega}) = -\beta^2 + j \omega \mu \sigma$$

$$\rightarrow \gamma = j\beta \sqrt{1 - j \frac{\omega \mu \sigma}{\beta^2}} \approx j\beta \left(1 - j \frac{\omega \mu \sigma}{2\beta^2} \right) = \frac{\omega \mu \sigma}{2\beta} + j\beta$$

(Do σ thường rất nhỏ nên $\omega \mu \sigma \ll \beta^2$)

❖ Hệ số tắt dần do điện môi thực:

$$\alpha_d = \frac{\omega \mu \sigma}{2\beta}$$

7.4.3 Thiết lập công thức tính α_w :

❖ Công suất trung bình truyền qua tiết diện ngang ods:

$$P = \frac{1}{2} \int_{S_{ng}} \text{Re} \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \}_z dS_z = P_0 \cdot e^{-2\alpha_w \cdot z}$$

$$\rightarrow \frac{dP}{dz} = -2\alpha_w \cdot P \quad \rightarrow \alpha_w = \frac{-\frac{dP}{dz}}{2P}$$

(Các thành phần trong công thức sẽ được xác định như sau)

a) Thành phần tổn hao trên đơn vị dài:

$$-\frac{dP}{dz}$$

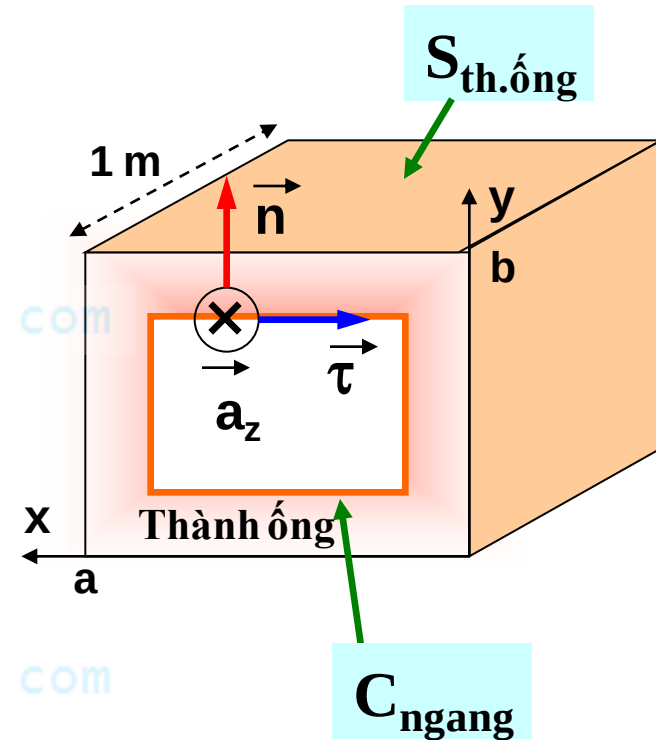
: là sự suy giảm của P trên 1 đơn vị chiều dài theo trục z.
= công suất tổn hao nhiệt trong thành ống/đơn vị dài.

❖ Theo htḍ chọn $\left(\vec{\tau}, \vec{a}_z, \vec{n} \right)$, ta có:

$$-\frac{dP}{dz} = \frac{1}{2} \oint_{S_{th.ống}} \text{Re} \left\{ \vec{E} \times \vec{H}^* \right\}_n dS$$

$$= \frac{1}{2} \int_{S_{th.ống}} \text{Re}\{\eta\} [H_{tt}^2] \cdot dS$$

(Với $\eta = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} (1+j)$: trở sóng thành ống)



$$-\frac{dP}{dz} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} \oint_{C.ngang} [H_{tt}^2] \cdot d\ell$$

$$(H_{tt}^2 = |\dot{H}_z|^2 + |\dot{H}_t|^2)$$

(H_x or H_y)

b) Thành phần công suất trung bình:

❖ Truyền qua tiết diện ngang ods : $P = \frac{1}{2} \int_{S_{ng}} \operatorname{Re} \left\{ \dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^* \right\}_z dS_z$

$$\rightarrow P = \frac{1}{2} \int_{S_{ng}} \operatorname{Re} \left[\dot{E}_x \dot{H}_y^* - \dot{E}_y \dot{H}_x^* \right] . dS_z$$

$$\rightarrow P = \frac{\eta}{2} \int_0^a \int_0^b \left[|\dot{H}_x|^2 + |\dot{H}_y|^2 \right] . dx . dy ; \eta : \begin{cases} \eta_{TM} \\ \eta_{TE} \end{cases}$$

❖ Vậy hệ số tắt dần trong ods thực có thể tính gần đúng bằng:

$$\rightarrow \alpha_w = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega \mu}{2\sigma}} \frac{\oint_{C_{ngang}} [H_{tt}^2] . d\ell}{\eta \int_{S_{ng}} [|\dot{H}_x|^2 + |\dot{H}_y|^2] . dS_z}$$

❖ VD 7.4.1: Tính α trong ods thực

Cho ods hcn, $a \times b = 2,286 \times 1,016$ cm, thành ống là kim loại tốt, lấp đầy điện môi thực ($\mu_r = 1$; $\epsilon_r = 2,1$; $\sigma = 367,5 \mu\text{S/m}$), truyền đi kiểu sóng TE_{10} ở tần số $f = 9$ GHz. Tìm xấp xỉ f_{th} , β_{10} và suy ra hệ số tắt dần α_d (dB/m) ?

Giải

❖ Tần số tới hạn:
$$f_{\text{th}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot 2a} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{2,1} \cdot 2 \cdot 0,02286} = 4,53 \text{ GHz}$$

$$\beta_{10} = \beta_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\text{th}}}{f} \right)^2} = \frac{2\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8 / \sqrt{2,1}} \sqrt{1 - \left(\frac{4,53}{9} \right)^2} = 236 \text{ rad/m}$$

❖ Hệ số tắt dần do điện môi:
$$\alpha_d = \frac{\omega \mu \sigma}{2\beta} = \frac{2\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 367,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 236}$$

$$\alpha_d = 5,533 \cdot 10^{-2} \text{ Np/m} = 0,48 \text{ dB/m}$$

❖ VD 7.4.2: Tính α trong ods thực

Cho ods hcn , $a \times b = 2,286 \times 1,016$ cm, thành ống là kim loại ($\mu = \mu_0$; $\sigma = 16.10^6$ S/m) , lấp đầy không khí, truyền đi kiểu sóng TE_{10} ở tần số $f = 9,6$ GHz.

- a) Tìm f_{th} , β_{10} và K_c ?
- b) Nếu thành phần dọc trục trường từ $\vec{H}_z = C.\cos(\pi x/a).e^{-j\beta z}$, xác định các thành còn lại của trường từ ?
- c) Tìm R_c ? $\oint_{C_{ng}} \vec{H}_{tt}^2 dl$? $\int_{S_{ng}} [\vec{E}_x \vec{H}_y^* - \vec{E}_y \vec{H}_x^*] dS$? Suy ra α_w (dB/m) ?

Giải

❖ VD 7.4.2: Tính α trong ods thực (tt)

a) Tần số tới hạn:
$$f_{th} = \frac{c}{2a} = \frac{3.10^8}{2.0,02286} = 6,56 \text{ GHz}$$

$$\beta_{10} = \beta_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f_{th}}{f}\right)^2} = \frac{2\pi.9,6.10^9}{3.10^8} \sqrt{1 - \left(\frac{6,56}{9,6}\right)^2} = 146,8 \text{ rad/m}$$

$$K_c = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} = 137,43 \text{ m}^{-1}$$

b) Các thành phần trường từ:

$$\dot{H}_x = -\frac{j\beta}{K_c^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} = \frac{j\beta C}{K_c^2} \frac{\pi}{a} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cdot e^{-j\beta z} = \frac{j\beta C}{K_c} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cdot e^{-j\beta z} \quad \dot{H}_y = 0$$

❖ VD 7.4.2: Tính α trong ods thực (tt)

c) Tính các thành phần công suất:

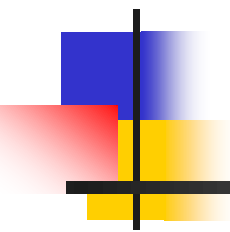
$$\oint_{\text{Cng}} H_{\text{tt}}^2 d\ell = 2 \int_0^b H_z^2 dy + 2 \int_0^a (H_z^2 + H_x^2) dx = 2bC^2 + aC^2 \left(1 + \frac{\beta^2}{K_c^2}\right)$$

$$\int_{\text{Sng}} (\dot{E}_x \hat{H}_y - \dot{E}_y \hat{H}_x) dS = \eta \int_{\text{Sng}} (H_x^2 + H_y^2) dS = \eta_{\text{TE}} \frac{\beta^2 C^2}{K_c^2} \frac{ab}{2}$$

$$R_c = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 9,6 \cdot 10^9 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2,16 \cdot 10^6}} = 4,867 \cdot 10^{-2} \Omega$$

$$\alpha_w = \frac{1}{2} R_c \frac{2b + a \left(1 + \frac{\beta^2}{K_c^2}\right)}{\eta_{\text{TE}} \frac{\beta^2}{K_c^2} \frac{ab}{2}} = R_c \frac{2b \cdot K_c^2 + a \cdot \omega^2 \mu \epsilon}{(\omega \mu \beta) ab}$$

$$\alpha_w = 2,46 \cdot 10^{-2} \text{ Np/m} = 0,214 \text{ dB/m}$$



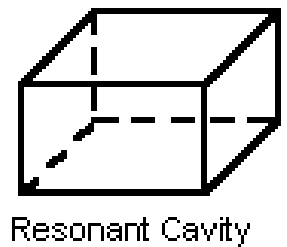
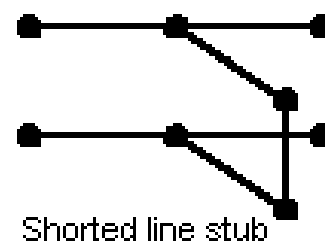
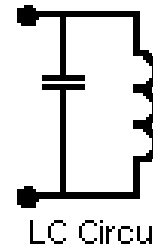
7.5 Hộp cộng hưởng (HCH):

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

7.5.1 Khái niệm:

❖ HCH là hộp kim loại dẫn điện tốt, bên trong là điện môi lý tưởng.



❖ Hai thông số quan trọng của hệ thống cộng hưởng: tần số cộng hưởng và hệ số phẩm chất Q .

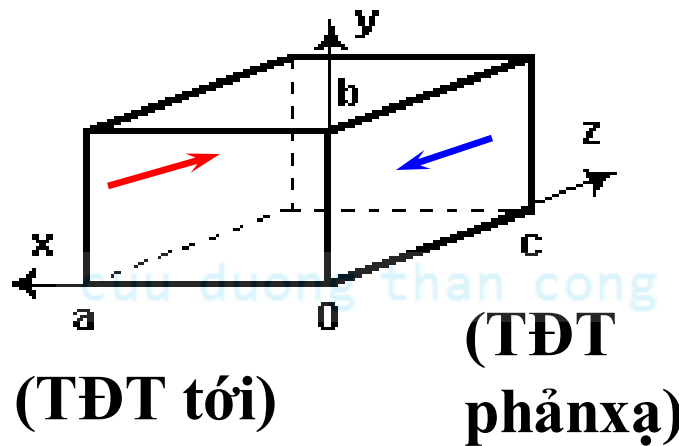
$$Q = 2\pi \frac{W}{\langle W_d \rangle} \begin{cases} W: \text{năng lượng tích lũy.} \\ W_d: \text{năng lượng tổn hao.} \end{cases}$$

❖ HCH thường dùng ở tần số cao .

❖ Khác với mạch LC (trường điện và từ tích lũy riêng biệt) , ở HCH, TĐ & TT liên hệ chặt chẽ với nhau, và $Q_{hch} \gg Q_{RLC}$.

7.5.2 HCH chữ nhật không tổn hao:

- ❖ Xét hộp cộng hưởng có: ($\sigma_{\text{thành ống}} = \infty$) & ($\sigma_{\text{điện môi}} = 0$); kích thước ($a \times b \times c$).
- ❖ Sử dụng các công thức của ods bằng cách xét đồng thời sóng thuận & nghịch gây ra trên các mặt $z = 0$ & $z = c$.



a) Sóng TE_{mnp}:

❖ Xếp chồng:

$$\dot{H}_z = \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\text{Có: } \dot{H}_x = -\frac{\gamma}{K_C^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} = -\frac{j\beta_{m,n}}{K_C^2} \frac{\partial \dot{H}_{zt}}{\partial x} + \frac{j\beta_{m,n}}{K_C^2} \frac{\partial \dot{H}_{zfx}}{\partial x}$$

$$\rightarrow \dot{H}_x = \frac{j\beta_{m,n}}{K_C^2} \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} - C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\dot{H}_y = -\frac{\gamma}{K_C^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} = \frac{j\beta_{m,n}}{K_C^2} \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} - C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\dot{E}_x = -\frac{j\omega\mu}{K_C^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} = \frac{j\omega\mu}{K_C^2} \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\dot{E}_y = \frac{j\omega\mu}{K_C^2} \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} = -\frac{j\omega\mu}{K_C^2} \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$



Điều kiện biên:

$$\text{Có: } \dot{E}_x(x, y, 0) = \dot{E}_x(x, y, c) = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} (C_1 + C_2) = 0 \\ (C_1 e^{-j\beta_{m,n}c} + C_2 e^{j\beta_{m,n}c}) = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_1 = -C_2 \\ \beta_{m,n} = \frac{p\pi}{c} \end{cases}$$

$$\text{Và: } \begin{cases} (C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z}) = -j2C_1 \sin \beta_{m,n}z = A \sin\left(\frac{p\pi}{c}z\right) \\ (C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} - C_2 e^{j\beta_{m,n}z}) = 2C_1 \cos \beta_{m,n}z = jA \cos\left(\frac{p\pi}{c}z\right) \end{cases}$$

❖ Bộ nghiệm của sóng TE_{mnp} :

$$H_z = A \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c}$$

$$H_x = -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c}$$

$$H_y = -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c}$$

$$E_x = \frac{A}{K_c^2} j\omega\mu \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c}$$

$$E_y = -\frac{A}{K_c^2} j\omega\mu \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c}$$

$$E_z = 0 \quad \beta_{mn} = \frac{p\pi}{c} = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

Điều kiện: m, n không đồng thời bằng 0 ; p khác 0.

b) Sóng TM_{mnp}

❖ Xếp chồng:

$$\dot{E}_z = \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\text{Có: } \dot{E}_x = -\frac{\gamma}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} = -\frac{j\beta_{m,n}}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} + \frac{j\beta_{m,n}}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x}$$

$$\Rightarrow \dot{E}_x = -\frac{j\beta_{m,n}}{K_c^2} \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} - C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\dot{E}_y = -\frac{\gamma}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} = -\frac{j\beta_{m,n}}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} - C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\Rightarrow \dot{H}_x = \frac{j\omega\epsilon}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} = \frac{j\omega\epsilon}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$

$$\dot{H}_y = -\frac{j\omega\epsilon}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} = -\frac{j\omega\epsilon}{K_c^2} \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \left(C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z} \right)$$



Điều kiện biên :

Với: $\dot{E}_x(x, y, 0) = \dot{E}_x(x, y, c) = 0 \rightarrow \begin{cases} (C_1 - C_2) = 0 \\ (C_1 e^{-j\beta_{m,n}c} - C_2 e^{j\beta_{m,n}c}) = 0 \end{cases}$

$\rightarrow \begin{cases} C_1 = C_2 \\ \beta_{m,n} = \frac{p\pi}{c} \end{cases}$

Và ta có: $\begin{cases} (C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} - C_2 e^{j\beta_{m,n}z}) = -j2C_1 \sin \beta_{m,n}z = -jA \sin\left(\frac{p\pi}{c}z\right) \\ (C_1 e^{-j\beta_{m,n}z} + C_2 e^{j\beta_{m,n}z}) = 2C_1 \cos \beta_{m,n}z = A \cos\left(\frac{p\pi}{c}z\right) \end{cases}$

❖ Bộ nghiệm của sóng TM_{mnp}

$$\vec{E}_z = A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c}$$

$$\vec{E}_x = -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c}$$

$$\vec{E}_y = -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c}$$

$$\vec{H}_x = \frac{A}{K_c^2} j\omega\epsilon \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c}$$

$$\vec{H}_y = -\frac{A}{K_c^2} j\omega\epsilon \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c}$$

$$\vec{H}_z = 0 \quad \beta_{mn} = \frac{p\pi}{c} = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

Điều kiện: m, n khác 0 ; p có thể = 0 .

c) Nhận xét:

❖ Có vô số tần số cộng hưởng:

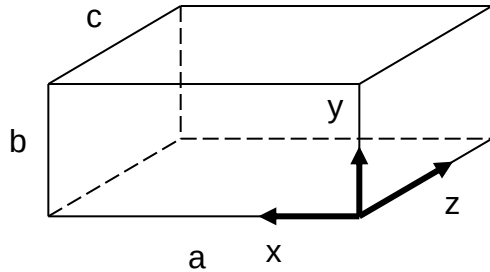
$$\omega_{mnp} = \pi v \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$

$$f_{mnp} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$

❖ Sóng điện & từ lệch pha nhau 90° : nên năng lượng trường điện và trường từ không đồng thời max mà chuyển hóa lẫn nhau. Ta có:

$$W_0 = W_e + W_m = \text{const} = W_{e\text{max}} = W_{m\text{max}}$$

❖ VD 7.5.1: Hộp cộng hưởng



Tính toán tần số cộng hưởng của hộp cộng hưởng lấp đầy không khí, kích thước $a \times b \times c = 2\text{cm} \times 1\text{cm} \times 3\text{cm}$, kiểu sóng là TE_{101} .

Tần số cộng hưởng có thể tính theo công thức:

$$f = \frac{10^2}{2\sqrt{\mu_o \epsilon_o}} \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2} = \frac{0.6 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{2} = 9\text{GHz}$$

cuu duong than cong . com

❖ VD 7.5.2: Hộp cộng hưởng

Cho hộp cộng hưởng không khí, cạnh $a = 4 \text{ cm}$, $b = 2 \text{ cm}$, $c = 4 \text{ cm}$, xác định 3 tần số cộng hưởng bé nhất ?

Giải

- Tần số cộng hưởng : $f_{\text{osc}} = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$
cuu duong than cong . com
- $f_{\text{osc}(1)} = 5303 \text{ MHz}$ cho $\text{TE}_{1,0,1}$ mode.
- $f_{\text{osc}(2)} = 8385 \text{ MHz}$ cho $\text{TE}_{0,1,1}$; $\text{TE}_{2,0,1}$; $\text{TE}_{1,0,2}$; $\text{TM}_{1,1,0}$; modes.
cuu duong than cong . com
- $f_{\text{osc}(3)} = 9186 \text{ MHz}$ cho $\text{TE}_{1,1,1}$; $\text{TM}_{1,1,1}$ modes.

❖ VD 7.5.3: Hộp cộng hưởng

Các tần số cộng hưởng của HCH không khí cho như sau:

- $f_{\text{osc}(1)} = 2500\sqrt{3}$ MHz cho $\text{TE}_{1,0,1}$ mode.
- $f_{\text{osc}(2)} = 2500\sqrt{5}$ MHz cho $\text{TE}_{0,1,1}$ mode.
- $f_{\text{osc}(3)} = 2500\sqrt{6}$ MHz cho $\text{TM}_{1,1,1}$ mode.

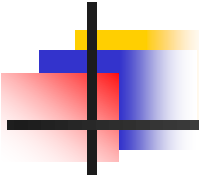
Tìm a, b c ?

Giải

cuu duong than cong .com

▪ Tần số cộng hưởng : $f_{\text{osc}} = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$

▪ Có:
$$\begin{cases} \left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{c}\right)^2 = \left(\frac{25\sqrt{3} \cdot 10^8}{1,5 \cdot 10^8}\right)^2 = \frac{2500}{3} \\ \left(\frac{1}{b}\right)^2 + \left(\frac{1}{c}\right)^2 = \left(\frac{25\sqrt{5} \cdot 10^8}{1,5 \cdot 10^8}\right)^2 = \frac{12500}{9} \\ \left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2 + \left(\frac{1}{c}\right)^2 = \left(\frac{25\sqrt{6} \cdot 10^8}{1,5 \cdot 10^8}\right)^2 = \frac{5000}{3} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b = \frac{\sqrt{3}}{50} \text{ (m)} \\ c = \frac{3}{50\sqrt{2}} \text{ (m)} \\ a = \frac{3}{50} \text{ (m)} \end{cases}$$



7.6 Ống dẫn sóng quang (optical waveguide)

7.6.1 Sự phản xạ và khúc xạ của sóng phẳng.

7.6.2 Hiện tượng phản xạ toàn phần.

7.6.3 Cáp quang.

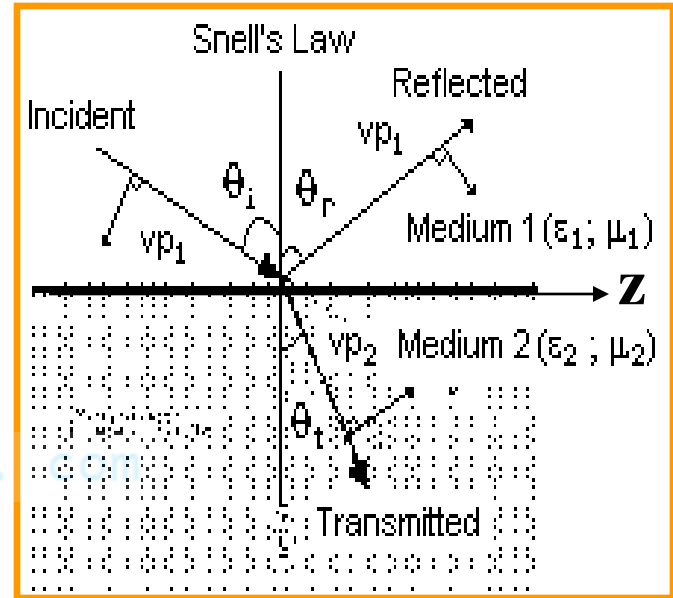
7.6.4 Hệ thống truyền sóng điện từ dùng cáp quang.

7.6.1 Sự phản xạ và khúc xạ của upw:

❖ Khi thành ống không phải kim loại: sóng tới đến mặt phân cách 2 môi trường làm xuất hiện sóng phản xạ và khúc xạ.

❖ Do vận tốc pha theo phương z phải như nhau nên ta có :

$$\frac{V_{p1}}{\sin \theta_i} = \frac{V_{p1}}{\sin \theta_r} = \frac{V_{p2}}{\sin \theta_t}$$



$$\theta_i = \theta_r \quad (\text{Snell's law})$$



$$\theta_t = \sin^{-1} \left[\sqrt{\frac{\mu_1 \epsilon_1}{\mu_2 \epsilon_2}} \sin \theta_i \right]$$

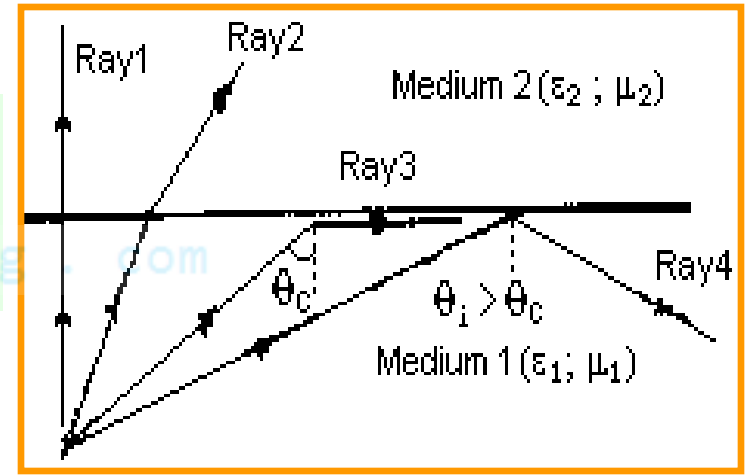
7.6.2 Hiện tượng phản xạ toàn phần:

❖ Gọi:
$$\left\{ \begin{array}{l} n_1 = \frac{c}{v_{p1}} = \sqrt{\mu_1 \epsilon_1} \\ n_2 = \frac{c}{v_{p2}} = \sqrt{\mu_2 \epsilon_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \theta_t = \sin^{-1} \left[\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right]$$

❖ Khi $\mu = \mu_0$:
$$\theta_t = \sin^{-1} \left[\sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} \sin \theta_i \right]$$

❖ tại vị trí Ray3 : $\theta_t = 90^\circ$, ta có:

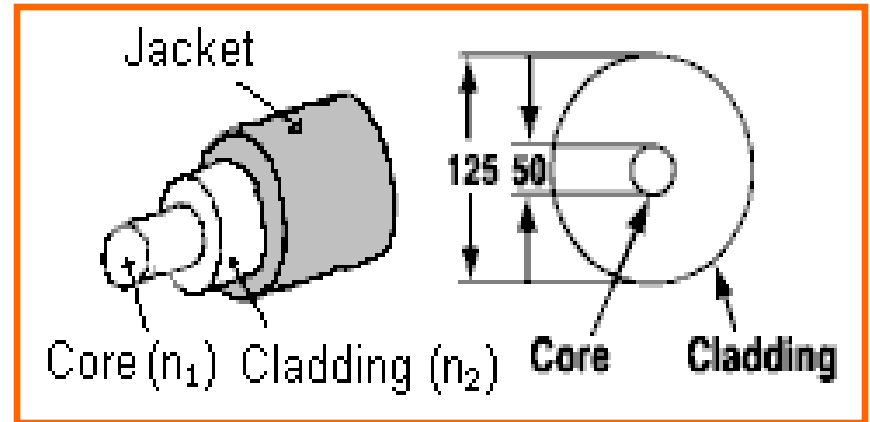
$$\theta_i = \theta_c = \sin^{-1} \left[\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \right]$$



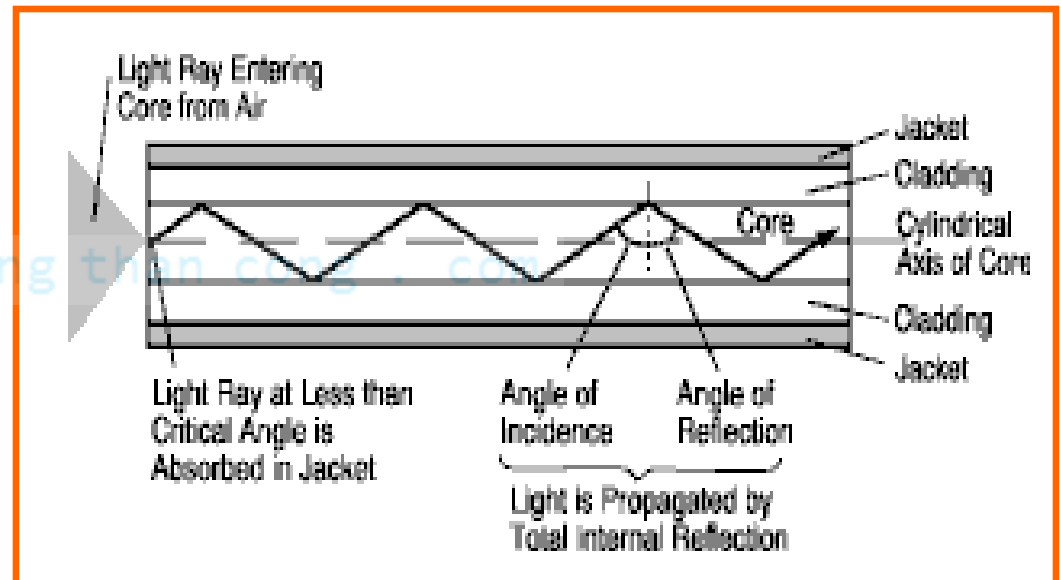
❖ Hiện tượng phản xạ toàn phần: toàn bộ năng lượng sóng tới sẽ bị phản xạ lại môi trường 1. Hiện tượng này xảy ra khi góc sóng tới thỏa: $\theta_i > \theta_c$.

7.6.3 Cáp quang (Fiber optic) :

❖ Ống dẫn sóng hình trụ tròn, đường kính từ: $5 \div 50 \mu\text{m}$.

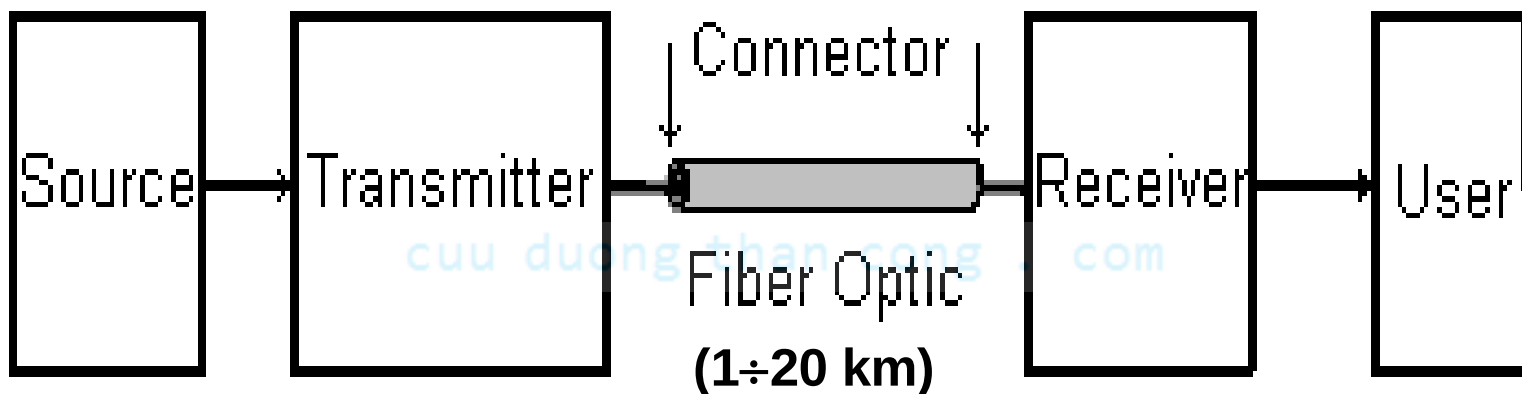


❖ Sóng điện từ truyền trong cáp quang theo nguyên lý phản xạ toàn phần.



7.6.4 Hệ sóng truyền sóng điện từ dùng cáp quang:

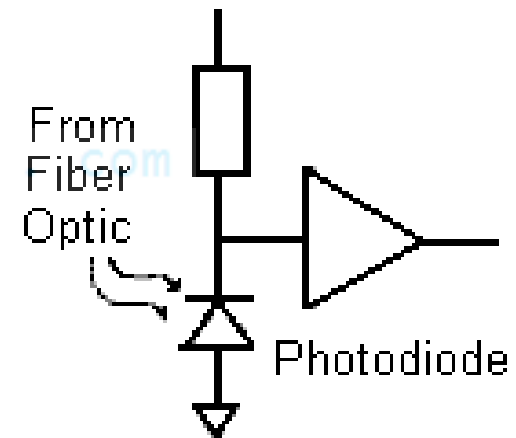
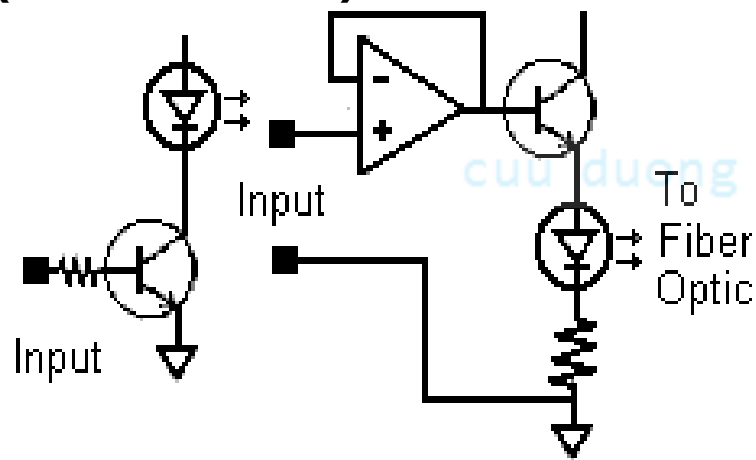
❖ Sơ đồ khối hệ thống:



7.6.4 Hệ sóng truyền sóng điện từ dùng cáp quang:

❖ Sơ đồ nguyên lý mạch phát và thu tại hai đầu đường dây cáp quang:

(LED or LASER)



7.6.4 Hệ sóng truyền sóng điện từ dùng cáp quang:

❖ Tín hiệu thường dùng: $1000 \div 2000$ nm (vùng hồng ngoại)
nên tổn hao bức xạ bé.

