

Trường điện từ

© TS. Lương Hữu Tuấn

- Chương 1 : Khái niệm & ph trình cơ bản của TĐT
- Chương 2 : Trường điện tĩnh
- Chương 3 : TĐT dừng
- Chương 4 : TĐT biến thiên
- Chương 5 : Bức xạ điện từ
- Chương 6 : Ống dẫn sóng - Hộp cộng hưởng

1

cuu duong than cong . com

Chương 6 : Ống dẫn sóng - Hộp cộng hưởng

© TS. Lương Hữu Tuấn

1. Khái niệm về ods
2. Ods hình chữ nhật
3. Ods hình trụ tròn
4. Hệ số tắt dần trong ods thực
5. Hộp cộng hưởng

cuu duong than cong . com

2

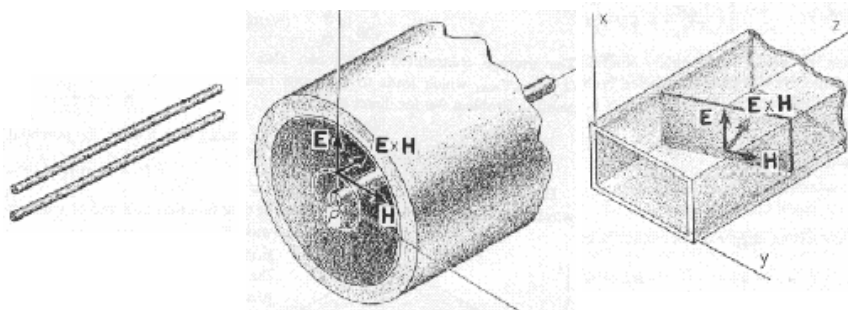
Chương 6 : Ống dẫn sóng - Hộp cộng hưởng

1. Khái niệm về ods

1.1. Hệ thống dẫn truyền định hướng

1.2. Tần số tới hạn & Sóng ngang

© TS. Lương Hữu Tuấn



3

cuu duong than cong . com

1.1. Hệ thống dẫn truyền định hướng

là hệ thống dẫn truyền bức xạ điện từ theo 1 hướng nhất định

- Khi f tăng, tổn hao (bức xạ & nhiệt) tăng theo
- Dây song hành : dải sóng m
 - tổn hao bức xạ tăng do kgian bức xạ không giới hạn
 - tổn hao nhiệt tăng do hiệu ứng bề mặt & do tổn hao đmôi
- Cáp đồng trục : dải sóng dm
 - tổn hao bức xạ không đáng kể do kgian bức xạ giới hạn
 - tổn hao nhiệt tăng
- **Ống dẫn sóng** : dải sóng cm
 - tổn hao bức xạ không đáng kể do kgian bức xạ giới hạn
 - tổn hao nhiệt không đáng kể do $\gamma_{th} = \infty$ & $\gamma_{dm} = 0$

© TS. Lương Hữu Tuấn

4

1.2. Tần số tới hạn & Sóng ngang

- Tần số tới hạn f_{th} :
 - Sóng lan truyền không tổn hao khi $f > f_{th}$
 - Tần số tới hạn tỉ lệ nghịch với kích thước của ods
Do đó ods chỉ dùng ở tần số cao
- Sóng ngang : Giả sử phương truyền là phương z
Sóng điện từ tổng quát là tổng của :
 - Sóng điện ngang TE : $E_z = 0, H_z \neq 0$
 - Sóng từ ngang TM : $E_z \neq 0, H_z = 0$

© TS. Lương Hữu Tuấn

5

cuu duong than cong . com

Chương 6 : Ống dẫn sóng - Hộp cộng hưởng

1. Khái niệm về ods

2. Ods hình chữ nhật

Giả sử ods có : tiết diện hcn, chiều dài rất lớn, không tổn hao ($\gamma_{th} = \infty$ & $\gamma_{dm} = 0$), biến thiên điều hòa

2.1. Thiết lập phương trình & điều kiện biên

2.2. Sóng từ ngang TM

2.3. Sóng điện ngang TE

2.4. Tính chất của ods

© TS. Lương Hữu Tuấn

6

cuu duong than cong . com

2.1. Thiết lập phương trình & điều kiện biên (1)

■ Thiết lập phương trình

Giả sử phương truyền là phương z.

Do ods rất dài nên sóng chỉ truyền theo một phương : $k = \pm j\beta$

$$\vec{E} = \vec{E}_0(x, y)e^{-kz}, \vec{H} = \vec{H}_0(x, y)e^{-kz} \Rightarrow \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = \dots = -k\vec{E}, \frac{\partial \vec{H}}{\partial z} = \dots = -k\vec{H}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot} \vec{H} = j\omega\epsilon \vec{E} \\ \text{rot} \vec{E} = -j\omega\mu \vec{H} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \dot{E}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} - j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} \right) \\ \dot{E}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} + j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} \right) \\ \dot{H}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} + j\omega\epsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} \right) \\ \dot{H}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} - j\omega\epsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} \right) \end{array} \right.$$

$$K_c^2 = k^2 + \omega^2 \mu\epsilon = -\beta^2 + \frac{\omega^2}{v^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial y^2} + K_c^2 \dot{E}_z = 0 \\ \frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial y^2} + K_c^2 \dot{H}_z = 0 \end{array} \right.$$

7

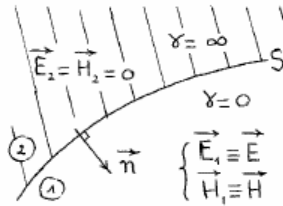
cuu duong than cong . com

2.1. Thiết lập phương trình & điều kiện biên (2)

■ Điều kiện biên

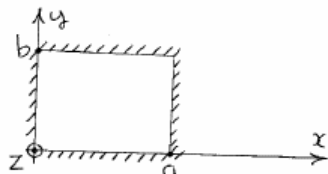
$$\left\{ \begin{array}{l} E_{1t} = E_{2t} \\ B_{1n} = B_{2n} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_t = 0 \\ B_n = 0 \end{array} \right.$$



© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com



$$E_z(x, 0, z) = 0$$

8

2.2. Sóng từ ngang TM (1)

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

$$\dot{E}_z = X(x).Y(y).e^{-kz} \text{ (s.v.)}$$

$$Y e^{-kz} \frac{d^2 X}{dx^2} + X e^{-kz} \frac{d^2 Y}{dy^2} + K_c^2 X Y e^{-kz} = 0$$

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

$$\begin{cases} \frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} = -M^2 \\ \frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} = -N^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X = A \sin(Mx + \varphi) \\ Y = B \sin(Ny + \psi) \end{cases}$$

$$K_c^2 = M^2 + N^2$$

$$\dot{E}_z = C \sin(Mx + \varphi) \sin(Ny + \psi) e^{-kz}$$

$$\begin{cases} \dot{E}_z(x=0) = 0 \\ \dot{E}_z(y=0) = 0 \\ \dot{E}_z(x=a) = 0 \\ \dot{E}_z(y=b) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi = 0 \\ \psi = 0 \\ Ma = m\pi \\ Nb = n\pi \end{cases}$$

9

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

2.2. Sóng từ ngang TM (2)

$$\dot{E}_z = C \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-kz}$$

$$\begin{cases} \dot{E}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} - j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} \right) = \frac{-k}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} \\ \dot{E}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} + j\omega\mu \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} \right) = \frac{-k}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} \\ \dot{H}_x = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial x} + j\omega\varepsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} \right) = \frac{j\omega\varepsilon}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial y} \\ \dot{H}_y = \frac{1}{K_c^2} \left(-k \frac{\partial \dot{H}_z}{\partial y} - j\omega\varepsilon \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} \right) = \frac{-j\omega\varepsilon}{K_c^2} \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial x} \end{cases}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

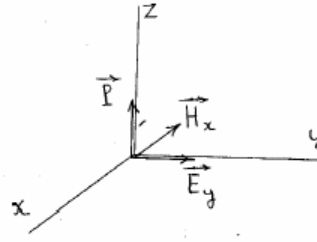
cuu duong than cong . com

10

2.2. Sóng từ ngang TM (3)

© TS. Lương Hữu Tuấn

$$\begin{aligned}\dot{E}_x &= -\frac{Ck}{K_c^2} \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-kz} \\ \dot{E}_y &= -\frac{Ck}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-kz} \\ \dot{E}_z &= C \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-kz} \\ \dot{H}_x &= -\frac{1}{Z_{TM}} \dot{E}_y \\ \dot{H}_y &= \frac{1}{Z_{TM}} \dot{E}_x \\ \dot{H}_z &= 0\end{aligned}$$



$$Z_{TM} = \frac{k}{j\omega\epsilon} = \frac{\pm\beta_{mn}}{\omega\epsilon}$$

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

$$\beta_{mn} = \sqrt{(\omega/v)^2 - (m\pi/a)^2 - (n\pi/b)^2}$$

■ Nhận xét :

- vô số kiểu sóng TM_{mn} : TM_{11} , TM_{12} , TM_{32} ...
- không tồn tại TM_{mn} ứng với $m = 0$ hay $n = 0$

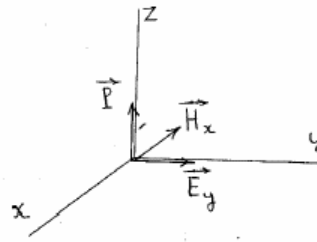
11

cuuduongthancong.com

2.3. Sóng điện ngang TE

© TS. Lương Hữu Tuấn

$$\begin{aligned}\dot{H}_x &= \frac{Ck}{K_c^2} \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-kz} \\ \dot{H}_y &= \frac{Ck}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-kz} \\ \dot{H}_z &= C \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-kz} \\ \dot{E}_x &= Z_{TE} \dot{H}_y \\ \dot{E}_y &= -Z_{TE} \dot{H}_x \\ \dot{E}_z &= 0\end{aligned}$$



$$Z_{TE} = \frac{j\omega\mu}{k} = \frac{\omega\mu}{\pm\beta_{mn}}$$

$$\beta_{mn} = \sqrt{(\omega/v)^2 - (m\pi/a)^2 - (n\pi/b)^2}$$

■ Nhận xét :

- vô số kiểu sóng TE_{mn} : TE_{01} , TE_{12} ...
- TE_{mn} ứng với $m = 0$ và $n = 0$ không lan truyền

12

2.4. Tính chất của ods

1. Tần số tới hạn :

Lan truyền không tổn hao $\Rightarrow k = \pm j\beta_{mn}$ thuần ảo

$$\dots \omega > \omega_{th} = \pi v \sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}$$

$$f > f_{th} = \frac{1}{2\pi} \omega_{th}, \lambda < \lambda_{th} = v/f_{th}$$

2. Vận tốc pha trong ods :

$$v_{mn} = \omega/\beta_{mn} = v/\sqrt{1-(f_{th}/f)^2} \geq v$$

3. Bước sóng trong ods :

$$\lambda_{mn} = 2\pi/\beta_{mn} = \lambda/\sqrt{1-(\lambda/\lambda_{th})^2} \geq \lambda$$

4. Phân bố đường sức : đsức điện & 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

© TS. Lương Hữu Tuấn

13

cuuduongthancong.com

Chương 6 : Ống dẫn sóng - Hộp cộng hưởng

1. Khái niệm về ods

2. Ods hình chữ nhật

3. Ods hình trụ tròn

4. Hệ số tắt dần trong ods thực

4.1. Thiết lập công thức

4.2. Hệ số tắt dần trong ods thực hcn (tự đọc)

4.3. Hệ số tắt dần trong ods thực htt (tự đọc)

© TS. Lương Hữu Tuấn

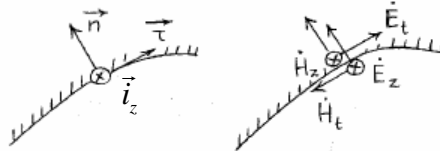
14

4.1. Thiết lập công thức

Thực tế, $\gamma_{th} < \infty$ và $\gamma_{dm} \neq 0$: biên độ giảm theo qui luật $e^{-\alpha z}$

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

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \int_{S_{ng}} \text{Re}\{\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*\}_z dS \Rightarrow \dots \frac{d\langle P \rangle}{dz} = -2\alpha \langle P \rangle \Rightarrow \alpha = \frac{-\frac{d\langle P \rangle}{dz}}{2\langle P \rangle}$$



$$\dot{E}_t = Z\dot{H}_z, \dot{E}_z = -Z\dot{H}_t, Z = \sqrt{\omega\mu/\gamma} \angle 45^\circ$$

$$-\frac{d\langle P \rangle}{dz} = \frac{1}{2} \int_{S_{th0}} \text{Re}\{\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*\}_n dS = \dots = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\gamma}} \oint_{C_{ng}} H_t^2 dl$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\gamma}} \frac{\oint_{C_{ng}} H_t^2 dl}{\int_{S_{ng}} \text{Re}\{\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*\}_z dS} \quad (\text{Np/m})$$

15

cuu duong than cong . com

Chương 6 : Ống dẫn sóng - Hộp cộng hưởng

1. Khái niệm về ods
2. Ods hình chữ nhật
3. Ods hình trụ tròn
4. Hệ số tắt dần trong ods thực
5. Hộp cộng hưởng
 - 5.1. Khái niệm
 - 5.2. Hch hình chữ nhật không tổn hao

16

5.1. Khái niệm

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

- Hai thông số quan trọng của hệ thống cộng hưởng :
 - tần số cộng hưởng
 - độ phẩm chất Q

$$Q = 2\pi \frac{W}{\langle W_d \rangle}$$

- Khác với mạch RLC :
 - TĐ & TT liên hệ chặt chẽ với nhau
 - $Q_{\text{hch}} \gg Q_{\text{RLC}}$

© TS. Lương Hữu Tuấn

17

cuu duong than cong . com

5.2. Hch hình chữ nhật không tổn hao

Hộp cộng hưởng có $\gamma_{\text{th}} = \infty$ & $\gamma_{\text{dm}} = 0$

Sử dụng các công thức của ods bằng cách xét đồng thời sóng thuận & nghịch gây ra trên các mặt $z = 0$ & $z = c$

- Sóng TE_{mnp}
- Sóng TM_{mnp}
- Nhận xét

© TS. Lương Hữu Tuấn

18

cuu duong than cong . com

■ Sóng TE_{mnp}

$$\begin{aligned}\dot{E}_x &= \frac{j\omega\mu}{K_c^2} \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} (C_1 e^{-j\beta_{mn}z} + C_2 e^{j\beta_{mn}z}) \\ \dot{E}_x(x, y, 0) &= \dot{E}_x(x, y, c) = 0 \\ \dots \quad \beta_{mn} &= \frac{p\pi}{c} = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}\end{aligned}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

$$\begin{aligned}\dot{H}_x &= -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{H}_y &= -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{H}_z &= A \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c} \\ \dots \\ \dot{E}_x &= \frac{A}{K_c^2} j\omega\mu \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{E}_y &= -\frac{A}{K_c^2} j\omega\mu \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{E}_z &= 0\end{aligned}$$

Điều kiện :

- m, n không đồng thời bằng 0
- p khác 0

19

cuuduongthancong.com

■ Sóng TM_{mnp}

$$\begin{aligned}\dot{E}_x &= -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{E}_y &= -\frac{A}{K_c^2} \frac{p\pi}{c} \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{E}_z &= A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{H}_x &= \frac{A}{K_c^2} j\omega\epsilon \frac{n\pi}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{H}_y &= -\frac{A}{K_c^2} j\omega\epsilon \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{p\pi z}{c} \\ \dot{H}_z &= 0\end{aligned}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

Điều kiện :

- m, n khác 0

20

cuuduongthancong.com

■ Nhận xét

- vô số tần số cộng hưởng

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

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

- sóng điện & từ lệch pha nhau 90° :
chuyển hóa năng lượng

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

© TS. Lương Hữu Tuấn

21

cuu duong than cong . com

Tóm tắt chương 6

1. Khái niệm về ods
2. Ods hình chữ nhật
3. Ods hình trụ tròn
4. Hệ số tắt dần trong ods thực
5. Hộp cộng hưởng

© TS. Lương Hữu Tuấn

22

cuu duong than cong . com