

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

1

cuu duong than cong . com

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

© TS. Lương Hữu Tuấn

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc
5. Sđtpđs truyền trong điện môi lý tưởng
6. Sđtpđs truyền trong vật dẫn tốt
7. Phản xạ & khúc xạ của sđtpđs

2

cuu duong than cong . com

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung

1.1. Trường điện từ biến thiên

1.2. Định nghĩa thế

© TS. Lương Hữu Tuấn

3

cuu duong than cong . com

1.1. Trường điện từ biến thiên

- định nghĩa : thay đổi theo không gian & thời gian

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, H_{1t} - H_{2t} = J_s$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, E_{1t} - E_{2t} = 0$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho, D_{1n} - D_{2n} = \sigma$$

$$\text{div} \vec{B} = 0, B_{1n} - B_{2n} = 0$$

$$\text{div} \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}, J_{1n} - J_{2n} = -\frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{J} = \gamma \vec{E}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

- tính chất sóng : $v = 1/\sqrt{\mu\epsilon}$

- dòng công suất điện từ : $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$

4

1.2. Định nghĩa thế

- thế vectơ :
$$\left. \begin{aligned} \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \quad (IV) \\ \operatorname{div}(\operatorname{rot} \vec{A}) &= 0 \quad (gtvt) \\ \vec{B} &= \operatorname{rot} \vec{A} \end{aligned} \right\}$$
- thế vô hướng & vectơ :
$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} \vec{A} = -\operatorname{rot} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (II \text{ \& } hvtt) \\ \operatorname{rot}(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}) &= 0 \\ \operatorname{rot}(\operatorname{grad} \varphi) &= 0 \quad (gtvt) \\ \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} &= -\operatorname{grad} \varphi \end{aligned}$$
- tóm lại :

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \operatorname{rot} \vec{A} \\ \vec{E} &= -\operatorname{grad} \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \end{aligned}$$
- đơn giản hóa phương trình bằng các điều kiện phụ

5

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert

$$\varepsilon = \text{const} \text{ \& } \mu = \text{const}$$

2.1. Phương trình d'Alembert

- phương trình d'Alembert đối với $\vec{A}$
- phương trình d'Alembert đối với φ
- tóm lại

2.2. Thế chậm

2.3. Phương trình sóng

6

■ Phương trình d'Alembert đv thế vectơ

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (I)$$

$$\text{rot}\vec{B} = \mu\vec{J} + \mu\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\text{rot}(\text{rot}\vec{A}) = \mu\vec{J} + \mu\epsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(-\text{grad}\varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) \quad (\text{đn thế})$$

$$\text{grad}(\text{div}\vec{A}) - \Delta\vec{A} = \mu\vec{J} - \text{grad}\left(\mu\epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial t}\right) - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} \quad (\text{gtvt, hvtt})$$

$$\Delta\vec{A} - \text{grad}(\text{div}\vec{A} + \mu\epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial t}) - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu\vec{J}$$

Điều kiện Lorentz :

$$\text{div}\vec{A} + \mu\epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0$$

Phương trình d'Alembert đối với $\vec{A}$

$$\Delta\vec{A} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu\vec{J}$$

7

cuu duong than cong . com

■ Phương trình d'Alembert đv thế vô hướng

$$\rho = \text{div}\vec{D} \quad (III)$$

$$\rho = \epsilon \text{div}\vec{E} = \epsilon \text{div}\left(-\text{grad}\varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) \quad (\text{đn thế})$$

$$\rho = -\epsilon \Delta\varphi - \epsilon \frac{\partial}{\partial t} \text{div}\vec{A} \quad (\text{gtvt, hvtt})$$

$$\text{div}\vec{A} + \mu\epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (\text{Lorentz})$$

$$\rho = -\epsilon \Delta\varphi + \mu\epsilon^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

Phương trình d'Alembert đối với φ

$$\Delta\varphi - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\rho/\epsilon$$

8

cuu duong than cong . com

■ Tóm lại

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu \vec{J} \\ \Delta \varphi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\rho/\epsilon \end{cases}$$

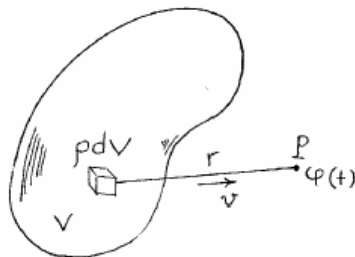
$v = 1/\sqrt{\mu\epsilon}$: vận tốc truyền sóng

© TS. Lương Hữu Tuấn

9

cuu duong than cong . com

2.2. Thế chậm



$$\begin{aligned} \vec{A}(t) &= \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\vec{J}(t-r/v)dV}{r} \\ \varphi(t) &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{\rho(t-r/v)dV}{r} \end{aligned}$$

Thay đổi của “nguồn” không ảnh hưởng ngay lập tức đến điểm khảo sát

© TS. Lương Hữu Tuấn

10

2.3. Phương trình sóng

- miền không chứa dòng điện & điện tích :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \vec{A} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = 0 \\ \Delta \varphi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0 \end{array} \right.$$

- có thể chứng minh :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \vec{H} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \\ \Delta \vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \end{array} \right.$$

11

cuu duong than cong . com

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
 - 3.1. Biểu diễn phức quá trình điều hòa
 - 3.2. Hệ Maxwell dạng phức
 - 3.3. Hệ phương trình sóng dạng phức
 - 3.4. Định lý Poynting dạng phức

cuu duong than cong . com

12

3.1. Biểu diễn phức quá trình điều hòa

- quá trình điều hòa vừa có tính cơ bản vừa có tính thực tế
- biểu thức :

$$\begin{aligned}\vec{E}(x, y, z, t) &= \vec{i}_x E_{mx}(x, y, z) \cos[\omega t + \Psi_x(x, y, z)] + \dots \\ \dot{\vec{E}}_c &= \vec{i}_x E_{mx} e^{j(\omega t + \Psi_x)} + \dots = e^{j\omega t} \dot{\vec{E}} \\ \dots \quad \vec{E} &= \text{Re}\{\dot{\vec{E}}_c\} = \text{Re}\{\dot{\vec{E}} e^{j\omega t}\}\end{aligned}$$

- trình tự tính toán :

- xác định vectơ biên độ phức $\dot{\vec{E}}$
- xác định vectơ phức tức thời $\dot{\vec{E}}_c = \dot{\vec{E}} e^{j\omega t}$
- xác định vectơ vật lý $\vec{E} = \text{Re}\{\dot{\vec{E}}_c\}$

- tính chất : ... $\frac{\partial \vec{X}}{\partial t} \rightarrow j\omega \dot{\vec{X}}_c$

13

cuu duong than cong . com

3.2. Hệ Maxwell dạng phức

$$\begin{aligned}\text{rot} \vec{H} &= \gamma \vec{E} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \rightarrow \text{rot} \dot{\vec{H}}_c = (\gamma + j\omega\epsilon) \dot{\vec{E}}_c \\ \text{rot} \vec{E} &= -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \rightarrow \text{rot} \dot{\vec{E}}_c = -j\omega\mu \dot{\vec{H}}_c \\ \text{div} \vec{E} &= \rho / \epsilon \rightarrow \text{div} \dot{\vec{E}}_c = \dot{\rho}_c / \epsilon \\ \text{div} \vec{H} &= 0 \rightarrow \text{div} \dot{\vec{H}}_c = 0\end{aligned}$$

- hệ Maxwell dạng phức :

$$\begin{aligned}\text{rot} \dot{\vec{H}} &= (\gamma + j\omega\epsilon) \dot{\vec{E}} \\ \text{rot} \dot{\vec{E}} &= -j\omega\mu \dot{\vec{H}} \\ \text{div} \dot{\vec{E}} &= \dot{\rho} / \epsilon \\ \text{div} \dot{\vec{H}} &= 0\end{aligned}$$

không chứa yếu tố thời gian

14

3.3. Hệ phương trình sóng dạng phức

- miền không chứa dòng & điện tích :

$$\begin{cases} \Delta \dot{A} + \frac{\omega^2}{v^2} \dot{A} = 0 \\ \Delta \dot{\phi} + \frac{\omega^2}{v^2} \dot{\phi} = 0 \end{cases}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

15

cuu duong than cong . com

3.4. Định lý Poynting dạng phức (tự đọc)

- định lý Poynting dạng phức :

$$\text{vi phân : } -\text{div} \tilde{\vec{P}} = \langle p_J \rangle + j2\omega[\langle w_m \rangle - \langle w_e \rangle]$$

$$\text{tích phân : } -\oint_S \tilde{\vec{P}} d\vec{S} = \int_V \langle p_J \rangle dV + j2\omega \int_V [\langle w_m \rangle - \langle w_e \rangle] dV$$

- vectơ Poynting phức :

$$\begin{cases} \tilde{\vec{P}} = \frac{1}{2} \dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^* \\ \langle \vec{P} \rangle = \text{Re}\{\tilde{\vec{P}}\} \end{cases}$$

- mật độ trung bình :

$$\langle p_J \rangle = \frac{1}{2} \gamma E_m^2$$

$$\langle w_m \rangle = \frac{1}{4} \mu H_m^2$$

$$\langle w_e \rangle = \frac{1}{4} \epsilon E_m^2$$

$$E_m^2 = E_{mx}^2 + E_{my}^2 + E_{mz}^2$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

16

cuu duong than cong . com

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc
 - 4.1. Định nghĩa
 - 4.2. Thiết lập phương trình
 - 4.3. Đại lượng đặc trưng

© TS. Lương Hữu Tuấn

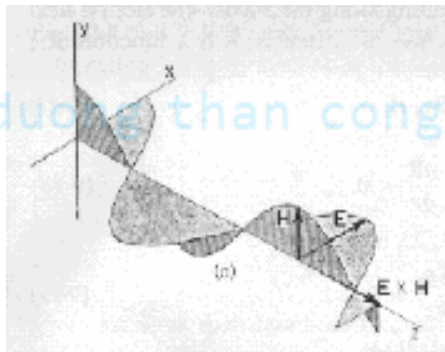
17

cuu duong than cong . com

4.1. Định nghĩa

Sóng điện từ phẳng đơn sắc có :

- mặt đồng pha phẳng $\perp$ phương truyền
- $\vec{E}$, $\vec{H}$ không đổi trên mặt đồng pha
- biến thiên điều hòa tần số ω xác định



© TS. Lương Hữu Tuấn

18

cuu duong than cong . com

4.2. Thiết lập phương trình

- phương truyền là phương z
- giả thiết : $\vec{E} = \vec{E}(z) \perp \vec{i}_z, \vec{H} = \vec{H}(z) \perp \vec{i}_z$

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = (\gamma + j\omega\epsilon) \vec{E} & (I) \\ \text{rot} \vec{E} = -j\omega\mu \vec{H} & (II) \end{cases}$$

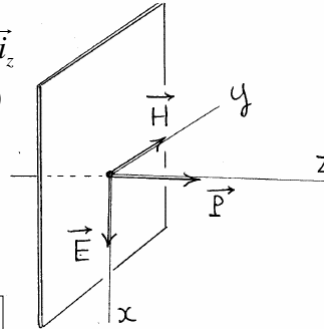
...

- xoay hệ tọa độ : $\dot{E}_y = 0 \Rightarrow \dot{H}_x = 0$
 $\Rightarrow \vec{E} = \dot{E} \vec{i}_x, \vec{H} = \dot{H} \vec{i}_y$

$$\begin{cases} \dot{E} = M_1 e^{-\Gamma z} + M_2 e^{\Gamma z} = \dot{E}^+ + \dot{E}^- \\ \dot{H} = \frac{M_1}{Z_c} e^{-\Gamma z} - \frac{M_2}{Z_c} e^{\Gamma z} = \dot{H}^+ - \dot{H}^- \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Gamma = \sqrt{j\omega\mu(\gamma + j\omega\epsilon)} = \alpha + j\beta \quad (\alpha > 0) \\ Z_c = j\omega\mu/\Gamma \end{cases}$$

$$Z_c = \dot{E}^+ / \dot{H}^+ = \dot{E}^- / \dot{H}^-$$



19

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc

4.1. Định nghĩa

4.2. Thiết lập phương trình

4.3. Đại lượng đặc trưng

- Vận tốc pha
- Hệ số truyền
- Trở sóng
- Bước sóng

20

■ Vận tốc pha

© TS. Lương Hữu Tuấn

Xét sóng điện tới : $\dot{E}^+ = M_1 e^{-\Gamma z}$

■ giả sử : $M_1 = m_1 \angle \varphi_1, \cos$

■ sóng điện : $\dot{E}^+ = m_1 e^{j\varphi_1} e^{-(\alpha + j\beta)z}$

$$\vec{E}^+ = m_1 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \varphi_1) \vec{i}_x$$

■ pha : $\omega t - \beta z + \varphi_1$

■ mặt đồng pha : $\omega t - \beta z + \varphi_1 = \text{const}, t = \text{const}$

mặt đồng pha là mặt $z = \text{const} \perp$ phương truyền

■ vận tốc pha : $v_p = dz/dt$
 $\omega dt - \beta dz + 0 = 0$

$$v_p = \omega / \beta$$

$$v_p = -\omega / \beta$$

Xét sóng ngược :

21

cuu duong than cong . com

■ Hệ số truyền & Trở sóng & Bước sóng

■ Hệ số truyền

$$\Gamma = \sqrt{j\omega\mu(\gamma + j\omega\epsilon)} \equiv \alpha + j\beta \quad (1/m)$$

Sóng điện từ lan truyền với biên độ suy giảm theo qui luật $e^{-\alpha z}$

■ Trở sóng

$$Z_c = \frac{j\omega\mu}{\Gamma} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\gamma + j\omega\epsilon}} \equiv Z_0 \angle \varphi_0 \quad (\Omega)$$

■ Bước sóng

là khoảng cách giữa 2 điểm có hiệu pha bằng 2π

$$2\pi = (\omega t - \beta z_1 + \varphi_1) - (\omega t - \beta z_2 + \varphi_1)$$

$$2\pi = \beta(z_2 - z_1) = \beta\lambda$$

$$\lambda = 2\pi / \beta \quad (m)$$

22

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

■ Ghi chú

$$j\omega\tilde{\epsilon} = \gamma + j\omega\epsilon$$

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon - j\frac{\gamma}{\omega}$$

$$\left| \begin{array}{l} \Gamma = j\omega\sqrt{\mu\tilde{\epsilon}} \\ Z_c = \sqrt{\frac{\mu}{\tilde{\epsilon}}} \end{array} \right.$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

23

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc
5. Sdtpđs truyền trong điện môi lý tưởng
 - 5.1. Đại lượng đặc trưng
 - 5.2. Nhận xét

© TS. Lương Hữu Tuấn

24

5.1. Đại lượng đặc trưng

■ giả sử :

- điện môi đồng nhất, lý tưởng ($\gamma = 0$)
- không giới hạn về phương truyền (không phản xạ)

■ Đại lượng đặc trưng :

Hệ số truyền : $\Gamma = \dots = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \left(\frac{1}{m}\right) \Rightarrow \alpha = 0, \beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon} = \frac{\omega}{v}$

Trở sóng : $Z_c = \dots = \sqrt{\mu/\epsilon} \in \mathbb{R} \quad (\Omega)$

Vận tốc pha : $v_p = \dots = v \quad (m/s)$

Bước sóng : $\lambda = \dots = 2\pi v/\omega = v/f \quad (m)$

■ Phân bố sóng : không có sóng phản xạ

giả sử $M_1 = m_1 \angle \phi_1$

$$\dots \begin{cases} \vec{E}(z, t) = m_1 \cos(\omega t - \beta z + \phi_1) \vec{i}_x & (V/m) \\ \vec{H}(z, t) = \frac{m_1}{Z_c} \cos(\omega t - \beta z + \phi_1) \vec{i}_y & (A/m) \end{cases}$$

25

cuu duong than cong . com

5.2. Nhận xét

■ sóng điện từ ngang TEM

■ do $\alpha = 0$ nên không có suy giảm sóng dọc theo ph.truyền

■ do Z_c thực nên

- sóng điện & sóng từ ddộng cùng pha ($Z_c = \frac{\dot{E}}{\dot{H}}$)

- $Z_c = \frac{E}{H} = \sqrt{\mu/\epsilon}$ (tức thời)

■ vận tốc pha cũng chính vận tốc truyền sóng

■ mật độ năng lượng :

NLTD = NLTT trong cùng thể tích

$$\frac{w_e}{w_m} = \frac{\frac{1}{2} \epsilon E^2}{\frac{1}{2} \mu H^2} = \dots = 1$$

26

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc
5. Sđtpđs truyền trong điện môi lý tưởng
6. Sđtpđs truyền trong vật dẫn tốt
 - 6.1. Đại lượng đặc trưng
 - 6.2. Nhận xét
 - 6.3. Độ xuyên sâu - hiệu ứng bề mặt

© TS. Lương Hữu Tuấn

27

cuu duong than cong . com

6.1. Đại lượng đặc trưng

■ giả sử :

- vật dẫn đồng nhất, tốt ($\gamma \gg \omega\epsilon$)
- không giới hạn về phương truyền (không phản xạ)

■ Đại lượng đặc trưng :

Hệ số truyền : $\Gamma = \dots = \sqrt{j\omega\mu\gamma} \left(\frac{1}{m}\right) \Rightarrow \alpha = \beta = \sqrt{\omega\mu\gamma/2}$

Trở sóng : $Z_c = \dots = \sqrt{\omega\mu/\gamma} \angle 45^\circ (\Omega)$

Vận tốc pha : $v_p = \dots = \sqrt{2\omega/(\mu\gamma)} (m)$

Bước sóng : $\lambda = \dots = 2\pi\sqrt{2/(\omega\mu\gamma)} (m)$

■ Phân bố sóng : không có sóng phản xạ

Giả sử $M_1 = m_1 \angle \varphi_1$

$$\dots \begin{cases} \vec{E}(z,t) = m_1 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \varphi_1) \vec{i}_x (V/m) \\ \vec{H}(z,t) = \frac{m_1}{Z_0} e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \varphi_1 - 45^\circ) \vec{i}_y (A/m) \end{cases}$$

28

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

6.2. Nhận xét

- sóng điện từ ngang
- do $\alpha \neq 0$ nên sóng suy giảm theo qui luật $e^{-\alpha z}$
 - độ xuyên sâu
 - hiệu ứng bề mặt
- Z_c phức :
 - sóng điện & sóng từ lệch pha nhau 45°
 - $Z_0 = E_m/H_m = \sqrt{\omega\mu/\gamma}$
- vận tốc pha khác vận tốc truyền sóng
- mật độ năng lượng (biên độ) : NLTD $\ll$ NLTT

$$\frac{w_e}{w_m} = \frac{\frac{1}{2}\epsilon E_m^2}{\frac{1}{2}\mu H_m^2} = \dots \ll 1$$

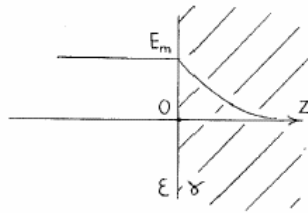
29

Chương 4 : Trường điện từ biến thiên

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc
5. Sđtpđs truyền trong điện môi lý tưởng
6. Sđtpđs truyền trong vật dẫn tốt
 - 6.1. Đại lượng đặc trưng
 - 6.2. Nhận xét
 - 6.3. Độ xuyên sâu - hiệu ứng bề mặt
 - Độ xuyên sâu
 - Hiệu ứng bề mặt

30

■ Độ xuyên sâu



© TS. Lương Hữu Tuấn

- sóng giảm theo qui luật $e^{-\alpha z}$, chỉ thấm đến độ sâu nào đó
ví dụ : $z = \lambda$, biên độ giảm 540 lần
- độ xuyên sâu Δ : $z = \Delta$, biên độ giảm e lần

$$\Delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} \quad (\text{m})$$

ví dụ : bạc $f = 1 \text{ MHz}$, $\Delta = 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$
 $f = 10 \text{ GHz}$, $\Delta = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$

- coi như không có sóng điện từ bên trong vật dẫn tốt

31

cuu duong than cong . com

■ Hiệu ứng bề mặt

$$\vec{J} = \gamma \vec{E}$$

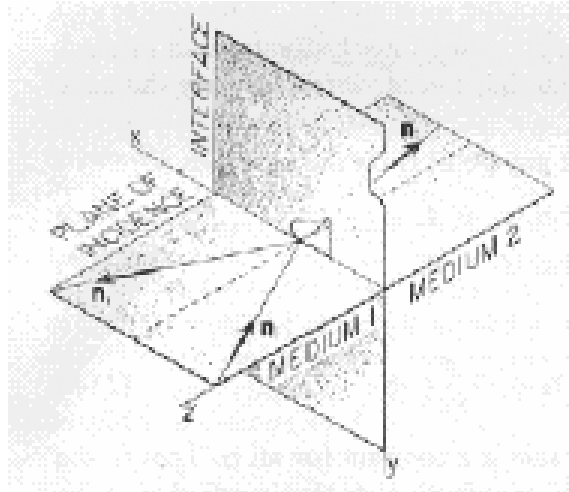
© TS. Lương Hữu Tuấn

- biên độ của mật độ dòng cũng suy giảm theo qui luật $e^{-\alpha z}$
- dòng điện tập trung chủ yếu trên bề mặt vật dẫn
- ứng dụng :
 - tôi bề mặt bằng dòng cao tần
 - khoét lõi kim loại ở tần số cao

cuu duong than cong . com

32

7. Phản xạ & khúc xạ của sóng điện từ đơn sắc (tự đọc)



© TS. Lương Hữu Tuấn

33

Tóm tắt chương 4

1. Khái niệm chung
2. Thiết lập phương trình d'Alembert
3. Trường điện từ biến thiên điều hòa
4. Sóng điện từ phẳng đơn sắc
5. Sóng điện từ đơn sắc truyền trong điện môi lý tưởng
6. Sóng điện từ đơn sắc truyền trong vật dẫn tốt
7. Phản xạ & khúc xạ của sóng điện từ đơn sắc

© TS. Lương Hữu Tuấn

34