

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

1

cuu duong than cong . com

Chương 5 : Bức xạ điện từ

© TS. Lương Hữu Tuấn

1. Khái niệm
2. Nguyên tố anten thẳng
3. Nguyên tố anten vòng
4. Tính định hướng
5. Nguyên lý tương hỗ

cuu duong than cong . com

2

1. Khái niệm

■ Bức xạ điện từ

- TĐT biến thiên lan truyền dưới dạng sóng điện từ
- Công suất điện từ phụ thuộc : độ lớn & tốc độ biến thiên của nguồn, cấu trúc nguồn và môi trường
- Ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật

■ Thế vectơ của dòng điện dây

$$I(t) \rightarrow \dot{I}_c = \dot{I} e^{j\omega t}$$

$$I(t - r/v) \rightarrow \dot{I}_c e^{j\omega(t-r/v)} = \dot{I}_c e^{-j\omega r/v}$$

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_L \frac{1}{r} I(t - \frac{r}{v}) d\vec{l} \Rightarrow \boxed{\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_L \frac{1}{r} \dot{I} e^{-jkr} d\vec{l}} \quad k = \omega/v = 2\pi/\lambda$$

■ Miền khảo sát

- miền gần (miền cảm ứng): $r \ll \lambda$
- miền xa (miền bức xạ): $r \gg \lambda$

3

cuu duong than cong . com

Chương 5 : Bức xạ điện từ

1. Khái niệm

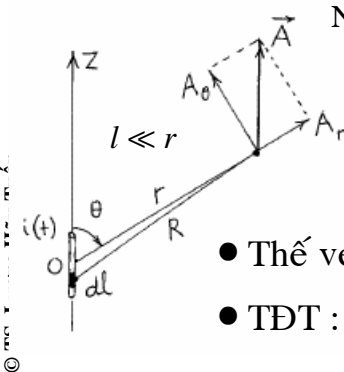
2. Nguyên tố anten thẳng

- Phân bố của trường điện từ
- Miền gần
- Miền xa

cuu duong than cong . com

4

■ Phân bố của trường điện từ



Nguyên tố Anten thẳng là dây dẫn thẳng, mảnh, chiều dài $l \ll \lambda$ và mang dòng điều hòa

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \psi)$$

như nhau trên toàn bộ Anten

- Thế vectơ: $\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_L \frac{1}{R} \vec{i} e^{-jkR} d\vec{l} \approx \frac{\mu \vec{i} e^{-jkr}}{4\pi r} \vec{l}_z$
- TĐT: $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot} \vec{A} = \vec{H}_\phi \vec{l}_\phi$
 $\vec{E} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \text{rot} \vec{H} = \vec{E}_r \vec{l}_r + \vec{E}_\theta \vec{l}_\theta \quad (I, \gamma = 0)$

$$\begin{aligned} \vec{H}_\phi &= \frac{j k^2 \sin \theta}{4\pi} \left(\frac{j}{kr} + \frac{1}{k^2 r^2} \right) e^{-jkr} \\ \vec{E}_r &= -\frac{j l k^3 \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon} \left(\frac{j}{k^2 r^2} + \frac{1}{k^3 r^3} \right) e^{-jkr} \\ \vec{E}_\theta &= -\frac{j l k^3 \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon} \left(-\frac{1}{kr} + \frac{j}{k^2 r^2} + \frac{1}{k^3 r^3} \right) e^{-jkr} \end{aligned}$$

5

cuu duong than cong . com

■ Miền gần

$$\text{Do } r \ll \lambda: \frac{\lambda}{2\pi r} = \frac{1}{kr} \ll \frac{1}{k^2 r^2} \ll \frac{1}{k^3 r^3}, e^{-jkr} \approx 1$$

$$\begin{aligned} \vec{H} &= \vec{H}_\phi \vec{l}_\phi \\ \vec{E} &= \vec{E}_r \vec{l}_r + \vec{E}_\theta \vec{l}_\theta \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \vec{H}_\phi = \frac{j l \sin \theta}{4\pi r^2} \\ \vec{E}_r = -\frac{j l \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon r^3} \\ \vec{E}_\theta = -\frac{j l \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon r^3} \end{cases}$$

Sóng điện & sóng từ lệch pha nhau 90° , công suất điện từ trung bình bằng 0 : lan truyền công suất điện từ có tính dao động

6

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

■ Miền xa

- Phân bố sóng
- Công suất bức xạ

7

cuu duong than cong . com

● Phân bố sóng

$$\text{Do } r \gg \lambda : \frac{\lambda}{2\pi r} = \frac{1}{kr} \gg \frac{1}{k^2 r^2} \gg \frac{1}{k^3 r^3} \Rightarrow \dot{\vec{H}} = \dot{H}_\phi \vec{i}_\phi, \dot{\vec{E}} = \dot{E}_\theta \vec{i}_\theta$$

$$\text{với } \dot{H}_\phi = \frac{j\eta k \sin\theta}{4\pi r} e^{-j\omega r/v}, \dot{E}_\theta = \frac{j\eta k^2 \sin\theta}{4\pi\omega\epsilon r} e^{-j\omega r/v}$$

$$\dots \dot{E}_\theta = Z_c \dot{H}_\phi, Z_c = \sqrt{\mu/\epsilon}$$

$$\begin{aligned} \vec{H} &= \frac{1}{2\lambda r} I_m \sin\theta \cos(\omega t - \frac{\omega}{v}r + \psi + 90^\circ) \vec{i}_\phi \\ \vec{E} &= Z_c \frac{1}{2\lambda r} I_m \sin\theta \cos(\omega t - \frac{\omega}{v}r + \psi + 90^\circ) \vec{i}_\theta \end{aligned}$$

Nhận xét :

- ◆ phương : sóng điện từ ngang
- ◆ biên độ : suy giảm theo qui luật $1/r$
- ◆ pha : mặt đồng pha là mặt cầu
 $\dots v_p = v$
- ◆ tính định hướng : do biên độ $\sim \sin\theta$
 bức xạ cực đại khi $\theta=90^\circ$ và cực tiểu khi $\theta=0^\circ, 180^\circ$

8

● Công suất bức xạ

◆ Vectơ Poynting : $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = P_r \vec{i}_r$

$$P_r = Z_c H^2 \geq 0$$

Nhận xét : Bức xạ luôn truyền từ ‘nguồn’ ra miền bxa

$$P_r = Z_c \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{4 \lambda^2 r^2} \cos^2 \left(\omega t - \frac{\omega}{v} r + \psi + 90^\circ \right)$$

$$\langle P_r \rangle = Z_c \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8 \lambda^2 r^2}$$

◆ Công suất bức xạ : cs điện từ trung bình gửi qua 1 mặt cầu tâm là nguyên tố anten ($r \gg \lambda$)

$$P_{bx} = \oint_S \langle \vec{P} \rangle d\vec{S} = \oint_S \langle P_r \rangle dS$$

$$\dots \quad P_{bx} = \frac{1}{3} \pi Z_c I_m^2 (l/\lambda)^2$$

$$P_{bx} = \frac{1}{2} R_{bx} I_m^2, R_{bx} = \frac{2}{3} \pi Z_c (l/\lambda)^2$$

Nhận xét : P_{bx} tỉ lệ nghịch với λ^2 , $\sim f^2$: dùng cao tần

9

cuu duong than cong . com

Chương 5 : Bức xạ điện từ

1. Khái niệm
2. Nguyên tố anten thẳng
3. Nguyên tố anten vòng (tự đọc)
4. Tính định hướng

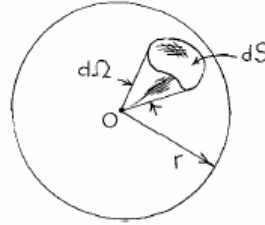
Tính định hướng là khả năng tập trung bức xạ vào 1 hướng và yếu đi ở những hướng khác

- Cường độ bức xạ
- Cường độ bức xạ chuẩn
- Độ định hướng

■ Cường độ bức xạ u

là công suất điện từ trung bình gửi trên 1 đơn vị góc đặc theo hướng khảo sát

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2} \text{ (steradian)}$$



$$u = \langle P_r \rangle dS / d\Omega = \langle P_r \rangle r^2 \quad (W / \text{sterad})$$

Ví dụ : nguyên tố anten thẳng

$$\langle P_r \rangle = Z_c \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2 r^2} \Rightarrow u = Z_c \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2}$$

$u = u(\theta, \phi)$ thường độc lập với r

11

cuu duong than cong . com

■ Cường độ bức xạ chuẩn u_n

$$u_n = u / u_{\max}$$

Ví dụ : nguyên tố anten thẳng

$$u = Z_c \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2}$$

$$\Rightarrow u_{\max} = Z_c \frac{l^2 I_m^2}{8\lambda^2}$$

$$\Rightarrow u_n = \sin^2 \theta$$

cuu duong than cong . com

12

■ Độ định hướng D

$$D = u_{n\max} / u_{ntb}$$

$$\dots \quad u_{ntb} = \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} u_n \sin \theta d\theta d\phi$$

$$D = \frac{4\pi u_{n\max}}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} u_n \sin \theta d\theta d\phi}$$

Ví dụ : nguyên tố anten thẳng có

$$u_n = \sin^2 \theta, u_{n\max} = 1$$

$$u_{ntb} = \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta \sin \theta d\theta d\phi = \dots = 2/3$$

$$D = u_{n\max} / u_{ntb} = 1,5$$

Cường độ bức xạ cực đại sẽ gấp 1,5 lần cường độ bức xạ trung bình khi bức xạ rãi đều theo mọi hướng

13

cuu duong than cong . com

Chương 5 : Bức xạ điện từ

1. Khái niệm
2. Nguyên tố anten thẳng
3. Nguyên tố anten vòng
4. Tính định hướng
5. Nguyên lý tương hỗ (tự đọc)

cuu duong than cong . com

14