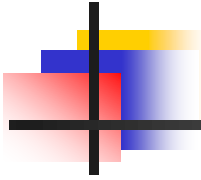


Ch 6:

cuu duong than cong . com

Bức xạ điện từ và anten

cuu duong than cong . com



❖ Nội dung chương 6:

6.1 Khái niệm bức xạ điện từ.

6.2 Nguyên tố anten thẳng.

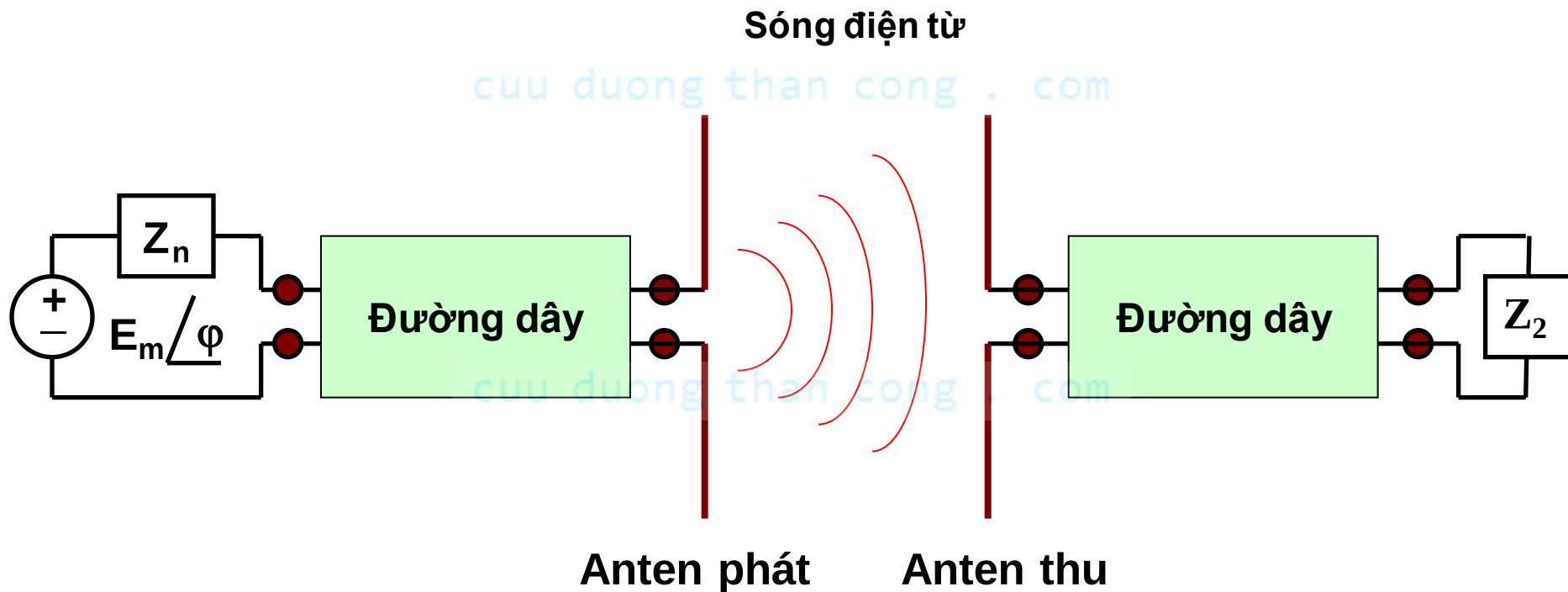
6.3 Các đặc trưng của bức xạ điện từ.

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

6.1 Khái niệm bức xạ điện từ:

- ❖ Bức xạ điện từ là hiện tượng một phần năng lượng của nguồn gởi ra không gian dưới dạng sóng điện từ.
- ❖ Nguồn bức xạ điện từ thường là anten. Là các dây dẫn mảnh, tạo hay thu sóng điện từ.





Thế vector:

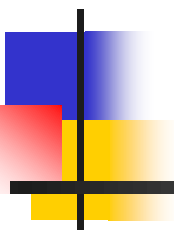
- Dây dẫn mang dòng biến thiên $i(t)$ $\rightarrow$ thế vector

- Miền thời gian:
$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_L \frac{1}{r} \cdot i(t - \frac{r}{v}) d\vec{l}$$

- Miền phức:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_L \frac{1}{r} \cdot \dot{i} e^{-j\beta r} d\vec{l}$$

$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$$



6.2 Nguyên tố anten thẳng:

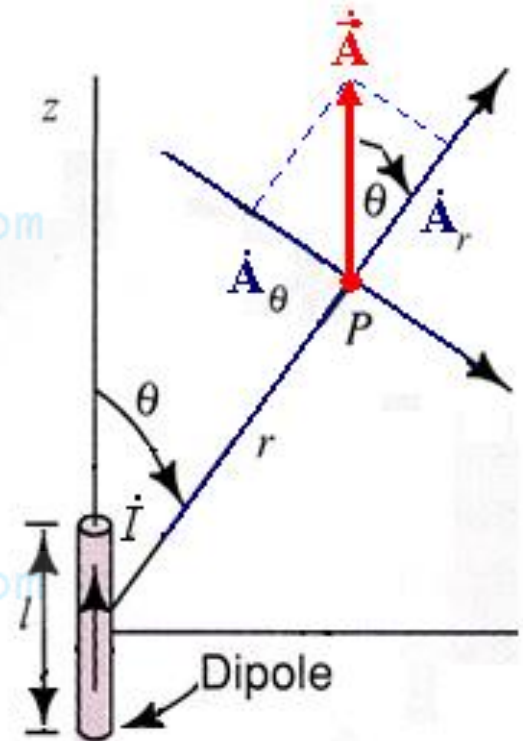
cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

6.2.1 Trường điện từ của nguyên tố anten:

❖ Nguyên tố anten thẳng là dây dẫn thẳng, mảnh, chiều dài không đáng kể $\ell \ll \lambda$ ($\ell \leq \lambda/20$) và mang dòng điều hòa:

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



6.2.1 Trường điện từ của nguyên tố anten:

❖ Đối với nguyên tố anten thẳng: $l \ll \lambda$ ($l \leq \lambda/20$)

Dòng trên anten xem hằng số: $\dot{I}(z) = I_m \angle \psi$

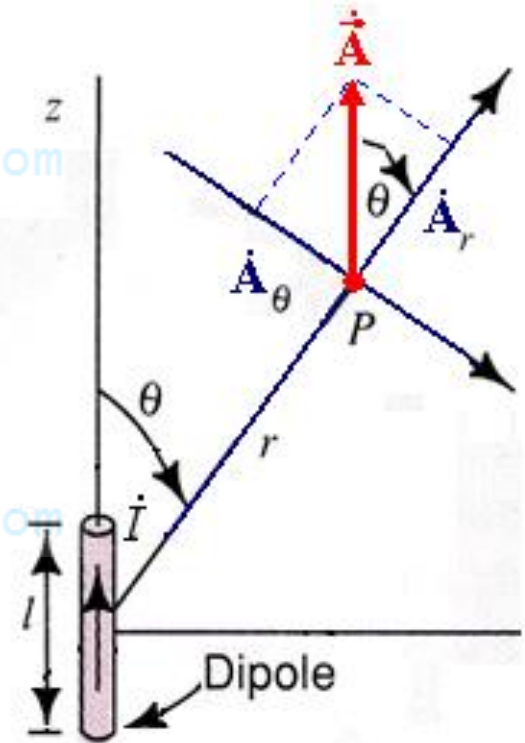
❖ Thế vector tạo ra do $I(z)$:

$$\vec{A} = \frac{\mu \dot{I} e^{-j\beta r}}{4\pi r} l \vec{a}_z = A \vec{a}_z$$

❖ Chuyển sang hệ tọa độ cầu:

$$\vec{A} = A_r \vec{a}_r + A_\theta \vec{a}_\theta$$

$$= (A \cos \theta) \vec{a}_r + (-A \sin \theta) \vec{a}_\theta$$



6.2.1 Trường điện từ của nguyên tố anten:

❖ Tìm trường từ dùng: $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A} = H_\phi \vec{a}_\phi$

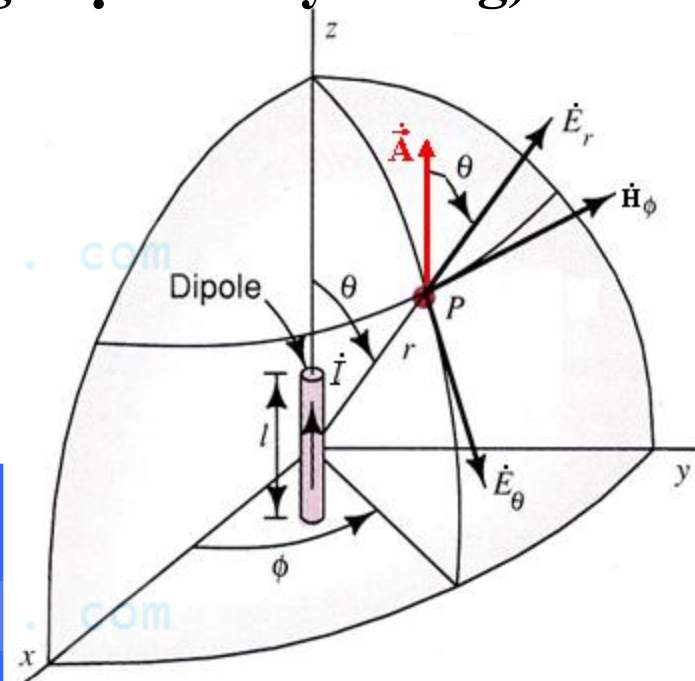
❖ Suy ra trường điện (giả sử môi trường điện môi lý tưởng):

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \text{rot } \vec{H} = E_r \vec{a}_r + E_\theta \vec{a}_\theta$$

$$H_\phi = \frac{l I \beta^2 \sin \theta}{4\pi} \left(\frac{j}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2} \right) e^{-j\beta r}$$

$$E_r = -\frac{j l I \beta^3 \cos \theta}{2\pi\omega\epsilon} \left(\frac{j}{\beta^2 r^2} + \frac{1}{\beta^3 r^3} \right) e^{-j\beta r}$$

$$E_\theta = -\frac{j l I \beta^3 \sin \theta}{4\pi\omega\epsilon} \left(-\frac{1}{\beta r} + \frac{j}{\beta^2 r^2} + \frac{1}{\beta^3 r^3} \right) e^{-j\beta r}$$



6.2.2 Miền gần của nguyên tố anten:

❖ Miền gần thỏa điều kiện: $\beta r \ll 1$ ($r \ll \lambda/2\pi$).

❖ Ta có:

$$\frac{1}{\beta r} \ll \frac{1}{\beta^2 r^2} \ll \frac{1}{\beta^3 r^3} ; e^{-j\beta r} \sim 1 \rightarrow \begin{cases} \vec{H} = H_\phi \vec{a}_\phi \\ \vec{E} = E_r \vec{a}_r + E_\theta \vec{a}_\theta \end{cases}$$

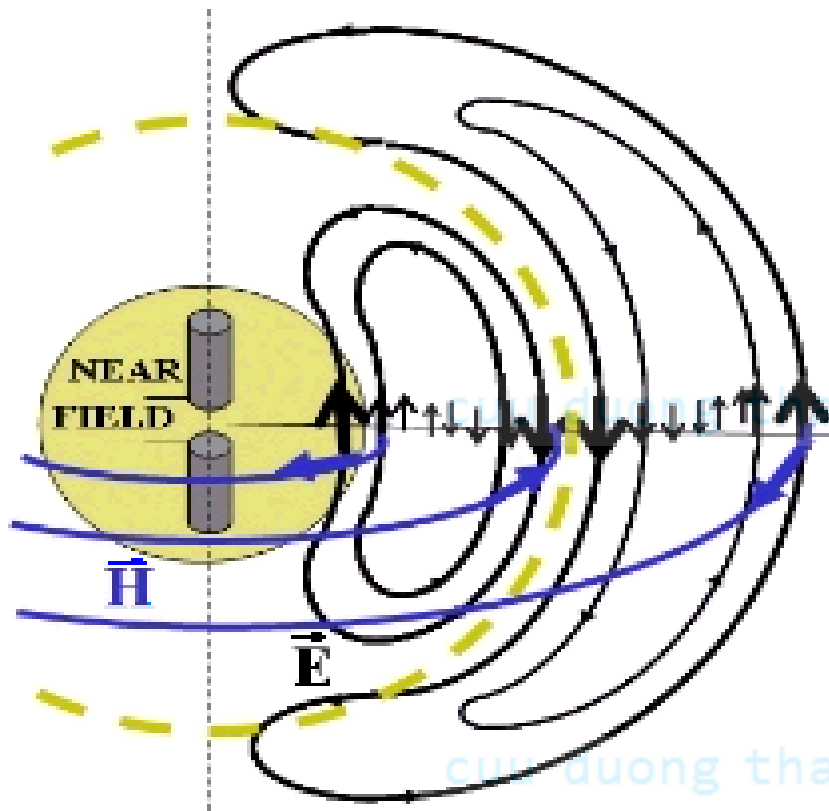
❖ Với:

$$H_\phi = \frac{j I \beta^2 \sin \theta}{4\pi} \frac{1}{\beta^2 r^2} = \frac{j I \sin \theta}{4\pi r^2}$$

$$E_r = -\frac{j I \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon r^3}$$

$$E_\theta = -\frac{j I \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon r^3}$$

❖ Nhận xét miền gần (*near field*) :



+ Sóng điện & từ lệch 90°.

+ Vector Poynting trung bình bằng 0. Nên $\langle P_r \rangle = 0$.

+ Lan truyền trường điện từ chỉ có tính dao động: thiết bị thu *không thể thu năng lượng điện từ* trong miền này.

6.2.3 Miền xa của nguyên tố anten:

a) Trường điện từ ở miền xa:

❖ Miền xa thỏa điều kiện : $\beta r \gg 1$ ($r \gg \lambda/2\pi$).

$$\rightarrow \frac{1}{\beta r} \gg \frac{1}{\beta^2 r^2} \gg \frac{1}{\beta^3 r^3} \quad \rightarrow \left[\dot{\vec{H}} = \dot{H}_\phi \vec{a}_\phi \quad ; \quad \dot{\vec{E}} = \dot{E}_\theta \vec{a}_\theta \right]$$

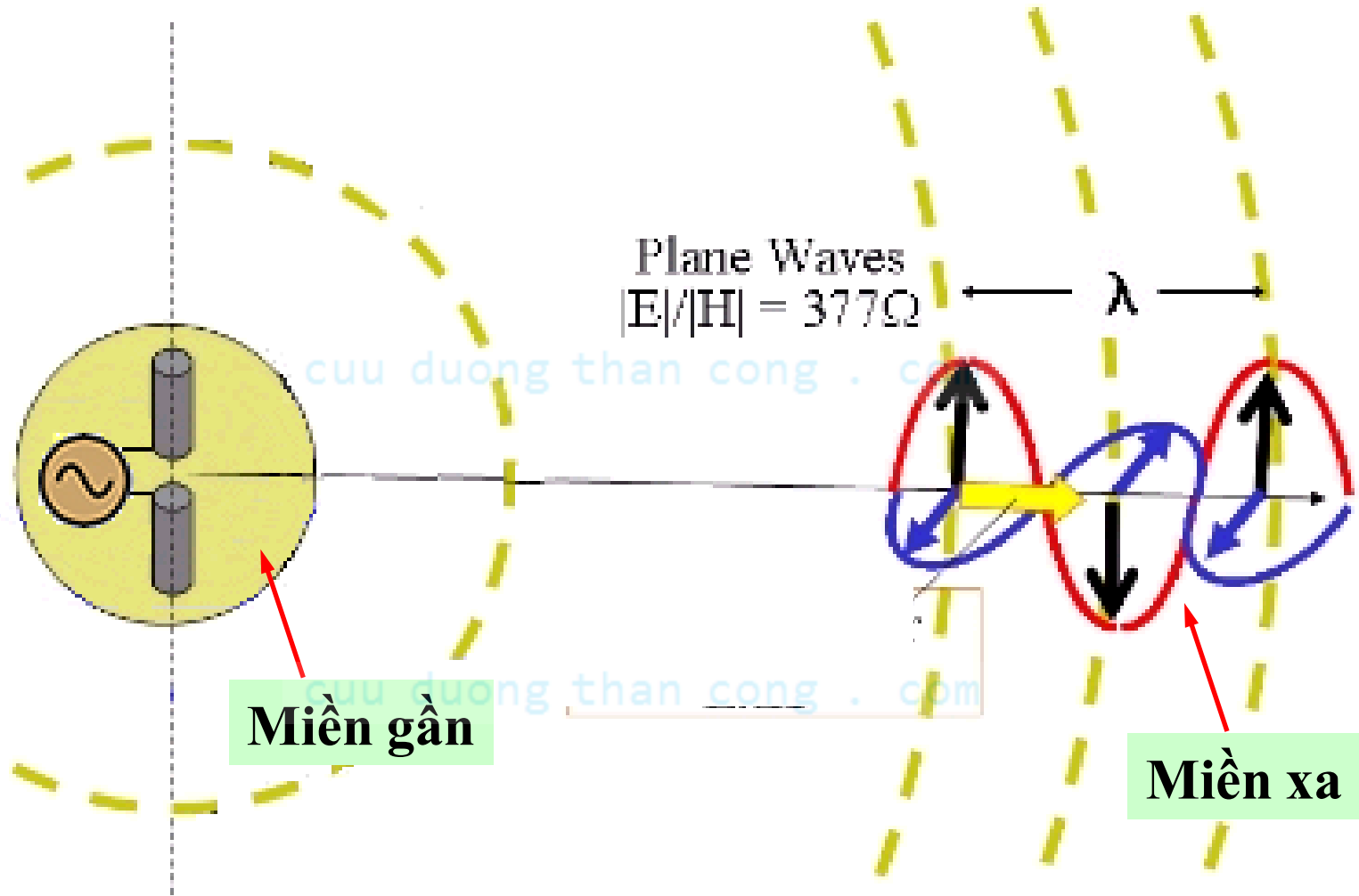
❖ Với:

$$\dot{H}_\phi = \frac{jI \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} \quad ; \quad \dot{E}_\theta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{jI \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} = \eta \frac{jI \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r}$$

$$\vec{H} = \frac{I_m \sin \theta}{2\lambda r} \cos(\omega t - \beta r + \psi + 90^\circ) \vec{a}_\phi$$

$$\vec{E} = \eta \frac{I_m \sin \theta}{2\lambda r} \cos(\omega t - \beta r + \psi + 90^\circ) \vec{a}_\theta$$

❖ Phân bố sóng ở miền xa (far-field) :



b) Nhận xét bức xạ ở miền xa :

a) Phương: $E \perp H$ và vuông góc với phương truyền $\rightarrow$ sóng điện từ ngang (TEM wave).

b) Biên độ: suy giảm theo qui luật $1/r$.

c) Pha : $\omega t - \beta r + \psi + 90^\circ = \text{const} \rightarrow r = \text{const} \rightarrow$ mặt đồng pha là mặt cầu. Bức xạ điện từ thuộc loại sóng cầu.

(Tuy nhiên , trong kỹ thuật, khi r rất lớn và diện tích khảo sát bé: ta gần đúng mặt đồng pha là mặt phẳng: sóng bức xạ là sóng phẳng)

d) Vận tốc pha = vận tốc truyền sóng trong p trình D'Alembert:

$$V_p = V = 1/\sqrt{\mu\epsilon}$$

e) Do biên độ $\sim \sin\theta$, bức xạ cực đại khi góc $\theta = 90^\circ$ và cực tiểu khi $\theta = 0^\circ$.

$\rightarrow$ Bức xạ điện từ có tính định hướng

❖ VD 6.2.1: Bức xạ điện từ

VD1: Chọn lựa đúng ?

1.	Electric field, magnetic field and propagation vector are perpendicular to each other	☐ PW	☐ DW	☒ Both
2.	Surfaces of constant phase are spheres	☐ PW	☒ DW	☐ Both
3.	Field intensities are uniform on surfaces of constant phase	☒ PW	☐ DW	☐ Both
4.	Field intensities decrease as the inverse of the distance	☐ PW	☒ DW	☐ Both
5.	The impedance of the medium is the proportionality constant between electric field and magnetic field	☐ PW	☐ DW	☒ Both

PW: plane wave ; DW: dipole wave

VD2: Chọn lựa Yes hay No ?

Does the Poynting vector of an electromagnetic wave always point in the direction of wave propagation? If not, mention when it does not.

In lossless medium: **Yes**

In conductive medium: **No**

In radiated medium: **Yes**

c) Công suất bức xạ:

❖ Vector Poynting tức thời:

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = \eta.H^2.\vec{a}_r$$

$\eta H^2 \geq 0$: dòng công suất điện từ luôn hướng từ nguồn ra miền bên ngoài. Miền xa còn gọi là miền bức xạ.

❖ Vector Poynting trung bình ở miền xa:

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}\{\dot{\vec{E}} \times \vec{H}^*\} = \frac{1}{2} \eta.H_m^2.\vec{a}_r$$

❖ Mật độ công suất bức xạ:

$$\langle P_r \rangle = \frac{1}{2} \eta.H_m^2 = \frac{1}{2\eta} E_m^2$$



Công suất bức xạ :

- Là công suất điện từ trung bình gởi qua mặt cầu, tâm tại vị trí đặt anten, bán kính $r \gg \lambda$ (tức là thuộc về miền xa). Công thức xác định theo định nghĩa :

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

❖ VD 6.2.2: Tính P_{bx} nguyên tố anten

▪ Mật độ công suất bức xạ: $\langle P_r \rangle = \frac{1}{2} \eta H_m^2$; $H_m = \frac{\ell I_m \sin \theta}{2\lambda r}$

→ $\langle P_r \rangle = \eta \frac{\ell^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2 r^2} = \frac{1}{2} R_{bx} I_m^2$

$$P_{bx} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \eta \frac{\ell^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2 r^2} (r^2 \sin \theta d\theta d\phi) \Rightarrow P_{bx} = \frac{1}{3} \pi \eta I_m^2 \left(\frac{\ell}{\lambda} \right)^2$$

▪ Nhận xét: P_{bx} tỉ lệ nghịch với λ^2 , tức là tỉ lệ thuận với f^2 : là lý do dùng cao tần trong bức xạ điện từ.

d) Điện trở bức xạ:

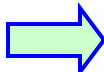
- Ký hiệu R_{bx} , là điện trở mà công suất tiêu tán trên nó tương đương với công suất bức xạ của anten khi nối vào nguồn phát tín hiệu, và xác định theo:

$$P_{bx} = \frac{1}{2} R_{bx} I_m^2$$



$$R_{bx} = \frac{2P_{bx}}{I_m^2}$$

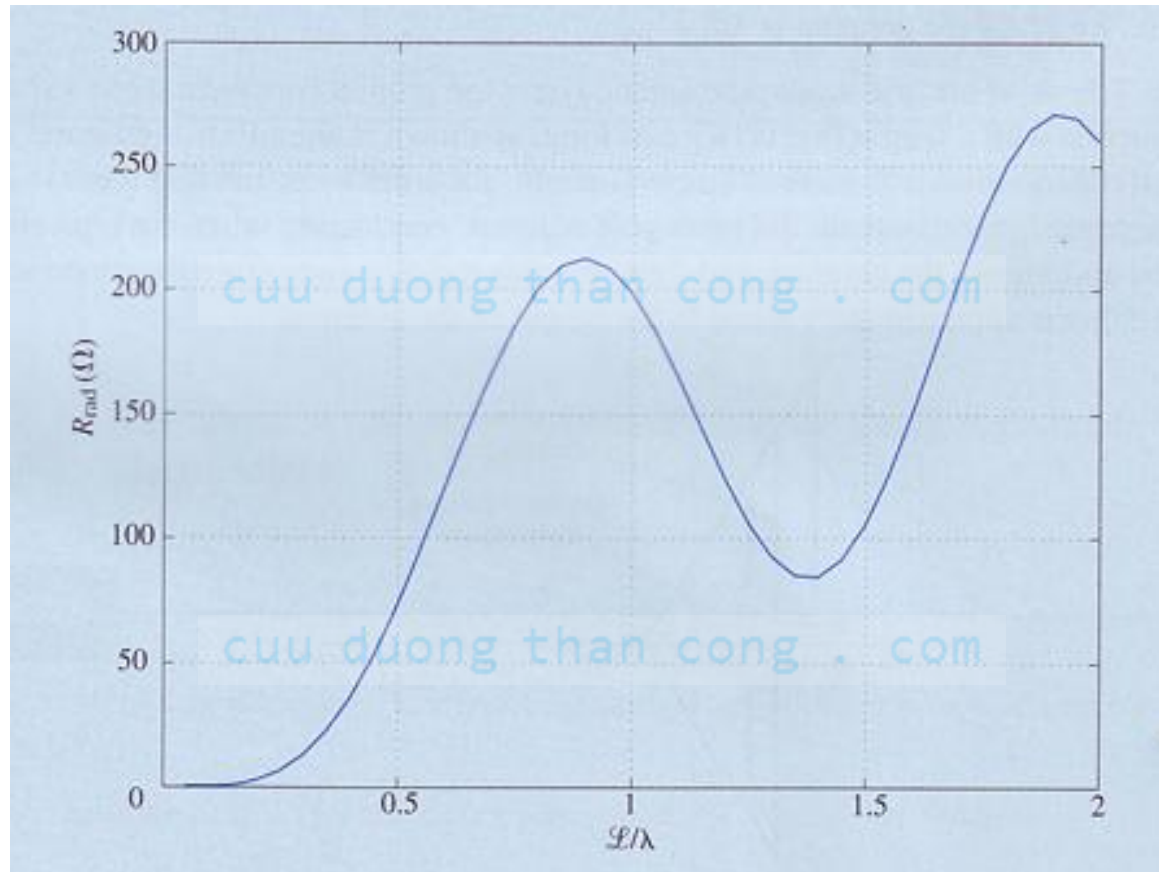
❖ Ví dụ: Với nguyên tố anten thẳng


$$R_{bx} = \frac{2}{3} \pi \eta \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2$$



Lưu ý:

- Điện trở bức xạ thay đổi nhiều theo chiều dài anten . Chọn $\ell = \lambda/20$ ta có giá trị điện trở bức xạ lớn nhất .



e) Một số loại anten khác:

1. Anten ngắn (short or small dipole):

Anten có : $\lambda/20 < \ell \leq \lambda/10$ &
$$\dot{I}(z) = \begin{cases} I_m (1 - 2z / \ell) & (0 < z < \ell / 2) \\ I_m (1 + 2z / \ell) & (-\ell / 2 < z < 0) \end{cases}$$

2. Anten phần tư sóng :

Anten có chiều dài $\ell = \lambda/4$.

3. Anten bán sóng :

Anten có chiều dài $\ell = \lambda/2$.
$$\dot{I}(z) = \begin{cases} I_m \sin[\beta(\lambda / 4 - z)] & (0 < z < \ell/2) \\ I_m \sin[\beta(\lambda / 4 + z)] & (-\ell/2 < z < 0) \end{cases}$$

4. Anten vòng :

Anten có cấu trúc là vòng dây dẫn tròn, bán kính R , nằm trong mặt phẳng x - y , tâm tại gốc tọa độ, mang dòng điều hòa $i(t) = I_m \cos(\omega t + \psi)$.

f) Qui trình tính TĐT của anten:

❖ Theo các bước sau đây:

1. Tìm thế vectơ $\vec{A}$.

2. Tìm trường từ bằng:
$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A}$$

3. Tìm trường điện theo hệ phương trình Maxwell.

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \text{rot } \vec{H}$$

4. Tìm mật độ công suất bức xạ, công suất bức xạ, điện trở bức xạ ...

❖ VD 6.2.3: Tính TĐT nguyên tố anten

Anten thẳng, dài 50cm, đặt trong môi trường không khí, mang dòng điều hòa biên độ 25A và tần số 10 MHz. Xác định: (a) Vector biên độ phức trường điện và trường từ ở miền xa ? (b) Mật độ công suất bức xạ ? (c) Điện trở bức xạ ?

Giải

a) Tính TĐT ở miền xa:

❖ Kiểm tra mô hình:

Bước sóng bức xạ: $\lambda = c/f = 30\text{m}$; $\beta = 2\pi/30 = \pi/15$.

Ta có $(\ell/\lambda) = 0,5/30 = 1/60 < 1/20$

→ mô hình nguyên tố anten thẳng.

❖ VD 6.2.3: Tính TĐT nguyên tố anten

❖ Trường điện & từ ở miền xa:

$$\dot{H}_\phi = \frac{jI \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} = \frac{j0,5.25 \sin \theta}{2.30.r} e^{-j\frac{\pi r}{15}} = \frac{j0,208 \sin \theta}{r} e^{-j\frac{\pi r}{15}}$$

$$\dot{E}_\theta = \eta \frac{jI \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} = \frac{j78,5 \sin \theta}{r} e^{-j\frac{\pi r}{15}}$$

$$\dot{\vec{H}} = \dot{H}_\phi \vec{a}_\phi$$

$$\dot{\vec{E}} = \dot{E}_\theta \vec{a}_\theta$$

b) Mật độ công suất bức xạ:

$$\langle P_r \rangle = \eta \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2 r^2} = 377 \frac{0,5^2 25^2 \sin^2 \theta}{8.30^2 r^2} = \frac{8,18 \sin^2 \theta}{r^2} (\text{W/m}^2)$$

c) Điện trở bức xạ:

$$P_{bx} = \frac{1}{3} \pi.377.25^2 \left(\frac{0,5}{30}\right)^2 = 68,54 \text{ W}$$

$$R_{bx} = \frac{2.68,54}{25^2} = 0,22 \Omega$$

❖ VD 6.2.4: Tính TĐT nguyên tố anten

Anten thẳng, dài 1m, đặt trong môi trường không khí, mang dòng $i(t) = \cos(2\pi \cdot 10^6 t + 30^\circ)$ A. Một điểm M có tọa độ: $r = 600\text{m}$, $\theta = 90^\circ$ và $\phi = 60^\circ$. Xác định: (a) Trị tức thời của vector cường độ trường điện và trường từ tại M ? (b) Công suất bức xạ ?

Giải

a) Tính TĐT tại M:

❖ Kiểm tra mô hình:

Bước sóng bức xạ: $\lambda = c/f = 300\text{m}$; $\beta = 2\pi/300 = \pi/150$.

Ta có $(\ell/\lambda) = 1/300 < 1/20$

→ mô hình nguyên tố anten thẳng.

Tính: $\beta r = (2\pi/300) \cdot 600 = 12,6$. → M thuộc miền xa.

❖ VD 6.2.4: Tính TĐT nguyên tố anten (tt)

❖ Trường điện & từ ở miền xa:

$$\dot{H}_\phi = \frac{j \cdot \ell \cdot \dot{I} \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} = \frac{j 1.1 \angle 30^\circ \sin 90^\circ}{2 \cdot 300 \cdot 600} e^{-j \frac{\pi 600}{150}} = 2,78 \angle 120^\circ \text{ (}\mu\text{A/m)}$$

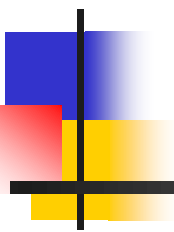
$$\dot{E}_\theta = \eta \frac{j l \dot{I} \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} = 1,05 \angle 120^\circ \text{ (mV/m)}$$

$$\vec{H} = 2,78 \cos(2\pi \cdot 10^6 t + 120^\circ) \vec{a}_\phi \text{ (}\mu\text{A/m)}$$

$$\vec{E} = 1,05 \cos(2\pi \cdot 10^6 t + 120^\circ) \vec{a}_\theta \text{ (mV/m)}$$

b) Công suất bức xạ:

$$P_{\text{bx}} = \frac{1}{3} \pi \cdot 377 \cdot 1^2 \left(\frac{1}{300} \right)^2 = 4,387 \text{ mW}$$



6.3 Các đặc trưng của bức xạ điện từ:

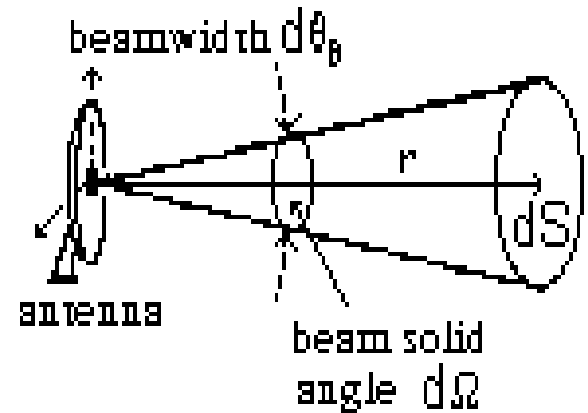
[cuu duong than cong . com](http://cuuduongthancong.com)

[cuu duong than cong . com](http://cuuduongthancong.com)

a) Góc đặc:

❖ Góc đặc (solid angle) là góc nhìn từ gốc tọa độ, giới hạn bởi diện tích S , tại bán kính r . Đơn vị góc đặc $d\Omega$:

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



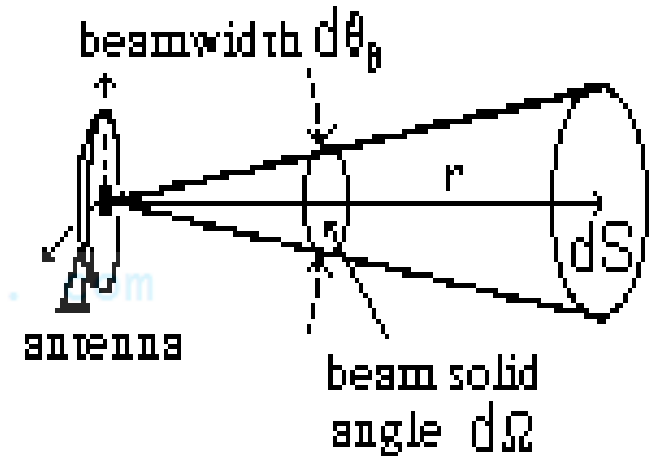
➤ Góc đặc Ω ứng với góc lượng giác θ_B là :

$$\Omega = \int_0^{\theta_B/2} \int_0^{2\pi} \sin \theta . d\theta . d\phi$$

b) Cường độ bức xạ $u(\theta, \phi)$:

❖ Là công suất điện từ trung bình gởi trên một đơn vị góc đặc theo hướng khảo sát.

$$u(\theta, \phi) = \frac{\langle P_r \rangle dS}{d\Omega} = \langle P_r \rangle r^2 \quad (\text{W/sr})$$



✓ Nhận xét:

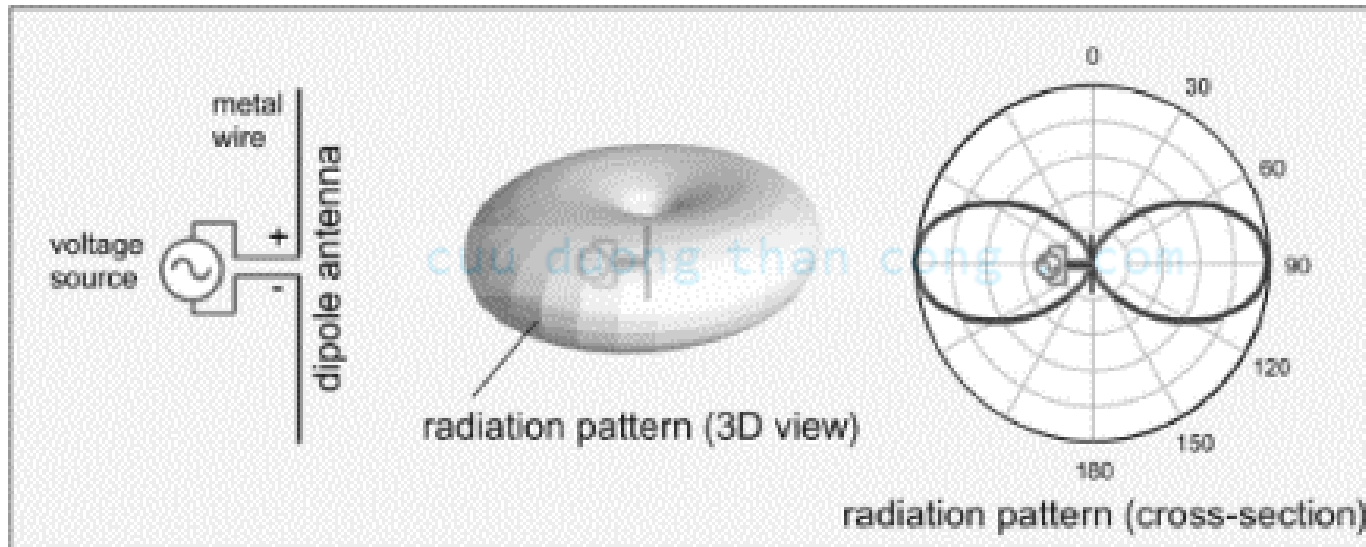
- $u(\theta, \phi)$ thường độc lập với khoảng cách r .
- $u(\theta, \phi)$ cũng có tính định hướng .

❖ VD 6.3.1: Tính $u(\theta, \phi)$ nguyên tố anten

Từ cường độ bức xạ của nguyên tố anten thẳng :

$$\langle P_r \rangle = \frac{1}{2\eta} E_{\theta m}^2 = \frac{1}{2} \eta H_{\phi m}^2 = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{I_m \sin \theta}{2\lambda r} \right)^2$$

→ $u = \langle P_r \rangle \cdot r^2 = \eta \frac{I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2}$



c) Cường độ bức xạ chuẩn $u_n(\theta, \phi)$:

❖ là tỉ số giữa cường độ bức xạ và cường độ bức xạ cực đại.

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

✓ Nhận xét: ta thấy $u_n \leq 1$.

❖ VD 6.3.2: Tính $u_n(\theta, \phi)$ nguyên tố anten

- Từ hàm cường độ bức xạ của nguyên tố anten thẳng:

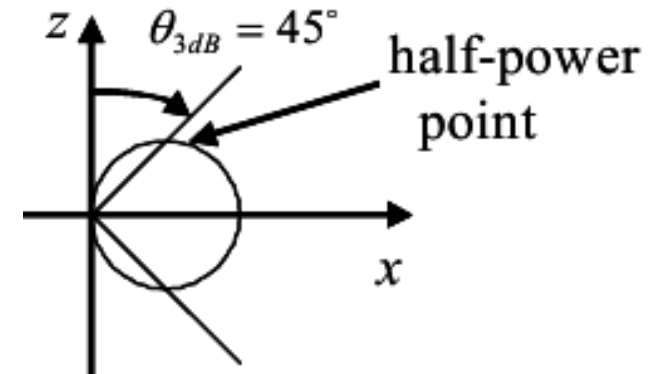
$$u = \eta \frac{l^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2}$$

$$\rightarrow u_{\max} = \eta \frac{l^2 I_m^2}{8\lambda^2} \quad \rightarrow u_n = \sin^2 \theta$$



Góc bức xạ nửa công suất:

- Ký hiệu: HPBW
- Xác định: $\text{HPBW} = 2|\theta_{\max} - \theta_{3\text{dB}}|$



$\theta_{\max}$ = góc lệch trục ứng với $u_n = u_{n\max}$.

$\theta_{3\text{dB}}$ = góc lệch trục ứng với $u_n = \frac{1}{2}u_{n\max}$.

d) Độ định hướng D (Directivity) :

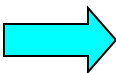
❖ Tính định hướng là khả năng tập trung bức xạ vào 1 hướng và yếu đi ở những hướng khác.

❖ Độ định hướng D là tỉ số của cường độ bức xạ max ($u_{\max}$) và cường độ bức xạ trung bình (u_{tb}) :

$$D = \frac{u_{\max}}{u_{\text{tb}}}$$

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

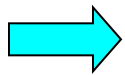
$$u_{\text{tb}} = \frac{1}{4\pi r^2} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} u \cdot r^2 \sin \theta d\theta d\phi$$


$$D = \frac{4\pi u_{\max}}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} u(\sin \theta d\theta d\phi)} = \frac{4\pi \cdot u_{\max}}{P_{\text{bx}}}$$



D tính theo $u_n(\theta, \phi)$:

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



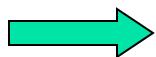
$$D = \frac{4\pi}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} u_n \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{4\pi}{\Omega_p}$$

**Góc đặc
bức xạ
của
antenna**



Ý nghĩa của độ định hướng D :

■ Ta có :
$$D = \frac{4\pi u_{\max}}{P_{bx}} = \frac{u_{\max} / r^2}{P_{bx} / 4\pi r^2} = \frac{\langle P_r \rangle_{\max}}{\langle P_r \rangle_{tb}}$$



$$D = \frac{u_{\max}}{u_{tb}} = \frac{\langle P_r \rangle_{\max}}{\langle P_r \rangle_{tb}}$$

➤ Độ định hướng D cũng là tỉ số của mật độ công suất bức xạ cực đại và mật độ công suất bức xạ trung bình .



Độ định hướng D(dB) :

- Độ định hướng còn dùng với đơn vị dB theo định nghĩa :

$$D \text{ (dB)} = 10 \log_{10} D$$

- ❖ Ví dụ : nguyên tố anten thẳng có $u_n = \sin^2 \theta \rightarrow u_{n\max} = 1$, và:

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta \sin \theta d\theta d\phi} = 1,5$$

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

❖ VD 6.3.3: Tính độ định hướng

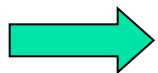
Cường độ bức xạ chuẩn của anten cho bởi:

- a) $u_n = \sin\theta.\sin\phi$
b) $u_n = \sin\theta.\sin^2\phi$
c) $u_n = \sin^2\theta.\sin\phi$
- $\left\{ \begin{array}{l} \text{Với } 0 < \theta < 180^\circ; 0 < \phi < 180^\circ. \\ \text{Bằng 0 ở các miền khác.} \end{array} \right.$

Xác định độ định hướng (không thứ nguyên và dB) ?

- a) Có $u_{n\max} = 1$ tại $\theta = \pi/2$; $\phi = \pi/2$.

$$\int_0^\pi \int_0^\pi (\sin\theta.\sin\phi)(\sin\theta d\theta d\phi) = \frac{\theta}{2} \Big|_0^\pi (-\cos\phi) \Big|_0^\pi = \pi$$



$$D = \frac{4\pi}{\pi} = 4 = 6.02 \text{ (dB)}$$

❖ VD 6.3.3: Tính độ định hướng (tt)

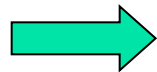
Cường độ bức xạ chuẩn của anten cho bởi:

- a) $u_n = \sin\theta.\sin\phi$
b) $u_n = \sin\theta.\sin^2\phi$
c) $u_n = \sin^2\theta.\sin\phi$
- $\left\{ \begin{array}{l} \text{Với } 0 < \theta < 180^\circ; 0 < \phi < 180^\circ. \\ \text{Bằng 0 ở các miền khác.} \end{array} \right.$

Xác định độ định hướng (không thứ nguyên và dB) ?

b) Có $u_{n\max} = 1$ tại $\theta = \pi/2$; $\phi = \pi/2$.

$$\int_0^\pi \int_0^\pi (\sin^2 \theta . \sin^2 \phi) d\theta d\phi = \frac{\theta}{2} \Big|_0^\pi \cdot \frac{\phi}{2} \Big|_0^\pi = \frac{\pi^2}{4}$$



$$D = \frac{4\pi}{\pi^2 / 4} = \frac{16}{\pi} = 5.09 = 7.07 \text{ (dB)}$$

❖ VD 6.3.3: Tính độ định hướng (tt)

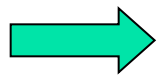
Cường độ bức xạ chuẩn của anten cho bởi:

$$\begin{array}{ll} \text{a)} & u_n = \sin\theta.\sin\phi \\ \text{b)} & u_n = \sin\theta.\sin^2\phi \\ \text{c)} & u_n = \sin^2\theta.\sin\phi \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Với } 0 < \theta < 180^\circ; 0 < \phi < 180^\circ. \\ \text{Bằng 0 ở các miền khác.} \end{array} \right.$$

Xác định độ định hướng (không thứ nguyên và dB) ?

c) Có $u_{n\max} = 1$ tại $\theta = \pi/2$; $\phi = \pi/2$.

$$\int_0^\pi \int_0^\pi (\sin^3 \theta.\sin\phi) d\theta d\phi = \left(\frac{\cos^3 \theta}{3} - \cos \theta \right) \Big|_0^\pi . (-\cos \phi) \Big|_0^\pi = \frac{8}{3}$$



$$D = \frac{4\pi}{8/3} = \frac{3\pi}{2} = 4.71 = 6.73 \text{ (dB)}$$

❖ VD 6.3.4: Tính độ định hướng

Vẽ mặt cắt của cường độ bức xạ ? Xác định HPBW, góc đặc bức xạ và độ định hướng biết cường độ bức xạ chuẩn:

$$(a) u_n(\theta, \phi) = \cos \theta \quad \text{for } 0 \leq \theta \leq \pi/2, \quad 0 \text{ otherwise.}$$

$$(b) u_n(\theta, \phi) = \cos^2 \theta \quad \text{for } 0 \leq \theta \leq \pi/2, \quad 0 \text{ otherwise.}$$

$$(c) u_n(\theta, \phi) = \cos^3 \theta \quad \text{for } 0 \leq \theta \leq \pi/2, \quad 0 \text{ otherwise.}$$

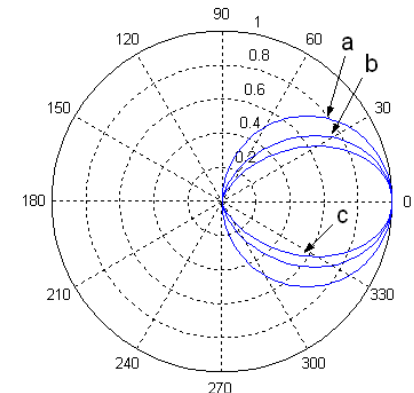
```
% Polar Plots for EX2
% The polar plot function doesn't allow multiple
% plots. So we have to let the angle theta loop
% around several times, changing the rho function
% each time.
```

```
for i=1:100
    theta(i)=-pi/2+i*pi/100;
    rho(i)=cos(theta(i)); Fig. P8.3
end
```

```
for j=101:200
    theta(j)=(-pi/2)+j*pi/100;
    rho(j)=0;
end
```

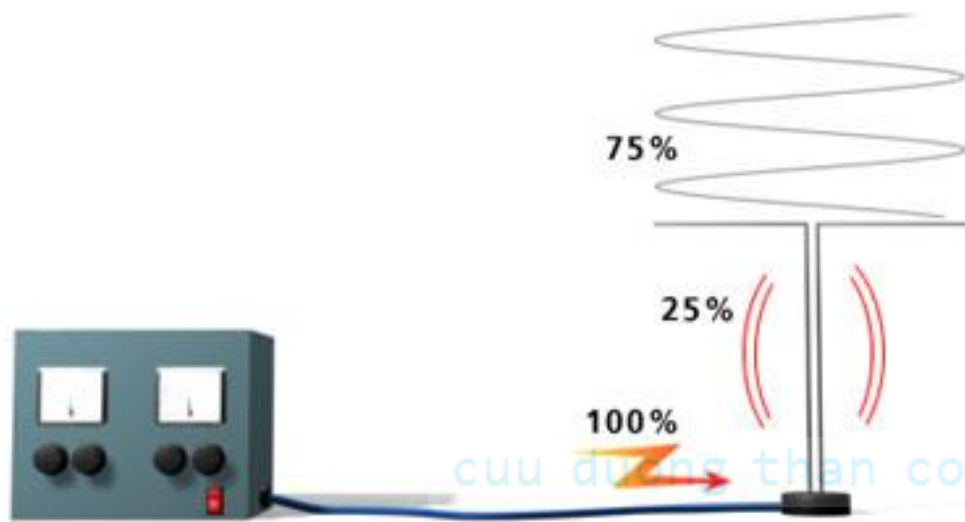
```
for i=201:300
    theta(i)=-pi/2+i*pi/100;
    rho(i)=(cos(theta(i)))^2;
end
```

```
for j=301:400
    theta(j)=-pi/2+j*pi/100;
    rho(j)=0;
end
for i=401:500
    theta(i)=-pi/2+i*pi/100;
    rho(i)=(cos(theta(i)))^3;
end
for j=501:600
    theta(j)=-pi/2+j*pi/100;
    rho(j)=0;
end
polar(theta,rho)
```

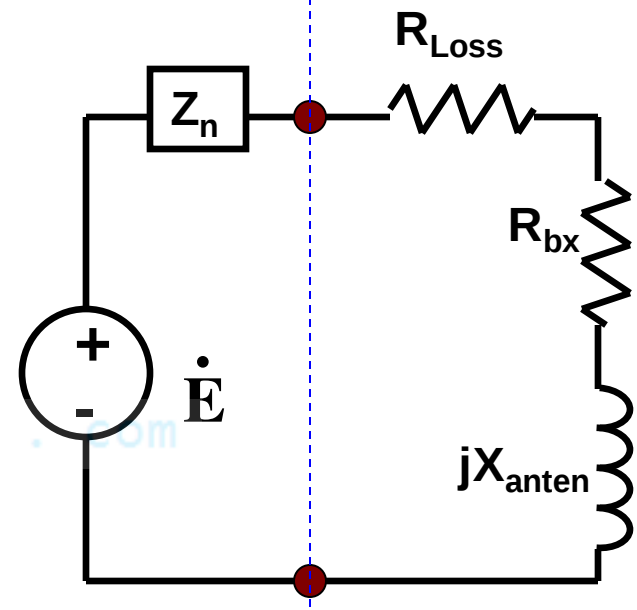


(Đs: a) 120° ; π sr; 4 b) 90° ; $2\pi/3$ sr; 6
c) 75° ; $\pi/2$ sr; 8)

e) Hiệu suất bức xạ :



Anten phát



R_{loss} : Điện trở tổn hao nhiệt.

❖ Hiệu suất:

$$\xi = \frac{P_{\text{bx}}}{P_{\text{bx}} + P_{\text{loss}}} = \frac{R_{\text{bx}}}{R_{\text{bx}} + R_{\text{loss}}} \quad [\%]$$

❖ Độ lợi của anten :

$$G = \xi \cdot D$$

(Độ lợi của anten cũng thường dùng với đơn vị **dB** như D)

❖ VD 6.3.5: Tính hiệu suất bức xạ

Anten thẳng, dài 4cm, bán kính $a = 0,4\text{mm}$, làm bằng vật liệu đồng ($\mu_r = 1$; $\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$), đặt trong môi trường không khí, mang dòng điều hòa tần số 75 MHz. Xác định: (a) Điện trở bức xạ ? (b) Hiệu suất bức xạ ?

Giải

a) Xác định R_{bx} : Kiểm tra mô hình

Bước sóng bức xạ: $\lambda = c/f = 4\text{m}$; $\beta = 2\pi/4 = \pi/2$.

Ta có $(\ell/\lambda) = 0,04/4 = 1/100 < 1/20$

→ mô hình nguyên tố anten thẳng.

$$\rightarrow R_{bx} = \frac{2}{3} \pi \cdot 377 \cdot \left(\frac{0,04}{4}\right)^2 = 0,08 \Omega$$

❖ VD 6.3.5: Tính hiệu suất bức xạ (tt)

b) Xác định hiệu suất bức xạ:

Điện trở bề mặt: $R_s = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 75 \cdot 10^6 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2,58 \cdot 10^7}} = 22,6 \cdot 10^{-4} \Omega$

Điện trở nhiệt của anten:

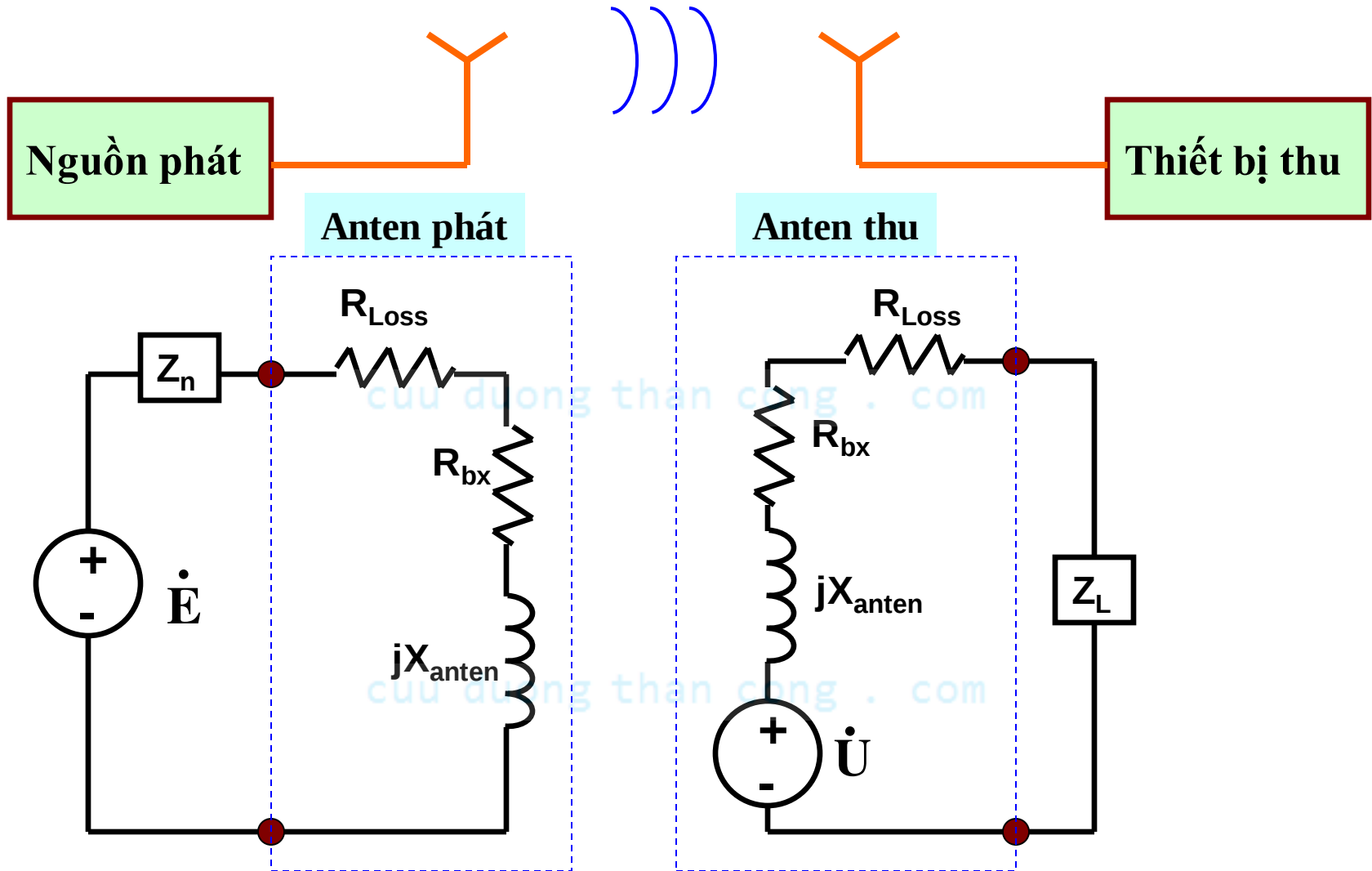
$$R_{\text{loss}} = 0,04 \frac{22,6 \cdot 10^{-4}}{2\pi \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}} = 0,036 \Omega$$

Hiệu suất bức xạ:

$$\xi = \frac{0,08}{0,08 + 0,036} = 69 \quad [\%]$$

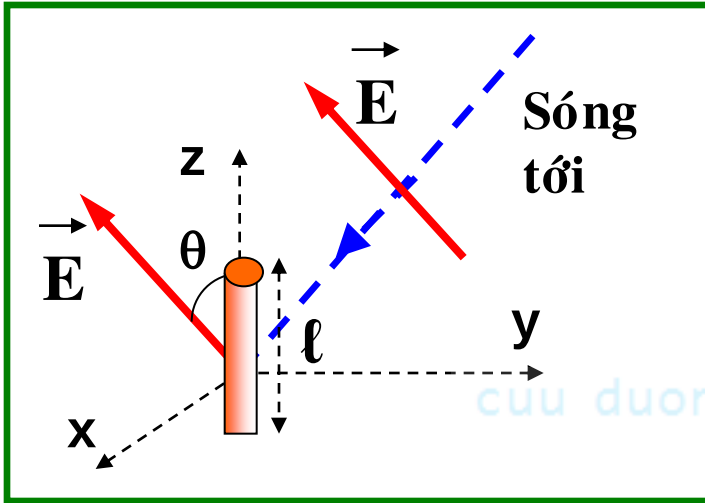
f)

Anten thu :



Sức điện động cảm ứng:

■ Anten thu là anten thẳng:



Sức điện động cảm ứng:

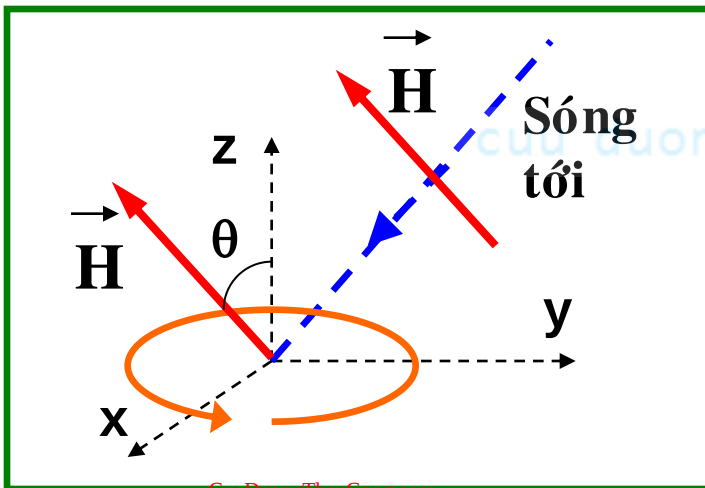
Có: $u = \int_l (\vec{E} \cdot d\vec{l})$



$$u = E \cdot l \cdot \cos\theta$$

cua duong than cong . com

■ Anten thu là anten vòng:



Sức điện động cảm ứng:

Có : $u = - \frac{d}{dt} \int_S (\mu \vec{H} \cdot d\vec{S})$



$$u = -\mu \cdot S \cdot \cos\theta \cdot \frac{dH}{dt}$$

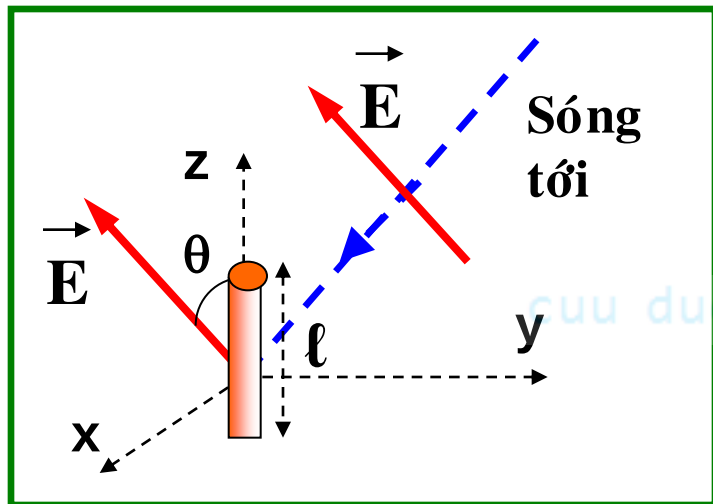


Miền hiệu dụng A_e (effective area) :

- Giả sử thu sóng điện từ dùng anten thẳng: bỏ qua R_{loss} và anten được định hướng song song trường điện.



$$u = E \cdot \ell$$



- Nếu phối hợp, công suất max mà tải nhận được:

$$P_L = \frac{U_m^2}{8R_{bx}} = \frac{E_m^2 \ell^2}{8R_{bx}}$$

- Mật độ dòng công suất điện từ trung bình :

$$\langle P_r \rangle = \frac{1}{2} \frac{E_m^2}{\eta}$$

cuu duong than cong . com

- Vùng hiệu dụng A_e : diện tích tối thiểu để đảm bảo hòa hợp tải xảy ra.



$$A_e = \frac{P_L}{\langle P_r \rangle} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$$