

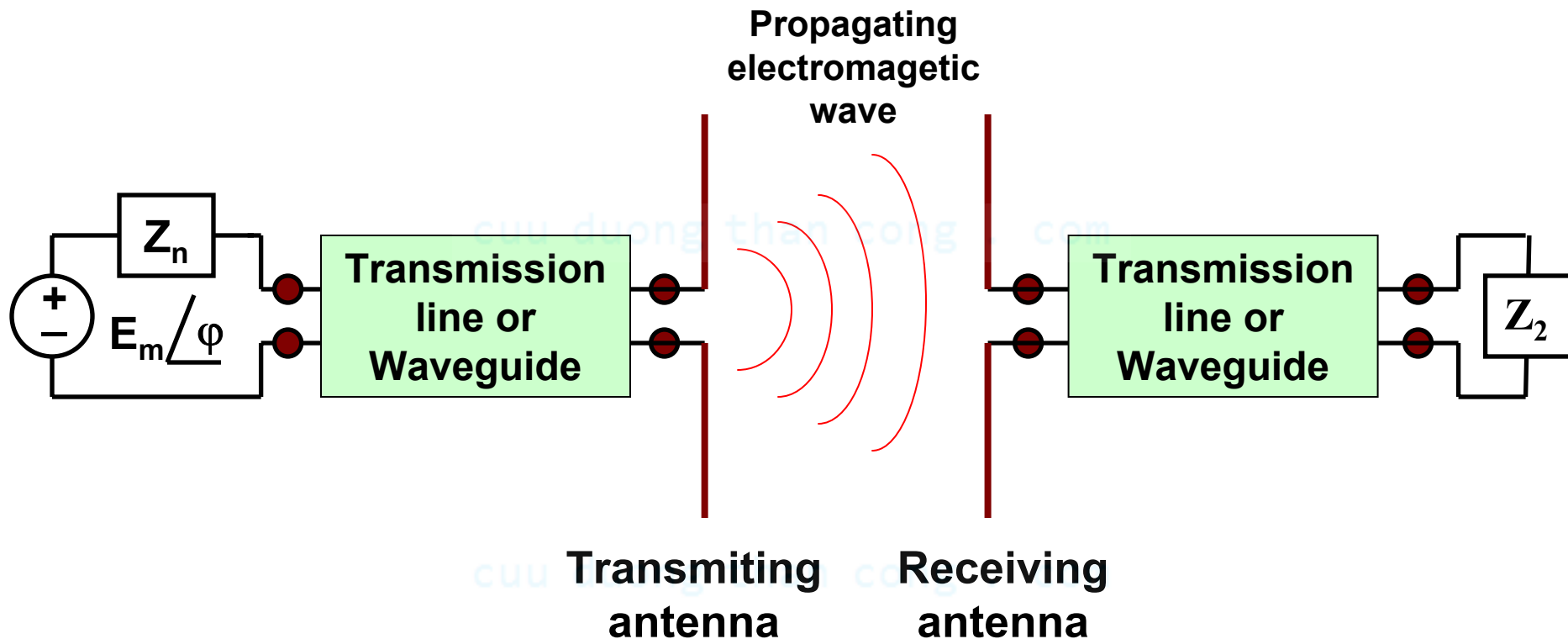


Chapter 7:

Principles of Radiation and Antenna

7.1 Introduction:

❖ A metallic wire : radiate EM energy to space or receive it from an EM wave.





Vector potential:

Time-varying current $i(t)$ \rightarrow vector potential

■ Time domain :

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

cuu duong than cong . com

■ phasor domain:

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

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

cuu duong than cong . com



7.2 The Hetzian Dipole Antenna:

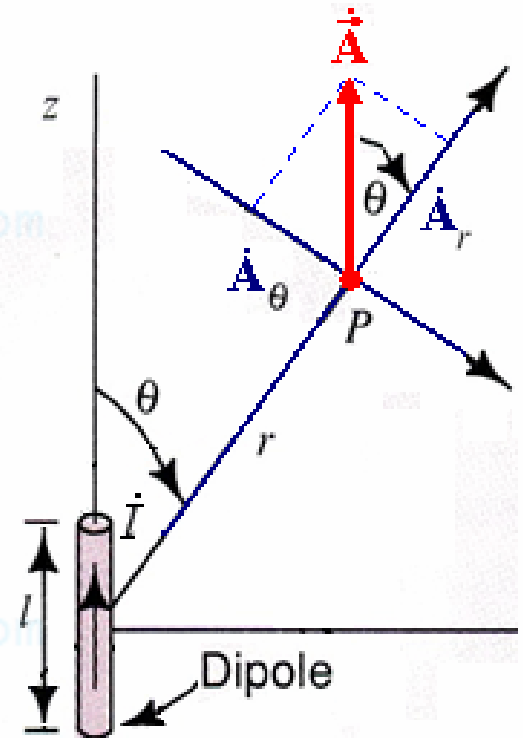
[cuu duong than cong . com](http://cuu-duong-thanh-cong.com)

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

7.2.1 The Field of a Hertzian Dipole:

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

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



7.2.1 The Field of a Hertzian Dipole:

❖ For Hertzian dipole : $\ell \ll \lambda$ ($\ell \leq \lambda/20$)

Current is assumed constant : $\dot{\mathbf{I}}(z) = I_m \angle \psi$

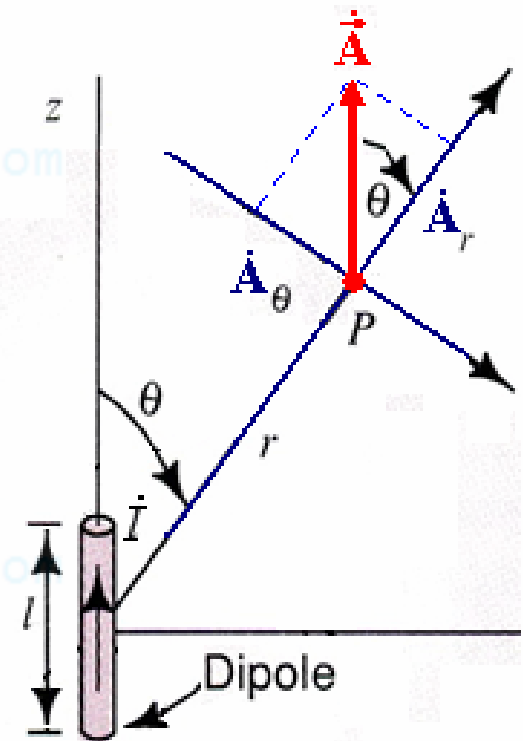
❖ Vector potential due to $\mathbf{I}(z)$:

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

❖ Working in Spherical Coordinates :

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

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



7.2.1 The Field of a Hertzian Dipole:

❖ Find H-Field using: $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A} = H_\phi \vec{a}_\phi$

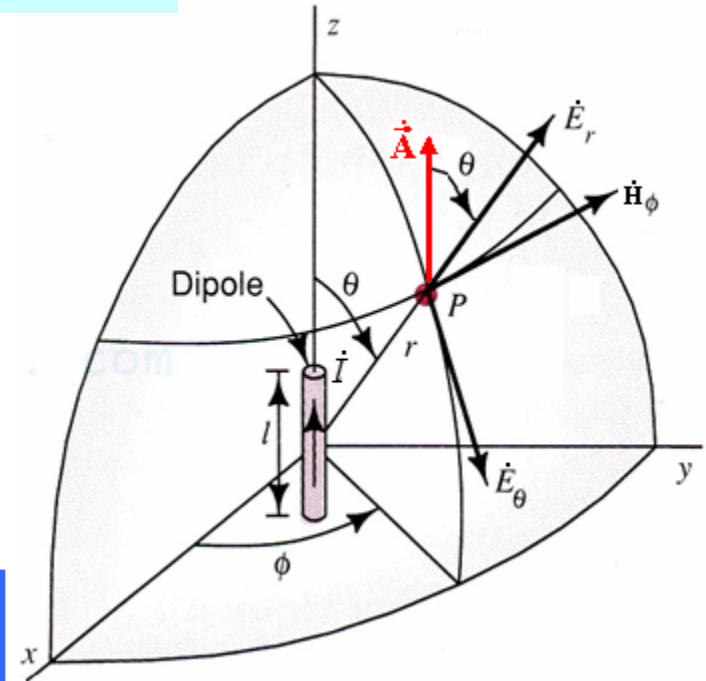
❖ The E-Field :

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

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

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

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



7.2.2 Near-Field of a Hertzian Dipole :

❖ The Field closed to the dipole where: $\beta r \ll 1$ ($r \ll \lambda/2\pi$) .

❖ We have :

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

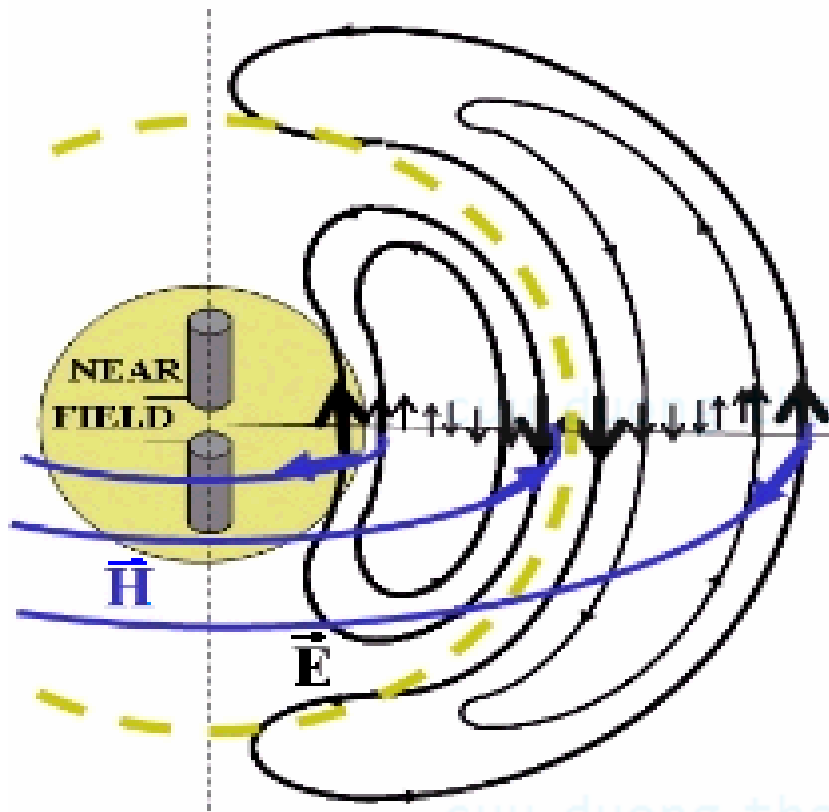
❖ Với :

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

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

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

❖ Nhận xét miền gần (*near field*) :



+ Sóng điện & từ lệch 90°.

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

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

7.2.3 Far-Field of a Hertzian Dipole :

a) The Field: far away from the dipole where: $\beta r \gg 1$ ($r \gg \lambda/2\pi$)

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

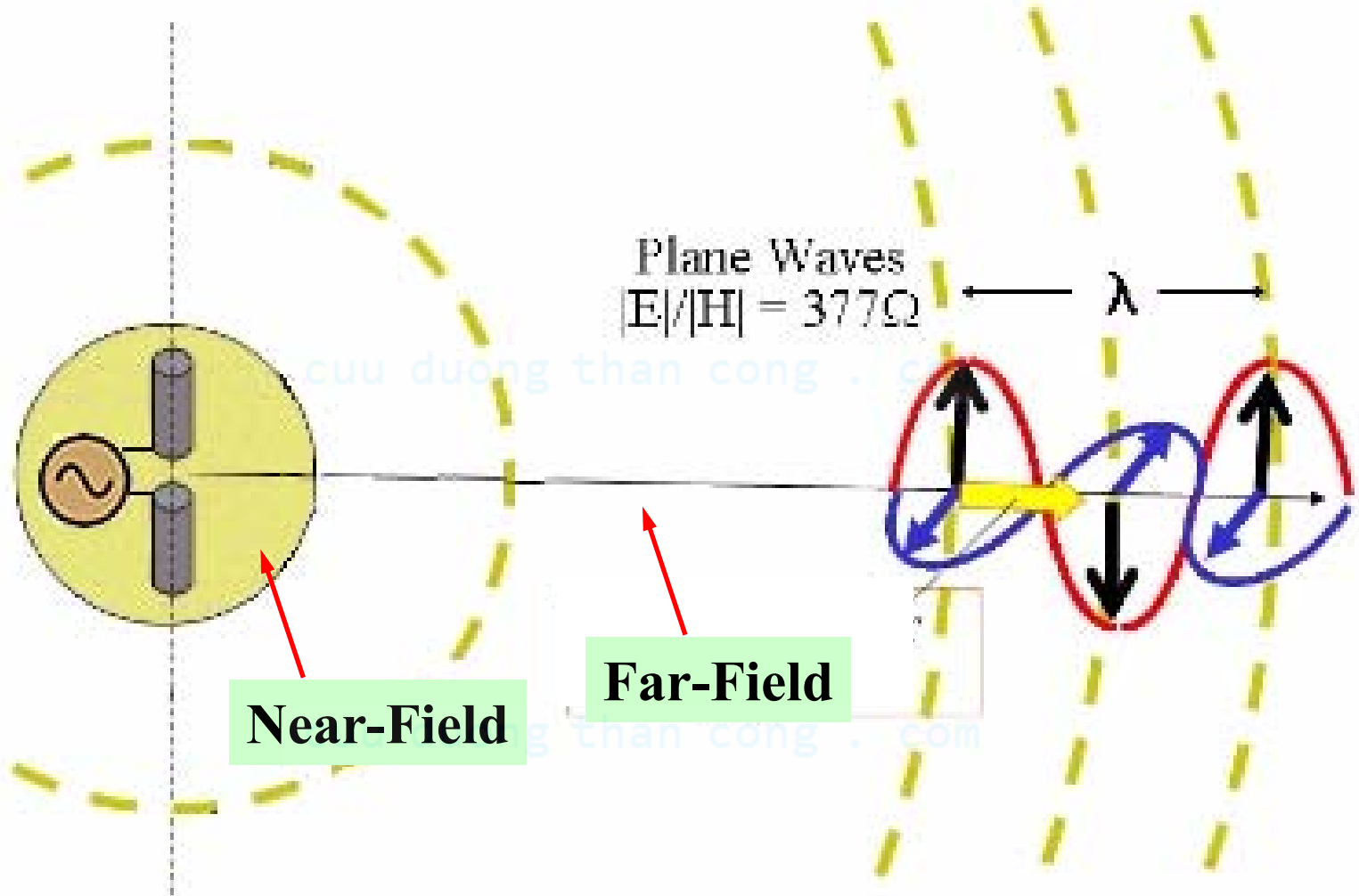
❖ Với:

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

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

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

❖ Phân bố sóng miền xa (far-field) :



b) Nhận xét bức xạ ở miền xa :

a) Phương : $E \perp H$ và vuông góc 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 khi đó là sóng phẳng)

d) Vận tốc pha bằng vận tốc t.sóng trong ptrình D'Alembert:

$$v_p = v = 1/\sqrt{\mu\epsilon}$$

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

\rightarrow Bức xạ điện từ có tính định hướng

c) Công suất bức xạ :

❖ Vectơ Poynting tức thời:

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

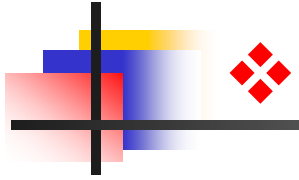
$\eta H^2 \geq 0$: dòng công suất điện từ luôn hướng từ nguồn ra bên ngoài . Miền xa gọi là miền bức xạ.

❖ Vectơ 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 CS điện từ trung bình gửi qua 1 mặt cầu tâm là vị trí đặt nguyên tố anten, bán kính $r \gg \lambda$:

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

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

❖ Ví dụ: Với nguyên tố anten thẳng

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

⇒ $\langle P_r \rangle = \eta \frac{\ell^2 I_m^2 \sin^2 \theta}{8\lambda^2 r^2}$

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

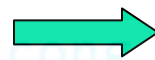
▪ Nhận xét : P_{bx} tỉ lệ nghịch với λ^2 , tức là $\sim f^2$: dùng cao tần.



Điện trở bức xạ :

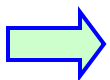
- Ký hiệu R_{bx} , là điện trở mà công suất tiêu tán trên nó tương đương với công suất bức xạ của anten khi nối vào nguồn phát tín hiệu , và xác định từ :

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



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

- ❖ Ví dụ: Với nguyên tố anten thẳng :



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



7.3 Fundamental antennas :

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

a) Phân loại:

1. Anten ngắn (short or small dipole):

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

$$R_{\text{ohmic}} = \frac{\ell}{3} \frac{\text{Re}(\eta)}{2\pi a}$$

2. Anten phần tư sóng :

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

3. Anten bán sóng :

Anten có chiều dài $\ell = \lambda/2$.

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

$$R_{\text{ohmic}} = \frac{\lambda}{4} \frac{\text{Re}(\eta)}{2\pi a}$$

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



a) Phân loại:

5. Anten đơn cực (monopole):

$$Z_A = Z_A (\text{dipole}) \quad D = 2D(\text{dipole})$$

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

b) Tính toán trường điện từ 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 từ hệ phương trình Maxwell .

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

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