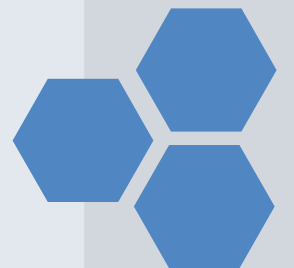




VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG II

MODULE 1 TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

GV: Đặng Thị Bích Hợp





MODULE 1

1

Luận điểm của Mácxoen, trường điện từ.

2

Dao động điện từ điều hòa.

3

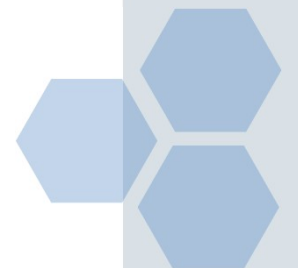
Dao động điện từ tắt dần.

4

Dao động điện từ cưỡng bức.

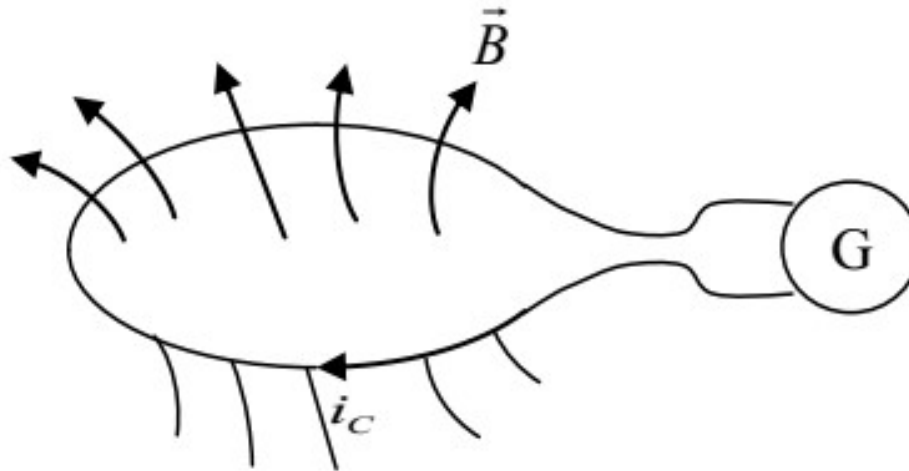
5

Sóng điện từ



ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

1. Luận điểm Maxwell thứ nhất.



- ❖ *Điện trường xoáy*: trong không gian mà ở đó từ trường biến đổi theo thời gian đã xuất hiện một loại điện trường lạ có khả năng sinh công khi đẩy điện tích đi theo đường cong kín, tức là điện trường này có đường sức khép kín, nên gọi là điện trường xoáy.

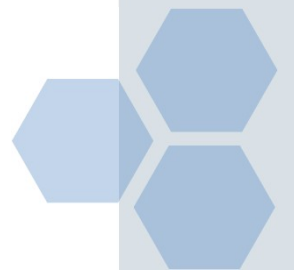


ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

1. Luận điểm Maxwell thứ nhất.

Điện trường tĩnh	Điện trường xoáy
✓ Do điện tích đứng yên gây ra	✓ Do từ trường biến thiên theo thời gian sinh ra
✓ Đường sức không khép kín	✓ Đường sức là những đường cong khép kín
✓ Tại mỗi điểm \vec{E} không đổi	✓ Tại mỗi điểm \vec{E}^* thay đổi theo thời gian

❑ *Nội dung luận điểm I:* Mọi từ trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một điện trường xoáy.





ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

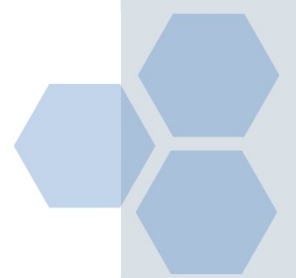
1. Luận điểm Maxwell thứ nhất.

□ Phương trình Maxwell-Faraday (Biểu thức toán học của luận điểm I)

✓ *Dạng tích phân:*

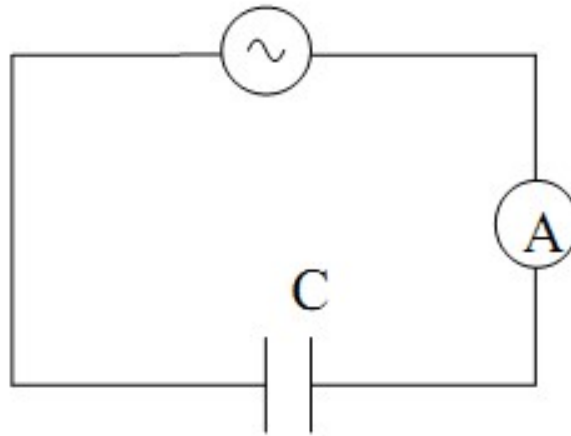
$$\int_{(L)} \vec{E} * d\vec{\ell} = - \int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

✓ *Dạng vi phân:*

$$\text{rot} \vec{E}^* = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$


ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

2. Luận điểm Maxwell thứ hai.



- ❖ **Dòng điện dịch:** Theo Maxwell, chỉ có từ trường biến thiên theo thời gian trong lòng tụ C đã khép kín mạch điện, coi như có một dòng điện chạy trong lòng tụ. Chính dòng điện này đã nối tiếp dòng điện dẫn (là dòng các điện tích chuyển dời có hướng) trong phần không gian mà dòng dẫn không qua được. Dòng điện đó được gọi là dòng điện dịch.




ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

2. Luận điểm Maxwell thứ hai.

Dòng điện dẫn	Dòng điện dịch
✓ Là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện	✓ Được sinh ra khi có điện trường biến thiên theo thời gian
✓ Gây toả nhiệt theo hiệu ứng Joule-Lenx	✓ Không gây toả nhiệt
✓ Chịu tác dụng của từ trường ngoài	✓ Không chịu tác dụng của từ trường ngoài
➤ Trong mạch điện xoay chiều, dòng điện dẫn và dòng điện dịch cùng chiều, cùng độ lớn, đều tạo ra từ trường.	

❑ *Nội dung luận điểm II:* “Mọi điện trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một từ trường biến thiên theo thời gian”.





ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

2. Luận điểm Maxwell thứ hai.

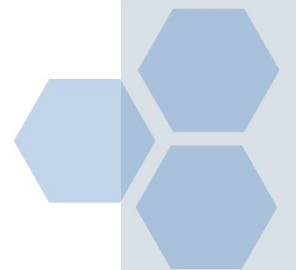
□ Biểu thức của mật độ dòng điện dịch \vec{J}_d

✓ Mật độ dòng điện dịch:

$$\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

✓ Cường độ dòng điện dịch:

$$I_d = \int_S \vec{J}_d d\vec{S}$$



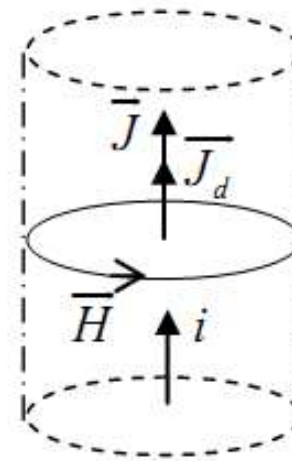
ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

□ Phương trình Maxwell-Ampère

a. Dòng điện toàn phần

Cường độ dòng điện toàn phần:

$$I_{tp} = \int_S \vec{J}_{tp} \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$



b. Phương trình Maxwell-Ampère

+ Dạng tích phân:

$$\int_{L \text{ kín}} \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$

+ Dạng vi phân:

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$



ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

3. Trường điện từ và hệ phương trình Maxwell

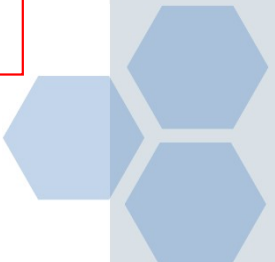
□ Trường điện từ

Từ trường biến thiên theo thời gian và điện trường biến thiên theo thời gian không tách biệt nhau mà thống nhất lại thành một trường điện từ.

➤ *Mật độ năng lượng của trường điện từ:*

$$\omega = \frac{1}{2} \bar{D} \bar{E} + \frac{1}{2} \bar{B} \bar{H}$$

➤ *Năng lượng trường điện từ:*

$$W = \int_V \omega dV = \int_V \left(\frac{1}{2} \bar{D} \bar{E} + \frac{1}{2} \bar{B} \bar{H} \right) dV$$




ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

3. Trường điện từ và hệ phương trình Maxwell

□ Hệ các cặp phương trình Maxwell

a. Cặp thứ nhất:

- Phương trình Maxwell-Faraday:

Dạng tích phân:

$$\int_{(L \text{ kín})} \vec{E}^* \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

Dạng vi phân:

$$\text{rot} \vec{E}^* = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

- Phương trình của định lý O-G cho từ trường:

Dạng tích phân:

$$\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Dạng vi phân:

$$\text{div} \vec{B} = 0$$




ND1. Luận điểm Maxwell. Trường điện từ.

3. Trường điện từ và hệ phương trình Maxwell

□ Hệ các cặp phương trình Maxwell

b. Cặp thứ hai:

- Phương trình Maxwell-Ampère:

Dạng tích phân:

$$\int_{L \text{ kín}} \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$$

Dạng vi phân:

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

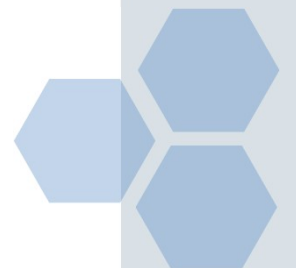
- Phương trình của định lý O-G đối với điện trường:

Dạng tích phân:

$$\int_{S \text{ kín}} \vec{D} d\vec{S} = q$$

Dạng vi phân:

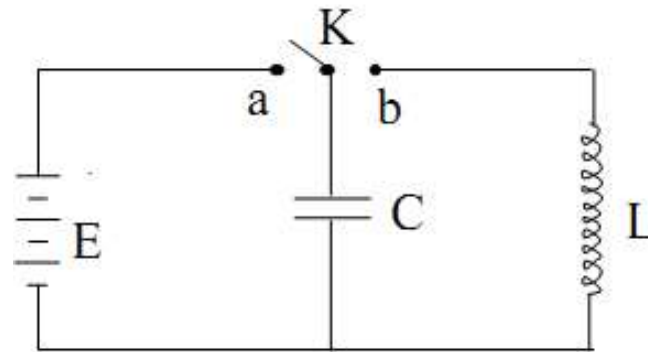
$$\text{div} \vec{D} = \rho$$



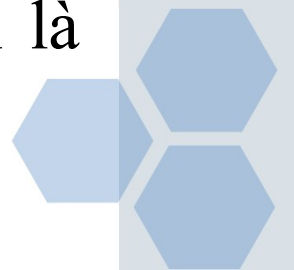


II. Dao động điện từ điều hòa

1. Mạch dao động điện từ LC



- ✓ Vì trong mạch LC không có điện trở R nên không có sự mất mát năng lượng do tỏa nhiệt, do đó biên độ của các đại lượng dao động (I_0, q_0, U_0) đều không đổi. Loại dao động điện từ này được gọi là ***dao động điện từ điều hòa***.
- ✓ Vì trong mạch chỉ có các yếu tố riêng của mạch như tụ điện C , cuộn cảm L nên các dao động điện từ này được gọi là các ***dao động điện từ riêng không tắt***.





II. Dao động điện từ điều hòa

2. Phương trình của dao động điện từ riêng không tắt

+ Năng lượng điện từ của mạch không đổi:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \text{const} \quad (1)$$

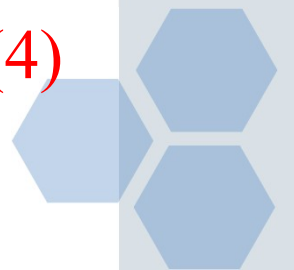
+ Đạo hàm pt (1) theo thời gian và thay $i = \frac{dq}{dt}$, ta được:

$$\frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0 \quad (2)$$

+ Đạo hàm pt (2) theo thời gian và thay $i = \frac{dq}{dt}$, ta được:

$$\frac{i}{C} + L \frac{d^2i}{dt^2} = 0 \quad (3)$$

+ Chia 2 vế của pt (3) cho L, ta được: $\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{LC}i = 0 \quad (4)$





II. Dao động điện từ điều hòa

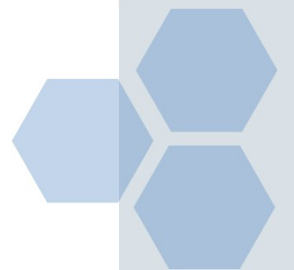
2. Phương trình của dao động điện từ riêng không tắt

Phương trình dao động tuần hoàn của cường độ dòng điện:

$$i = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (5) \quad \text{với} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- biên độ dao động của cường độ dòng điện: I_0
- pha ban đầu của dao động: φ
- tần số góc riêng của dao động: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- chu kì dao động riêng của dao động: $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$
- tần số dao động riêng của dao động điện từ điều hòa:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$





II. Dao động điện từ điều hòa

2. Phương trình của dao động điện từ riêng không tắt

+ Phương trình dao động của q : $q = \int i \cdot dt = \frac{I_0}{\omega_0} \sin(\omega_0 t + \varphi)$

$$q = Q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (6) \quad \text{với} \quad Q_0 = \frac{I_0}{\omega_0}$$

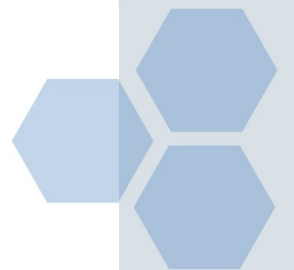
+ Cường độ từ trường trong lòng cuộn cảm:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = n_0 i = H_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (7)$$

+ Cường độ điện trường trong lòng tụ:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S} = E_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad 8)$$

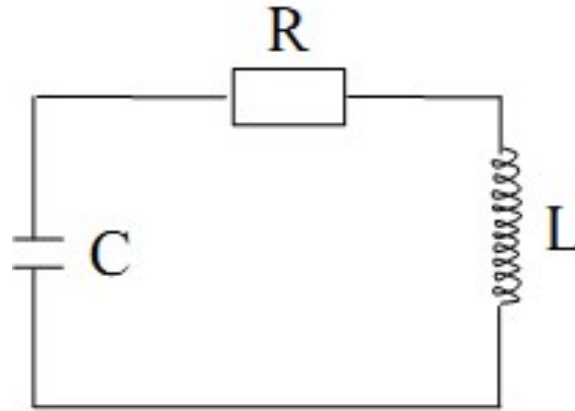
❑ Vậy: tất cả các đại lượng điện và từ của mạch đều dao động điều hòa với cùng tần số ω_0 .



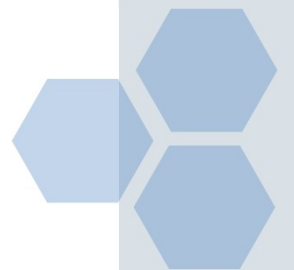


III. Dao động điện từ tắt dần

1. Mạch dao động điện từ RLC



Tại thời điểm $t = 0$, tụ C cũng đã tích điện. Cho tụ phóng điện qua cuộn cảm L và điện trở R , ta thấy cũng xuất hiện các quá trình chuyển hóa giữa năng lượng điện trường của tụ điện và năng lượng từ trường của cuộn dây. Nhưng do có sự tỏa nhiệt trên điện trở R nên các biên độ của các đại lượng như i , q , W_E , W_H bị giảm dần theo thời gian. Do đó loại dao động này gọi là ***dao động điện từ tắt dần***. Mạch dao động RLC trên được gọi là ***mạch dao động điện từ tắt dần***.





III. Dao động điện từ tắt dần

2. Phương trình dao động điện từ tắt dần

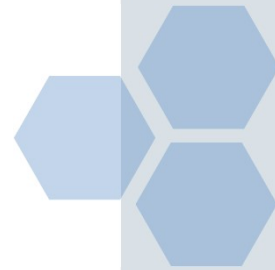
❖ Phần năng lượng tỏa nhiệt trên điện trở R bằng độ giảm năng lượng điện từ:

$$-dW = Ri^2 dt \quad (9)$$

Thay $W = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2$ vào ta được: $-d(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2) = Ri^2 dt \quad (10)$

Hay: $\frac{d}{dt}(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2) = -Ri^2 \quad (11)$

Thực hiện phép lấy đạo hàm và thay $\frac{dq}{dt} = i$ ta được:

$$\frac{q}{C} i + Li \frac{di}{dt} = -Ri^2 \quad (12)$$


III. Dao động điện từ tắt dần

2. Phương trình dao động điện từ tắt dần

Lấy tiếp đạo hàm theo thời gian cả 2 vế phương trình trên và đặt:

$$\frac{R}{2L} = \beta \quad \text{và} \quad \frac{1}{LC} = \omega_0^2$$

Hệ số tắt dần

Cuối cùng ta được: $\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\beta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = 0$ (13)

Phương trình dao động điện từ cho mạch RLC (đk $\omega_0 > \beta$):

$$i = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (14)$$

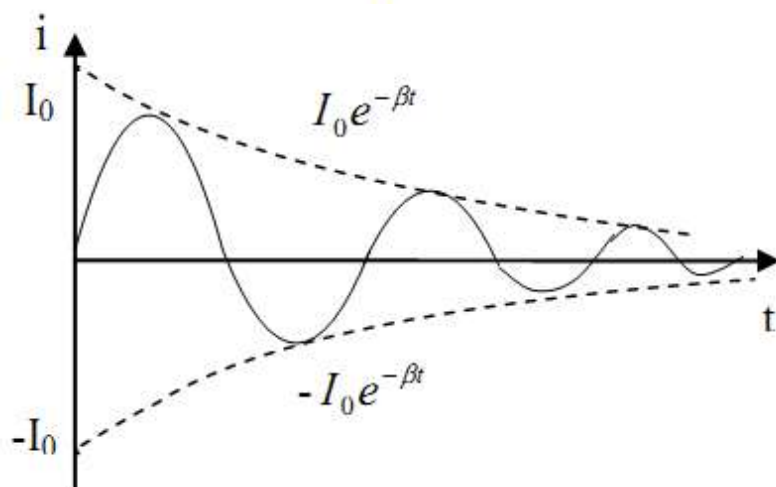
+ Tần số góc của dao động điện từ tắt dần: $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} < \omega_0$

+ Chu kỳ T của dao động điện từ tắt dần: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$

III. Dao động điện từ tắt dần

3. Nhận xét

a) Về biên độ $I_0 e^{-\beta t}$



Dao động điện từ tắt dần có biên độ của cường độ dòng điện giảm dần theo thời gian theo quy luật hàm mũ *exp*.

b) Giảm lượng lôga:

$$\delta = \ln \frac{I_0 e^{-\beta t}}{I_0 e^{-\beta(t+T)}} = \beta.T$$

c) Điện trở tới hạn của mạch: $R \geq R_h = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$

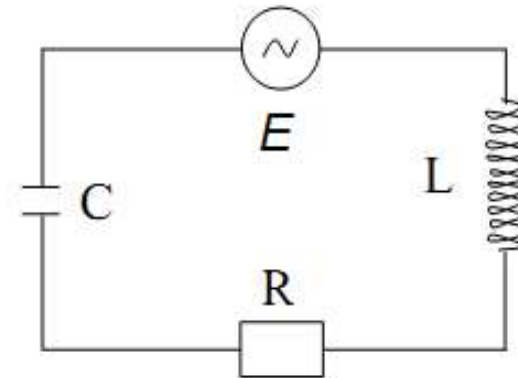


IV. Dao động điện từ cưỡng bức

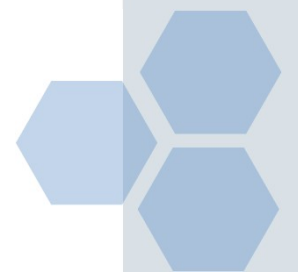
1. Hiện tượng

- Cung cấp năng lượng cho mạch qua nguồn điện:

$$E = E_0 \sin \Omega t$$



Lúc đầu dao động trong mạch là chồng chất của hai dao động: dao động tắt dần và dao động cưỡng bức. Giai đoạn quá độ này xảy ra rất ngắn, sau đó dao động tắt dần không còn nữa, trong mạch lúc này chỉ có dao động điện từ không tắt có tần số bằng tần số của nguồn điện E . Dao động của điện tích, dòng điện và hiệu điện thế lúc này được gọi là ***dao động điện từ cưỡng bức***.





IV. Dao động điện từ cưỡng bức

2. Phương trình dao động điện từ cưỡng bức

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\beta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = \frac{E_0 \Omega}{L} \cos \Omega t \quad (15)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình này là: $i = i_1 + i_2$ trong đó:

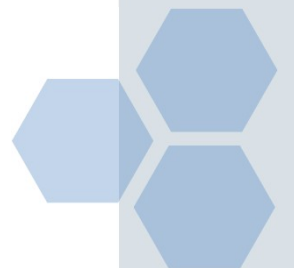
$$i_1 = I_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi) \quad \boxed{i_2 = I_0 \cos(\Omega t + \phi)} \quad (16)$$

+ Biên độ:
$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2}}$$

+ Pha ban đầu của dao động:
$$\cotan \phi = \frac{\Omega L - \frac{1}{\Omega C}}{R}$$

+ Tổng trở của mạch dao động:
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2}$$

+ Cảm kháng và dung kháng của mạch dao động: $Z_L = \Omega L$, $Z_C = \frac{1}{\Omega C}$





IV. Dao động điện từ cưỡng bức

3. Hiện tượng cộng hưởng điện từ

a. Hiện tượng

Hiện tượng cộng hưởng điện: là hiện tượng biên độ dòng điện cưỡng bức đạt giá trị cực đại khi tần số của nguồn điện xoay chiều kích thích Ω bằng tần số riêng ω_0 của mạch dao động.

$$\text{Khi: } \Omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{thì } I_{0max} = \frac{E_0}{R}$$

□ Điều kiện để xảy ra hiện tượng cộng hưởng điện

- ✓ Thay đổi tần số góc Ω của suất điện động xoay chiều sao cho nó đúng bằng tần số góc riêng ω_0 của mạch dao động.
- ✓ Thay đổi hệ số tự cảm L hay điện dung C của mạch để tần số góc riêng ω_0 của mạch bằng tần số góc Ω của nguồn xoay chiều.



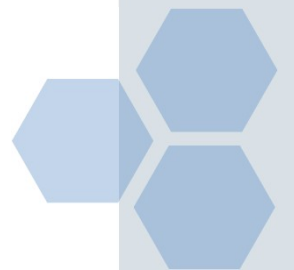


IV. Dao động điện từ cưỡng bức

3. Hiện tượng cộng hưởng điện từ

b. Ảnh hưởng của hiện tượng cộng hưởng điện

- ✓ *Tác dụng:* áp dụng rộng rãi trong kĩ thuật vô tuyến điện, dùng để thu sóng, khuếch đại những tín hiệu vô tuyến điện trong những mạch phát sóng và thu sóng vô tuyến điện.
- ✓ *Tác hại:* nếu R càng nhỏ thì biên độ cộng hưởng $I_{0\max}$ càng lớn \rightarrow tổn thất điện do hiệu ứng Jun-Lenx càng lớn \rightarrow dây dẫn trong mạch bị nóng lên rất nhiều, điện trở của dây thay đổi đáng kể và dây dẫn có thể bị nóng chảy.
- *Khắc phục:* Trong kĩ thuật điện, những mạch điện xoay chiều có chứa cuộn cảm L và tụ điện C , người ta phải thiết kế sao cho ω_0 của mạch khác Ω của điện áp kích thích ở hai đầu mạch đó.

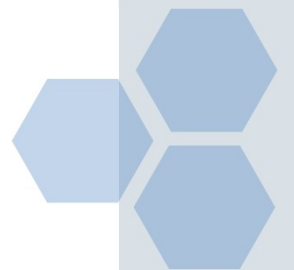
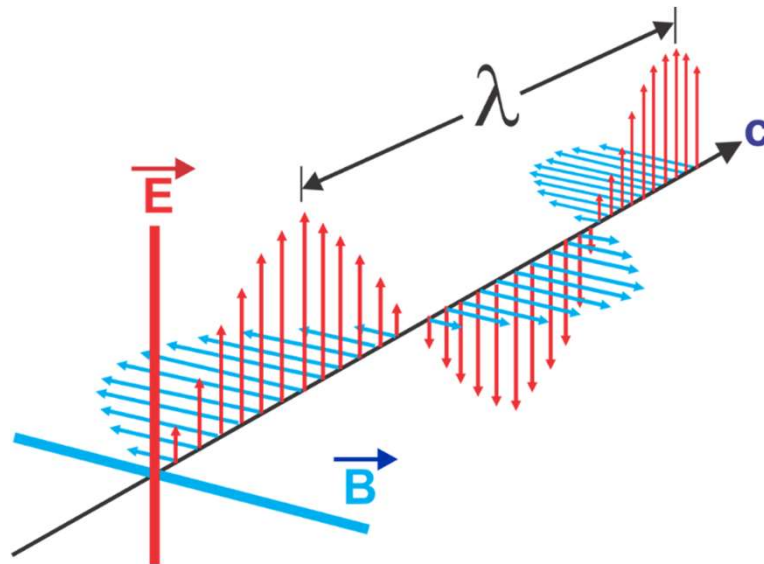




V. Sóng điện từ

1. Sự tạo thành sóng điện từ

- ❖ Một điện trường biến thiên theo t sẽ làm xuất hiện các từ trường biến thiên tại các điểm lân cận. Các từ trường biến thiên này lại tạo ra các điện trường biến thiên. Cứ như thế, từng cặp \vec{E} , \vec{B} ... hợp nhất thành trường điện từ lan truyền trong không gian dưới dạng sóng, gọi là *sóng điện từ*.





V. Sóng điện từ

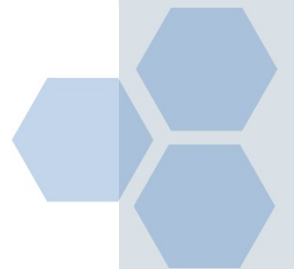
2. Phương trình sóng điện từ

+ Phương trình truyền sóng của điện trường: $\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$ (17)

+ Phương trình truyền sóng của từ trường: $\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$ (18)

+ Vận tốc truyền sóng trong chân không: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

+ Vận tốc truyền sóng trong môi trường: $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$





V. Sóng điện từ

2. Phương trình sóng điện từ

❖ **Sóng điện từ đơn sắc phẳng**: là một trường hợp riêng của sóng điện từ. Các sóng điện từ này phát ra từ nguồn ở rất xa, có một tần số f xác định, các mặt sóng là các mặt phẳng. Trường sóng điện từ này (\vec{E} và \vec{B}) chỉ phụ thuộc vào một tọa độ (tọa độ x chẳng hạn) và thời gian. Phương trình của trường này có dạng:

$$\frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad E = E_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \qquad (19)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{B}}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \bar{B}}{\partial t^2} = 0 \qquad B = B_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \qquad (20)$$



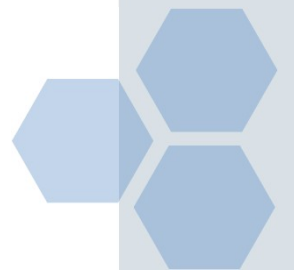


V. Sóng điện từ

3. Các tính chất của sóng điện từ

- ✓ Sóng điện từ truyền được cả trong các môi trường chất lẫn chân không.
- ✓ Trong chân không sóng điện từ lan truyền với vận tốc bằng vận tốc ánh sáng trong chân không ($\epsilon = 1, \mu = 1 \rightarrow v = c$).
- ✓ Vận tốc sóng điện từ trong chân không là lớn nhất so với trong các môi trường khác (môi trường: $\epsilon > 1, \mu > 1 \rightarrow v \leq c$).
- ✓ Sóng điện từ đơn sắc phẳng là sóng ngang. Tại mỗi điểm trong trường sóng, véc tơ \vec{E} và \vec{B} luôn vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền sóng. Trong môi trường đồng nhất và đẳng hướng, \vec{E} và \vec{B} luôn dao động cùng pha:

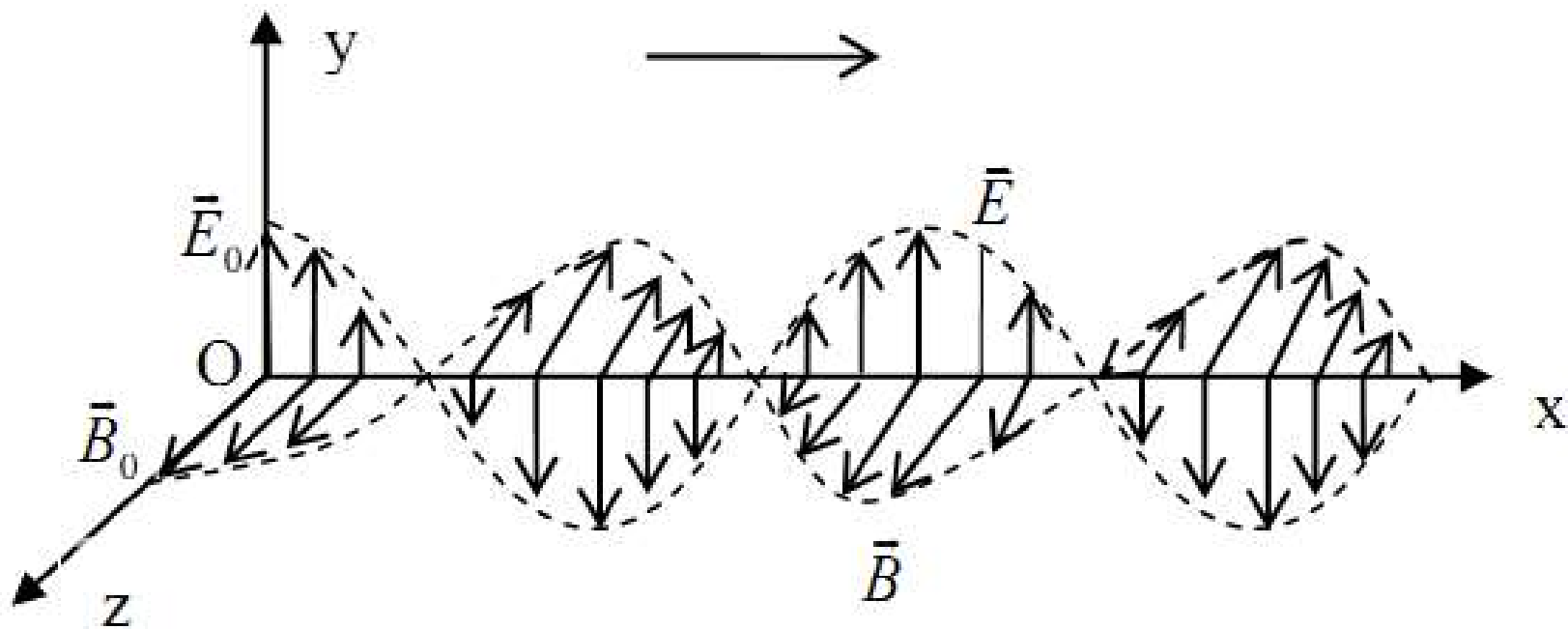
$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} \cdot E = \sqrt{\mu_0 \mu} \cdot H \quad \longrightarrow \quad E = v \cdot B$$



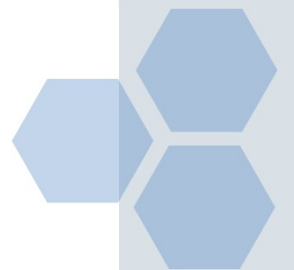


V. Sóng điện từ

3. Các tính chất của sóng điện từ



Sóng điện từ phẳng dạng sin lan truyền theo chiều dương trục x và phân cực thẳng theo trục y.





V. Sóng điện từ

3. Các tính chất của sóng điện từ

- ✓ *Năng lượng sóng điện từ*: Là năng lượng trường điện từ mà sóng truyền đi.
- ✓ *Năng thông sóng điện từ P* : là phần năng lượng sóng điện từ truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sóng trong một đơn vị thời gian.

$$\vec{P} = \omega \cdot \vec{v} \longrightarrow \text{Véc tơ Pounting}$$

$$\text{Độ lớn: } P = \omega \cdot v, \quad \text{đơn vị: } W/m^2$$

- ✓ *Mật độ năng lượng trường điện từ*: $w = w_E + w_H = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$

$$\text{Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng: } \sqrt{\epsilon_0 \epsilon} \cdot E = \sqrt{\mu_0 \mu} \cdot H$$

$$\longrightarrow w = \sqrt{\epsilon_0 \epsilon} \cdot \sqrt{\mu_0 \mu} \cdot E \cdot H \longrightarrow P = E \cdot H \longrightarrow \boxed{\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}}$$



V. Sóng điện từ

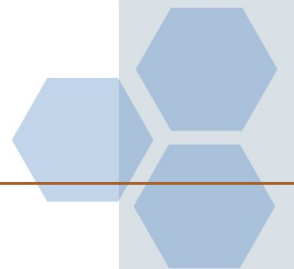
4. Phổ sóng điện từ (phân loại sóng điện từ)

Sóng điện từ đơn sắc được phát bởi một nguồn điện xoay chiều có tần số ω xác định, và như vậy có chu kỳ T xác định.

Do đó sóng điện từ có bước sóng xác định: $\lambda = v.T$

Trong chân không, bước sóng của sóng điện từ là $\lambda_0 = c.T$. Như vậy: $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$

Sóng điện từ có phổ bước sóng và tần số rất rộng. Phổ sóng điện từ bao gồm sóng vô tuyến radio và truyền hình, ánh sáng nhìn thấy, bức xạ hồng ngoại và tử ngoại, tia X, và tia gamma.





V. Sóng điện từ

4. Phổ sóng điện từ (phân loại sóng điện từ)

Tên sóng	Bước sóng trong không khí (m)	Nguồn phát chủ yếu hiện nay
Sóng vô tuyến điện	10^{-3} trở lên	Khung dao động LC
Tia hồng ngoại	$7,5.10^{-7} \div 10^{-3}$	Kích thích điện tử lớp ngoài của nguyên tử.
Ánh sáng nhìn thấy	$4.10^{-7} \div 7,5.10^{-7}$	
Tia tử ngoại	$10^{-9} \div 4.10^{-7}$	
Tia Rơn ghen	$10^{-12} \div 10^{-9}$	Kích thích điện tử lớp trong của nguyên tử.
Tia gamma	$10^{-13} \div 10^{-12}$	Kích thích hạt nhân nguyên tử.



Thank You!

GV. Đặng Thị Bích Hợp

