



## CHƯƠNG XI: HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Bài giảng môn Vật lý 1 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 29 tháng 5 năm 2023

## 1 Các định luật về cảm ứng điện từ

- 1. Hiện tượng cảm ứng điện từ
- 2. Định luật Lentz
- 3. Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ
- 4. Dòng điện xoáy (dòng điện Foucault)

## 2 Hiện tượng tự cảm

- 1. Hiện tượng tự cảm
- 2. Suất điện động tự cảm. Hệ số tự cảm

## 3 Hiện tượng hồ cảm

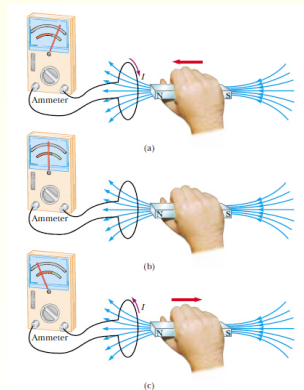
- 1. Hiện tượng
- 2. Suất điện động hồ cảm, hệ số hồ cảm

## 4 Năng lượng từ trường

- 1. Năng lượng từ trường của ống dây điện
- 2. Mật độ năng lượng từ trường

Năm 1831 Faraday phát hiện: Từ thông qua mạch thay đổi  $\Rightarrow$  xuất hiện dòng cảm ứng  $I_c$  trong mạch.

- Đưa nam châm lại gần hoặc xa hơn đều xuất hiện dòng điện cảm ứng
- Chiều của hai dòng điện 2 lần ngược nhau
- Nam châm dừng lại dòng cảm ứng bằng 0.



- Dòng cảm ứng xuất hiện trong mạch kín là kết quả của quá trình biến đổi từ thông qua mạch đó.
- Dòng cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ thông gửi qua mạch thay đổi.
- Cường độ dòng cảm ứng tỉ lệ thuận với tốc độ biến đổi của từ thông.
- Chiều dòng cảm ứng phụ thuộc vào từ thông gửi qua mạch tăng hay giảm.



## 2. Định luật Lentz

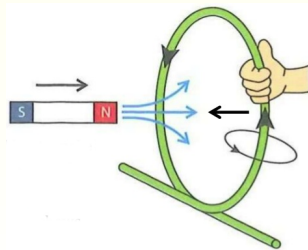


### Nội dung:

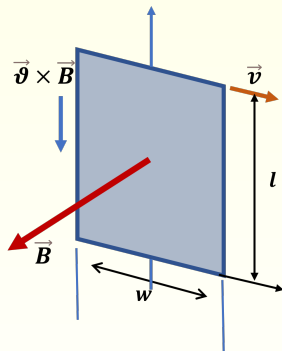
Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó gây ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã gây ra nó.

### Áp dụng:

- Khi cực Bắc (N) tiến vào vòng dây  $\Rightarrow$  từ thông  $\Phi_m$  do từ trường  $B$  của nam châm gửi qua cuộn dây có chiều từ trên xuống và tăng dần  $\Rightarrow$  xuất hiện dòng cảm ứng  $I_c \Rightarrow$  tạo ra  $B'$  cảm ứng ngược chiều  $B \Rightarrow$  từ thông  $\Phi'_m$  của  $B'$  chống lại sự tăng của  $\Phi_m \Rightarrow$  xác định chiều  $I_c$ .
- Rút thanh nam ra khỏi vòng dây  $\Rightarrow$  hiện tượng ngược lại.



- ❶ Suất điện động cảm ứng: là suất điện động gây ra dòng điện cảm ứng.
- ❷ Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ:
  - Dịch chuyển vòng dây dẫn kín trong B
  - Biến thiên từ thông gửi qua vòng dây trong thời gian dt:  $d\Phi_m \Rightarrow$  xuất hiện dòng cảm ứng  $I_c \leftrightarrow$  có một nguồn điện cảm ứng hay suất điện động cảm ứng  $\xi_c$  trong mạch
  - Công của từ lực tác dụng lên dòng điện cảm ứng  $I_c$



$$dA = I_c \cdot d\Phi_m$$

Theo định luật Lenz: từ lực tác dụng lên  $I_c$  phải ngăn cản sự di chuyển của vòng dây (nguyên nhân sinh ra  $I_c$ )  $\Rightarrow$  công cản. Công dịch chuyển vòng dây là:

$$dA' = -dA = -I_c \cdot d\Phi_m$$

### 3. Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ



Định luật bảo toàn năng lượng:  $dA'$  chuyển thành năng lượng của  $I_c$

$$dA' = -I_c \cdot d\Phi_m = \xi_c \cdot I_c \cdot dt$$

$$\xi_c = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$



#### Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ:

Suất điện động cảm ứng luôn luôn bằng về trị số nhưng ngược dấu với tốc độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

Định nghĩa đơn vị từ thông

- Nếu từ thông gửi qua diện tích mạch kín giảm từ giá trị  $d\Phi_m \rightarrow 0$

$$\xi_c = \frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{0 - \Phi_m}{\Delta t} = \frac{\Phi_m}{\Delta t} \Rightarrow \Phi_m = \xi_c \cdot \Delta t$$

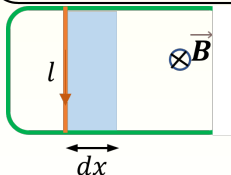
### 3. Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ



$$\Phi_m = \xi_c \cdot \Delta t$$

- Nếu  $\Delta t = 1s, \xi_c = 1V \Rightarrow \Phi_m = 1(V) \cdot 1(s) = 1Webe(Wb)$

Webe là từ thông gây ra trong một vòng dây dẫn bao quanh nó một sức điện động cảm ứng bằng 1 vôn khi từ thông đó giảm đều xuống giá trị 0 trong thời gian 1 giây.



- Thanh AB có chiều dài  $\ell$  dịch chuyển trong từ trường  $\vec{B} \rightarrow$  từ thông:

$$d\Phi = B\ell dx$$



## 4. Dòng điện xoáy (dòng điện Foucault)

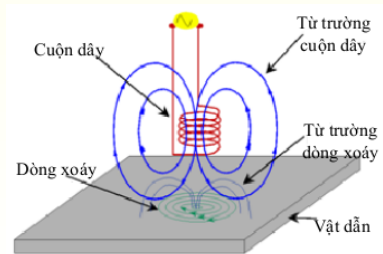
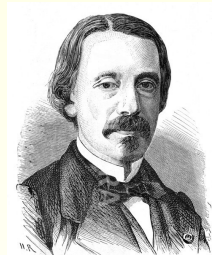
- Khi đặt trong từ trường biến thiên, trong khối vật dẫn sẽ xuất hiện dòng cảm ứng khép kín  $\Rightarrow$  dòng Foucault hay dòng điện xoáy:

$$I_F = \frac{\xi_F}{R}$$

$R$ : điện trở khối vật dẫn (thường nhỏ)

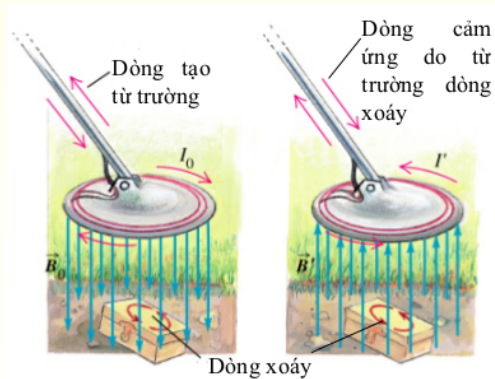
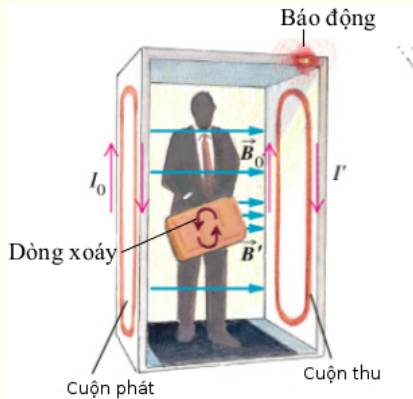
Hệ quả:

- Xuất hiện từ trường riêng của dòng cảm ứng  $I_F$
- Năng lượng dòng Foucault xuất hiện trong khối vật dẫn sẽ bị tiêu tán dưới dạng nhiệt  $\Rightarrow$  tiêu hao năng lượng vô ích  $\Rightarrow$  giảm hiệu suất thiết bị (đặc biệt với các động cơ).



## 4. Dòng điện xoáy (dòng điện Foucault)

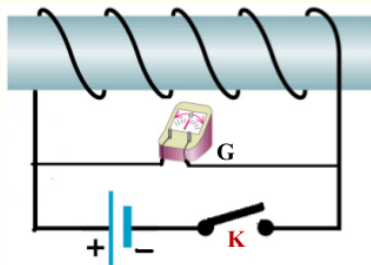
Do có từ trường của dòng cảm ứng xuất hiện trên bề mặt vật dẫn  $\Rightarrow$  ứng dụng trong các thiết bị dò tìm kim loại.



# 1. Hiện tượng tự cảm

Mạch điện:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{– ống dây có lõi sắt mắc || điện kế G} \\ \text{– Nguồn điện một chiều và khóa K} \\ \text{– Lúc đầu mạch đóng kín} \end{array} \right.$

- Ngắt mạch  $\Rightarrow$  từ thông qua cuộn dây giảm từ  $\Phi_m \rightarrow 0$ : Xuất hiện dòng cảm ứng  $I_c$  ngược chiều dòng ban đầu (đ/l Lenz)  $\Rightarrow$  kim của G lệch theo chiều ngược lại.
- Sau khoảng thời gian  $t \Rightarrow$  kim  $G \rightarrow 0$ .
- Đóng mạch  $\Rightarrow$  quá trình ngược lại .



**Dòng tự cảm :** dòng điện sinh ra trong một mạch điện khi từ thông gửi qua mạch bởi dòng điện của mạch đó thay đổi.

## 2. Suất điện động tự cảm. Hệ số tự cảm



### Định nghĩa:

Suất điện động gây ra dòng điện tự cảm được gọi là suất điện động tự cảm.

$$\xi_{tc} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

$$\begin{cases} B \sim I \\ \Phi_m \sim B \end{cases} \Rightarrow \Phi_m \sim I = L.I \quad (L : \text{Hệ số tự cảm})$$

$L$  phụ thuộc hình dạng, kích thước của mạch điện và vào tính chất của môi trường bao quanh mạch điện.

- Với mạch đứng yên và giữ nguyên hình dạng:

$$\xi_{tc} = -\frac{d(L.I)}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\xi_{tc} = -L \frac{dI}{dt}$$

Trong mạch điện đứng yên và không thay đổi hình dạng, sức điện động tự cảm tỷ lệ nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên cường độ dòng điện trong mạch.

- $\xi_{tc} \sim L \Rightarrow$  là **số đo mức quán tính** của mạch đối với sự biến đổi của dòng điện chạy trong mạch đó.

$$\Phi_m = L.I \Rightarrow L = \frac{\Phi_m}{I}$$

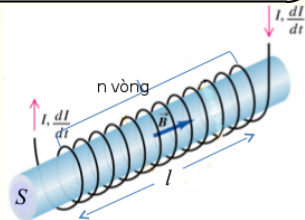
Trong hệ SI:  $1H = \frac{1Wb}{1A}$

Hệ số tự của một mạch điện là đại lượng vật lý về trị số bằng từ thông do chính dòng điện ở trong mạch gửi qua diện tích của mạch khi dòng điện trong mạch có cường độ bằng một đơn vị.

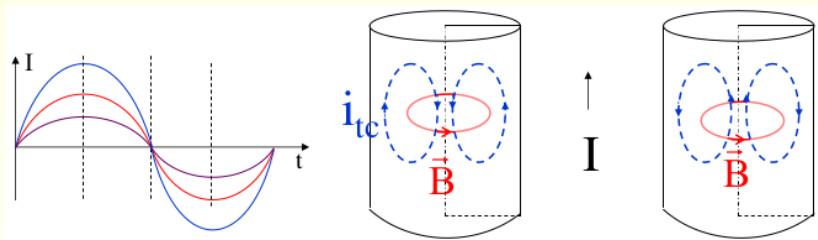
- Trường hợp ống dây có lõi sắt:

$$B = \mu_0 \mu n I = \mu_0 \mu \frac{n}{\ell} I$$

$$L = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{n \cdot B \cdot S}{I} = \frac{\mu_0 \mu n^2 \cdot S \cdot I}{I \cdot \ell} = \mu_0 \mu \frac{n^2}{\ell} S$$



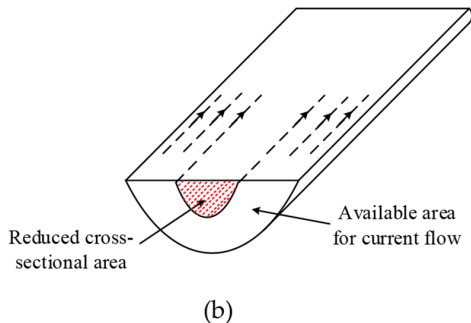
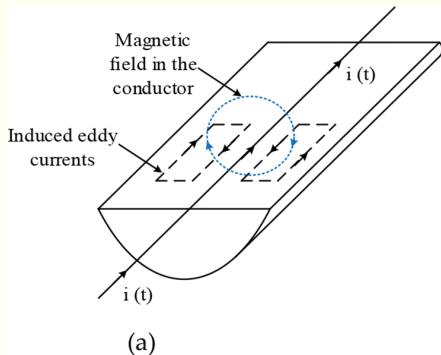
# Hiệu ứng bề mặt: Dòng cao tần chỉ chạy trên bề mặt



- Trong 1/4 chu kỳ đầu dòng  $I$  tăng, từ thông qua dây dẫn tăng  $\rightarrow$  sinh ra dòng  $I_{tc}$  có chiều sao cho từ trường của nó chống lại  $\vec{B}$  tăng  $\Rightarrow$  **bề mặt dòng tăng** phía trong **lõi dòng giảm**
- Trong 1/4 chu kỳ tiếp dòng  $I$  giảm, từ thông qua dây dẫn giảm  $\rightarrow$  sinh ra dòng  $I_{tc}$  có chiều sao cho từ trường của nó chống lại sự giảm của từ thông  $\Rightarrow$  **bề mặt dòng giảm mạnh** phía trong **lõi dòng giảm yếu hơn**
  - Tần số  $f = 10^3$  Hz  $\Rightarrow$  dòng tự cảm chỉ chạy trong lớp vật liệu bề mặt  $\sim 2\text{mm}$
  - Tần số  $f = 10^5$  Hz  $\Rightarrow$  dòng tự cảm chỉ chạy trong lớp vật liệu bề mặt  $\sim 0,2\text{mm}$

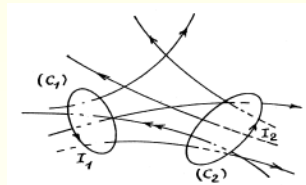
Ứng dụng trong công nghệ :

- Dùng dây dẫn rỗng để tải dòng cao tần.
- Kỹ thuật tôi bề mặt hợp kim bằng dòng cao tần.





- Hai mạch điện kín  $(C_1)$  và  $(C_2)$  đặt cạnh nhau, trong đó có các dòng điện  $I_1, I_2$
- $I_1 \in (C_1)$  thay đổi  $\Rightarrow \Phi_{m12} \in I_1$  gửi qua mạch  $(C_2)$  sẽ biến đổi  $\Rightarrow$  suất điện động cảm ứng  $\in (C_2) \Leftrightarrow I_{c.u.}$   
 $\Rightarrow$  xuất hiện suất điện động cảm ứng trong  $(C_1)$



$\Leftrightarrow$  Từ thông do mạch điện này gửi qua mạch điện kia cũng biến thiên, tạo nên trong mỗi khung một dòng điện cảm ứng.

Suất điện động gây ra dòng điện hồ cảm được gọi là suất điện động hồ cảm.

- $\Phi_{m12} \in I_1 \rightarrow (C_2), \Phi_{m21} \in I_2 \rightarrow (C_1)$

$$\Rightarrow \Phi_{m12} = M_{12}I_1, \Phi_{m21} = M_{21}I_2$$

- Chứng minh được:

$$M_{12} = M_{21} = M$$

- Suất điện động xuất hiện trong mạch ( $C_1$ ) và ( $C_2$ )

$$\xi_{hc1} = -\frac{d\Phi_{m12}}{dt} = -M\frac{dI_1}{dt}$$

$$\xi_{hc2} = -\frac{d\Phi_{m21}}{dt} = -M\frac{dI_2}{dt}$$

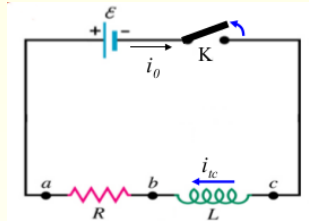
$$[M] = H$$

- Ứng dụng: chế tạo máy biến thế

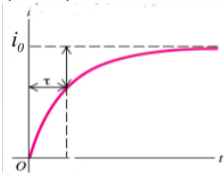
# 1. Năng lượng từ trường của ống dây điện

Mạch điện có khóa K:

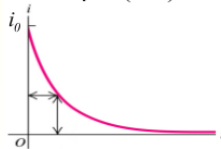
$$\text{Mạch điện: } \begin{cases} - \text{Suất điện động } \mathcal{E}, \text{ dòng } i_0 \\ - \text{Ống dây hệ số tự cảm } L \\ - \text{Điện trở } R. \end{cases}$$



Khi đóng mạch  $\Rightarrow i \uparrow \Rightarrow B$  và  $\Phi_m$  gửi qua  $L \uparrow \Rightarrow i_{tc}$  ngược chiều  
 $i_0 \Rightarrow i = i_0 - i_{tc} \Rightarrow$  năng lượng nguồn ( $\sim i_0^2$ ) > năng lượng mạch ( $\sim i^2$ )



Khi ngắt mạch  $\Rightarrow i \downarrow \Rightarrow B$  và  $\Phi_m$  gửi qua  $L \downarrow \Rightarrow i_{tc}$  cùng chiều  
 $i_0 \Rightarrow i = i_0 + i_{tc} \Rightarrow$  năng lượng nguồn ( $\sim i_0^2$ ) < năng lượng mạch ( $\sim i^2$ )



# Năng lượng từ trường của một ống dây

- Áp dụng định luật Ohm trong quá trình hình thành dòng điện  $i$ :

$$\xi + \xi_{tc} = R.i$$

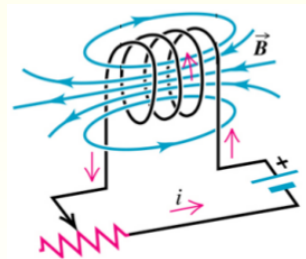
$$\Leftrightarrow \xi = R.i + L \frac{di}{dt}$$

- Nhân 2 vế với  $i dt$

$$\xi i dt = R.i^2 dt + L.i di$$

(Năng lượng nguồn = năng lượng nhiệt + năng lượng từ trường)

- Năng lượng từ trường khi thiết lập dòng điện trong ống dây:  $dW = L.i di$



## 2. Mật độ năng lượng từ trường

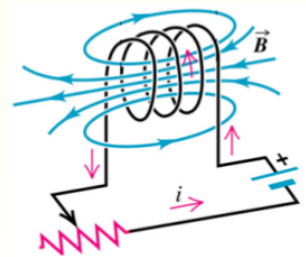
Mật độ năng lượng từ trường trong ống dây có thể tích:  $V = \ell.S$ :

$$w_m = \frac{W}{V} = \frac{\frac{1}{2} L I^2}{\ell.S} = \frac{\frac{1}{2} (\mu\mu_0 \frac{n^2 S}{\ell}) I^2}{\ell.S} = \frac{1}{2} \mu\mu_0 \frac{n^2}{\ell^2} I^2$$

$$w_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0}$$

trong ống dây:  $B = \text{const}$

- Áp dụng cho từ trường bất kỳ



Chia không gian từ trường thành những thể tích vô cùng nhỏ  $dV$  sao cho  $B = \text{const}$  trong mỗi  $dV$

- Năng lượng từ trường trong mỗi thể tích  $dV$ :

$$dW_m = w_m dV = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu \mu_0} dV$$

- Năng lượng từ trường trong cả không gian:

$$W_m = \int_V dW_m = \int_V \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu \mu_0} dV$$

$$W_m = \frac{1}{2} \int_V BH dV$$

$\Leftrightarrow$

$$W_e = \frac{1}{2} \int_V ED dV$$