

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HCM  
TRƯỜNG ĐH KHOA HỌC TỰ NHIÊN

# BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG 2

## ĐIỆN TỪ VÀ QUANG

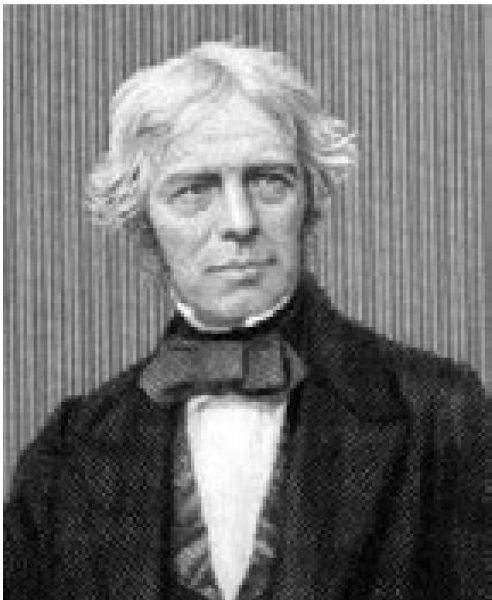
### (PHY00002)

NGUYỄN VĂN THUẬN  
Email: [nvthuan@hcmus.edu.vn](mailto:nvthuan@hcmus.edu.vn)

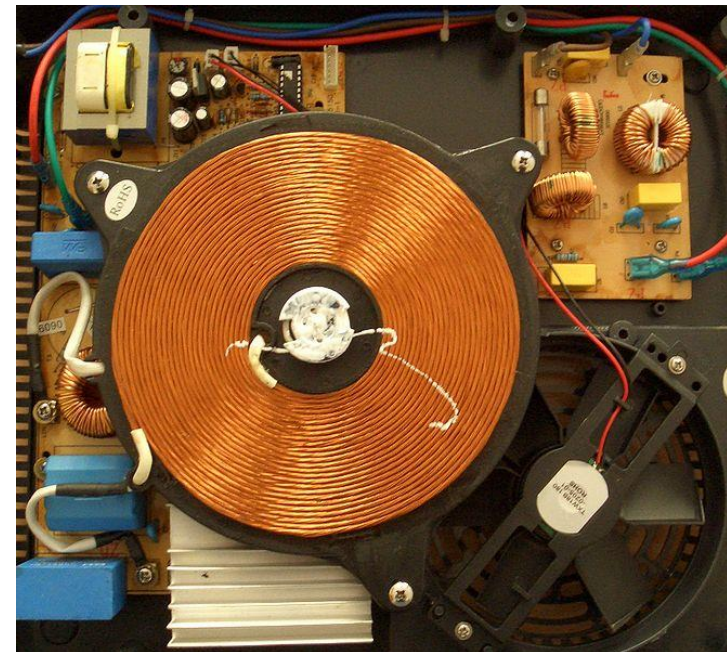
HỌC ĐỂ BIẾT, HỌC ĐỂ LÀM, HỌC ĐỂ CHUNG SỐNG,  
HỌC ĐỂ KHẲNG ĐỊNH BẢN THÂN

# CHƯƠNG 4

## CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ



**Michael Faraday**  
(1791 – 1867)





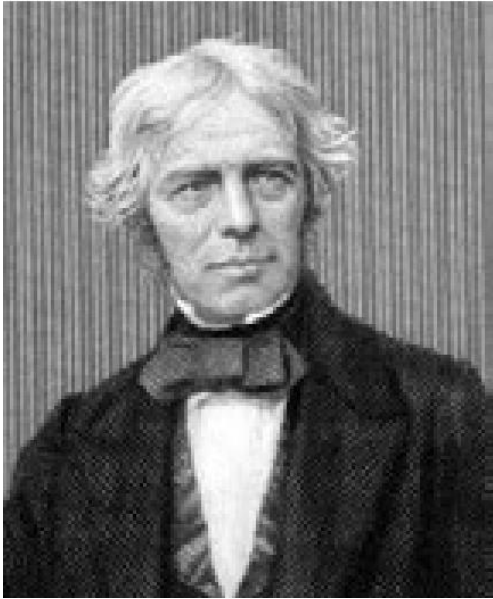
# NỘI DUNG

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ
2. Hiện tượng tự cảm
3. Hiện tượng hồ cảm
4. Năng lượng từ trường
5. Ứng dụng cảm ứng điện từ

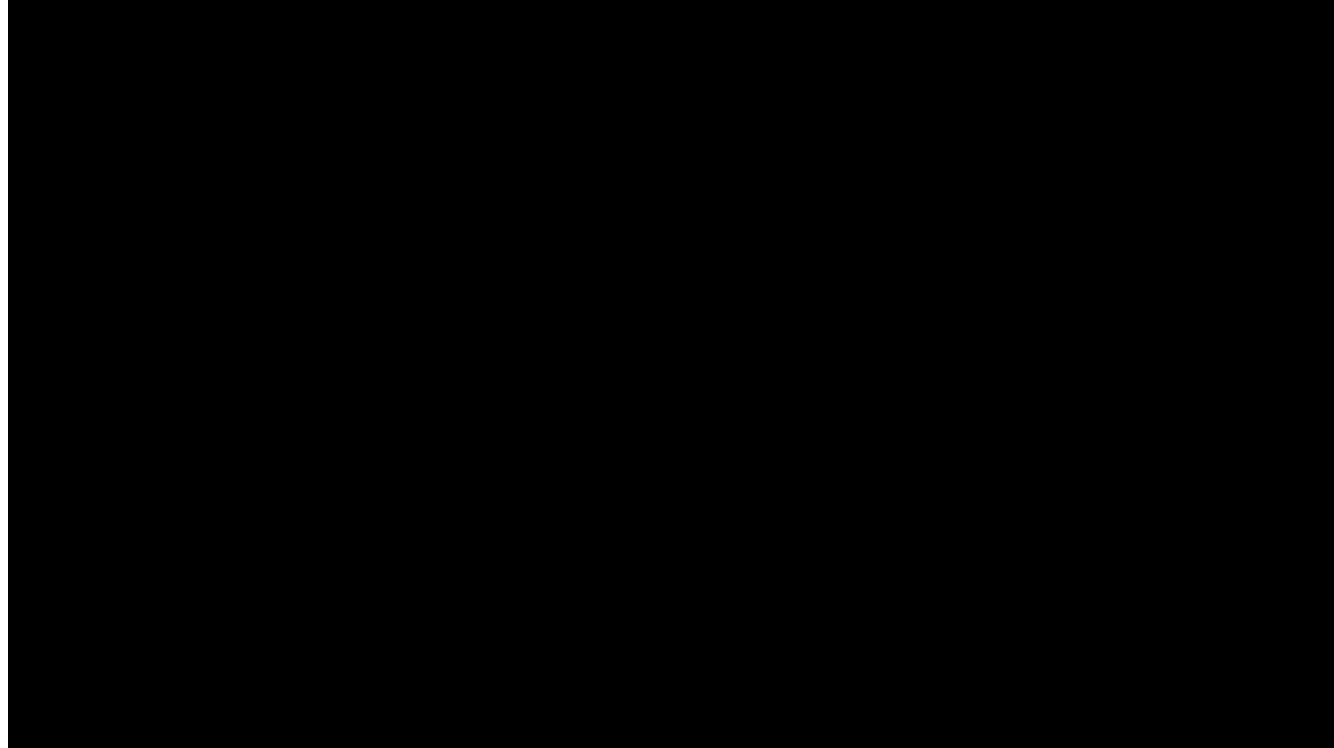


# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

## 1.1. Thí nghiệm Faraday về cảm ứng điện từ



**Michael Faraday**  
(1791 – 1867)

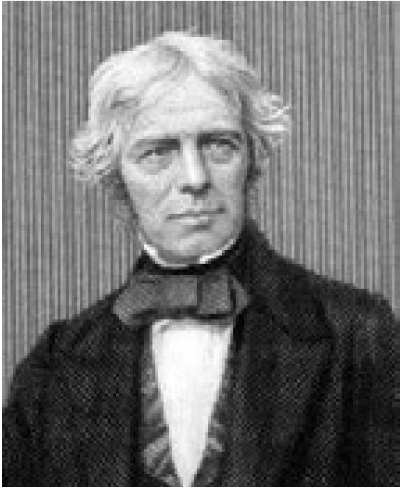


- Khi nam châm di chuyển thì xuất hiện dòng điện.
- Khi nam châm đứng yên thì dòng điện biến mất.

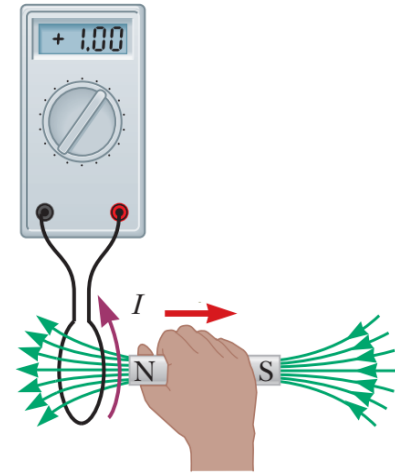
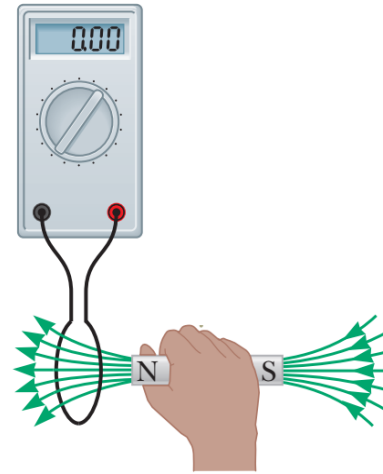
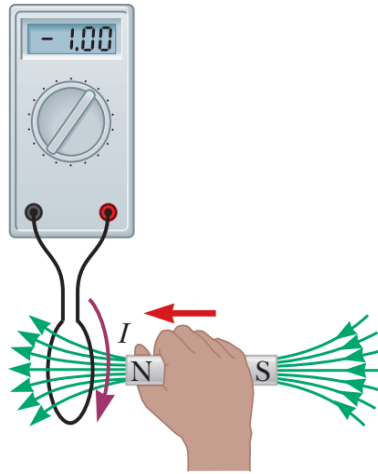


# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

## 1.1. Thí nghiệm Faraday về cảm ứng điện từ



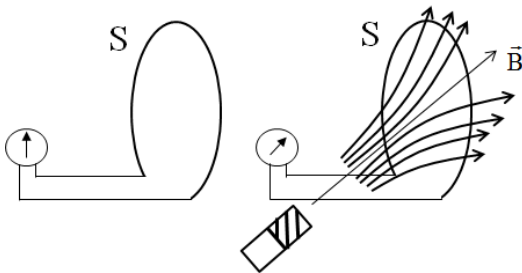
**Michael Faraday**  
(1791 – 1867)



Từ thông: 
$$\Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B dS \cos \alpha$$

Hiện tượng cảm ứng điện từ xảy ra khi:

- ①  $\vec{B}$  thay đổi
- ② Diện tích  $S$  của vòng dây thay đổi
- ③ Vị trí tương đối của vòng dây và  $\vec{B}$

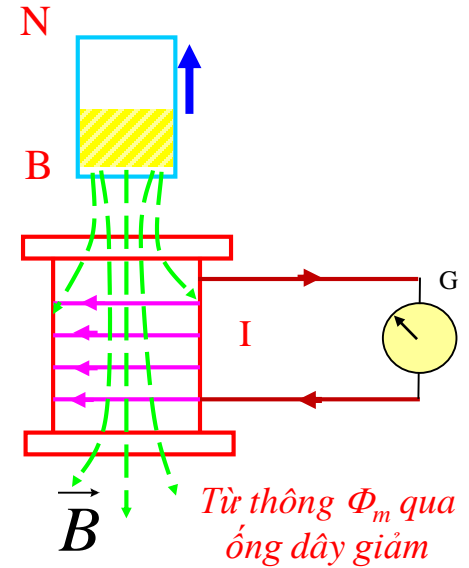
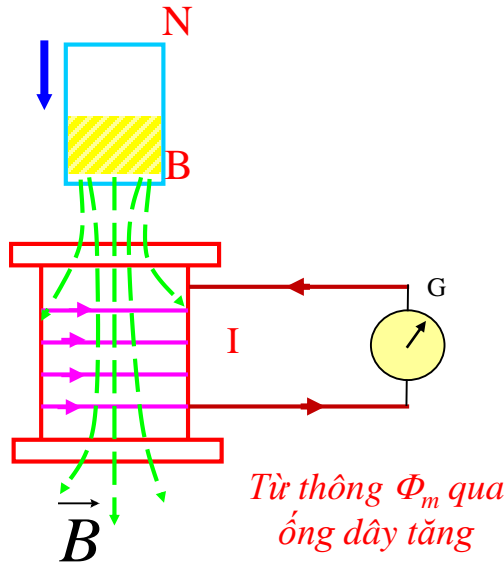




# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

## 1.2. Định luật Faraday

- Thí nghiệm cho thấy dòng điện cảm ứng phụ thuộc tốc độ thay đổi của từ thông, đồng thời chống lại sự thay đổi của từ thông.



- Khi đó, định luật Faraday dưới dạng toán học:

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

$\varepsilon_c$  là sức điện động [V].

$\Phi_m$  là từ thông [Wb], với:  $d\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S}$

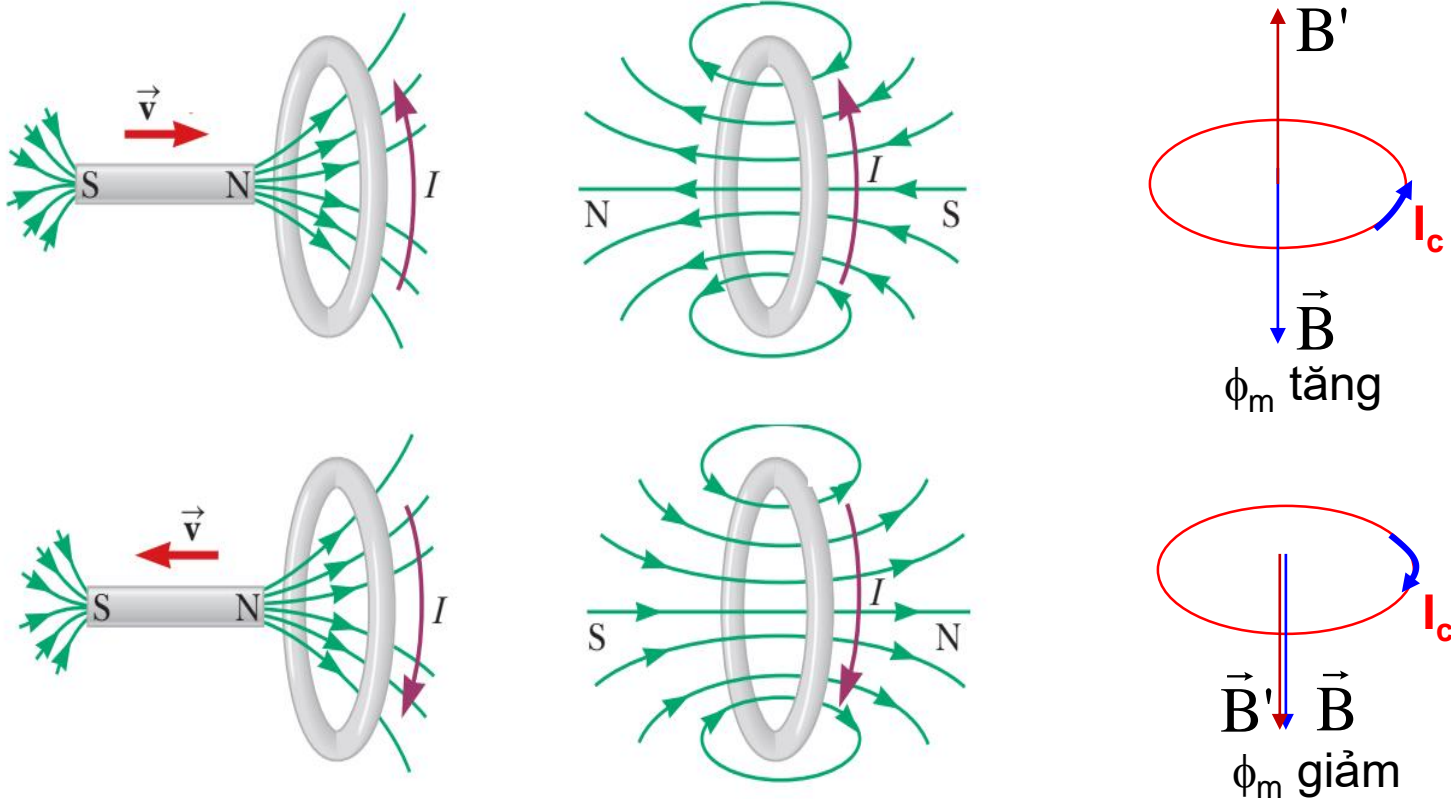




# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

## 1.3. Định luật Lenz về chiều dòng $I_c$

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





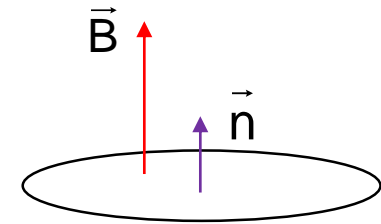
# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

**Ví dụ 4.1:** Một khung dây tròn đường kính 20 cm, được quấn bởi 200 vòng dây đồng rất mảnh. Khung dây được đặt trong một từ trường đều có đường sức từ vuông góc với mặt phẳng vòng dây, nhưng độ lớn của cảm ứng từ biến thiên theo thời gian:  $B = 0,02t + 0,005t^2$  (các đơn vị đo trong hệ SI). Suất điện động cảm ứng trên cuộn dây vào lúc  $t = 8$  s có độ lớn bao nhiêu?

## Bài giải:

Từ thông qua khung dây:

$$\begin{aligned}\Phi_m &= \vec{B} \cdot \vec{S} = N \vec{B} \cdot \vec{S}_0 = NBS_0 \quad (\vec{n} \nearrow \nearrow \vec{B}) \\ &= N\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 (0,02t + 0,005t^2) \quad \text{Wb}\end{aligned}$$



Theo định luật Faraday, sức điện động cảm ứng:

$$\varepsilon_c = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = \frac{d}{dt} \left[ N\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 (0,02t + 0,005t^2) \right] = N\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 (0,02 + 0,01t)$$

Thế số, tính ra kết quả...





# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

**Ví dụ 4.2:** Đặt một khung dây ABCD có cạnh 10 cm và 20 cm gần một dây dẫn mang dòng điện  $I = t^2 + 2t$  (A). Biết ban đầu cạnh gần nhất của khung dây cách dây dẫn đoạn 5 cm, điện trở khung dây là 2 Ohm.

- Hãy tính từ thông qua khung dây ABCD.
- Tính sức điện động cảm ứng qua khung dây tại thời điểm  $t = 2$  s.
- Tính cường độ dòng điện cảm ứng và chiều của nó tại thời điểm  $t = 2$  s.

## Bài giải:

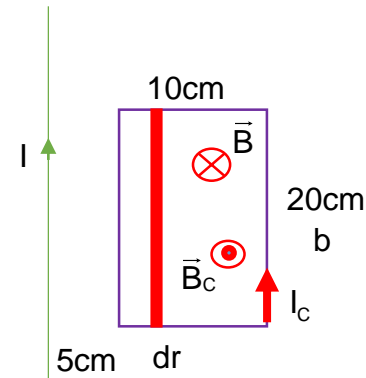
Chia khung dây thành những thanh  $dr$  vô cùng bé sao cho cảm ứng từ trên nó là không đổi:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

Từ thông qua thanh (chọn  $\vec{n} \nearrow \nearrow \vec{B}$ ):  $d\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \cdot dS = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} b dr = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \frac{dr}{r}$

Từ thông qua khung dây:  $\Phi_m = \int d\Phi_m = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \int_5^{15} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln 3I = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln 3(t^2 + 2t)$

Theo định luật Faraday:  $\varepsilon_c = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln 3(2t + 2)$

Tại  $t = 2$  s thì:  $\varepsilon_c = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln 3(2 \cdot 2 + 2) = \dots$  Theo định luật Ohm:  $I_c = \frac{\varepsilon_c}{R} = \dots$



Khi  $t$  tăng thì từ thông tăng, theo định luật Lenz, dòng cảm ứng tạo ra sao cho:  $(\vec{B}_c \nearrow \nearrow \vec{B})$ . Theo quy tắc bàn tay phải, dòng điện cảm ứng ngược chiều kim đồng hồ



# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

**Ví dụ 4.3:** Đoạn dây dẫn AB chuyển động vuông góc với các đường sức từ của một từ trường đều  $B = 1\text{T}$  với vận tốc không đổi  $v = 2\text{m/s}$  và luôn tiếp xúc với một khung dây dẫn như hình dưới. Biết  $AB = 50\text{cm}$ , điện trở của đoạn AB là  $R_{AB} = 5\Omega$ , điện trở của các đoạn dây khác là không đáng kể. Xác định chiều và độ lớn của dòng điện cảm ứng trên đoạn AB.

## Bài giải:

Từ thông gửi qua mạch tại thời điểm  $t$

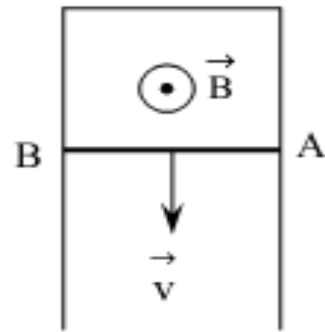
$$\phi_m = BS = B \times AB \times y$$

Suất điện động xuất hiện trong khung

$$\varepsilon_c = \left| -\frac{d\phi_m}{dt} \right| = B \times AB \times \frac{dy}{dt} = B \times AB \times v$$

Dòng điện xuất hiện trong khung

$$I_c = \frac{\varepsilon_c}{R} = \frac{B \times AB \times v}{R}$$





# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

**Ví dụ 4.4:** Cho thanh dẫn AB dài  $l$  chuyển động thẳng trong từ trường đều  $\vec{B}$  với vận tốc  $\vec{v}$  như hình vẽ.

a) Tính hiệu điện thế giữa 2 đầu thanh.

b) giả sử thanh dẫn có điện trở  $R$ . Tính cường độ dòng cảm ứng trong thanh dẫn

**Bài giải:**

Giả sử trong thời gian  $dt$  thanh quét 1 đoạn  $dx$

Từ thông gửi qua thanh:

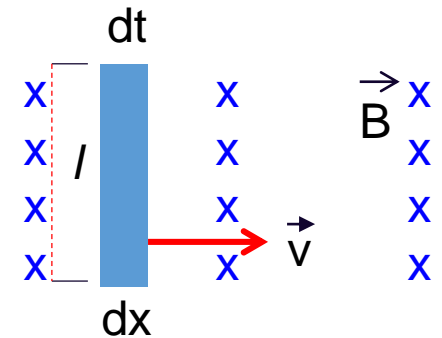
$$d\phi_m = B.dS = B.l.dx$$

Hiệu điện thế:

$$U = \varepsilon_c = \left| - \frac{d\phi_m}{dt} \right| = B.l. \frac{dx}{dt} = B.l.v$$

Cường độ dòng điện qua mạch

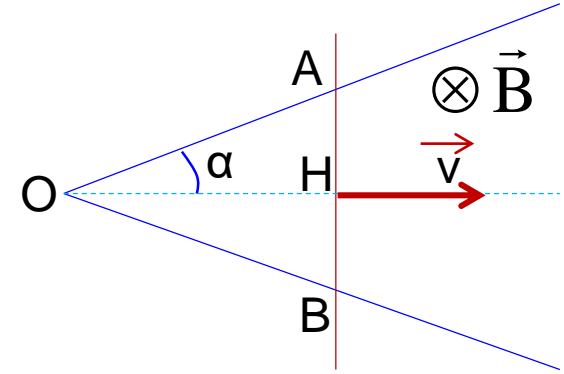
$$I_c = \frac{U}{R}$$





# 1. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

**Ví dụ 4.5:** Thanh AB di chuyển từ O với vận tốc không đổi  $v$  trong từ trường đều  $\vec{B}$ . Sau thời  $t$ , thanh AB đi được đoạn OH. **Tính cường độ dòng điện cảm ứng  $I_c$  và chiều của nó.** Biết  $R_0$  là điện trở có trên một đơn vị chiều dài  $\Delta OAB$



**Bài giải:**

Từ thông gửi qua mạch kín OAB:

$$\begin{aligned}\Phi_m &= BS_{OAB} = B \frac{1}{2} OH \times AB = B \times OH \times AH = B \times OH \times OH \times \tan \alpha = B \times (OH)^2 \times \tan \alpha \\ &= B \times (v.t)^2 \times \tan \alpha\end{aligned}$$

Sức điện động cảm ứng:  $\varepsilon_c = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = 2B \times (v^2 t) \times \tan \alpha$

Cường độ dòng điện cảm ứng:

$$I_c = \frac{\varepsilon_c}{R} = \frac{2B \times (v^2 t) \times \tan \alpha}{R_0 \times \text{chuvi}(\Delta OAB)} = \frac{2B \times (v^2 t) \times \tan \alpha}{R_0 \times (2AH + 2OA)} = \frac{B \times v(OH) \times \tan \alpha}{R_0 \times (OH \cdot \tan \alpha + \frac{OH}{\cos \alpha})} = \frac{B \times v \times \sin \alpha}{R_0 \times (1 + \sin \alpha)}$$

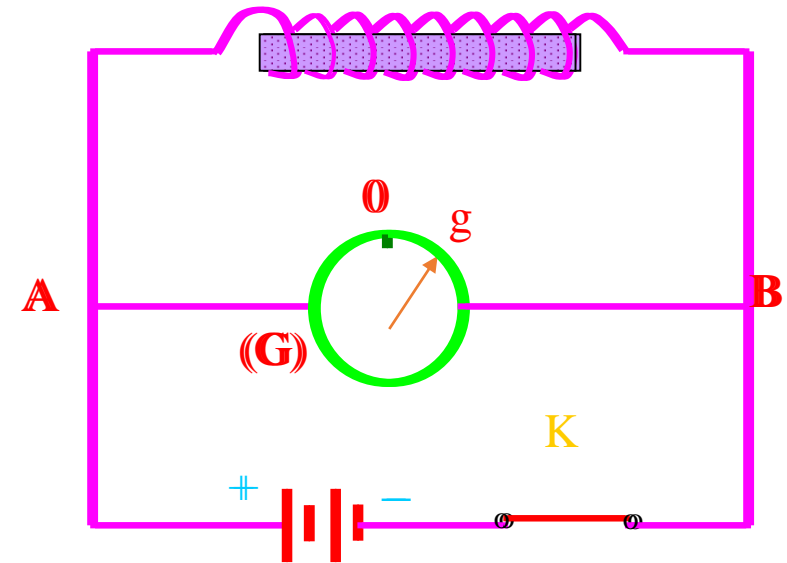
Chiều của  $I_c$  từ B  $\rightarrow$  A



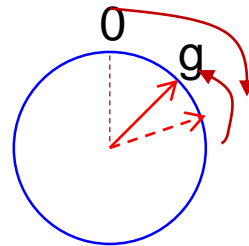
## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.1. Thí nghiệm

Dòng điện được sinh ra trong mạch, do sự cảm ứng của dòng điện trong chính mạch đó được gọi là dòng điện tự cảm và hiện tượng nói trên gọi là hiện tượng tự cảm



□ Khi khóa K đóng:



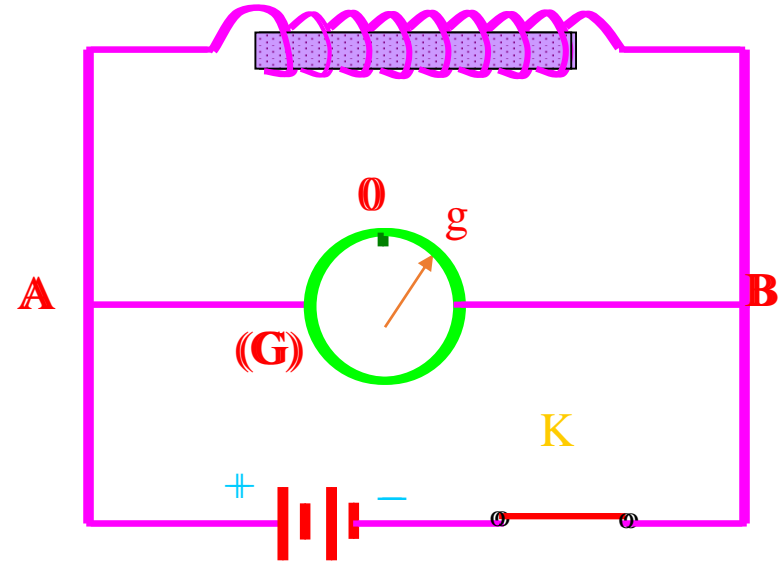
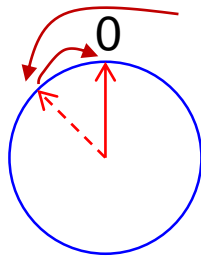
$i_0$  qua ống dây tăng  $\rightarrow$  xuất hiện  $i_{tc}$  ngược chiều  $i_0$   
 $\rightarrow i_{tc}$  đi từ A  $\rightarrow$  B



## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.1. Thí nghiệm

□ Khi khóa K ngắt:



$i_o$  qua ống dây giảm  $\rightarrow$  xuất hiện  $i_{tc}$  cùng chiều  $i_o$   
 $\rightarrow i_{tc}$  đi từ B  $\rightarrow$  A



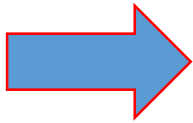


## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.2. Sức điện động tự cảm

Suất điện động tự cảm:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d\Phi_m}{dI} \frac{dI}{dt} = \varepsilon_{tc}$$



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

Với:  $L = \frac{d\Phi_m}{dI}$

**L là hệ số tỉ lệ, hay còn gọi là hệ số tự cảm của cuộn dây. Đơn vị: Henry (H)**



## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.2. Sức điện động tự cảm

**Ví dụ 4.6:** một solenoid rỗng có  $N$  vòng và dài  $l$ . Xem  $l$  lớn hơn nhiều so với bán kính của solenoid.

- 1) Tìm độ tự cảm  $L$  của ống dây
- 2) Nếu ống dây có 300 vòng, chiều dài của ống là 25 cm và diện tích tiết diện ngang của ống là  $4 \text{ cm}^2$ . Tính  $L = ?$
- 3) Nếu tốc độ giảm của dòng điện qua ống là  $50 \text{ A/s}$ , hãy tính sđđ tự cảm của ống dây.

**Đáp số:**

**Bài giải**

$$1) \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot S$$

$$2) \quad L = 0,181 \text{ (mH)}$$

$$3) \quad \varepsilon_{tc} = 9,05 \text{ (mV)}$$

1) Từ thông gửi qua ống dây

$$\phi_m = NBS = Li$$

$$\Leftrightarrow N \cdot \mu_0 \frac{N}{l} i \cdot S = Li \quad \Rightarrow \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot S$$



## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.2. Sức điện động tự cảm

**Ví dụ 4.6:** một solenoid rỗng có  $N$  vòng và dài  $l$ . Xem  $l$  lớn hơn nhiều so với bán kính của solenoid.

- 1) Tìm độ tự cảm  $L$  của ống dây
- 2) Nếu ống dây có 300 vòng, chiều dài của ống là 25 cm và diện tích tiết diện ngang của ống là  $4 \text{ cm}^2$ . Tính  $L = ?$
- 3) Nếu tốc độ giảm của dòng điện qua ống là  $50 \text{ A/s}$ , hãy tính suất điện động tự cảm của ống dây.

**Đáp số:**

**Bài giải**

$$1) \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot S$$

$$2) \quad L = 0,181 \text{ (mH)}$$

$$3) \quad \varepsilon_{tc} = 9,05 \text{ (mV)}$$

$$2) \quad \text{Thay số: } L = \mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot S = 0,181 \text{ mH}$$

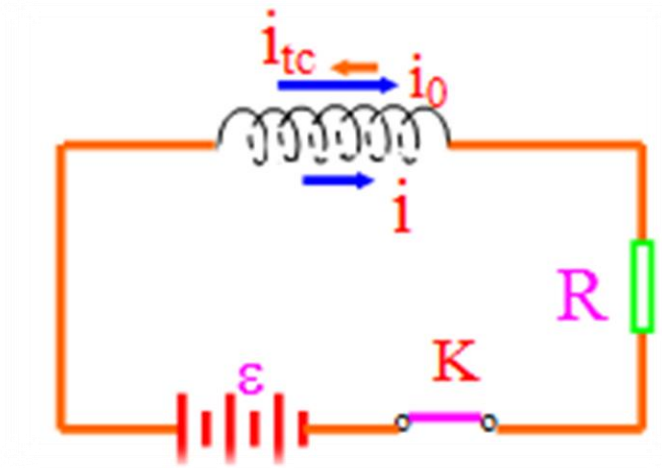
3) Suất điện động tự cảm

$$\varepsilon_{tc} = -L \frac{di}{dt} = -L \times (-50) = 50L = 9,05 \text{ mV}$$



## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.3. Mạch RL



#### 1) Khi K đóng

Áp dụng định luật Ohm

$$-\varepsilon_{tc} + Ri - \varepsilon = 0 \Rightarrow \varepsilon - Ri - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-R.t/L}) = I(1 - e^{-t/\tau_L})$$

#### 2) Khi K mở

$$-\varepsilon_{tc} + Ri = 0 \Rightarrow Ri + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R} e^{-R.t/L} = I e^{-t/\tau_L}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$



Cường độ ổn định (cực đại)

$$\tau_L = \frac{L}{R}$$



Hằng số thời gian (thời gian tự cảm)



## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.3. Mạch RL

#### Ví dụ 4.7:

Cho mạch điện RL như hình vẽ. Cho biết  $L = 7,0\text{H}$ ,  $R = 9,0\Omega$  và  $\varepsilon = 120\text{V}$ . Tính s.đ.đ tự cảm tại thời điểm  $0,2\text{s}$  kể từ khi khóa S đóng.

Đáp số:  $\varepsilon_{tc} = 92,8 \text{ V}$

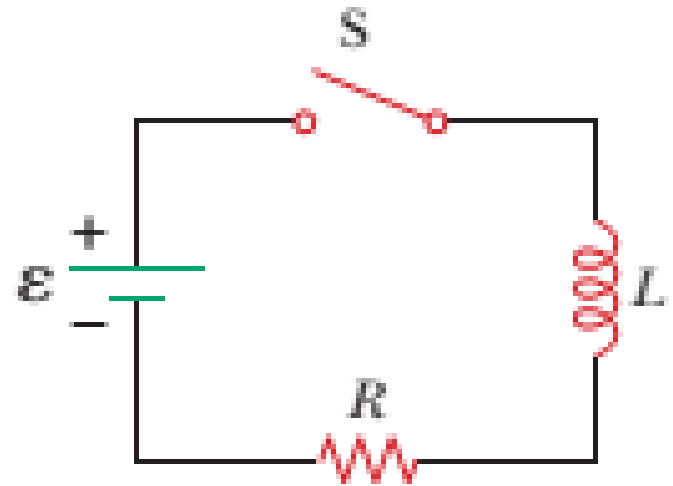
#### Bài giải

S đóng, cường độ dòng điện qua mạch:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-R.t/L})$$

➡ Suất điện động tự cảm

$$\varepsilon_{tc} = \left| -L \frac{di}{dt} \right| = \left| -L \times \frac{\varepsilon}{R} \times \frac{R}{L} e^{-Rt/L} \right| = \varepsilon e^{-Rt/L}$$





## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.3. Mạch RL

#### Ví dụ 4.8:

Xét mạch RL như hình vẽ, biết  $L = 8,0\text{mH}$ ,  $R = 4,0\Omega$  và  $\varepsilon = 6,0\text{V}$ . (a) Tính hằng số thời gian tự cảm. (b) Tính dòng điện trong mạch tại thời điểm  $250\mu\text{s}$  kể từ khi khóa S đóng. (c) Tính cường độ dòng điện cực đại trong mạch. (d) Sao khoảng thời gian bao lâu thì dòng điện bằng 80% giá trị cực đại của nó?

Đáp số: a)  $\tau_L = 2\text{ms}$ ; b)  $i = 0,176\text{ A}$ ; c)  $I = 1,5\text{ A}$ ; d)  $t = 3,22\text{ ms}$

#### Bài giải

a) Thời gian tự cảm  $\tau_L = \frac{L}{R}$

b) Cường độ dòng điện lúc S đóng  $i = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-R \cdot t / L})$

c) Cường độ dòng điện cực đại  $I = \frac{\varepsilon}{R}$





## 2. HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

### 2.3. Mạch RL

#### Ví dụ 4.8:

Xét mạch RL như hình vẽ, biết  $L = 8,0\text{mH}$ ,  $R = 4,0\Omega$  và  $\varepsilon = 6,0\text{V}$ . (a) Tính hằng số thời gian tự cảm. (b) Tính dòng điện trong mạch tại thời điểm  $250\mu\text{s}$  kể từ khi khóa S đóng. (c) Tính cường độ dòng điện cực đại trong mạch. (d) Sao khoảng thời gian bao lâu thì dòng điện bằng 80% giá trị cực đại của nó?

Đáp số: a)  $\tau_L = 2\text{ms}$ ; b)  $i = 0,176\text{ A}$ ; c)  $I = 1,5\text{ A}$ ; d)  $t = 3,22\text{ ms}$

#### Bài giải

d) Thời gian mà  $i = 80\%I$

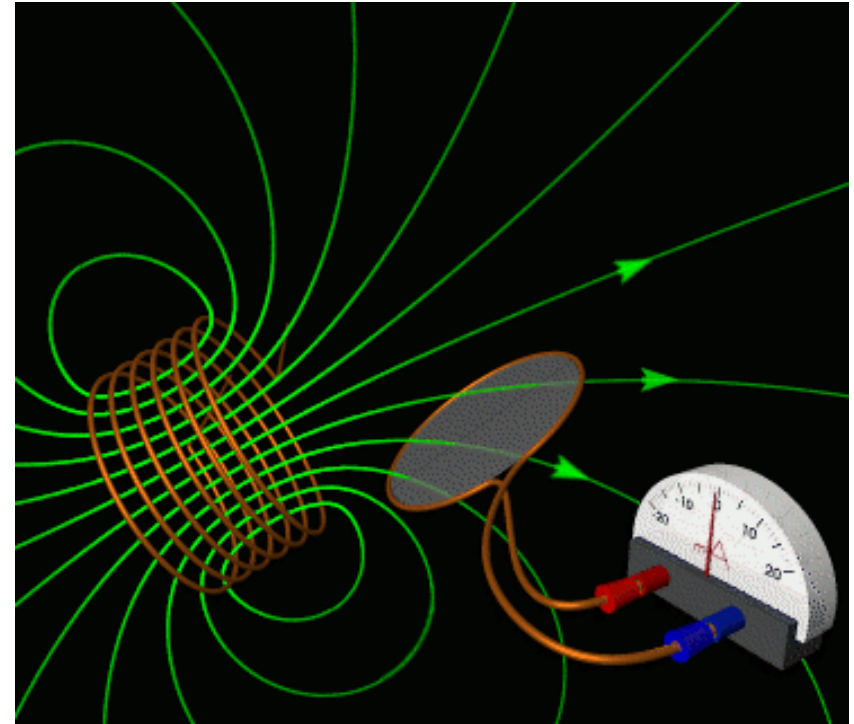
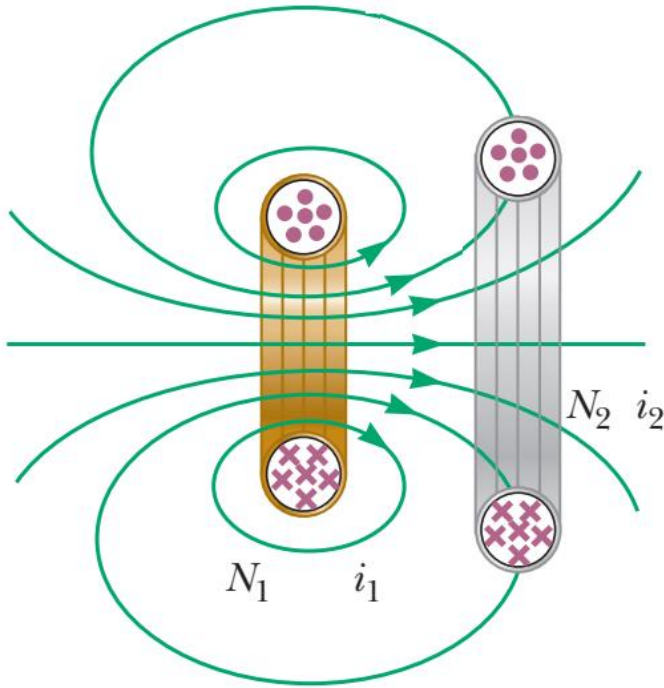
$$i = I(1 - e^{-R \cdot t / L}) = 0,8I \quad \Rightarrow \quad 1 - e^{-R \cdot t / L} = 0,8 \Rightarrow e^{-R \cdot t / L} = 0,2$$

$$\Rightarrow t = -\frac{L}{R} \ln(0,2)$$



### 3. HIỆN TƯỢNG HỖ CẢM

#### 3.1. Thí nghiệm

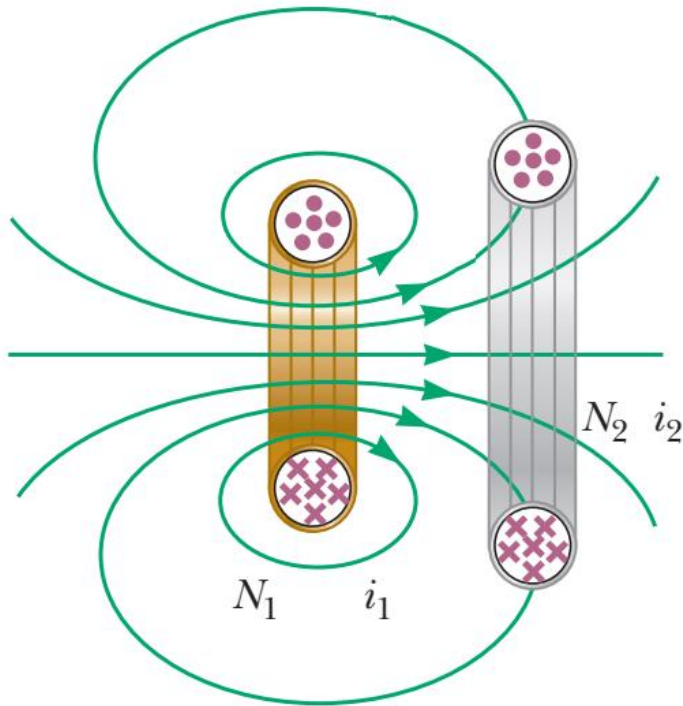


□ Hiện tượng cường độ dòng điện trong một mạch bị biến đổi làm xuất hiện dòng điện cảm ứng trong mạch kia, dòng điện này được gọi là dòng điện hồ cảm.



### 3. HIỆN TƯỢNG HỖ CẢM

#### 3.2. Sức điện động hồ cảm



▪  $M_{12} = M_{21} = M$  (Henry): hệ số hồ cảm của hai mạch.

□ Sức điện động hồ cảm trong ( $C_2$ ):

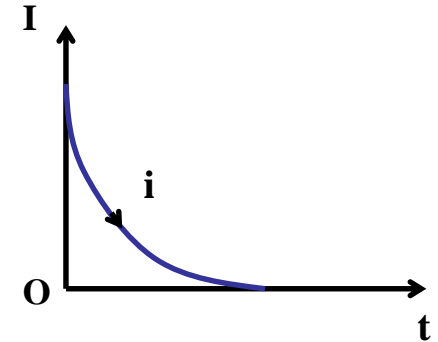
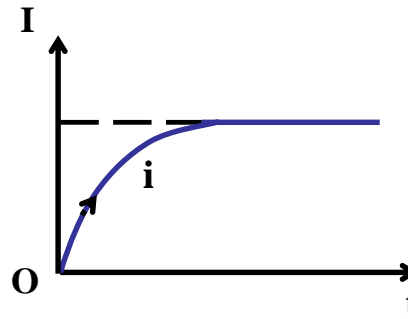
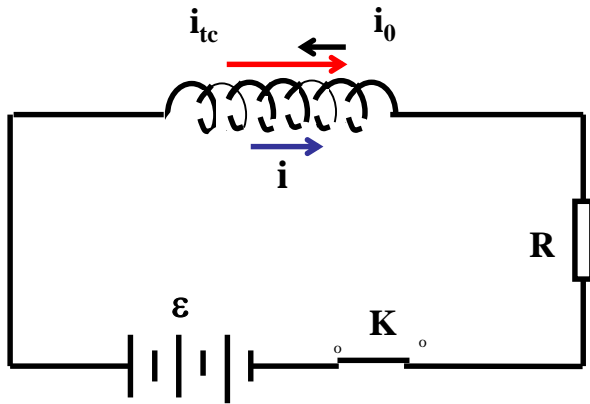
$$\varepsilon_{hc2} = -\frac{d\Phi_{m12}}{dt} = -M \frac{dI_1}{dt}$$

□ Sức điện động hồ cảm trong ( $C_1$ ):

$$\varepsilon_{hc1} = -\frac{d\Phi_{m21}}{dt} = -M \frac{dI_2}{dt}$$



## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG



### ĐÓNG MẠCH

- $i$  tăng từ 0 đến trị ổn định và cực đại  $I$ .
- Trong mạch xuất hiện dòng điện tự cảm  $i_{tc}$  ngược chiều với dòng điện chính  $i_0$ .

Dòng điện toàn phần:  $i \equiv i_0 - i_{tc} < i_0$

Chỉ có một phần điện năng biến thành nhiệt năng

### NGẮT MẠCH

Dòng điện chính giảm đột ngột từ  $I$  về 0. Do đó trong mạch xuất hiện dòng điện tự cảm cùng chiều với dòng điện chính đó, làm cho dòng điện toàn phần trong mạch lớn lên và giảm chậm lại.

Nhiệt năng tỏa ra trong mạch lúc này lớn hơn năng lượng do nguồn điện sinh ra



## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

Khi đóng mạch, một phần điện năng do nguồn điện sinh ra được tích trữ dưới dạng năng lượng của cuộn dây, để khi ngắt mạch phần năng lượng này tỏa ra dưới dạng nhiệt năng trong mạch.

Xét quá trình dòng điện sinh ra trong mạch:

Định luật Ohm:  $\varepsilon + \varepsilon_{tc} = Ri$

Sức điện động tự cảm:

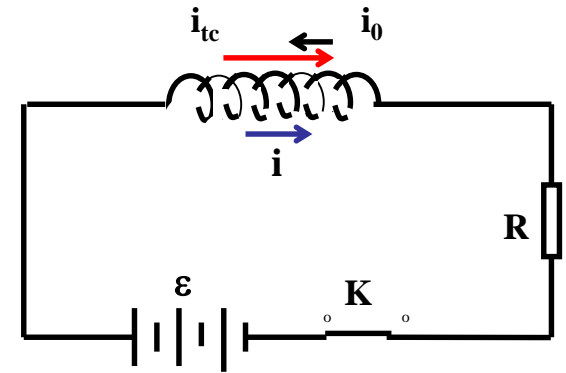
$$\varepsilon_{tc} = -L \frac{di}{dt} \quad \longrightarrow \quad \varepsilon = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$\varepsilon i dt = Ri^2 dt + L i di$$

Điện năng do  
nguồn điện sinh ra

Điện năng biến  
thành nhiệt năng

Năng lượng tiềm  
tàng dưới dạng năng  
lượng từ trường





## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

❑ Năng lượng từ trường cực đại trong ống dây:

$$W_m = L \int_0^I i di = \frac{1}{2} LI^2$$

❑ Năng lượng từ trường tại thời điểm  $t$  bất kì trong ống dây:

$$W_m(t) = \frac{1}{2} Li^2$$

❖ **Khi K đóng:** Năng lượng từ trường lưu trữ trong ống dây:

$$W_m(t) = \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{Với} \quad i = I(1 - e^{-t/\tau_L}) = \frac{\varepsilon}{R}(1 - e^{-t/\tau_L})$$

❖ **Khi K ngắt:** Năng lượng từ trường giải ra khỏi ống dây:

$$W_m(t) = \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{Với} \quad i = Ie^{-t/\tau_L} = \frac{\varepsilon}{R}e^{-t/\tau_L}$$





## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

- Mật độ năng lượng từ trường của ống dây:

$$w_m = \frac{W_m}{V}$$

Xét trong ống dây có độ tự cảm  $L$  và cảm ứng từ  $B$ :

với  $L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} S$  và  $B = \mu_0 \frac{NI}{\ell}$

Nên:  $W_m = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2}{\ell} SI^2 = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 I^2 S \ell}{\ell^2} = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 I^2 V}{\ell^2}$

$$\Rightarrow w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 I^2}{\ell^2} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} = \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H}$$

- Vậy năng lượng của một từ trường bất kì

$$W_m = \int_v dW_m = \int_v w_m dV = \frac{1}{2\mu_0} \int_v B^2 dV = \frac{1}{2} \int_v \vec{B} \cdot \vec{H} dV$$



## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

### Ví dụ 4.9:

Một pin 10,0 V, một điện trở 5,0  $\Omega$  và một cuộn cảm 10,0 H nối tiếp nhau. Sau khi dòng điện trong mạch đạt cực đại, hãy tính: (a) Tốc độ cung cấp năng lượng (công suất) của pin, (b) tốc độ tỏa nhiệt trên điện trở, (c) tốc độ tỏa nhiệt trên cuộn dây và (d) năng lượng từ trường chứa trong cuộn dây.

Đáp số: a)  $P = 20 \text{ W}$ ; b)  $P_R = 20 \text{ W}$ ; c)  $P_L = 0$ ; d)  $W = 20 \text{ J}$

### Bài giải:

a) Tốc độ cung cấp năng lượng (công suất):  $P = \varepsilon \cdot I = \varepsilon \cdot \frac{\varepsilon}{R} = \frac{10^2}{5} = 20 (\text{W})$

b) Tốc độ tỏa nhiệt (công suất):  $P_R = R \cdot I^2 = R \cdot \left( \frac{\varepsilon}{R} \right)^2 = \frac{10^2}{5} = 20 (\text{W})$

c) Tốc độ tỏa nhiệt trên cuộn dây:  $P_L = r \cdot I^2 = 0$

d) Năng lượng từ trường cuộn dây:  $W_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} L \cdot \left( \frac{\varepsilon}{R} \right)^2 = 20 (\text{J})$



## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

### Ví dụ 4.10:

Một pin 24V nối tiếp với điện trở  $R = 8\Omega$  và cuộn cảm  $L = 4H$ . Tìm năng lượng từ trường chứa trong cuộn cảm: (a) Khi dòng điện đạt giá trị cực đại, (b) tại thời điểm bằng hằng số thời gian tự cảm kể từ khi khóa K đóng.

Đáp số: a)  $W_{\max} = 18 \text{ J}$ ; b)  $W = 7,19 \text{ J}$

### Bài giải

a) Khi  $i = I$

$$W_m^{\max} = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} L \left( \frac{\varepsilon}{R} \right)^2 = 18 \text{ (J)}$$

b) Khi K đóng, tại thời điểm  $t = \tau_L$

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} L \left( \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-t/\tau_L}) \right)^2 = 7,2 \text{ (J)}$$



## 4. NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

### Ví dụ 4.11:

Từ trường trong một solenoid siêu dẫn là 4,5T. Solenoid có đường kính trong 6,2cm và dài 26,0cm. Xác định: (a) mật độ năng lượng từ trường. (b) năng lượng từ trường chứa trong solenoid.

Đáp số: a)  $w = 8,06 \text{ MJ/m}^3$ ; b)  $W = 6,32 \text{ kJ}$

### Bài giải

a) Mật độ năng lượng

$$w_m = \frac{1}{2\mu_0} B^2 = \frac{4,5^2}{2 \times 4\pi \cdot 10^{-7}} = 8,06 \cdot 10^6 \text{ (J/m}^3\text{)}$$

b) Năng lượng từ trường

$$W_m = w_m V = w_m \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 \ell = 6324 \text{ (J)}$$

## 5. ỨNG DỤNG

### 5.1. Máy phát điện xoay chiều

- Tại thời điểm t:

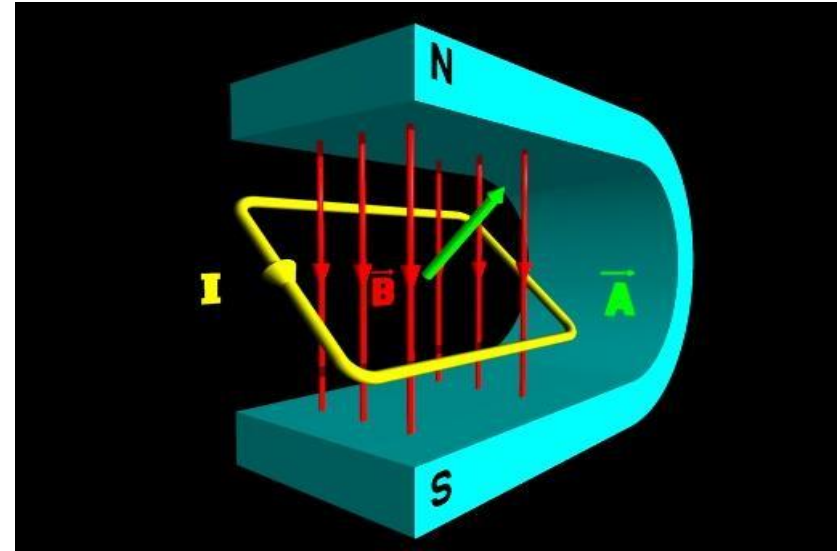
$$(\vec{n}; \vec{B}) = \alpha = \omega t + \varphi$$

- Từ thông gửi qua khung dây:

$$\Phi_m = N \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = NBS \cos(\omega t + \varphi)$$

- $\Phi_m$  thay đổi theo t, khung xuất hiện sức điện động cảm ứng:

$$\varepsilon_c = - \frac{d\Phi_m}{dt} = NS\omega B \sin(\omega t + \varphi)$$

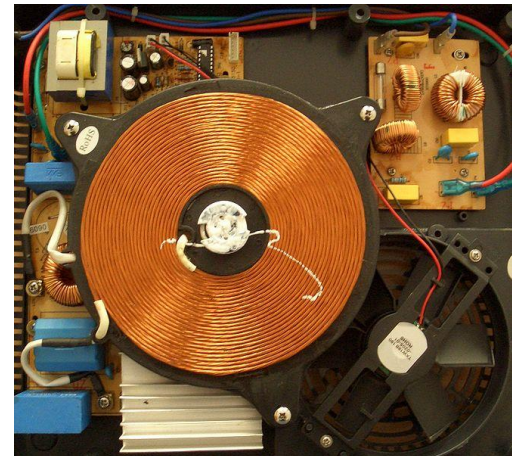
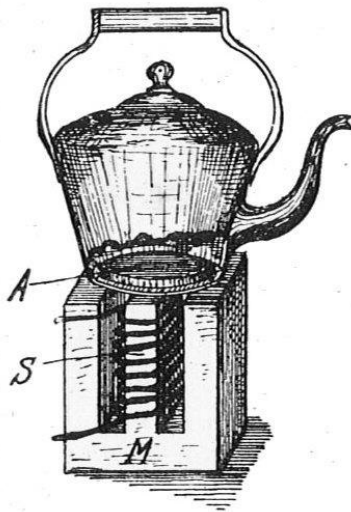


➔ Dòng điện cảm ứng được tạo ra trong khung dây  
là dòng điện xoay chiều chu kỳ  $T \equiv 2\pi/\omega$

## 5. ỨNG DỤNG

### 5.2. Dòng Foucault

- Là dòng điện cảm ứng khép kín khi đặt một khối vật dẫn trong từ trường biến thiên.
- Có vai trò quan trọng trong kỹ thuật, vừa có lợi vừa có hại.







## 5. ỨNG DỤNG

### 5.3. Lực hãm từ

➤ Khi thanh kim loại chuyển động trong từ trường  $B$ , trên thanh sẽ xuất hiện suất điện động tỉ lệ với vận tốc  $v$ . Nếu thanh  $L$  được nối với đoạn mạch có điện trở  $R$  thì cường độ dòng điện cũng tỉ lệ với vận tốc  $v$ :

$$I_c = \frac{\varepsilon_c}{R} = \frac{vBL}{R}$$

➤ Khi đó, thanh sẽ chịu tác dụng bởi một lực từ ngược chiều chuyển động của thanh:

$$F_c = I_c BL \quad \longrightarrow \quad F_c = \frac{vB^2 L^2}{R}$$

## 5. ỨNG DỤNG

### 5.3. Lực hãm từ (Tàu đệm từ)





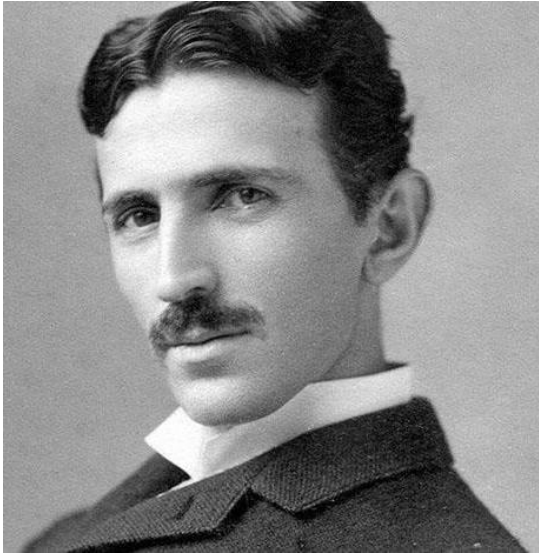
## 5. ỨNG DỤNG

### 5.4. Máy dò điện từ





## 5. ỨNG DỤNG



*Nikola Tesla*

# Thanks!

Any questions?

*"Tất cả những điều vĩ đại đều đã từng bị chế nhạo, lên án, đả kích, chèn ép trong quá khứ – chỉ để rồi vượt lên từ đấu tranh, càng mạnh mẽ và thắng lợi hơn." Nikola Tesla (1856–1943)*

*"All that was great in the past was ridiculed, condemned, combated, suppressed – only to emerge all the more powerfully, all the more triumphantly from the struggle."*



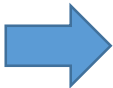
# BÀI TẬP ÔN TẬP

**1.** Một khung dây dẫn tròn bán kính  $R$  được đặt trong một từ trường đều  $B = B_0 e^{-\omega t}$ , với  $B_0$  không đổi và hợp với pháp vector mặt phẳng khung dây một góc  $\alpha$ . Tính suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung.

## Bài giải

Suất điện động cảm ứng:  $\varepsilon_c = \left| -\frac{d\phi_m}{dt} \right| \quad (1)$

Với  $\phi_m = BS \cos \alpha = B_0 e^{-\omega t} \pi R^2 \cos \alpha$

  $\frac{d\phi_m}{dt} = -B_0 \omega e^{-\omega t} \pi R^2 \cos \alpha$

Vậy  $\varepsilon_c = \left| -\frac{d\phi_m}{dt} \right| = B_0 \omega e^{-\omega t} \pi R^2 \cos \alpha$



# BÀI TẬP ÔN TẬP

**2.** Một khung dây dẫn gồm hai dây dài song song nối với nhau bằng một điện trở  $R$ , và một thanh trượt. Đặt khung gần một dòng điện thẳng vô hạn cường độ  $I$ , song song với hai dây dẫn (hình vẽ). Cho thanh trượt với vận tốc không đổi  $v$ , xác định chiều và độ lớn dòng điện cảm ứng trong khung.

## Bài giải

Từ thông gửi qua  $dS$ : 
$$d\phi_m = B dS = \frac{\mu_0 I}{2\pi y} x dy$$

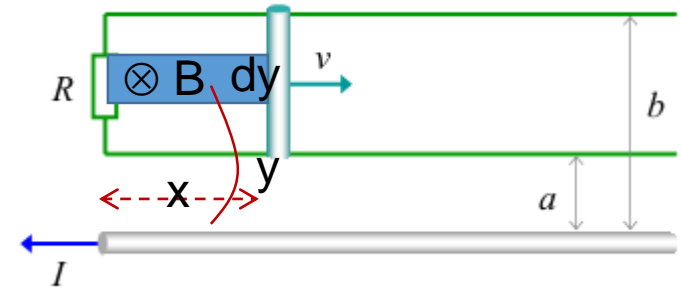
Sau khoảng thời gian  $t$ , từ thông gửi qua mạch kín

$$\phi_m = \frac{\mu_0 I}{2\pi} x \int_a^b \frac{dy}{y} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} x \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

Suất điện động trong mạch 
$$\varepsilon_c = \left| -\frac{d\phi_m}{dt} \right| = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{dx}{dt} \ln\left(\frac{b}{a}\right) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} v \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

Cường độ dòng điện cảm ứng 
$$I_c = \frac{\varepsilon_c}{R} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} v \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

Chiều của  $I_c$  ngược chiều kim đồng hồ





# BÀI TẬP ÔN TẬP

**3.** Một đoạn dây dẫn thẳng dài 40cm chuyển động đều với vận tốc 5m/s theo phương vuông góc với các đường cảm ứng từ của từ trường đều. Hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn dây là  $U = 0,6 \text{ V}$ . Tính cảm ứng từ  $B$ .

**SV xem lại Ví dụ 4.3**





# BÀI TẬP ÔN TẬP

**4.** Một thanh dẫn dài  $l$  chuyển động với vận tốc không đổi  $v$  song song với một dây dài mang dòng điện  $I$ . Trục của thanh luôn vuông góc với dây và đầu gần cách dây một đoạn  $r$ . Chứng minh rằng độ lớn của suất điện động cảm ứng trên thanh là

## Bài giải

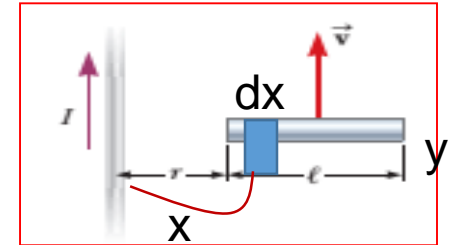
Từ thông gửi qua  $dS$        $d\phi_m = B dS = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} y dx$

Từ thông gửi qua thanh sau thời gian  $t$

$$\phi_m = \frac{\mu_0 I}{2\pi} y \int_r^{r+l} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} y \ln \left[ \frac{r+l}{r} \right]$$

Suất điện động trên thanh       $\varepsilon_c = \left| -\frac{d\phi_m}{dt} \right| = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{dy}{dt} \ln \left[ \frac{r+l}{r} \right]$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi} v \ln \left[ \frac{r+l}{r} \right]$$

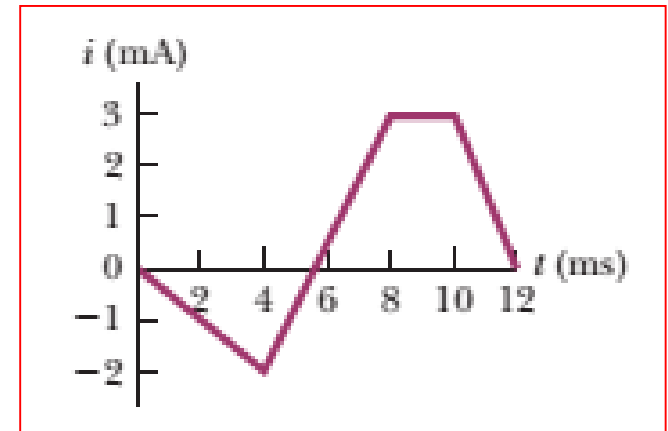
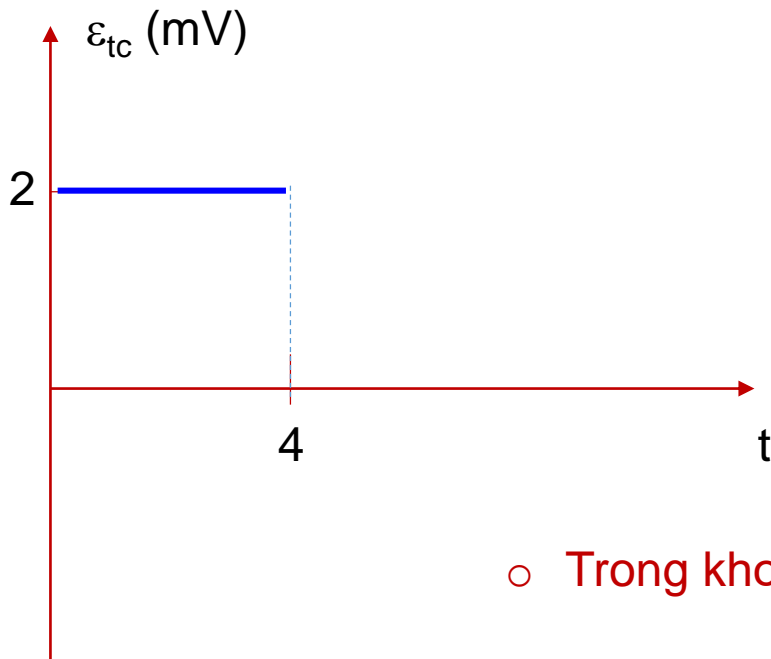




# BÀI TẬP ÔN TẬP

**5.** Dòng điện trong cuộn dây ( $L = 4,0 \text{ mH}$ ) biến thiên theo thời gian như trên hình. Vẽ đồ thị biểu diễn suất điện động cảm trong khoảng thời gian từ 0 đến 12s.

## Bài giải



○ Trong khoảng  $t = 0$  đến 4s  $i = -0,5t$

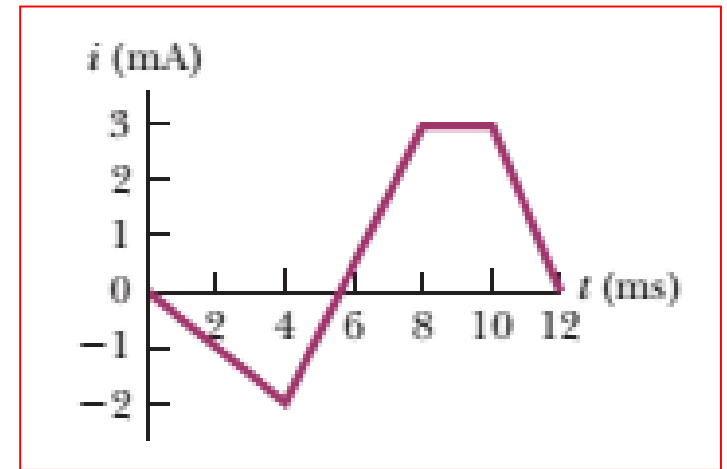
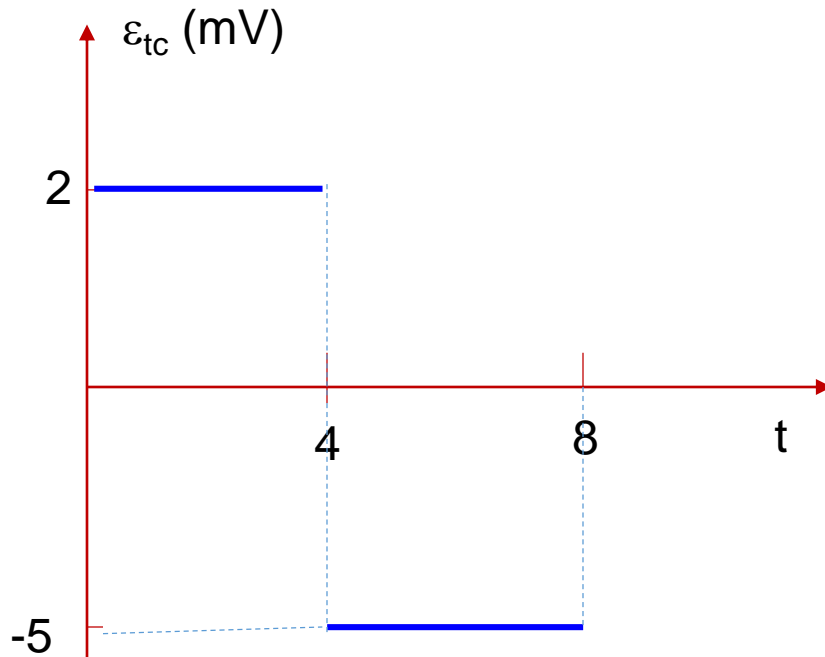
$$\Rightarrow \epsilon_{tc} = -L \frac{di}{dt} = -L \times (-0,5) = 2 \text{ (mV)}$$



# BÀI TẬP ÔN TẬP

**5.** Dòng điện trong cuộn dây ( $L = 4,0 \text{ mH}$ ) biến thiên theo thời gian như trên hình. Vẽ đồ thị biểu diễn suất điện động tự cảm trong khoảng thời gian từ 0 đến 12s.

## Bài giải



○ Trong khoảng  $t = 4$  đến 8s

$$i = 1,25t - 7$$

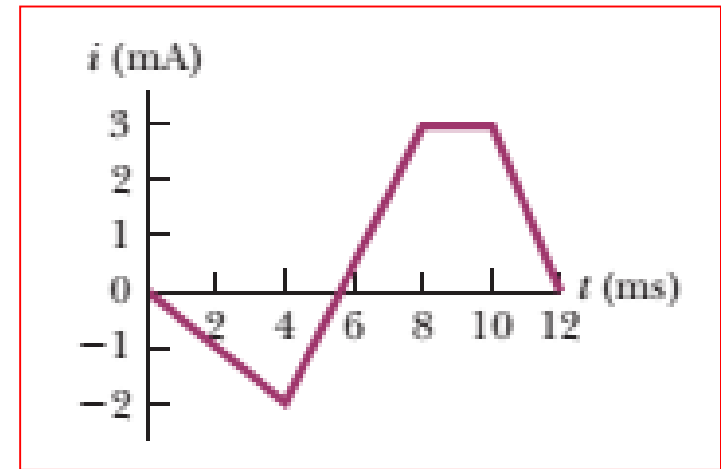
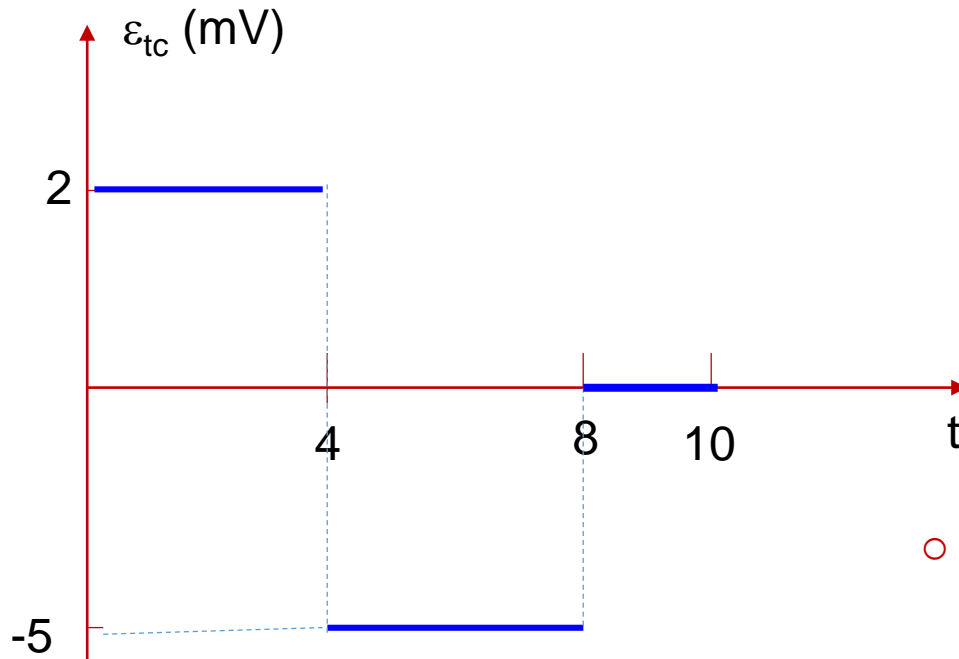
$$\Rightarrow \epsilon_{tc} = -L \frac{di}{dt} = -L \times (1,25) = -5 \text{ (mV)}$$



# BÀI TẬP ÔN TẬP

**5.** Dòng điện trong cuộn dây ( $L = 4,0 \text{ mH}$ ) biến thiên theo thời gian như trên hình. Vẽ đồ thị biểu diễn suất điện động tự cảm trong khoảng thời gian từ 0 đến 12s.

## Bài giải



H.6.7

○ Trong khoảng  $t = 8$  đến 10s

$$i = 3$$

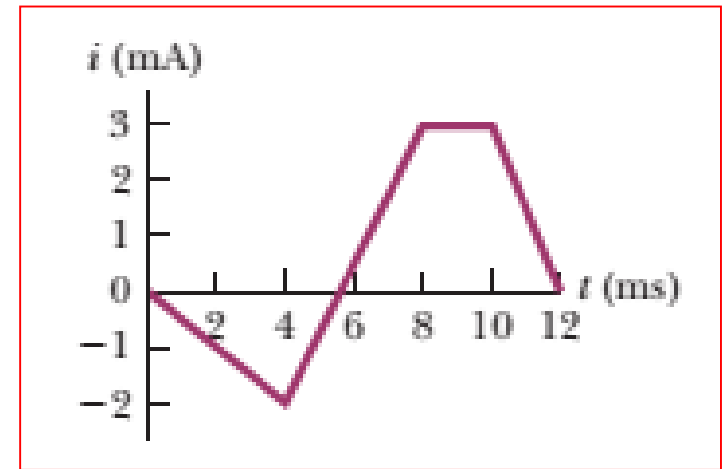
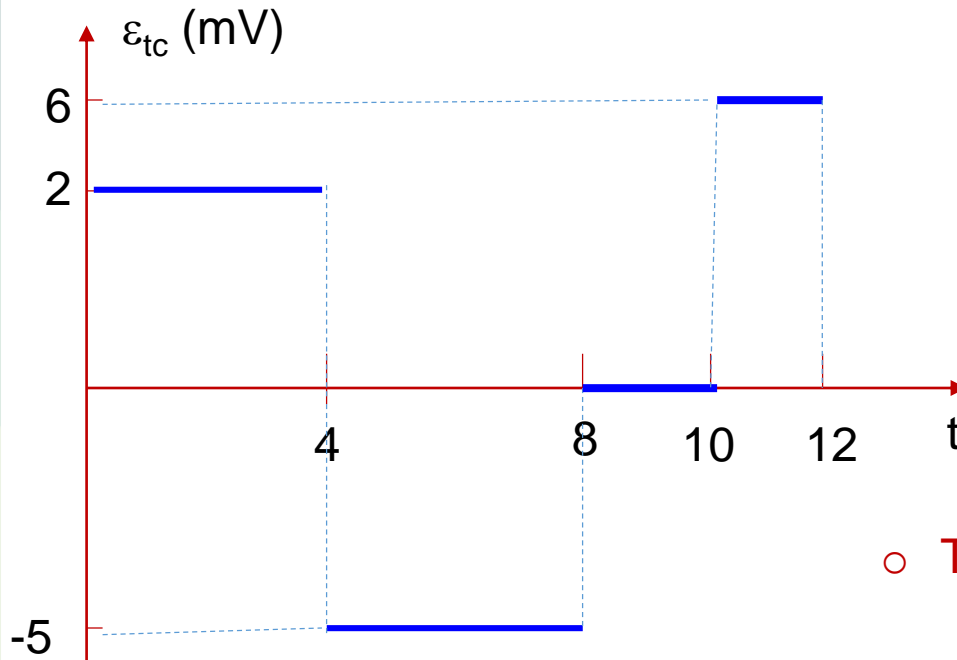
$$\Rightarrow \epsilon_{tc} = -L \frac{di}{dt} = -L \times (0) = 0(\text{mV})$$



# BÀI TẬP ÔN TẬP

**5.** Dòng điện trong cuộn dây ( $L = 4,0 \text{ mH}$ ) biến thiên theo thời gian như trên hình. Vẽ đồ thị biểu diễn suất điện động tự cảm trong khoảng thời gian từ 0 đến 12s.

## Bài giải



H.6.7

○ Trong khoảng  $t = 10$  đến 12s

$$i = -1,5t + 18$$

$$\Rightarrow \epsilon_{tc} = -L \frac{di}{dt} = -L \times (-1,5) = 6 \text{ (mV)}$$



# BÀI TẬP ÔN TẬP

**6.** Một mạch điện gồm nguồn điện có suất điện động  $\varepsilon = 80 \text{ V}$  nối tiếp với cuộn dây có độ tự cảm  $L = 25 \text{ mH}$ , điện trở  $R = 50 \Omega$ , và khóa K. Khi khóa K đóng, cường độ dòng điện chạy qua cuộn dây là  $i = \frac{\varepsilon}{R}(1 - e^{-R.t/L})$ . Khi khóa K ngắt, cường độ dòng điện chạy qua cuộn dây là  $i = \frac{\varepsilon}{R}e^{-R.t/L}$

a) Tính suất điện động tự cảm của cuộn dây tại thời điểm  $t = 50 \mu\text{s}$  kể từ khi khóa K đóng.

b) Tính năng lượng từ trường giải phóng trong thời gian  $t = 50 \mu\text{s}$  kể từ khi khóa K ngắt.



# BÀI TẬP ÔN TẬP

## Bài giải

a) Suất điện động tự cảm

$$\varepsilon_{tc} = \left| -L \frac{di}{dt} \right| = \left| -L \left( -\frac{\varepsilon}{R} \times \left( -\frac{R}{L} e^{-Rt/L} \right) \right) \right| = \varepsilon \times e^{-Rt/L}$$

$$\text{Hay } \varepsilon_{tc} = 80 \times e^{-50 \times 50.10^{-6} / (25.10^{-3})} = 72,4 \text{ (V)}$$

b) Năng lượng giải phóng  $\rightarrow$  K ngắt

$$W_m = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} L \left[ \frac{\varepsilon}{R} e^{-Rt/L} \right]^2$$

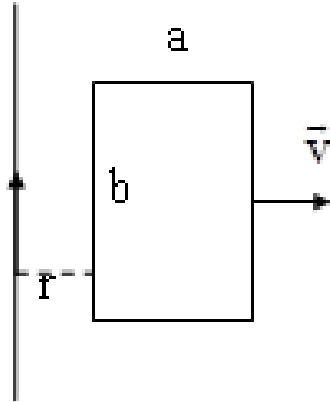
Tại thời điểm  $t = 50 \mu s$

$$W_m = \frac{1}{2} 25.10^{-3} \left[ \frac{80}{50} e^{-50 \times 50.10^{-6} / (25.10^{-3})} \right]^2 = 26 \text{ (mJ)}$$



# BÀI TẬP ÔN TẬP

Một dây dẫn thẳng rất dài có dòng điện với cường độ  $I$  không đổi chạy qua, được đặt song song với cạnh  $b$  của một khung dây dẫn hình chữ nhật có hai cạnh  $a$  và  $b$ , ở trong cùng mặt phẳng với khung dây. Điện trở tổng cộng của khung dây là  $R$ . Khung di chuyển tịnh tiến về phía phải với vận tốc không đổi. Xác định chiều và cường độ dòng điện cảm ứng trong khung dây vào thời điểm mà cạnh khung dây gần dây dẫn nhất cách dây dẫn một khoảng  $r$ .







# BÀI TẬP ÔN TẬP

Một thanh kim loại khối lượng  $m$ , chiều dài  $a$ , có thể di chuyển không ma sát trên hai đường ray song song được đặt trong từ trường đều như hình vẽ. Người ta làm cho thanh chuyển động với vận tốc ban đầu. Tìm sự phụ thuộc của vận tốc của thanh theo thời gian và sức điện động cảm ứng xuất hiện trên thanh.

