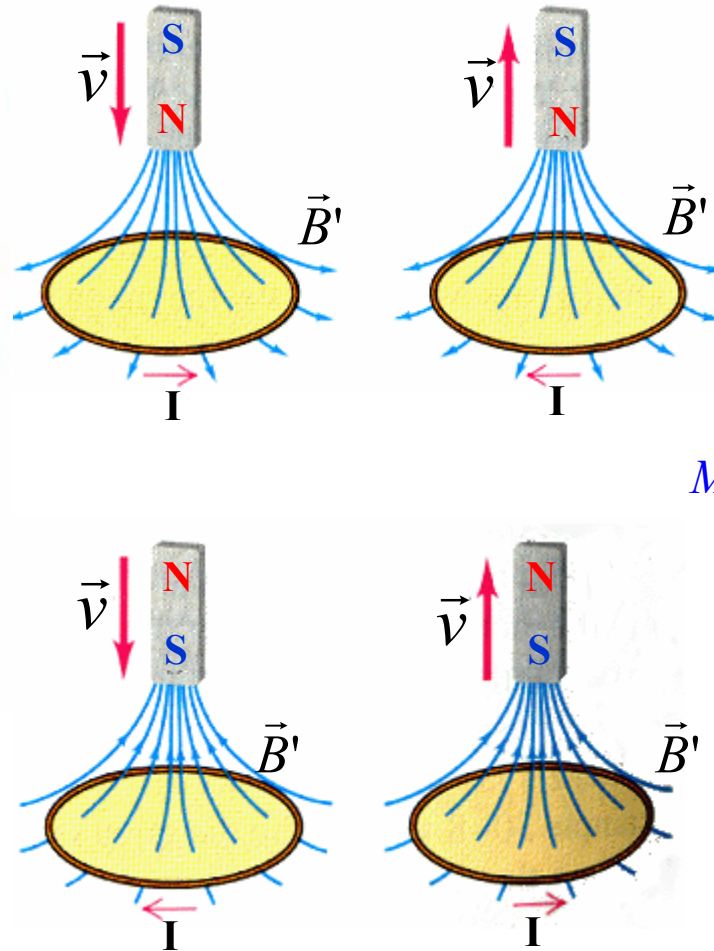
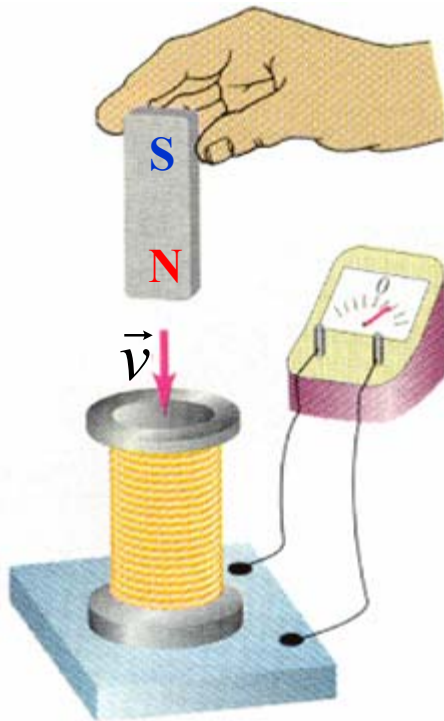


CHƯƠNG 5 – CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ
2. Hiện tượng tự cảm
3. Năng lượng từ trường

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

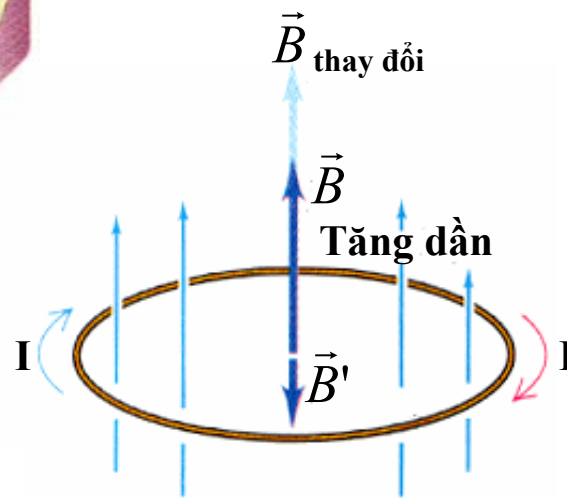
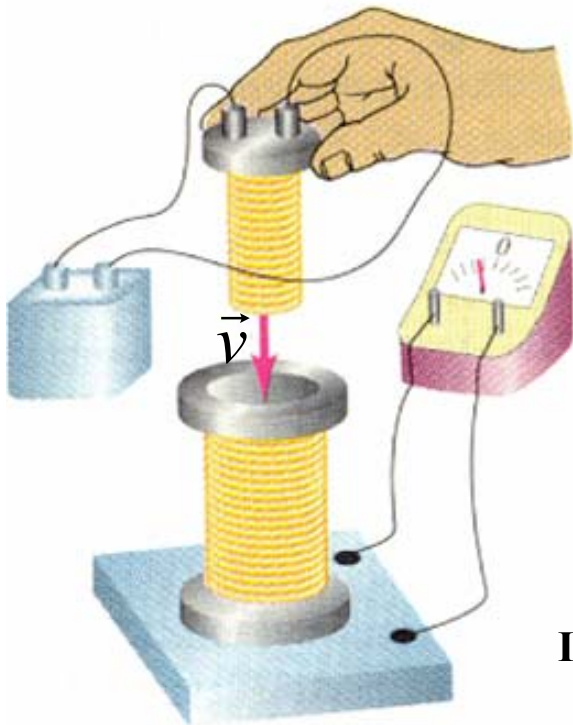
Thí nghiệm Faraday



Michael Faraday (1791-1867)

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Thí nghiệm Faraday



Michael Faraday (1791-1867)

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Thí nghiệm Faraday

- ☞ 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.



Michael Faraday (1791-1867)

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Định luật Lenz

☞ Nội dung: *Dòng cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra chống lại sự biến thiên của từ thông sinh ra nó.*

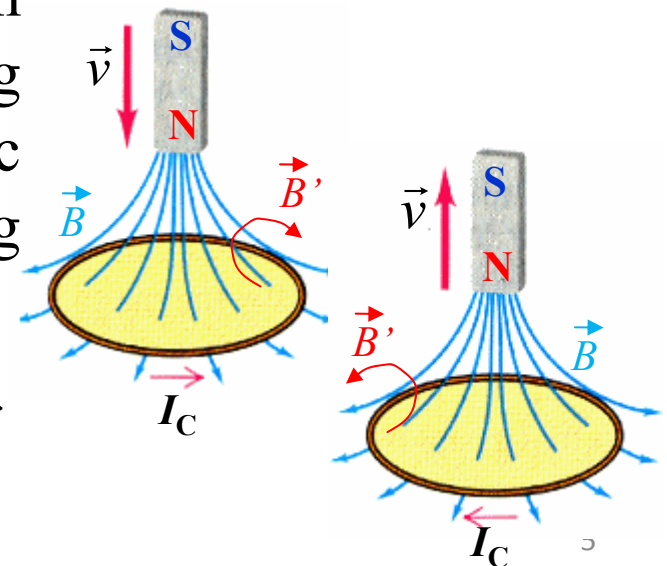
☞ Áp dụng:

↪ Khi cực Bắc (N) tiến vào vòng dây \Rightarrow từ thông Φ_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 \Leftrightarrow từ thông Φ'_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.



Heinrich Lenz
(1804-1865)



1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Sức điện động cảm ứng

☞ Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ

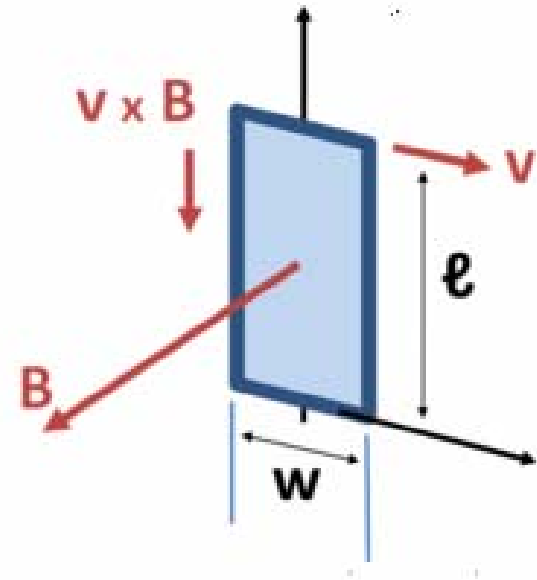
☞ Vòng dây dẫn kín di chuyển trong B

☞ Biến thiên từ thông gửi qua vòng dây trong thời gian dt : $d\Phi_m \Rightarrow$ dòng cảm ứng $I_c \Leftrightarrow$ xuất hiện một nguồn điện cảm ứng hay s.đ.đ cảm ứng \mathcal{E}_c .

☞ Công của từ lực để di chuyển vòng dây: $dA = I_c \cdot d\Phi_m$

☞ Theo đ/l Lenz: từ lực tác dụng lên I_c ngăn cản sự di chuyển của vòng dây (là nguyên nhân sinh ra I_c) \Rightarrow công cản:

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



1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Sức điện động cảm ứng

☞ Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ

☞ Theo đ/l bảo toàn năng lượng: dA' chuyển thành NL của I_c

$$dA' = -I_c \cdot d\Phi_m = \mathcal{E}_c \cdot I_c \cdot dt \text{ (NL của } I_c) \Rightarrow \mathcal{E}_c = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

☞ *Sức điện động cảm ứng trong một mạch kín bất kỳ bằng về trị số nhưng khác dấu với tốc độ thay đổi của từ thông qua mạch.*

☞ Định nghĩa đơn vị từ thông

☞ Nếu từ thông gửi qua diện tích mạch kín giảm từ giá trị Φ_m về 0:

$$\mathcal{E}_c = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{0 - \Phi_m}{\Delta t} = \frac{\Phi_m}{\Delta t} \Rightarrow \Phi_m = \mathcal{E}_c \cdot \Delta t$$

☞ Với $\Delta t = 1 \text{ s}$, $\mathcal{E}_c = 1 \text{ V} \Rightarrow \Phi_m = 1 \text{ (V)} \cdot 1 \text{ (s)} = 1 \text{ Webe (Wb)}$

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

1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Máy phát điện xoay chiều

☞ Khung dây (N vòng dây) diện tích S quay trong từ trường đều ($\vec{B} = \text{const}$) với vận tốc góc ω .

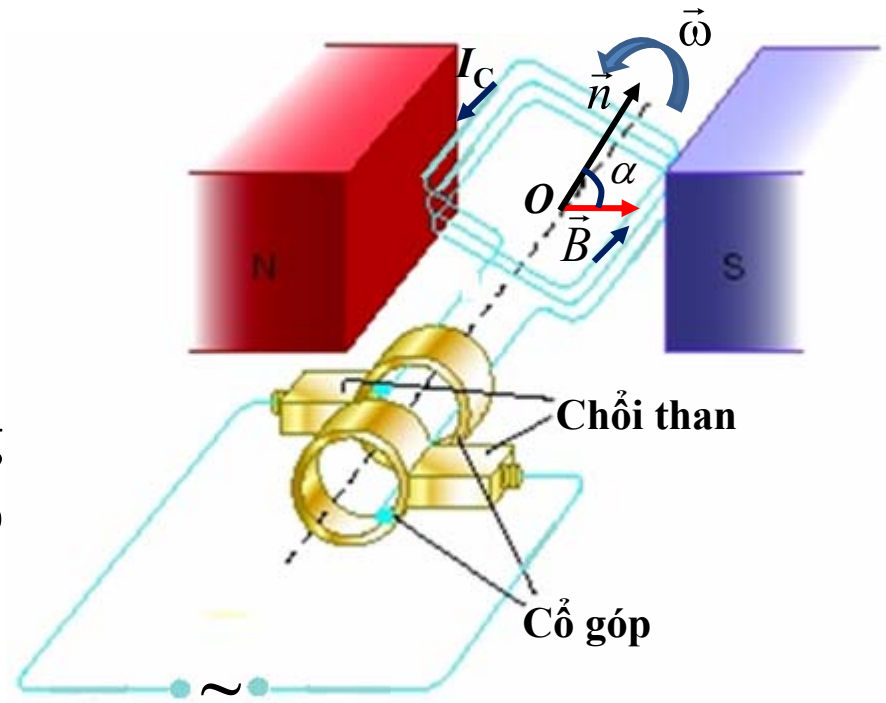
↪ Vị trí ban đầu của khung tương ứng góc α giữa pháp tuyến mặt phẳng khung \vec{n} và \vec{B}

↪ Sau khoảng thời gian $t \Rightarrow$ vị trí khung ứng với góc:

$$\varphi = \omega t + \alpha$$

☞ Từ thông gửi qua khung sau khoảng thời gian t :

$$\Phi_m = N.B.S.\cos\varphi = N.B.S.\cos(\omega t + \alpha)$$



1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Máy phát điện xoay chiều

☞ Khi khung quay đều trong từ trường \Rightarrow xuất hiện 1 s.đ.đ cảm ứng xoay chiều hình sin theo đ/l Lenz:

$$\mathcal{E}_C = -\frac{d\Phi_m}{dt} = N.B.S.\omega.\sin(\omega t + \alpha)$$

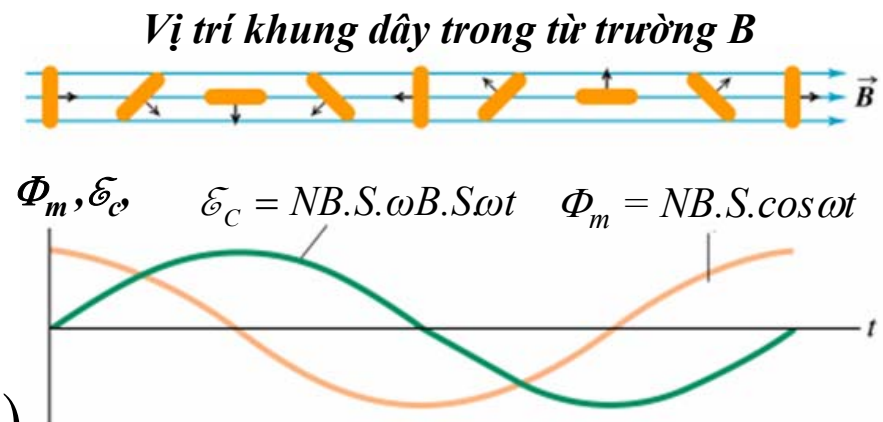
☞ Đặt $\mathcal{E}_{C_{max}} = N.B.S.\omega \Rightarrow \mathcal{E}_C = \mathcal{E}_{C_{max}}.\sin(\omega t + \alpha)$

☞ Chu kỳ = chu kỳ quay của khung: $T = \frac{2\pi}{\omega}$

☞ Dòng cảm ứng $I_c = \frac{E_C}{R} = \frac{NBS\omega}{R} \sin \omega t$

Đặt: $I_{C_{max}} = \frac{NBS\omega}{R} = I_0$

$$\left. \begin{array}{l} I_c = \frac{E_C}{R} = \frac{NBS\omega}{R} \sin \omega t \\ I_{C_{max}} = \frac{NBS\omega}{R} = I_0 \end{array} \right\} I_c = I_0.\sin \omega t$$



1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Dòng xoáy (dòng Foucault/ eddy current)

☞ Dòng cảm ứng (có dạng xoáy) xuất hiện trên bề mặt vật dẫn khi đặt trong từ trường:

$$I_F = \frac{\mathcal{E}_C}{R}$$

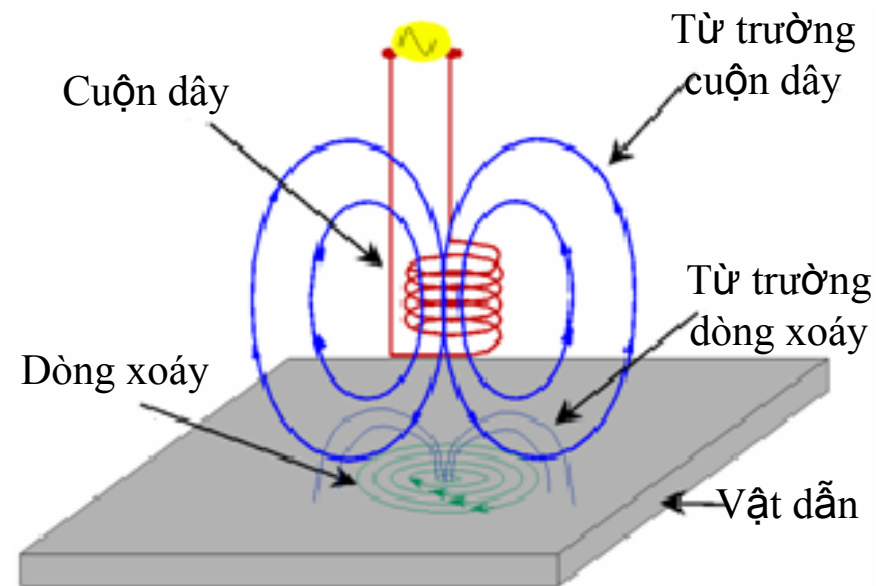
☞ Hệ quả:

☞ Xuất hiện từ trường riêng của dòng cảm ứng I_F

☞ Dòng cảm ứng xuất hiện trên bề mặt 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).



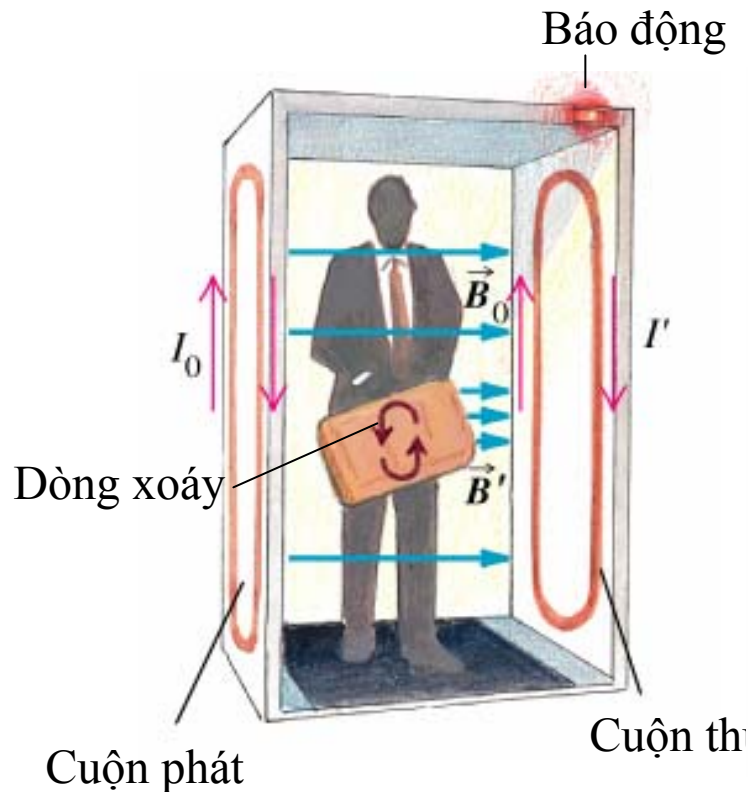
Léon Foucault (1819-1868)



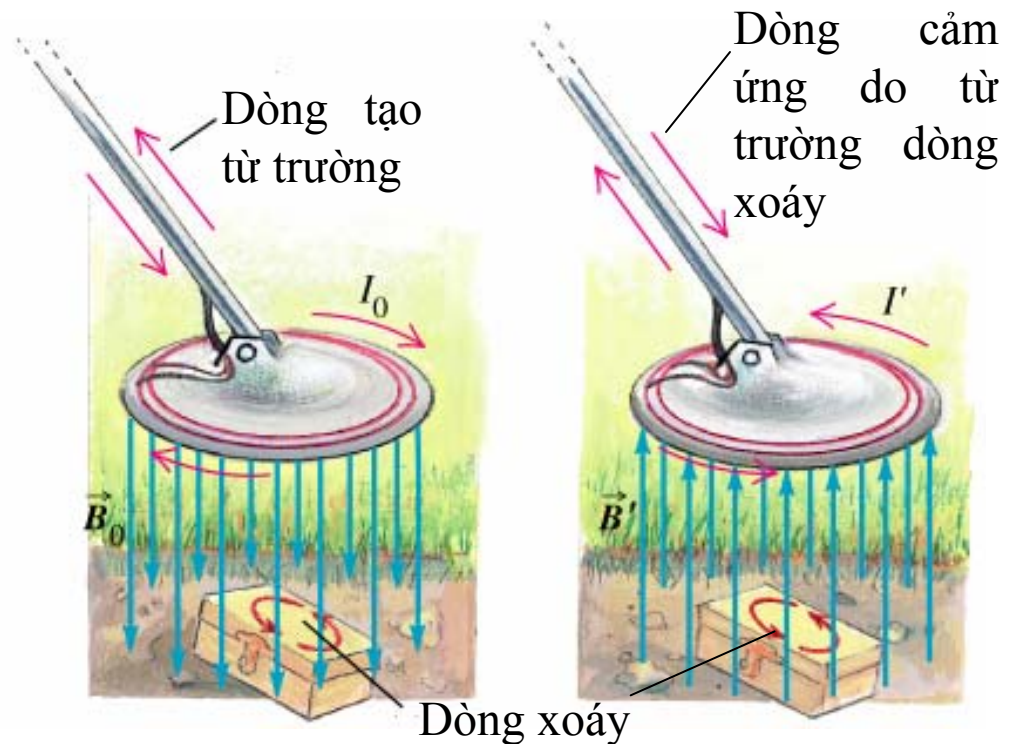
1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Dòng xoáy (dòng Foucault/ eddy current)

☞ 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.



Cửa an ninh (security gate)



Thiết bị dò mìn (mine detector)

2. Hiện tượng tự cảm

Hiện tượng

☞ Mạch điện:

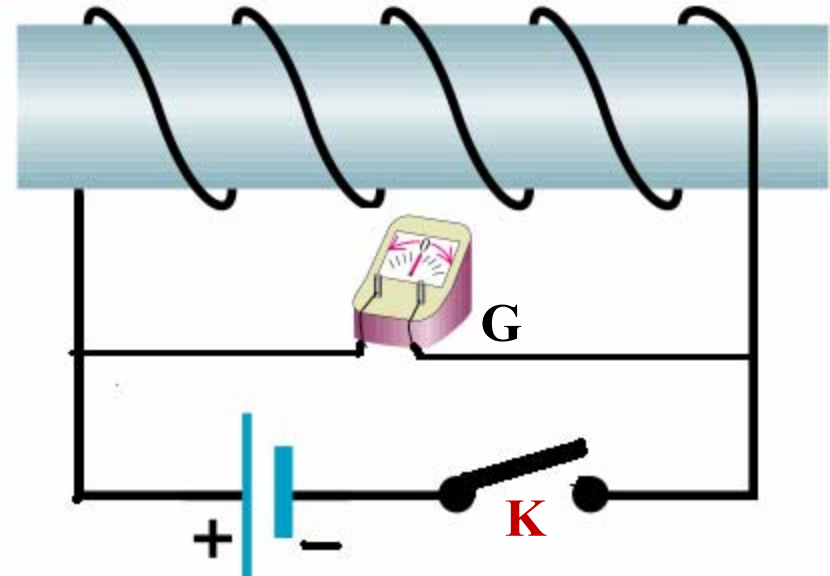
- + ống dây có lõi sắt
- + Điện kế (G)

☞ 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 trở về 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. Hiện tượng tự cảm

S.đ.đ tự cảm

☞ Theo đ/l Lenz: $\mathcal{E}_{tc} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$

$$\text{Do: } \left. \begin{array}{l} \Phi_m \sim B \\ B \sim I \end{array} \right\} \Phi_m \sim I = L.I$$

☞ Đ/v mạch đứng yên và giữ nguyên hình dạng:

$$\mathcal{E}_{tc} = -\frac{d(LI)}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \quad (L: \text{Hệ số tự cảm})$$

↪ Trong mạch điện đứng yên và không thay đổi hình dạng, sức điện động tự cảm luôn bằng tốc độ biến thiên cường độ dòng điện trong mạch.

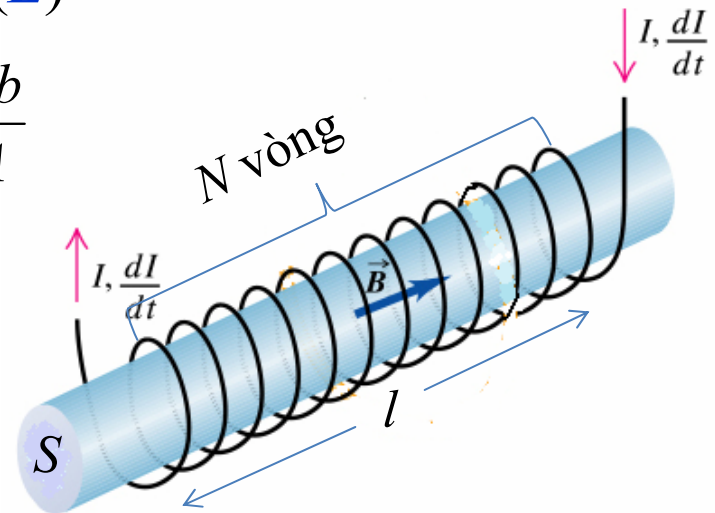
2. Hiện tượng tự cảm

Hệ số tự cảm

☞ Định nghĩa đơn vị đo hệ số tự cảm (L)

☞ Đơn vị : Henry (H), $1H = \frac{1Wb}{1A} = 1 \frac{Wb}{A}$

☞ H là hệ số tự cảm của 1 mạch kín, khi có dòng điện cường độ 1 A chạy qua mạch đó thì sinh ra trong chân không, từ thông bằng 1 Wb.



☞ Trường hợp ống dây có lõi sắt:

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{N.B.S}{I} = \frac{\mu\mu_0 n^2 .S.I}{I.l} = \frac{\mu\mu_0 n^2 .S}{l}$$

☞ Do μ lõi sắt lớn \Rightarrow đơn vị H lớn \Rightarrow thực tế chỉ dùng đơn vị $mH = 10^{-3} H$, hoặc $1\mu H = 10^{-6} H$

2. Hiện tượng tự cảm

Hiệu ứng bề mặt

☞ Khi cho dòng điện cao tần chạy qua 1 dây dẫn \Rightarrow dòng tự cảm chỉ xuất hiện ở bề mặt dây dẫn

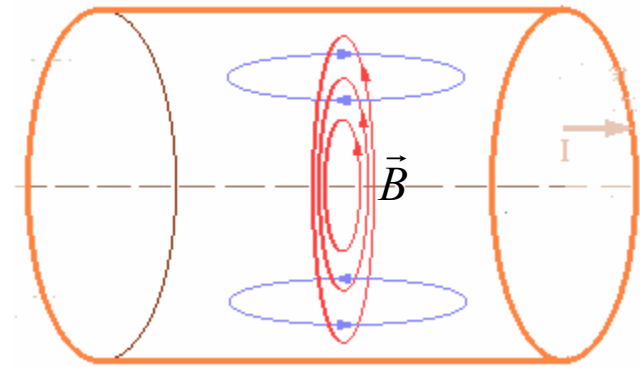
☞ Tần số $f = 10^3$ Hz \Rightarrow dòng tự cảm chạy trong lớp vật liệu bề mặt ~ 2 mm

☞ Tần số $f = 10^5$ Hz \Rightarrow dòng tự cảm chỉ chạy trong lớp vật liệu bề mặt $\sim 0,2$ 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

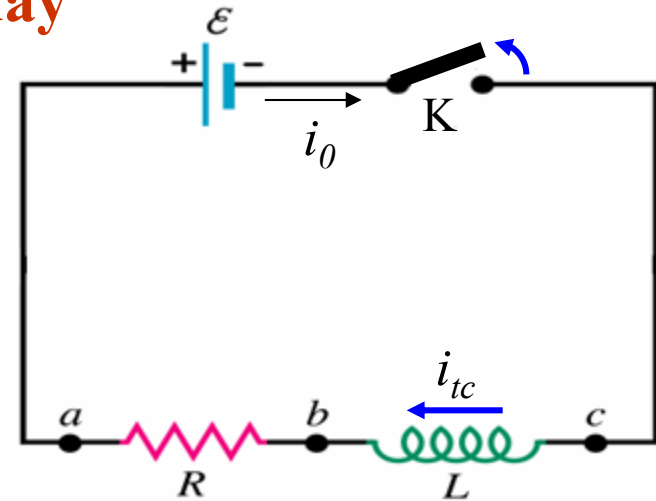


3. Năng lượng từ trường

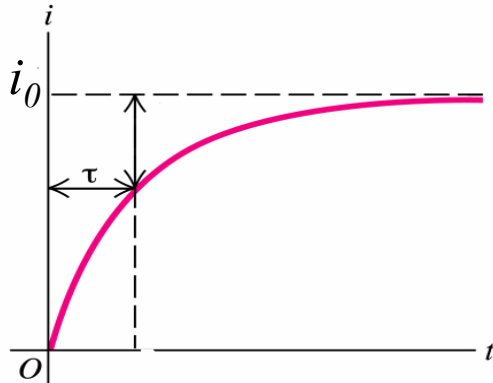
Năng lượng từ trường của một ống dây

☞ Mạch điện có khóa K:

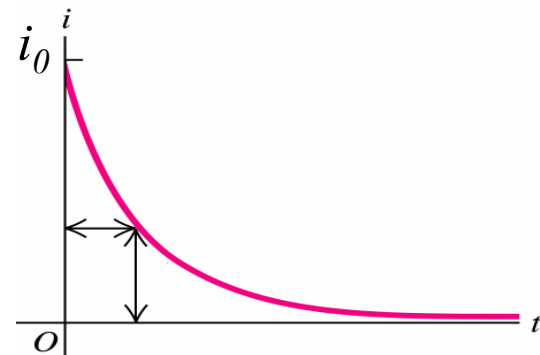
- + Sức điện động \mathcal{E} , dòng i_0
- + Ống dây hệ số tự cảm L
- + Điện trở R



☞ Khi đóng mạch $\Rightarrow i \uparrow \Rightarrow B$
& Φ_m gửi qua $L \uparrow \Rightarrow i_{tc}$ ngược
chiều $i_0 \Rightarrow i = i_0 - i_{tc} \Rightarrow$ NL
nguồn ($\sim i_0^2$) > NL mạch ($\sim i^2$).



☞ Khi ngắt mạch $\Rightarrow i \downarrow \Rightarrow B$
& Φ_m gửi qua $L \downarrow \Rightarrow i_{tc}$ cùng
chiều $i_0 \Rightarrow i = i_0 + i_{tc} \Rightarrow$ NL
nguồn ($\sim i_0^2$) < NL mạch ($\sim i^2$).



3. Năng lượng từ trường

Năng lượng từ trường của một ống dây

☞ Áp dụng đ/l Ohm trong quá trình hình thành dòng điện i :

$$\mathcal{E} + \mathcal{E}_{tc} = R.i$$

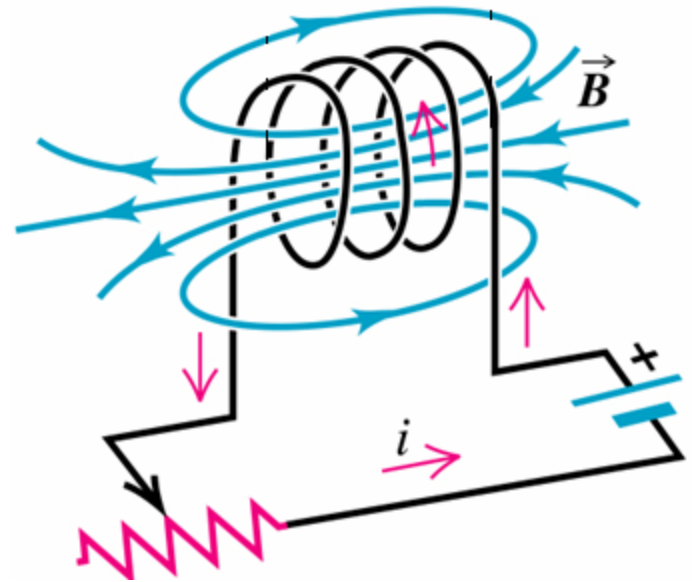
$$\text{Hay: } \mathcal{E} = R.i + L \frac{di}{dt}$$

☞ Nhân 2 vế với idt :

$$\underbrace{\mathcal{E} idt}_{\text{NL nguồn}} = \underbrace{R.i^2 dt}_{\text{NL nhiệt}} + \underbrace{L.i.di}_{\text{NL từ trường}}$$

☞ NL từ trường khi thiết lập dòng điện trong ống dây: $dW = L.i.di$

$$\Rightarrow W = \int_0^{i=I} dW = \int_{i=0}^{i=I} L.i.di = \frac{1}{2} L.I^2$$



3. Năng lượng từ trường

Mật độ năng lượng từ trường

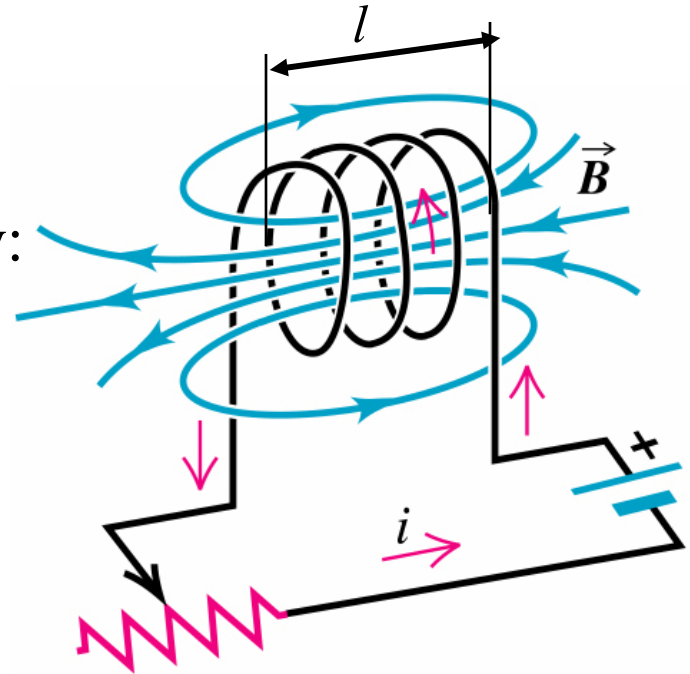
☞ Trong ống dây có thể tích: $V = l.S$

☞ Mật độ NL từ trường trong ống dây:

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

$$\left. \begin{aligned} &= \frac{1}{2} \mu\mu_0 \frac{n^2}{l^2} I^2 \\ &B = \mu\mu_0 \frac{n}{l} I \end{aligned} \right\} w_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0} \quad (\text{trong ống dây: } B = \text{const})$$

☞ Áp dụng cho mọi từ trường bất kỳ



3. Năng lượng từ trường

Năng lượng từ trường không gian

☞ 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:

$$\left. \begin{aligned} W_m &= \int_V dW_m = \int_V \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0} dV \\ H &= \frac{B}{\mu\mu_0} \end{aligned} \right\} W_m = \frac{1}{2} \int_V BH dV$$