

DIỆN TỬ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ TS. Nguyễn Kim Quang

1. Các định luật về hiện tượng cảm ứng điện từ
 2. Sức điện động của vật dẫn chuyển động
 3. Điện trường cảm ứng
 4. Dòng điện Foucault
 5. Hiện tượng hồ thử
 6. Hiện tượng tự cảm
 7. Năng lượng từ trường
- Tóm tắt công thức

DIỆN TỬ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ TS. Nguyễn Kim Quang

1. Các định luật cảm ứng điện từ (Electromagnetic induction)

Cảm ứng điện từ là nguyên lý hoạt động cơ bản trong các thiết bị điện từ như động cơ điện, máy phát điện, biến thế,...

Định luật Faraday phát biểu mối liên hệ giữa sức điện động cảm ứng với sự biến đổi từ thông qua mạch kín và **định luật Lenz** chỉ chiều của sức điện động và dòng điện cảm ứng.

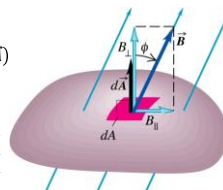
Từ thông qua mặt A:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot dA \cdot \cos\phi, \quad \phi = (\vec{B}, d\vec{A})$$

$$\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int_A B \cdot dA \cdot \cos\phi$$

Định luật Faraday: Sức điện động cảm ứng (induced electromotive force) sinh ra trong một mạch kín có độ lớn bằng và ngược dấu với tốc độ biến đổi theo thời gian của từ thông qua mạch đó.

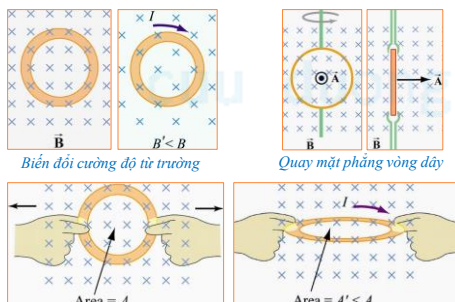
$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{Nếu gồm N vòng dây: } \mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$



DIỆN TỬ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ TS. Nguyễn Kim Quang

1. Các định luật cảm ứng điện từ

Những nguyên nhân biến đổi từ thông:



Biến đổi cường độ từ trường

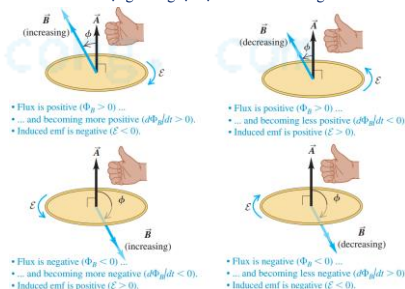
Quay mặt phẳng vòng dây

Biến đổi diện tích vòng dây

DIỆN TỬ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ TS. Nguyễn Kim Quang

1. Các định luật cảm ứng điện từ

Định luật Lenz: Hiệu ứng cảm ứng từ có chiều chống lại nguyên nhân gây ra hiệu ứng. Nói cách khác, dòng điện cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại sự biến đổi từ thông.



• Flux is positive ($\Phi_B > 0$) ...
• ... and becoming more positive ($d\Phi_B/dt > 0$).
• Induced emf is negative ($\mathcal{E} < 0$).

• Flux is positive ($\Phi_B > 0$) ...
• ... and becoming less positive ($d\Phi_B/dt < 0$).
• Induced emf is positive ($\mathcal{E} > 0$).

• Flux is negative ($\Phi_B < 0$) ...
• ... and becoming more negative ($d\Phi_B/dt < 0$).
• Induced emf is positive ($\mathcal{E} > 0$).

• Flux is negative ($\Phi_B < 0$) ...
• ... and becoming less negative ($d\Phi_B/dt > 0$).
• Induced emf is negative ($\mathcal{E} < 0$).

DIỆN TỬ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ TS. Nguyễn Kim Quang

2. Sức điện động của vật dẫn chuyển động – Thanh dẫn điện

Từ lực là nguồn gốc sinh ra sức điện động cảm ứng của vật dẫn chuyển động trong từ trường.

Trường hợp thanh dẫn ab chuyển động vận tốc v trong từ trường B theo phương vuông góc:

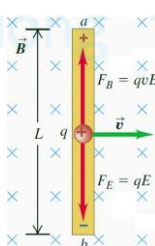
Điện tích tự do q trong thanh chịu từ lực: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

⇒ Điện trường tương đương trong thanh:

$$\vec{E}_{eq} = \frac{\vec{F}}{q} = \vec{v} \times \vec{B}, \quad E_{eq} = vB$$

Điện trường E_{eq} trong thanh làm điện tích tự do trong thanh dịch chuyển về một đầu thanh. Quá trình dịch chuyển điện tích làm xuất hiện điện trường tĩnh E tăng dần đến khi cân bằng với E_{eq} : $F = qvB = qE$

→ Hiệu điện thế hai đầu thanh: $U_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = EL = vBL$



DIỆN TỬ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ TS. Nguyễn Kim Quang

2. Sức điện động của vật dẫn chuyển động – Thanh dẫn điện

Trường hợp thanh dẫn điện ab trượt trên khung dẫn chữ U với vận tốc v theo phương vuông góc với từ trường đều B:

Điện tích q trong thanh chịu từ lực:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Điện trường tương đương:

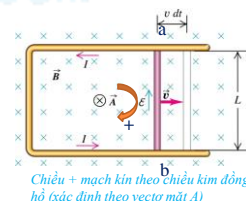
$$\vec{E}_{eq} = \frac{\vec{F}}{q} = \vec{v} \times \vec{B}, \quad E_{eq} = -vB$$

Sức điện động cảm ứng bằng lưu số

$$E_{eq} \text{ dọc theo khung dây: } \mathcal{E} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = \int_a^b E_{eq} dl = -vBL$$

Cách khác: Áp dụng định luật Faraday

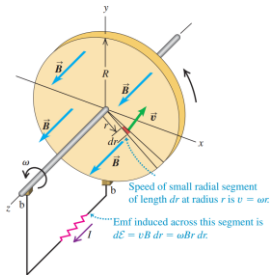
$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(BaS)}{dt} = -\frac{B(L \cdot vdt)}{dt} = -BLv$$



Chiều + mạch kín theo chiều kim đồng hồ (xác định theo vector mặt A)

2. Sức điện động của vật dẫn chuyển động – Đĩa tròn

Dòng điện trường tương đương $\Rightarrow \mathcal{E} = \int_0^R (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{r} = \int_0^R B\omega r \cdot dr = \frac{1}{2} B\omega R^2$



Cách khác: Trong thời gian dt, bán kính đĩa tròn quét một segment vi cấp dS. Từ thông qua dS là:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \frac{1}{2} R \cdot ds$$

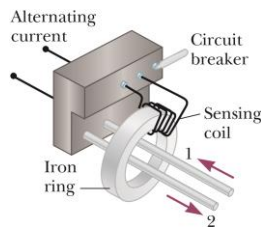
$$d\Phi_B = B \frac{1}{2} R \cdot R d\theta = \frac{1}{2} BR^2 \cdot d\theta$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{1}{2} BR^2 \omega$$

Đầu - chỉ sức điện động cảm ứng chống lại nguyên nhân gây ra nó. Điện tích dương dịch chuyển theo bán kính $O \rightarrow b$ của đĩa chịu từ lực ngược với chiều quay của đĩa.

7

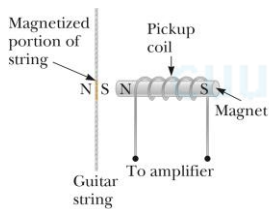
Sức điện động cảm ứng - Ứng dụng



Thành phần chủ yếu của thiết bị ngắt dòng chạm đất (Rò điện, Ground fault circuit Interrupter – Circuit Breaker). Bình thường dòng điện 1 và 2 và trái chiều, từ thông trong vòng sắt (Iron ring) bằng 0. Khi điện chạm đất (rò điện), dòng điện 1 và 2 không bằng nhau, từ thông trong vòng sắt biến đổi sinh ra sức điện động cảm ứng trong cuộn dây (coil), kích hoạt ngắt dòng điện.

8

Sức điện động cảm ứng - Ứng dụng



Nguyên tắc hoạt động của guitar điện. Dây đàn guitar bằng kim loại có thể bị từ hóa bởi nam châm (Magnet). Khi dây đàn dao động làm thay đổi từ thông qua cuộn dây (Pickup coil) sinh ra sức điện động cảm ứng trong cuộn dây, dẫn đến amplifier và khuếch đại dao động âm, dẫn đến loa.

9

3. Điện trường cảm ứng

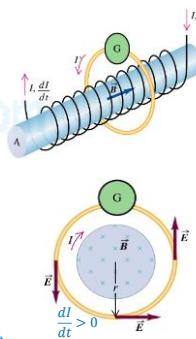
Sức điện động cảm ứng sinh ra khi vật dẫn chuyển động trong từ trường hoặc có sự biến đổi từ thông qua vật dẫn đứng yên. Xét trường hợp dòng điện I có tốc độ biến đổi dI/dt sinh ra dòng điện cảm ứng I'.

Lực tác dụng lên điện tích trong dây dẫn (màu vàng) tạo ra dòng điện cảm ứng I' không phải là từ lực trên điện tích chuyển động mà chỉ có thể là do xuất hiện điện trường cảm ứng (điện trường la, điện trường xoáy), khác với điện trường tĩnh.

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E}_c \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{Không bảo toàn})$$

Điện trường cảm ứng \vec{E}_c sinh ra ngay cả khi không có vật dẫn đặt tại đó.

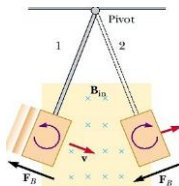
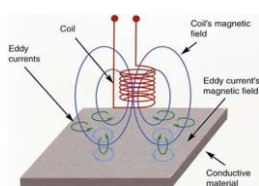
Tính chất điện trường cảm ứng hay điện trường tĩnh đều tác dụng lực \vec{F} lên điện tích q: $\vec{F} = q\vec{E}$



10

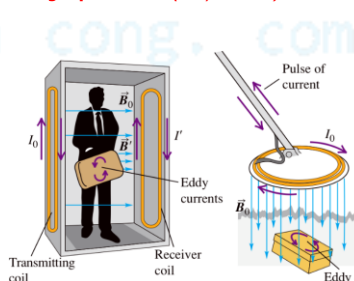
4. Dòng điện Foucault (Eddy currents)

Dòng điện xoáy cảm ứng trong vật dẫn do sự biến thiên từ thông. Dòng điện chạy theo vòng kín nằm trong mặt vuông góc với từ trường ngoài. Dòng điện này sinh ra từ trường chống lại sự biến đổi của từ thông.



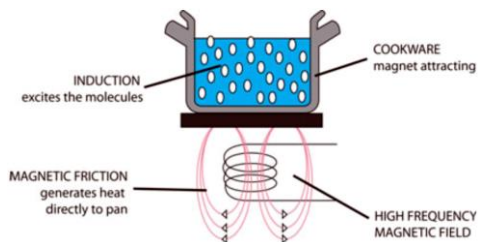
11

4. Dòng điện Foucault (Eddy currents)



(Máy dò kim loại)

12



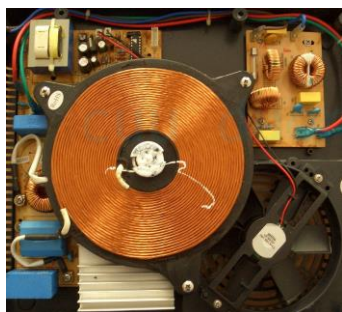
Nguyên tắc sinh nhiệt của bếp cảm ứng là dòng điện Foucault trong đáy nồi làm bằng kim loại sắt từ (gang, thép không gỉ)

13



Bếp cảm ứng điện từ đun sôi nồi thức ăn nhưng không làm cháy tờ báo dưới đáy nồi.

14



Bên trong bếp cảm ứng: cuộn dây đồng lớn tạo ra từ trường biến đổi tần số 20 – 100 kHz.

15

5. Hiện tượng hồ cảm (mutual inductance)

Hai mạch điện đặt cạnh nhau gồm N_1 và N_2 vòng dây. Dòng điện biến đổi trong mạch này làm từ thông qua mạch kia thay đổi và ngược lại, sinh ra sức động động cảm ứng trong 2 mạch, gọi là hiện tượng hồ cảm.

Sức điện động hồ cảm trên 2 cuộn dây:

$$\mathcal{E}_1 = -\frac{d\Phi_{B_1}}{dt} = -M \frac{di_2}{dt}$$

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_{B_2}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt}$$

Φ_{B_1} : Từ thông qua cuộn 1 gây ra bởi cuộn 2

$$M = -\frac{\Phi_{B_1}}{i_2} = -\frac{\Phi_{B_2}}{i_1}$$

M : hệ số hồ cảm

Hiện tượng hồ cảm là cơ sở hoạt động của các máy biến thế và phát điện.

16

6. Hiện tượng tự cảm (self inductance)

Dòng điện biến đổi trong mạch điện sinh ra sức động cảm ứng emf trong chính mạch đó gọi là sức điện động tự cảm.

Emf tự cảm luôn chống lại sự biến đổi của dòng điện.

Theo định luật Faraday: $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

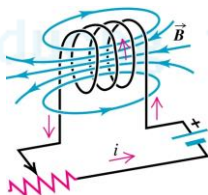
Độ (hệ số) tự cảm của mạch điện:

$$L = \frac{\Phi_B}{i} \quad (H = Wb/A = Vs/A = \Omega s = J/A^2)$$

Sức điện động tự cảm: $\mathcal{E} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$

Thí dụ cuộn dây Solenoid: $\Phi_B = \mu_0 n_0 i S$

\Rightarrow Hệ số tự cảm của cuộn dây: $L = \mu_0 n_0^2 S$



17

7. Năng lượng từ trường

Năng lượng cung cấp cho mạch điện khi dòng điện biến đổi vì cấp đi:

$$dU = i d\Phi = Li di$$

Năng lượng cung cấp cho mạch điện từ $i=0$ đến i là năng lượng từ trường của dòng điện i :

$$U_m = L \int_0^i i di = \frac{1}{2} Li^2$$

Mật độ năng lượng từ trường: $\omega_m = \frac{U_m}{V} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$

Năng lượng từ trường trong thể tích V : $U_m = \int_V \omega_m dV = \int_V \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} dV$

Định nghĩa vectơ H: $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} \Rightarrow U_m = \frac{1}{2} \int_V \vec{B} \cdot d\vec{H}$

18

TÓM TẮT CÔNG THỨC

1) Định luật Faraday: $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

2) Điện trường tương đương trong vật dẫn chuyển động trong từ trường: $\vec{E}_{eq} = \vec{v} \times \vec{B}$

3) Điện trường cảm ứng E_c : $\mathcal{E} = \oint \vec{E}_c \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

4) Sức điện động tự cảm: $\mathcal{E}_{tc} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$

5) Độ (hệ số) tự cảm của vật dẫn: $L = \frac{\Phi_B}{I}$

6) Mật độ năng lượng từ trường: $\omega_m = \frac{U_m}{V} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$

7) Năng lượng từ trường trong thể tích V: $U_m = \int_V \omega_m dV = \int_V \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} dV$

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com