

Tổng hợp kiến thức: Biến thiên từ thông và Hiện tượng cảm ứng điện từ

1. Từ thông (Φ)

a. Định nghĩa

Từ thông qua một diện tích S đặt trong từ trường đều là đại lượng đo lường số đường sức từ xuyên qua diện tích đó. Nó phụ thuộc vào độ lớn của cảm ứng từ, diện tích và góc hợp bởi vectơ cảm ứng từ và vectơ pháp tuyến của mặt phẳng.

b. Công thức tính từ thông

Đối với một khung dây phẳng có N vòng, đặt trong từ trường đều $\mathbf{B}$, từ thông được tính bằng công thức:

$$\Phi = NBS\cos\alpha$$

c. Giải thích các đại lượng

- Φ : Từ thông (đơn vị: Weber - Wb).
- N : Số vòng dây của khung dây.
- B : Cảm ứng từ của từ trường (đơn vị: Tesla - T).
- S : Diện tích của mỗi vòng dây (đơn vị: mét vuông - m^2).
- α : Góc tạo bởi vectơ cảm ứng từ $\mathbf{B}$ và vectơ pháp tuyến $\mathbf{n}$ của mặt phẳng khung dây.

d. Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1:** Một khung dây hình chữ nhật có 100 vòng, diện tích mỗi vòng là 20 cm^2 , đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,05 \text{ T}$. Vectơ cảm ứng từ hợp với mặt phẳng khung dây một góc 30° . Tính từ thông qua khung dây.

Giải:

- Đổi đơn vị: $S = 20 \text{ cm}^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.
- Góc giữa vectơ cảm ứng từ và mặt phẳng khung dây là 30° , nên góc α giữa vectơ cảm ứng từ và vectơ pháp tuyến là $\alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$.
- Áp dụng công thức: $\Phi = NBS \cos \alpha = 100 * 0,05 * (20 \cdot 10^{-4}) * \cos(60^\circ) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$.

2. **Ví dụ 2:** Một khung dây tròn có diện tích 50 cm^2 đặt vuông góc với các đường sức từ của một từ trường đều $B = 0,1 \text{ T}$. Tính từ thông.

Giải:

- Khung dây đặt vuông góc với đường sức từ, nghĩa là vectơ pháp tuyến $\mathbf{n}$ song song với vectơ cảm ứng từ $\mathbf{B}$. Do đó $\alpha = 0^\circ$.
- $S = 50 \text{ cm}^2 = 50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.
- Áp dụng công thức: $\Phi = BS \cos \alpha = 0,1 * (50 \cdot 10^{-4}) * \cos(0^\circ) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$.

2. Hiện tượng cảm ứng điện từ

a. Định nghĩa

Hiện tượng cảm ứng điện từ là hiện tượng xuất hiện một dòng điện (gọi là dòng điện cảm ứng) trong một mạch kín (C) khi từ thông qua diện tích giới hạn bởi mạch đó bị biến thiên theo thời gian.

b. Các cách làm biến thiên từ thông

Dựa vào công thức $\Phi = NBS\cos\alpha$, ta có thể làm biến thiên từ thông bằng một trong ba cách sau:

- **Thay đổi cảm ứng từ B:** Đưa nam châm lại gần hoặc ra xa vòng dây, hoặc thay đổi cường độ dòng điện trong một nam châm điện.
- **Thay đổi diện tích S:** Làm thay đổi hình dạng của khung dây (bóp méo, kéo dãn).
- **Thay đổi góc α :** Cho khung dây quay trong từ trường. Đây là nguyên tắc hoạt động của máy phát điện xoay chiều.

3. Suất điện động cảm ứng và Định luật Faraday

a. Định luật Faraday-Lenz

Khi có sự biến thiên từ thông qua mạch kín, trong mạch xuất hiện một suất điện động cảm ứng. Độ lớn của suất điện động cảm ứng tỉ lệ với tốc độ biến thiên của từ thông qua mạch.

b. Công thức tính suất điện động cảm ứng (e_c)

$$e_c = - \Delta\Phi / \Delta t$$

- e_c : Suất điện động cảm ứng (V).
- $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$: Độ biến thiên từ thông trong khoảng thời gian Δt (Wb).
- Δt : Khoảng thời gian xảy ra biến thiên (s).
- Dấu "-" thể hiện định luật Len-xơ về chiều của dòng điện cảm ứng.

Về độ lớn:

$$|e_c| = |\Delta\Phi / \Delta t|$$

Nếu khung dây có N vòng, công thức độ lớn là:

$$|e_c| = N |\Delta\Phi / \Delta t|$$

c. Ví dụ minh họa

- Ví dụ 1:** Một khung dây có 1000 vòng được đặt trong từ trường đều. Từ thông qua mỗi vòng dây giảm đều từ $1,6 \cdot 10^{-3}$ Wb xuống còn $0,6 \cdot 10^{-3}$ Wb trong thời gian 0,1 s. Tính độ lớn suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung dây.

Giải:

- Độ biến thiên từ thông qua mỗi vòng dây: $|\Delta\Phi| = |0,6 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-3}| = 10^{-3}$ Wb.
- Độ lớn suất điện động cảm ứng: $|e_c| = N |\Delta\Phi / \Delta t| = 1000 * (10^{-3} / 0,1) = 10$ V.

- Ví dụ 2:** Từ thông qua một mạch kín biến thiên theo thời gian theo phương trình $\Phi = 0,02(4 - t^2)$ (Wb), t tính bằng giây. Tính độ lớn suất điện động cảm ứng tại thời điểm $t = 1$ s.

Giải:

- Suất điện động cảm ứng tức thời: $e_c = -\Phi' = -[0,02(4 - t^2)]' = -0,02(-2t) = 0,04t$ (V).
- Tại $t = 1$ s, độ lớn suất điện động cảm ứng là: $|e_c| = 0,04 * 1 = 0,04$ V.

4. Định luật Len-xơ về chiều dòng điện cảm ứng

a. Phát biểu

Dòng điện cảm ứng xuất hiện trong mạch kín có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra chống lại sự biến thiên của từ thông ban đầu đã sinh ra nó.

b. Quy tắc xác định chiều (Quy tắc nắm tay phải)

- Bước 1:** Xác định chiều của vectơ cảm ứng từ **B** của từ trường ngoài.
- Bước 2:** Xác định xem từ thông Φ qua mạch tăng hay giảm.
- Bước 3:** Xác định chiều của vectơ cảm ứng từ cảm ứng **B_c** do dòng điện cảm ứng sinh ra:
 - Nếu Φ tăng, **B_c** ngược chiều với **B** (chống lại sự tăng).
 - Nếu Φ giảm, **B_c** cùng chiều với **B** (chống lại sự giảm).
- Bước 4:** Dùng quy tắc nắm tay phải, đặt ngón cái dọc theo chiều của **B_c**, chiều khum của các ngón tay còn lại chỉ chiều của dòng điện cảm ứng **i_c**.

c. Ví dụ minh họa

Ví dụ: Cho nam châm thẳng có cực Bắc (N) tiến lại gần một vòng dây kín (nhìn từ phía nam châm). Hỏi dòng điện cảm ứng trong vòng dây có chiều như thế nào?

Giải:

1. Từ trường ngoài **B** do cực Bắc gây ra có chiều đi vào vòng dây.
2. Nam châm tiến lại gần nên từ thông Φ qua vòng dây tăng.
3. Để chống lại sự tăng này, từ trường cảm ứng **B_c** phải ngược chiều với **B**, tức là có chiều đi ra khỏi vòng dây.
4. Áp dụng quy tắc nắm tay phải, đặt ngón cái theo chiều **B_c** (hướng ra xa nam châm), các ngón tay còn lại khum theo chiều ngược chiều kim đồng hồ. Vậy dòng điện cảm ứng có chiều ngược chiều kim đồng hồ.

5. Suất điện động cảm ứng trong đoạn dây chuyển động

a. Hiện tượng

Khi một đoạn dây dẫn thẳng có chiều dài l chuyển động với vận tốc **v** trong từ trường đều **B**, các electron tự do trong dây bị lực Lorentz tác dụng, tạo nên sự phân bố lại điện tích ở hai đầu dây. Kết quả là giữa hai đầu dây xuất hiện một suất điện động cảm ứng.

b. Công thức

$$e_c = Blv \sin\theta$$

- **B**: Cảm ứng từ (T).

- **l** : Chiều dài đoạn dây dẫn (m).
- **v** : Vận tốc của đoạn dây (m/s).
- **θ** : Góc hợp bởi vectơ vận tốc **v** và vectơ cảm ứng từ **B** .

Lưu ý: Công thức này đúng khi vectơ vận tốc **v** vuông góc với đoạn dây.

c. Quy tắc bàn tay phải xác định chiều

Để xác định chiều của suất điện động (xác định cực dương, âm): Đặt bàn tay phải hứng các đường sức từ (**B** hướng vào lòng bàn tay), ngón cái choãi ra 90° chỉ chiều chuyển động của dây (**v**), khi đó chiều từ cổ tay đến các ngón tay chỉ chiều dòng điện cảm ứng, tức là đầu dây có cực dương.

d. Ví dụ minh họa

Ví dụ: Một thanh kim loại dài 1 m chuyển động với vận tốc 15 m/s trong từ trường đều có $B = 0,5 \text{ T}$. Vectơ vận tốc vuông góc với thanh và hợp với đường sức từ một góc 30° . Tính suất điện động cảm ứng trong thanh.

Giải:

- Áp dụng công thức: $e_c = Blv \sin\theta = 0,5 * 1 * 15 * \sin(30^\circ) = 3,75 \text{ V}$.

6. Hiện tượng tự cảm

a. Định nghĩa

Hiện tượng tự cảm là hiện tượng cảm ứng điện từ xảy ra trong một mạch có dòng điện mà sự biến thiên của dòng điện trong mạch đó sinh ra một suất điện động cảm ứng chống lại sự biến thiên này.

b. Từ thông riêng và Độ tự cảm (L)

Từ thông do chính dòng điện i trong mạch tạo ra (từ thông riêng) tỉ lệ với cường độ dòng điện:

$$\Phi = Li$$

- **L**: Độ tự cảm (hay hệ số tự cảm) của mạch, phụ thuộc vào cấu tạo và kích thước của mạch. Đơn vị: Henry (H).

c. Suất điện động tự cảm (e_{tc})

Khi dòng điện trong mạch biến thiên, từ thông riêng cũng biến thiên, làm xuất hiện suất điện động tự cảm:

$$e_{tc} = -L (\Delta i / \Delta t)$$

Về độ lớn:

$$|e_{tc}| = L |\Delta i / \Delta t|$$

- **$\Delta i / \Delta t$** : Tốc độ biến thiên của cường độ dòng điện (A/s).

d. Năng lượng từ trường của ống dây

Năng lượng tích trữ trong ống dây có dòng điện chạy qua dưới dạng năng lượng từ trường:

$$W = (1/2) Li^2$$

- **W**: Năng lượng từ trường (Joule - J).

e. Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1:** Một ống dây có độ tự cảm $L = 0,5 \text{ H}$. Dòng điện trong ống dây giảm đều từ 2 A xuống 0 A trong thời gian $0,1 \text{ s}$. Tính độ lớn suất điện động tự cảm xuất hiện.

Giải:

- Độ biến thiên dòng điện: $|\Delta i| = |0 - 2| = 2 \text{ A}$.
- Độ lớn suất điện động tự cảm: $|e_{tc}| = L |\Delta i / \Delta t| = 0,5 * (2 / 0,1) = 10 \text{ V}$.

2. **Ví dụ 2:** Một cuộn cảm có độ tự cảm $L = 2 \text{ H}$ và có dòng điện 5 A chạy qua. Tính năng lượng từ trường tích trữ trong cuộn cảm.

Giải:

- Áp dụng công thức: $W = (1/2) Li^2 = (1/2) * 2 * 5^2 = 25 \text{ J}$.