

Lực từ tác dụng lên khung dây

A. Phương pháp & Ví dụ

Đường sức từ nằm ngang trong mặt phẳng khung

+ Lực từ tác dụng lên hai đoạn dây AB và CD bằng 0 (vì AB và CD song song với đường sức từ).

+ Áp dụng quy tắc bàn tay trái ta thấy các lực từ tác dụng lên hai đoạn dây BC và DA như hình vẽ a. Hai lực này hợp thành một ngẫu lực và làm cho khung dây quay quanh trục OO'.

Đường sức từ vuông góc với mặt khung: Áp dụng quy tắc bàn tay trái ta thấy các lực từ tác dụng lên khung dây như hình vẽ b. Các lực này không có tác dụng làm cho khung quay.

Ví dụ 1: Khung dây hình chữ nhật ABCD có cạnh $AB = CD = a = 10 \text{ cm}$, $AD = BC = b = 5 \text{ cm}$, có dòng $I_2 = 2 \text{ A}$ đi qua. Một dòng điện thẳng dài $I_1 = 4 \text{ A}$ nằm trong mặt phẳng ABCD cách AB một khoảng $d = 5 \text{ cm}$ như hình vẽ. Tính lực từ tổng hợp do I_1 tác dụng lên khung dây.

Hướng dẫn:

+ Từ trường do dòng I_1 gây nên tại các vị trí nằm trên cạnh khung dây có chiều hướng vào mặt phẳng hình vẽ.

+ Lực từ tác dụng lên mỗi cạnh của khung dây được xác định theo quy tắc bàn tay trái.

+ Các lực từ nói trên nằm trong mặt phẳng khung dây nên không gây ra momen làm cho khung quay.

+ Hợp lực tác dụng lên khung dây: $F_1 \rightarrow F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow F_4 \rightarrow$

+ Do tính chất đối xứng nên cảm ứng từ do I_1 gây nên tại M và P bằng nhau, nên F_1 và F_3 trực đối $\Rightarrow F_1 \rightarrow F_3 \rightarrow 0$

+ Vậy hợp lực viết gọn lại như sau: $F_2 \rightarrow F_4 \rightarrow$

+ Ta có:

+ Vì $F_2 \rightarrow F_4 \rightarrow F = |F_2 - F_4| = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ (N)}$

Ví dụ 2: Khung dây hình chữ nhật có diện tích $S = 25 \text{ cm}^2$ gồm có 10 vòng nối tiếp có cường độ dòng điện $I = 2 \text{ A}$ đi qua mỗi vòng dây. Khung dây đặt thẳng đứng trong từ trường đều có $B = 0,3 \text{ T}$. Tính momen lực từ đặt lên khung dây khi:

a) Cảm ứng từ B song song với mặt phẳng khung dây.

b) Cảm ứng từ B vuông góc với mặt phẳng khung dây.

Hướng dẫn:

Momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây N vòng là: $M = N \cdot B \cdot I \cdot S \cdot \sin \theta$

a) Khi cảm ứng từ B song song với mặt phẳng khung dây thì góc $\theta = 90^\circ$ nên:

$$M = N \cdot B \cdot I \cdot S = 15 \cdot 10^{-3} \text{ (N.m)}$$

b) Khi cảm ứng từ B vuông góc với mặt phẳng khung dây thì góc $\theta = 0^\circ$ nên:

$$N \cdot B \cdot I \cdot S \cdot \sin 0^\circ = 0$$

Ví dụ 3: Một khung dây có kích thước $2 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ đặt trong từ trường đều. Khung dây gồm 200 vòng. Cho dòng điện có cường độ $0,2 \text{ A}$ đi vào khung dây. Momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung có giá trị lớn nhất bằng $24 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$. Hãy tính cảm ứng từ của từ trường.

Hướng dẫn:

Momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây N vòng là: $M = N \cdot B \cdot I \cdot S \cdot \sin \theta$

Trong biểu thức trên ta thấy:

- N là số vòng dây luôn không đổi.
- B là từ trường đều và cũng không đổi trong quá trình khung quay.
- I là cường độ dòng điện chạy trong khung và được giữ cố định nên cũng không đổi.
- S là diện tích khung dây và diện tích này cũng không đổi khi khung quay.
- θ là góc hợp bởi giữa vectơ cảm ứng từ và vectơ pháp tuyến của mặt phẳng khung dây. Trong quá trình khung quay thì chỉ có đại lượng này thay đổi vì thế

M_{\max} khi và chỉ khi $\sin\theta = 1$ nghĩa là $\theta = 90^\circ$.

Từ những lý luận trên ta có: $M_{\max} = NBIS$

B. Bài tập

Bài 1: Khung dây hình chữ nhật kích thước $AB = a = 10 \text{ cm}$, $BC = b = 5 \text{ cm}$ gồm có 20 vòng nối tiếp có thể quay quanh cạnh AB thẳng đứng. Khung dây có dòng $I = 1 \text{ A}$ chạy qua và đặt trong từ trường đều có \vec{B} nằm ngang, $(\vec{B}, \vec{n}) = 30^\circ$, $B = 0,5 \text{ T}$. Tính momen lực từ đặt lên khung dây.

Lời giải:

Momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây:

$$M = N.B.I.S.\sin\theta = 20.0,5.1.(10.5.10^{-4}).\sin 30^\circ = 0,025 \text{ (Nm)}$$

Bài 2: Một khung dây tròn bán kính 5 cm gồm 75 vòng được đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $0,25 \text{ T}$. Mặt phẳng của khung dây hợp với đường sức từ một góc 60° . Tính momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây. Cho biết mỗi vòng dây có cường độ dòng điện 8 A chạy qua.

Lời giải:

Vì mặt phẳng khung dây hợp với \vec{B} một góc 60° nên ta có $\theta = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$

Momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây:

$$M = N.B.I.S.\sin\theta = 75.0,25.8.(\pi.0,05^2).\sin 30^\circ = 0,059 \text{ (Nm)}$$

Bài 3: Một khung dây hình chữ nhật $ABCD$ đặt trong từ trường đều cảm ứng từ $B = 5.10^{-2} \text{ T}$. Cạnh AB của khung dài 3 cm , cạnh BC dài 5 cm . Dòng điện trong khung có cường độ 2 A . Tính giá trị lớn nhất của momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung trong 2 trường hợp:

- Cạnh AB của khung vuông góc còn cạnh BC song song với đường sức từ.
- Cạnh BC của khung vuông góc còn cạnh AB song song với đường sức từ.

Lời giải:

Ta có: $M = B.I.S.\sin\theta \Rightarrow M_{\max}$ khi và chỉ khi $\sin\theta = 1$ nên momen ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây trong 2 trường hợp đều bằng nhau:

$$M = B.I.S = 1,5.10^{-4} \text{ (Nm)}$$

Bài 4: Một khung dây hình vuông $CDEG$, $CD = a$ được giữ trong từ trường đều như hình vẽ. Vectơ cảm từ \vec{B} song song với các cạnh CD , EG , dòng điện trong khung có cường độ I .

- Xác định các lực từ tác dụng lên các cạnh của khung.
- Tính momen của các lực từ tác dụng lên khung $CDEG$ đối với trục T đi qua tâm hình vuông và song song với cạnh DE . Sau đó tính momen của các lực đối với trục T' bất kì song song với T .

Lời giải:

a) $GE \parallel CD \parallel \vec{B}$ nên $F_{CD} = F_{GE} = 0$

$$F_{CG} = F_{DE} = B.I.a$$

b) Đối với trục T, 2 lực F_{CG} và F_{DE} làm khung quay cùng chiều (chiều quay quanh trục T) nên:

c) Đối với trục T' 2 lực F_{CG} và F_{DE} làm khung quay ngược (chiều quay quanh trục T) chiều nên:

$$M_{T'} = F_{DE}(d + a) - F_{CG}.d = B.l.a^2$$