

tốc $v = 20 \frac{m}{s}$ thẳng góc với phương từ trường. Thanh dẫn trượt trên hai thanh kim loại và hai đầu thanh kim loại nối với điện trở $R = 0,5 \Omega$ làm thành một vòng kín. Coi điện trở của thanh kim loại rất nhỏ và bỏ qua.

Tính sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn, công suất điện trở tiêu thụ, công suất cơ và lực cơ học tác dụng vào thanh dẫn.

Lời giải :

Sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn:

$$e = Blv = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 20 = 14V$$

Dòng điện chạy qua điện trở R

$$I = \frac{e}{R} = \frac{14}{0,5} = 28A$$

Công suất điện trở tiêu thụ

$$P_d = RI^2 = 0,5 \cdot 28^2 = 392 W$$

Bỏ qua tổn hao trong hệ thống, theo định luật bảo toàn năng lượng công suất cơ tác dụng vào thanh dẫn phải bằng công suất điện phát ra cung cấp cho điện trở R.

Vậy : Công suất cơ: $P_{co} = P_d = 392 W$

Lực cơ học tác dụng vào thanh dẫn là :

$$F_{co} = \frac{P_{co}}{v} = \frac{392}{20} = 19,6N$$

Đây là một ví dụ đơn giản, giúp ta hiểu nguyên lý làm việc của các máy phát điện là: Nhờ từ trường, cơ năng đưa vào trục của máy phát điện được biến đổi thành điện năng lấy ra ở dây quấn của máy phát để cung cấp cho tải.

2.5. ĐỊNH LUẬT LỰC ĐIỆN TỪ

Khi thanh dẫn mang dòng điện nằm trong từ trường, thanh dẫn sẽ chịu lực điện từ tác dụng có trị số là :

$$F_{dt} = BIl \sin \alpha \quad (2-12)$$

Trong đó :

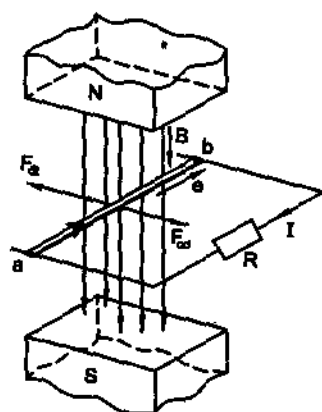
B - Cường độ từ cảm đo bằng T.

I - Dòng điện đo bằng A.

l - Chiều dài hiệu dụng thanh dẫn đo bằng m.

α - Góc giữa chiều dòng điện và chiều từ trường $\alpha = (\vec{I}, \vec{B})$.

F_{dt} - Lực điện từ đo bằng N (niutơn).



Hình 2.15

Khi thanh dẫn đặt vuông góc với từ trường (là trường hợp thường gặp trong máy điện, $\alpha = 90^\circ$) lực điện từ là :

$$F_{dt} = BIl \quad (2-13)$$

Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái (hình 2.16) như sau : cho chiều đường sức từ trường xuyên vào lòng bàn tay trái, chiều dòng điện trùng với chiều 4 ngón tay, thì chiều ngón tay cái xoè ra là chiều lực điện từ F_{dt} .

Ví dụ 7 : Một thanh dẫn $l = 2\text{m}$ có dòng điện $I = 150\text{mA}$ chạy qua, đặt vuông góc với từ trường đều $B = 1,2\text{T}$. Chiều dòng điện đi từ dọc giá vào trang giấy (hình 2.17).

Tính trị số và chiều lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn.

Lời giải :

Trị số của lực điện từ

$$F_{dt} = BIl = 1,2 \cdot 0,15 \cdot 2 = 0,36 \text{ N}$$

Áp dụng quy tắc bàn tay trái ta xác định được chiều lực điện từ hướng xuống dưới.

Ví dụ 8: Xác định trị số và chiều của lực điện từ F_{dt} tác dụng lên thanh dẫn trong ví dụ 6.

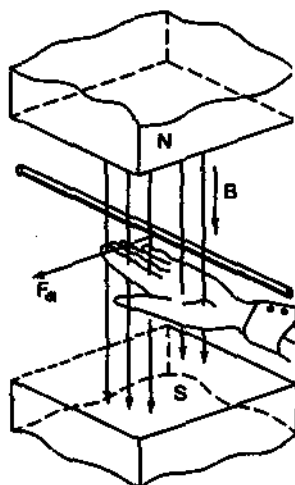
Lời giải :

Lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn:

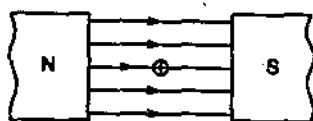
$$F_{dt} = BIl = 1,4 \cdot 28 \cdot 0,5 = 19,6 \text{ N}$$

Chiều của lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái vẽ trên hình 2.15.

Ta thấy rằng trong ví dụ 6 thanh dẫn đóng vai trò phát điện, lực điện từ F_{dt} có tác dụng hãm (hình 2.15) cân bằng với lực cơ tác dụng vào thanh, nhờ đó thanh dẫn chuyển động với vận tốc v không đổi.



Hình 2.16



Hình 2.17

2.6. ĐỊNH LUẬT MẠCH TỪ - TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

1. Định luật dòng điện toàn phần áp dụng cho mạch từ

Mạch từ gồm các bộ phận sau: bộ phận dẫn từ gồm chủ yếu là các đoạn làm bằng vật liệu sắt từ nối lại với nhau thành một mạch khép kín để dẫn từ thông và nguồn từ hoá là cuộn dây có dòng điện để tạo ra từ thông trong mạch.

Hình 2.18 là mạch từ đơn giản đồng nhất bằng thép kỹ thuật điện, chỉ có một cuộn dây. Khi có dòng điện I đi qua cuộn dây, sẽ tạo ra từ thông chạy trong mạch từ. Vì rằng hệ số từ thẩm μ của thép lớn hơn của không khí bao quanh rất nhiều nên hầu hết từ thông tập trung chạy trong mạch từ.

Định luật dòng điện toàn phần áp dụng vào mạch từ hình 2.18 được viết như sau :

$$WI = HI \quad (2-14)$$

Trong đó :

H - cường độ từ trường trong mạch từ đo bằng A/m.

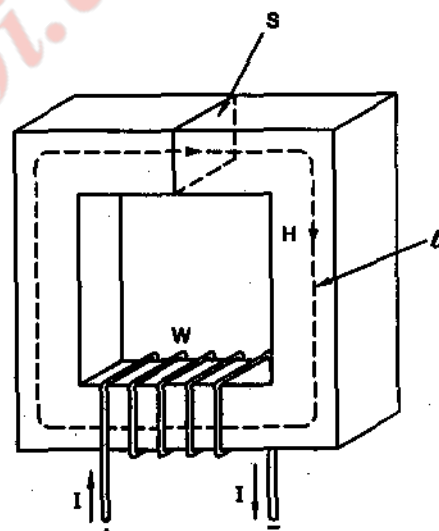
l - chiều dài trung bình của mạch từ đo bằng m.

W - số vòng dây của cuộn dây.

Dòng điện I tạo ra từ thông cho mạch từ, gọi là dòng điện từ hoá.

Tích số WI được gọi là sức từ động.

HI được gọi là từ áp rơi trong mạch từ.



Hình 2.18

Đối với mạch từ gồm nhiều cuộn dây và nhiều đoạn khác nhau (các đoạn làm bằng vật liệu khác nhau, hoặc tiết diện khác nhau), ví dụ mạch từ hình 2.19 thì định luật mạch từ viết là:

$$W_1 I_1 - W_2 I_2 = H_1 l_1 + H_2 l_2$$

Trong đó :

H_1, H_2 - tương ứng là cường độ từ trường trong đoạn 1, 2.

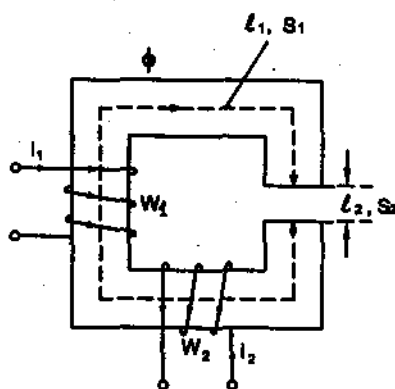
l_1, l_2 - chiều dài trung bình đoạn 1, 2.

$H_1 l_1, H_2 l_2$ - gọi là từ áp đoạn 1, 2.

$W_1 I_1, W_2 I_2$ - sức từ động dây quấn 1, 2.

S_1, S_2 - tiết diện đoạn 1, 2.

Chú ý rằng : có dấu - trước $W_2 I_2$ vì dòng điện I_2 sinh ra từ thông ngược với chiều từ thông đã chọn theo quy tắc vụn nút chai.



Hình 2.19

Một cách tổng quát đối với mạch từ có n đoạn và m cuộn dây định luật mạch từ được viết:

$$\sum_{j=1}^m W_j I_j = \sum_{k=1}^n H_k l_k \quad (2-15)$$

Trong đó : dòng điện I_j nào có chiều phù hợp với chiều từ thông ϕ đã chọn theo quy tắc vụn nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm.

k - Chỉ số tên đoạn mạch từ.

j - Chỉ số tên cuộn dây dòng điện.

Công thức 2-15 được gọi là định luật mạch từ.

Ví dụ 9 : Một mạch từ hình 2.20. Đường cong từ hoá $B = f(H)$ của vật liệu cho ở bảng sau :

B (T)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,35
H (A/m)	52	58	65	76	90	110	132	165	220	300	380	600	900

B (T)	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
H (A/m)	1200	2000	3000	4500	6000	10000	14000

Cho biết từ cảm trong khe hở $B_2 = 1,3T$ và cuộn dây có 1000 vòng. Tính dòng điện trong cuộn dây.

Lời giải:

Cường độ từ trường trong khe hở không khí.

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{1,3}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1035032 \text{ A/m}$$

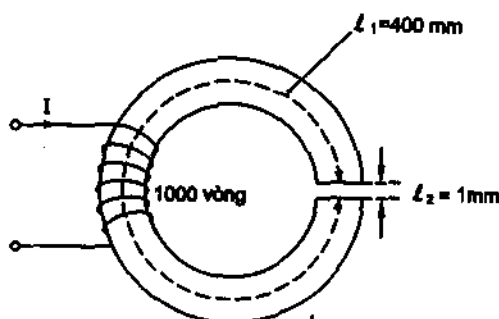
Cường độ từ trường trong đoạn thép : từ $B_1 = 1,3T$ tra bảng được $H_1 = 600 \text{ A/m}$.

Áp dụng định luật mạch từ :

$$WI = H_1 l_1 + H_2 l_2$$

$$1000I = 600 \cdot 0,4 + 1035032 \cdot 0,001$$

$$\text{Từ đó : } I = \frac{1275}{1000} = 1,275 \text{ A}$$



Hình 2.20

Ví dụ 10 : Mạch từ hình 2.21 gồm 3 cuộn dây

$$W_1 = 2000 \text{ vòng} ; I_1 = 0,5 \text{ A}$$

$$W_2 = 400 \text{ vòng} ; I_2 = 1 \text{ A}$$

$$W_3 = 1000 \text{ vòng.}$$

Đường cong từ hoá của vật liệu B = f(H) cho ở ví dụ 9. Cho biết từ thông trong lõi thép bằng $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$.

Xác định dòng điện I_3 .

Lời giải:

Chọn chiều từ thông như hình 2.21.

Từ cảm trong lõi thép

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ T}$$

Tra bảng đường cong từ hoá ở ví dụ 9.

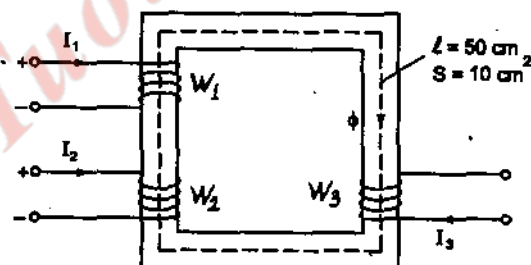
$$\text{Từ trị số: } B = 1,5 \text{ T} ; H = 3000 \text{ A/m}$$

Áp dụng định luật mạch từ:

$$Hl = W_1 I_1 - W_2 I_2 + W_3 I_3$$

$$\text{Suy ra: } I_3 = \frac{Hl - W_1 I_1 + W_2 I_2}{W_3} = \frac{3000 \cdot 0,5 - 2000 \cdot 0,5 + 400 \cdot 1}{1000}$$

$$I_3 = 0,9 \text{ A}$$



Hình 2.21

2. Định luật Ôm cho mạch từ

Từ (2-4) $H = \frac{B}{\mu}$ và (2-5) $BS = \phi$ thay vào biểu thức (2-14) ta có :

$$WI = Hl = \frac{B}{\mu} \cdot \frac{Sl}{S} = \phi \cdot \frac{l}{\mu S} \quad (2-16)$$

Từ thông ϕ chạy trong mạch từ tương tự như dòng điện I chạy trong mạch điện, khi thiết lập mô hình mạch từ, từ biểu thức (2-16) người ta đưa vào các khái niệm sức từ động F_m và từ trở R_m như sau:

a. Sức từ động F_m

Sức từ động F_m đặc trưng cho khả năng tạo ra từ thông trong mạch từ.

(Tương tự như sức điện động E tạo ra dòng điện I trong mạch điện).

Sức từ động F_m của cuộn dây dòng điện được tính là:

$$F_m = WI \quad (2-17)$$

Trong đó :

W - số vòng dây

I - dòng điện chạy trong cuộn dây

Đơn vị của sức từ động là ampe, ký hiệu là A.

b. Từ trở R_m

Từ trở R_m là đại lượng đặc trưng cho vật dẫn từ về mặt cản trở từ thông chạy qua. (Tương tự như điện trở R hạn chế dòng điện trong mạch điện).

Từ trở của một vật dẫn từ phụ thuộc vào bản chất và kích thước của nó.

Từ trở của một vật dẫn từ đồng chất có hệ số từ thẩm μ , tiết diện S , chiều dài l được tính là:

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (2-18)$$

Đơn vị của từ trở là $\frac{1}{H} = \frac{A}{Wb}$

Sau khi đưa khái niệm sức từ động F_m , từ trở R_m , biểu thức (2-16) được viết là :

$$F_m = \phi R_m \quad (2-19)$$

Biểu thức (2-19) (tương tự như định luật Ôm cho mạch điện $E = IR$), được gọi là định luật Ôm cho mạch từ.

Ví dụ 11: Tính từ trở của một đoạn mạch từ làm bằng thép $\mu = 1500\mu_0$, có tiết diện ngang $S = 120\text{cm}^2$, chiều dài $l = 50\text{cm}$.

Lời giải :

Từ trở của đoạn mạch từ là :

$$R_m = \frac{l}{\mu S} = \frac{50 \cdot 10^{-2}}{1500 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 120 \cdot 10^{-4}} = 2,21 \cdot 10^4 \frac{1}{H}$$

Ví dụ 12 : Một nam châm điện một chiều có 1250 vòng dây, dòng điện chạy trong cuộn dây $I = 0,2\text{A}$. Tính sức từ động của nam châm điện.

Lời giải :

Sức từ động của nam châm điện

$$F_m = WI = 1250 \cdot 0,2 = 250\text{A}$$

Ví dụ 13: Một mạch từ như hình 2.22a, phần thép có chiều dài trung bình $l_{Fe} = 75\text{cm}$, tiết diện $S = 100\text{ cm}^2$, phần không khí có chiều dài $l_s = 2\text{mm}$. Biết hệ số từ thẩm của thép $\mu_{Fe} = 1725\mu_0$, dòng điện trong cuộn dây $I = 100\text{A}$.

Xác định số vòng dây W để có từ cảm trọng khe hở không khí $B_s = 1,3\text{T}$.

Lời giải :

Mô hình mạch từ vẽ trên hình 2.22b.

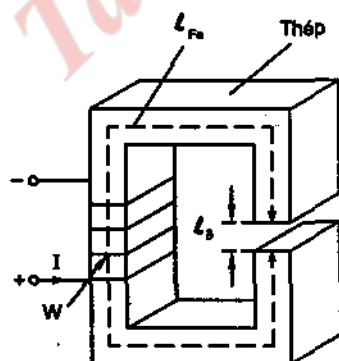
Trước hết tính từ trở của các đoạn mạch từ.

Từ trở phần thép :

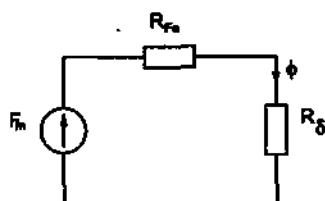
$$R_{Fe} = \frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe} S} = \frac{75 \cdot 10^{-2}}{1725 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 3,46 \cdot 10^4 \frac{1}{H}$$

Từ trở phần khe hở không khí

$$R_s = \frac{l_s}{\mu_0 S} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 1,59 \cdot 10^5 \frac{1}{H}$$



a)



b)

Hình 2.22

Từ thông chạy trong mạch từ :

$$\phi = B_s S = 1,3 \cdot 100 \cdot 10^{-4} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

Áp dụng định luật Ôm cho mạch từ ta có sức từ động toàn mạch:

$$W I = F_m = \phi (R_{Fe} + R_s) = 1,3 \cdot 10^{-2} (3,46 \cdot 10^4 + 1,59 \cdot 10^5)$$

$$F_m = 2516,8\text{A}$$

Số vòng dây là :

$$W = \frac{F_m}{I} = \frac{2516,8}{100} \approx 25 \text{ vòng}$$

Từ áp rơi trên phần thép U_{mFe}

$$U_{mFe} = \Phi R_{Fe} = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 3,46 \cdot 10^4 = 4,498 \cdot 10^2 \text{ A}$$

Từ áp rơi trên phần khe hở không khí

$$U_{m\delta} = \Phi R_{\delta} = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,59 \cdot 10^5 = 2,067 \cdot 10^3 \text{ A}$$

Tổng từ áp rơi trên toàn mạch là :

$$U_{mFe} + U_{m\delta} = 4,5 \cdot 10^2 + 2,067 \cdot 10^3 = 2516,8 \text{ A}$$

Ta thấy tổng từ áp rơi trên toàn mạch từ khép kín bằng tổng sức từ động F_m trong mạch từ (tương tự như định luật Kiếtshôp 2 trong mạch điện đã học ở chương I).

Từ sự tương tự giữa mạch từ và mạch điện, ta có thể sử dụng các phương pháp giải mạch điện để giải mạch từ.

CÂU HỎI ÔN TẬP VÀ BÀI TẬP

2.1. Hãy viết biểu thức quan hệ giữa cường độ từ cảm B và từ thông Φ và đơn vị của chúng.

2.2. Hãy viết biểu thức quan hệ giữa cường độ từ cảm B và cường độ từ trường H và đơn vị của chúng.

2.3. Phát biểu định luật cảm ứng điện từ.

2.4. Phát biểu định luật lực điện từ.

2.5. So sánh sự tương tự giữa sơ đồ mạch điện và sơ đồ mạch từ, chỉ rõ các đại lượng tương tự nhau.

2.6. Từ thông xuyên qua một tiết diện $S = 50\text{cm}^2$ bằng $\Phi = 6 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$. Cho biết từ trường phân bố đều trên diện tích S. Tính cường độ từ cảm B.

Đáp số $B = 1,2\text{T}$

2.7. Một cuộn dây 500 vòng. Người ta đưa một nam châm tiến gần đến cuộn dây. Biết rằng tốc độ biến thiên từ thông qua cuộn dây là $0,6 \frac{\text{Wb}}{\text{s}}$. Tính sức điện động cảm ứng trong cuộn dây.

Đáp số $e = 300\text{V}$

2.8. Một thanh dẫn có chiều dài $l = 0,6\text{m}$ chuyển động thẳng góc với một từ trường đều giữa 2 cực của một nam châm. Cho biết diện tích mặt cực nam châm $s = 12\text{cm}^2$, từ thông dưới mỗi cực $\Phi = 1,44 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$, tốc độ $v = 14\text{m/s}$. Tính sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn.

Đáp số $e = 10,08\text{V}$

2.9. Thanh dẫn trong bài số 2.8 cung cấp điện cho điện trở $R = 2\Omega$. Tính lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn. Chiều của lực điện từ và chiều v quan hệ với nhau như thế nào? Vai trò của lực điện từ trong trường hợp này.

Đáp số $F_{\text{at}} = 3,6288 \text{ N}$; \vec{F}_{at} ngược chiều \vec{v} ; F_{at} đóng vai trò lực hãm.

2.10. Tính từ trở của đoạn mạch từ khe hở không khí dài $l = 2\text{mm}$, tiết diện $S = 120\text{cm}^2$.

Đáp số $R_M = 1,326 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{H}}$

2.11. Tính từ trở của đoạn mạch từ làm bằng thép dài $l = 7\text{cm}$; tiết diện hình vuông cạnh 3cm . Biết hệ số từ thẩm $\mu = 500 \mu_0$.

Đáp số: $R_M = 1,238 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{H}}$

2.12. Một mạch từ làm bằng thép có hệ số từ thẩm $\mu = 750 \mu_0$; chiều dài mạch từ $l = 1,26\text{m}$. Tiết diện mạch từ $S = 20\text{cm}^2$. Cuộn dây 650 vòng mang dòng điện $I = 3\text{A}$.

- Tính
- Sức từ động mạch từ
 - Từ trở R_M của mạch từ
 - Từ thông chạy trong mạch từ
 - Cường độ từ cảm và cường độ từ trường trong mạch từ.

Đáp số: $F_m = 1950 \text{ A}$

$$R_M = 6,68 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{H}}$$

$$\Phi = 2,917 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$B = 1,458 \text{ T}$$

$$H = 1547 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$