

Chương 1

Mạch Từ trong các TB KTĐ

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

1

cuu duong than cong . com

Các công thức cơ bản

Hệ phương trình Maxwell

Mạch từ làm từ vật liệu sắt từ có hoặc không có khe hở không khí

Giải bài toán mạch từ dựa trên hệ phương trình Maxwell mô tả trường từ tĩnh:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_A \vec{J} d\vec{A}$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

→ xây dựng các định luật Ohm và định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

2

Các công thức cơ bản

Định luật Ohm

Ví dụ áp dụng :

Mạch từ đối xứng vòng xuyên quấn N vòng dây

S: tiết diện

R_1 : bán kính trong

R_2 : bán kính ngoài

R: bán kính trục lõi, $R_2 - R_1 \ll R$

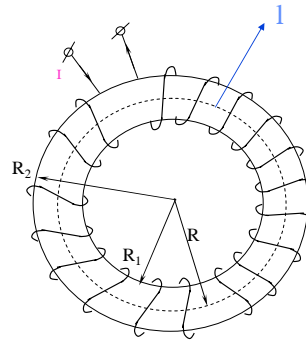
I: dòng điện một chiều

Đường trục lõi có chu vi là $l = 2 \pi R$

Áp dụng định luật dòng điện toàn phần
cho mạch vòng khép kín l là đường trục lõi

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = Hl = NI$$

$$NI = Hl = \frac{B}{\mu} l = B.S \frac{l}{\mu S} = \phi.R_m$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

3

Các công thức cơ bản

Định luật Ohm

→ Định luật Ohm trong mạch từ

$$F = U_m = \phi R_m$$

$$F = NI: \text{ sức từ động}$$

$$R_m = \frac{l}{\mu S}: \text{ từ trở}$$

$$\phi = BS: \text{ từ thông chạy trong lõi thép}$$

$$U_m = \phi R_m = H.l: \text{ từ áp}$$

Sức từ động $F = NI$ là nguồn sinh ra từ thông ϕ
chạy khép kín trong mạch từ có từ trở R_m

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

4

Các công thức cơ bản

Định luật Kirchhoff 2

→ Định luật Kirchhoff 2 đối với mạch từ

$$\sum_{i=1}^n F_i + \sum_{k=1}^m \phi_k R_{mk} = 0$$

Đối với một mạch vòng khép kín trong mạch từ, tổng đại số các từ áp rơi trên mạch vòng đó và các sức từ động là bằng không

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

5

cuu duong than cong . com

Các công thức cơ bản

Định luật Kirchhoff 1

Ví dụ áp dụng :

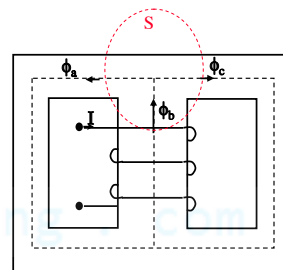
Xét mạch từ hình E

Trụ giữa được quấn N vòng dây và có dòng điện I chạy qua
Sức từ động NI sinh ra các từ thông ϕ_a , ϕ_b và ϕ_c chạy khép kín trong mạch từ.

Áp dụng định luật Gauss cho mặt kín S bao quanh phần giao của ba trụ lõi thép

$$\phi_b - \phi_a - \phi_c = 0$$

hay $\phi_b = \phi_a + \phi_c$



→ Định luật Kirchhoff 1 đối với mạch từ

$$\sum_{i=1}^n \phi_i = 0$$

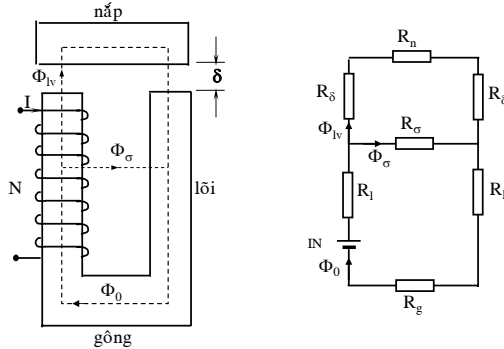
Đối với một nút bất kỳ trong mạch từ. Tổng đại số các từ thông đi vào đi ra khỏi nút bằng không

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

6

Sơ đồ thay thế của mạch từ

Mạch từ một chiều



δ khe hở không khí
 Φ_0 từ thông tổng qua gông của mạch từ
 Φ_{iv} từ thông làm việc
 Φ_g là từ thông rò từ lõi này sang lõi kia

R_n, R_l, R_g là từ trở của nắp, lõi và gông mạch từ.
 R_δ là từ trở của khe hở không khí
 R_σ là từ trở rò từ lõi này sang lõi kia

$$G_\delta = \frac{1}{R_\delta} \quad \text{từ dẫn của khe hở không khí}$$

$$G_\sigma = \frac{1}{R_\sigma} \quad \text{từ dẫn rò}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

7

cuu duong than cong . com

Từ dẫn của khe hở không khí

Hệ số tản

Khi bỏ qua từ thông tản (khi δ rất nhỏ hơn kích thước bề mặt cực từ):

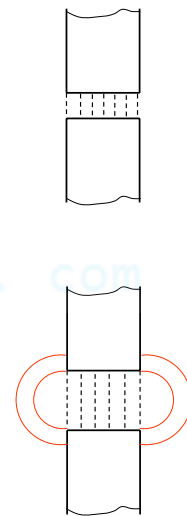
$$\text{từ trở} \quad R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 S} \quad \text{từ dẫn} \quad G_\delta = \frac{\mu_0 S}{\delta}$$

S : diện tích bề mặt từ .
 μ_0 : hằng số từ hay độ từ thẩm chân không
 - trong hệ đo lường SI : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$

Khi không bỏ qua từ thông tản:

$$G_\delta = \sigma_t \frac{\mu_0 S}{\delta}$$

$\sigma_t \geq 1$, gọi là hệ số tản



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

8

Từ dẫn của khe hở không khí

Tính từ dẫn của KHKK khi xét đến từ thông tản

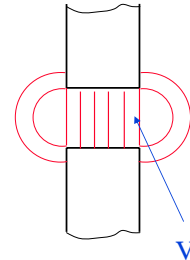
1- Phương pháp phân tích

Được sử dụng khi có thể biểu diễn dG bằng biểu thức giải tích

$$G = \int_V dG$$

2- Phương pháp thực nghiệm

Dùng các công thức thực nghiệm



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

9

Từ dẫn của khe hở không khí

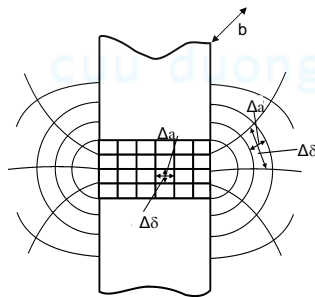
Tính từ dẫn của KHKK khi xét đến từ thông tản

3- Phương pháp vẽ từ trường

Từ trường được đặc trưng bằng tập hợp của các đường/bề mặt sức và đẳng thế

Nếu cấu trúc của từ trường ở một trong ba chiều bất kỳ là không thay đổi thì có thể khảo sát từ trường trên mặt phẳng của 2 chiều còn lại

→ Từ trường song phẳng



Hình ảnh của từ trường là một mạng lưới bao gồm các mắt lưới hình chữ nhật cong có tỷ lệ giữa các chiều dài và rộng trung bình là hằng số

$$\Delta G = \mu_o \cdot b \frac{\Delta a}{\Delta \delta} = const$$

→ Đếm số mắt lưới để tính từ dẫn của KHKK

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

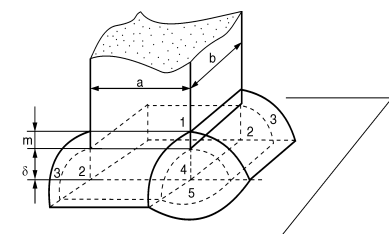
10

Từ dẫn của khe hở không khí

Tính từ dẫn của KHKK khi xét đến từ thông tản

4- Phương pháp phân chia từ trường

Phân chia từ trường thành tập hợp các hình khối đơn giản có thể xác định được từ dẫn G_i



Từ dẫn của các hình khối đơn giản có thể được xác định gần đúng trên cơ sở các khảo sát lý thuyết và thực nghiệm như sau:

$$G_i = \mu_o \frac{S_{ib}}{\delta_{ib}}$$

S_{ib} - giá trị trung bình tiết diện của hình khối

δ_{ib} - độ dài trung bình của đường sức từ đi xuyên qua mỗi hình khối, được xác định từ thực nghiệm

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

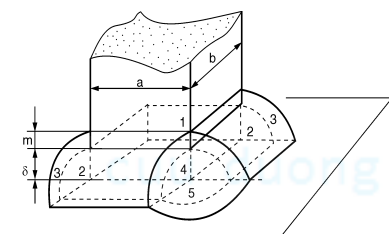
11

cuu duong than cong . com

Từ dẫn của khe hở không khí

Tính từ dẫn của KHKK khi xét đến từ thông tản

4- Phương pháp phân chia từ trường (tt)



G_1 - Khối hình hộp chữ nhật

G_2 - Các khối hình một phần tư trụ có bán kính δ và có chiều dài tương ứng với cạnh của bề mặt cực từ là a

$G_{2'}$ - Các khối hình một phần tư trụ có bán kính δ và có chiều dài tương ứng với cạnh của bề mặt cực từ là b

G_3 - Các khối một phần tư trụ rỗng có bán kính δ , bề dày m và có độ dài tương ứng là a

$G_{3'}$ - Các khối một phần tư trụ rỗng có bán kính δ , bề dày m và có độ dài tương ứng là b

G_4 - Các khối một phần tám hình cầu có bán kính là δ

G_5 - Các khối một phần tám cầu rỗng, bán kính δ , bề dày m

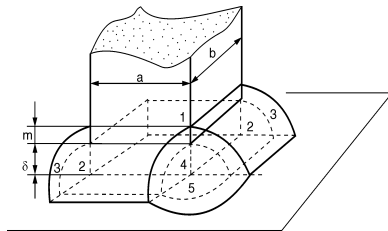
BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

12

Từ dẫn của khe hở không khí

Tính từ dẫn của KHKK khi xét đến từ thông tản

4- Phương pháp phân chia từ trường



$$G_{\delta} = G_1 + 2G_2 + 2G_{2'} + 2G_3 + 2G_{3'} + 4G_4 + 4G_5$$

Hệ số tản

$$\sigma_t = \frac{G_{\delta}}{G_1}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

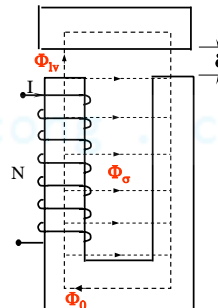
13

Từ trở của khe hở không khí

Hệ số rò

Hệ số rò → đánh giá mức độ rò của từ thông từ lõi này sang lõi kia:

$$\sigma_r = \frac{\phi_0}{\phi_{lv}}$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

14

Từ trở của khe hở không khí

Hệ số rò

Ví dụ tính hệ số rò của mạch từ nam châm điện khi $R_n \ll R_\sigma, R_{\delta\Sigma}$

Theo định luật Kirchhoff 1 : $\phi_0 = \phi_{IV} + \phi_\sigma$

Do đó :

$$\sigma_r = \frac{\phi_{IV} + \phi_\sigma}{\phi_{IV}} = 1 + \frac{\phi_\sigma}{\phi_{IV}}$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho mạch vòng gồm $R_n, R_{\delta\Sigma}$ và R_σ :

$$\phi_\sigma R_\sigma = \phi_{IV} (R_n + R_{\delta\Sigma})$$

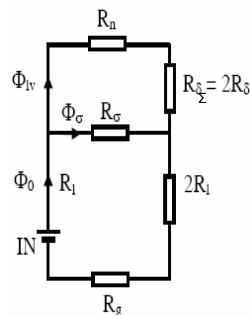
hay

$$\frac{\phi_\sigma}{\phi_{IV}} = \frac{R_n + R_{\delta\Sigma}}{R_\sigma}$$

do $R_n \ll R_\sigma, R_{\delta\Sigma}$ nên:

$$\frac{\phi_\sigma}{\phi_{IV}} = \frac{R_{\delta\Sigma}}{R_\sigma} = \frac{G_\sigma}{G_{\delta\Sigma}}$$

$$\sigma_r = 1 + \frac{G_\sigma}{G_{\delta\Sigma}}$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

15

cuu duong than cong . com

Sự tương tự giữa mạch từ và mạch điện

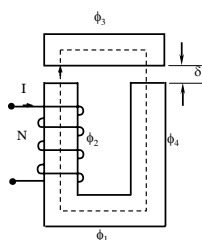
Mạch từ			Mạch điện		
Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên	Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên
Sức từ động	F	A vòng	Sức điện động	E	V
Từ thông	ϕ	Wb	Dòng điện	I	A
Từ trở	R_m	1/H	Điện trở	R	Ω
Từ dẫn	G_m	H	Điện dẫn	G	1/ Ω
Tổng trở từ	Z_m	1/H	Tổng trở	Z	Ω
Từ áp	U_m	A vòng	Điện áp	U	V

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

16

Các bài toán mạch từ

Bài toán thuận



Cho trước:

- từ thông Φ (hoặc B),
- kích thước mạch từ
- đường cong $B(H)$ của vật liệu sắt từ

Yêu cầu xác định sức từ động F cần thiết để sinh ra từ thông Φ

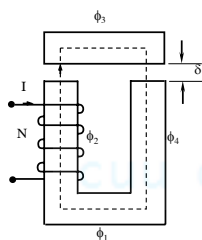
BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

17

cuu duong than cong . com

Các bài toán mạch từ

Bài toán thuận



Cách giải:

Cảm ứng từ B_i ở nhánh thứ i trong mạch từ

$$B_i = \frac{\phi_i}{S_i}$$

ϕ_i là từ thông qua nhánh thứ i có tiết diện S_i

$$B_i \xrightarrow{B(H)} H_i$$

đối với khe hở không khí $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

18

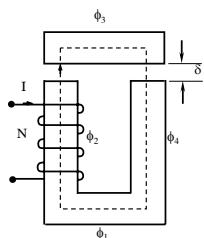
Các bài toán mạch từ

Bài toán thuận

Cách giải:

Áp dụng định luật Kirchhoff 2
cho mạch vòng có sức từ động F:

$$F = \sum_{i=1}^k R_i \phi_i = \sum_{i=1}^k H_i l_i$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

19

cuu duong than cong . com

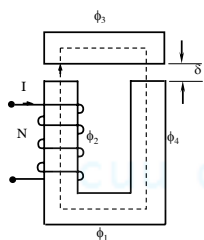
Các bài toán mạch từ

Bài toán nghịch

Cho:

- sức từ động F,
- kích thước mạch từ và đường cong B(H)

cần xác định có giá trị từ thông Φ trong mạch từ



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

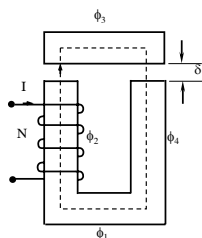
20

cuu duong than cong . com

Các bài toán mạch từ

Bài toán nghịch

Cách giải:



Cho tùy ý các giá trị $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$

Dùng phương pháp trong bài toán thuận $\rightarrow F_1, F_2, F_3, \dots$

Vẽ đường cong ϕ theo F

Từ thông cần tìm được xác định từ đường cong này theo F

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

21

cuu duong than cong . com

Đặc tính của vật liệu sắt từ

Từ trường 1 chiều

Vật liệu sắt từ : sắt, thép, niken, cobal hoặc hợp kim của chúng

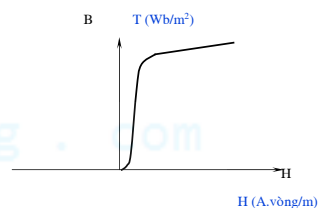
Khi từ trường ngoài tác động là từ trường 1 chiều

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

độ từ thẩm tương đối μ_r phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài đặt vào:

$$\mu = \mu(H) = \mu_0 \mu_r(H)$$

Quan hệ $B(H)$: phi tuyến



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

22

Đặc tính của vật liệu sắt từ Từ trường 1 chiều

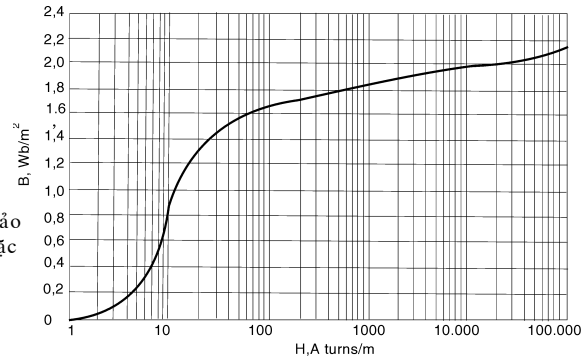
Khi từ trường ngoài tác động là từ trường 1 chiều

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

$\mu_r \approx$ (vài chục đến vài chục ngàn)

Khi mạch từ làm việc ở đoạn chưa bão hòa \rightarrow có thể tuyến tính hóa đoạn đặc tính làm việc: $\mu_r \approx \text{const}$

Tuyến tính hóa từng đoạn
 \rightarrow chính xác hơn



Đối với các vật liệu phi từ tính như đồng, nhôm, vật liệu cách điện, không khí,... thì $\mu_r \approx 1$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

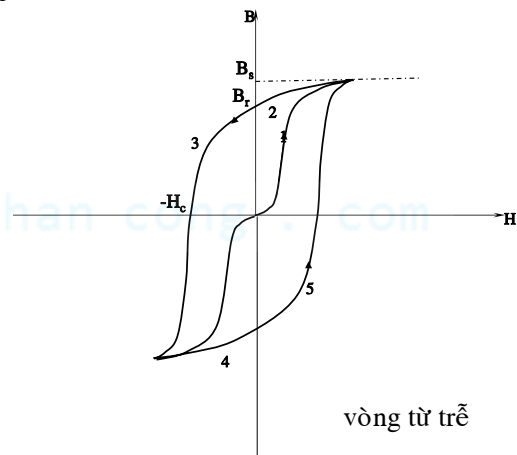
23

Đặc tính của vật liệu sắt từ Từ trường xoay chiều

Khi từ trường ngoài tác động là từ trường xoay chiều

\rightarrow Vòng từ trễ \rightarrow tổn hao do từ trễ

B_r từ dư
 B_s giá trị bão hòa
 H_c lực kháng từ



vòng từ trễ

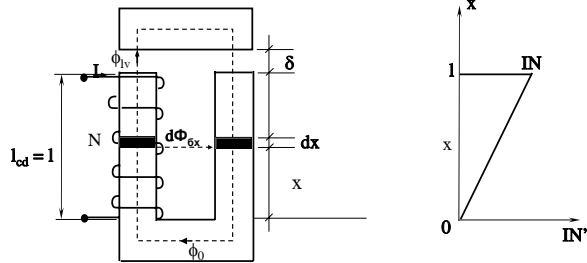
BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

24

Từ dẫn rò quy đổi theo từ thông

→ mạch từ một chiều

IN: sức từ động phân bố đều trên lõi
g (H/m): từ dẫn rò trên một đơn vị chiều dài lõi



$$F_x = \frac{IN}{l} x \quad dG_{\sigma x} = g dx \quad d\phi_{\sigma x} = F_x dG_{\sigma x} \quad d\phi_{\sigma x} = \frac{IN}{l} x g dx$$

$$\phi_{\sigma x} = \int_0^x d\phi_{\sigma x} = \int_0^x \frac{IN}{l} x g dx = IN \frac{gx^2}{2l}$$

$$\phi_{\sigma l} = \int_0^l d\phi_{\sigma x} = IN \frac{gl}{2}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

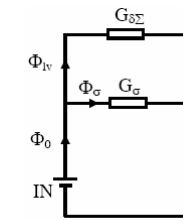
25

Từ dẫn rò quy đổi theo từ thông

→ mạch từ một chiều

$$\phi_{lv} = IN G_{\delta\Sigma}$$

$$\phi_0 = \phi_{lv} + \phi_{\sigma l} = IN \left(G_{\delta\Sigma} + \frac{gl}{2} \right)$$



$$\phi_0 = IN(G_{\delta\Sigma} + G_{\sigma})$$

$$G_{\sigma} = \frac{gl}{2} \quad \text{từ dẫn rò quy đổi theo từ thông}$$

→ trong mạch từ thay thế, ta thay từ thông rò phân bố dọc theo chiều dài lõi bằng từ thông rò tập trung tại một điểm có giá trị bằng từ thông rò thật trên toàn chiều dài lõi

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

26

Từ dẫn rò quy đổi theo từ thông móc vòng

→ Mạch từ xoay chiều và các bài toán quá độ

Khi không bỏ qua từ thông rò

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{\Psi_{lv} + \Psi_{\sigma}}{I}$$

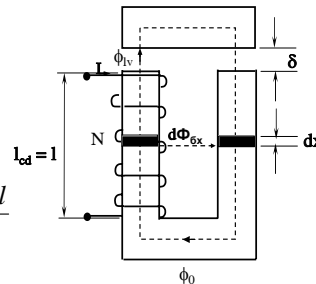
với $\Psi_{lv} = N\phi_{lv} = IN^2 G_{\delta\Sigma}$

$$\Psi_{\sigma} = \int_0^l d\Psi_{\sigma x} = \int_0^l \frac{N}{l} x d\phi_{\sigma x} = \int_0^l IN^2 g \frac{x^2}{l^2} dx = IN^2 \frac{gl}{3}$$

Do đó $L = N^2 (G_{\delta\Sigma} + \frac{gl}{3})$

Khi bỏ qua từ thông rò

$$L = \frac{\Psi_{lv}}{I} = N^2 G_{\delta\Sigma}$$



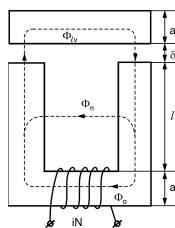
$$G_{\sigma} = gl/3$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

27

Từ dẫn rò quy đổi theo từ thông móc vòng

Cuộn dây đặt trên gông mạch từ



Từ dẫn rò quy đổi theo từ thông:

$$G_0 = gl$$

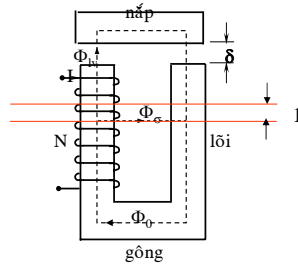
Từ dẫn rò quy đổi theo từ thông móc vòng:

$$G_0 = gl$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

28

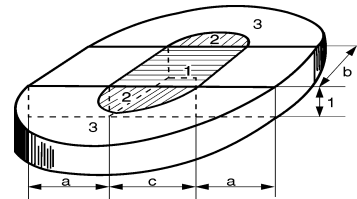
Từ dẫn rò quy đổi Tính từ dẫn rò đơn vị g



$$g_1 = \mu_o \frac{b \times 1}{c}$$

$$g_3 = \frac{\mu_o \times 0,64 \times 1}{c/a + 1}$$

$$g_2 = 0,26 \mu_o \times 1$$



Cắt một đoạn có chiều dài bằng một đơn vị dài trên hai lõi của mạch từ

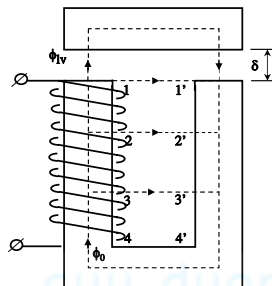
Dùng phương pháp phân chia từ trường có thể nhận được giá trị của g theo công thức :

$$g = g_1 + 2g_2 + 2g_3$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

29

Mạch từ nam châm điện một chiều Khi xét từ trở lõi thép



Nam châm điện thường được thiết kế sao cho khi khe hở không khí làm việc là nhỏ nhất thì mạch từ gần bảo hoà nhằm tiết kiệm vật liệu dẫn từ.

→ hệ số từ thẩm nhỏ

→ từ trở của thép lớn không thể bỏ qua

Mặt khác, do từ thông rò → từ thông ϕ sẽ thay đổi dọc theo lõi thép

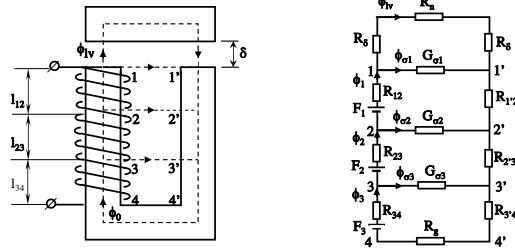
→ dùng phương pháp phân đoạn lõi mạch từ

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

30

Mạch từ nam châm điện một chiều

Khi xét từ trở lõi thép



Xét mạch từ nam châm điện 1 chiều với cuộn dây được quấn trên lõi có chiều dài $l = l_{cd}$

Lõi được phân ra làm 3 đoạn với chiều dài tương ứng là l_{12} , l_{23} và l_{34} .
Sức từ động trên mỗi phân đoạn lần lượt là F_1 , F_2 và F_3

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

31

Mạch từ nam châm điện một chiều

Khi xét từ trở lõi thép

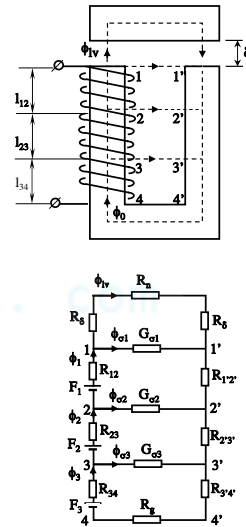
Cho ϕ_{iv} , kích thước mạch từ và quan hệ $B(H)$
→ sức từ động F cần thiết để sinh ra từ thông ϕ_{iv}

Cần xác định được các phần tử trong mạch từ và biết được các sức từ động F_1 , F_2 và F_3 .

Các sức từ động này cũng chính là các giá trị cần tìm, do đó ta giải bài toán bằng phương pháp lặp

Chọn trước giá trị sơ bộ $F = (1, 1-1, 3) \phi_{iv} 2R_\delta$

$$\Rightarrow F_1 = F \frac{l_{12}}{l}, F_2 = F \frac{l_{23}}{l}, F_3 = F \frac{l_{34}}{l}$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

32

Mạch từ nam châm điện một chiều

Khi xét từ trở lõi thép

$$U_{M11'} = \phi_{lv} 2R_{\delta} + H_n l_n$$

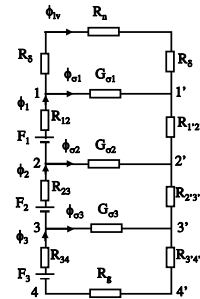
$$B_n = \frac{\phi_{lv}}{S_n} \xrightarrow{B(H)} H_n$$

$$\Phi_{\sigma 1} = U_{M11'} G_{\sigma 1} = U_{M11'} \frac{gl_{12}}{2}$$

$$\Phi_1 = \Phi_{lv} + \Phi_{\sigma 1}$$

$$B_{12} = \frac{\phi_1}{S_{12}} \xrightarrow{B(H)} H_{12}$$

$$U_{M22'} = U_{M11'} + 2H_{12}l_{12} - F_1$$



BMTBD-KCD1-nxcuong-V1-5.05

33

cuu duong than cong . com

Mạch từ nam châm điện một chiều

Khi xét từ trở lõi thép

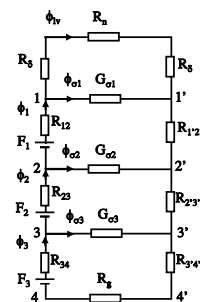
$$U_{M22'} = U_{M11'} + 2H_{12}l_{12} - F_1$$

$$\phi_{\sigma 2} = U_{M22'} \frac{gl_{23}}{2}$$

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_{\sigma 2}$$

$$B_{23} = \frac{\phi_2}{S_{23}} \xrightarrow{B(H)} H_{23}$$

$$U_{M33'} = U_{M22'} + 2H_{23}l_{23} - F_2$$



BMTBD-KCD1-nxcuong-V1-5.05

34

cuu duong than cong . com

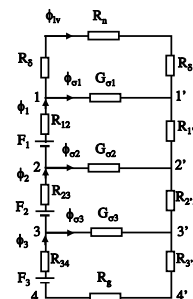
Mạch từ nam châm điện một chiều

Khi xét từ trở lõi thép

$$U_{M33'} = U_{M22'} + 2H_{23}l_{23} - F_2$$

$$\Phi_3 = \Phi_2 + \Phi_{\sigma 3}$$

$$B_g = \frac{\phi_3}{S_g} \xrightarrow{B(H)} H_g$$



BMTBD-KCD1-nxctuong-V1-5.05

35

Mạch từ nam châm điện một chiều

Khi xét từ trở lõi thép

Tổng từ áp rơi trên toàn bộ mạch từ

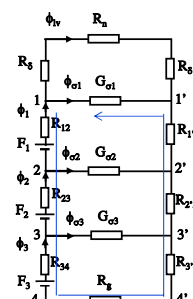
$$\Sigma U = U_{M11'} + 2H_{12}l_{12} + 2H_{23}l_{23} + 2H_{34}l_{34} + H_g l_g$$

Theo định luật Kirchhoff 2

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = \Sigma U$$

Kiểm tra điều kiện về sai số: $\left| \frac{F - \Sigma U}{F} \right| \leq \Delta_{cf}$

Nếu không thỏa thì chọn lại $F = \Sigma U$ và lặp lại các bước tính trên



BMTBD-KCD1-nxctuong-V1-5.05

36

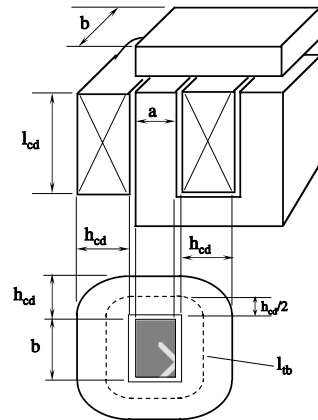
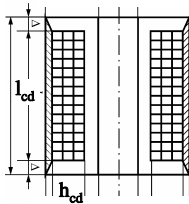
Cuộn dây nam châm điện

Hệ số lấp đầy

Định nghĩa hệ số lấp đầy cuộn dây k_{ld}

$$k_{ld} = \frac{\text{diện tích đồng cuộn dây}}{\text{tiết diện mặt cắt dọc cuộn dây}}$$

$$k_{ld} = \frac{Nq}{l_{cd}h_{cd}}$$



l_{cd} : chiều dài cuộn dây

h_{cd} : bề dày

Δ : bề dày lớp cách điện (bỏ qua)

q : là tiết diện dây đồng cuộn dây không kể đến cách điện ngoài

N : số vòng dây

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

37

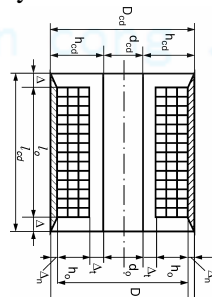
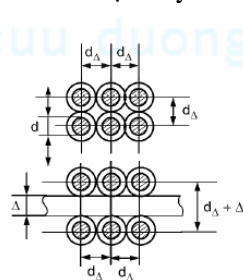
cuu duong than cong . com

Cuộn dây nam châm điện

Hệ số lấp đầy

Hệ số lấp đầy phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau:

- Hình dạng tiết diện dây (tròn, chữ nhật, vuông...)
- Cấp cách điện của cuộn dây và của dây quấn, chất lượng quấn cuộn dây và đường kính dây



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

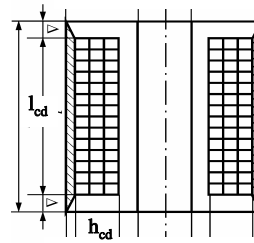
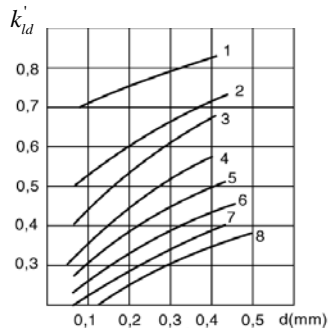
38

cuu duong than cong . com

Cuộn dây nam châm điện

Hệ số lấp đầy khi xét đến cả cách điện ngoài cuộn dây

$$k'_{ld} = \frac{Nq}{(l_{cd} + 2\Delta)(h_{cd} + 2\Delta)}$$



- 1- quấn xen kẽ; 2- quấn xếp lớp; 3- quấn tự do;
- 4- quấn tay; cuộn dây có tiết diện chữ nhật;
- 5- quấn máy khi cách điện giữa các lớp dây là 0,035 mm, cuộn dây hình ống tròn;
- 6- như ở đường 5;
- 7- cuộn dây chữ nhật;
- 8- giống 7- cách điện đặt giữa các lớp.

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

39

cuu duong than cong . com

Cuộn dây nam châm điện một chiều

Tính điện trở của cuộn dây ?

$$R = \frac{\rho N l_{tb}}{q}$$

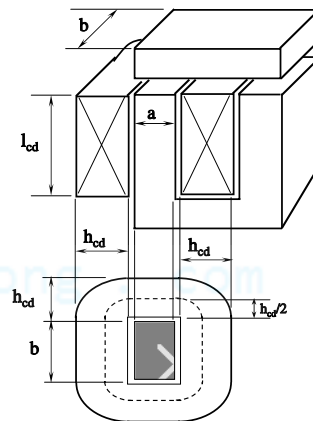
$$l_{tb} = 2a + 2b + \pi h_{cd}$$

Dòng điện chạy trong cuộn dây

$$I = \frac{U}{R}$$

Sức từ động cuộn dây

$$F = IN = \frac{U}{R} N = \frac{UN}{\frac{\rho l_{tb} N}{q}} = \frac{Uq}{\rho l_{tb}}$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

40

Cuộn dây nam châm điện một chiều

Tính toán cuộn dây NCD một chiều

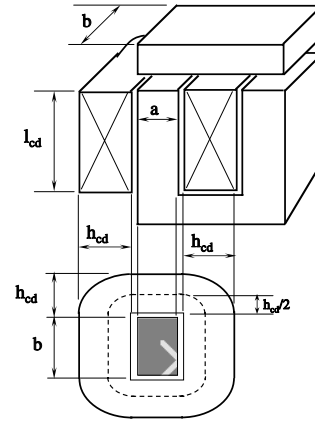
Biết: U , stđ F , kích thước mạch từ

→ Đường kính dây đồng, số vòng dây N

thỏa các điều kiện:

- Cuộn dây lắp vừa cửa sổ mạch từ
- Nhiệt độ cuộn dây < nhiệt độ cho phép

liên quan đến việc chọn mật độ dòng điện cuộn dây: $j=2 - 4 \text{ A/mm}^2$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

41

cuu duong than cong . com

Mạch từ xoay chiều

- Dòng điện trong cuộn dây phụ thuộc chủ yếu vào cảm kháng cuộn dây
- Trong mạch từ xoay chiều xuất hiện cả hai thành phần từ trở và từ kháng

cuu duong than cong . com

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

42

Mạch từ xoay chiều khi bỏ qua từ trở và từ kháng thép

Đặt điện áp u xoay chiều tần số f dạng sin vào cuộn dây

Sức điện động cảm ứng e trong cuộn dây được xác định theo định luật cảm ứng điện từ Faraday:

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{Nd\phi_0}{dt}$$

Chuyển các phương trình vi phân
→ dạng số phức

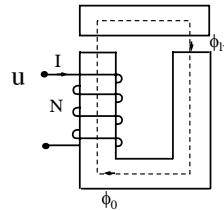
Quy ước:

E, U, I : giá trị hiện dụng

Φ, ψ, B : giá trị biên độ

$$\rightarrow \dot{E} = -\frac{Nj\omega\phi}{\sqrt{2}}$$

$\omega = 2\pi f$: tần số góc



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

43

cuuduongthancong.com

Mạch từ xoay chiều khi bỏ qua từ trở và từ kháng thép

Quan hệ về giá trị giữa E và ϕ_0

$$E = \frac{N\omega\phi_0}{\sqrt{2}} = \frac{N2\pi f\phi_0}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\pi fN\phi_0 = 4.44fN\phi_0$$

nếu bỏ qua điện trở cuộn dây: $U \approx E$

$$\phi_0 \approx \frac{U}{\sqrt{2}\pi fN} \approx \frac{U}{4.44 \cdot f \cdot N}$$

từ thông tổng ϕ_0 qua gông mạch từ chỉ phụ thuộc vào điện áp U và không phụ thuộc vào khe hở không khí δ

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

44

Mạch từ xoay chiều cuộn dây NCD xoay chiều

Công thức tính toán:

$$U^2 = (r_{cd} I)^2 + E^2$$

$$U^2 = (r_{cd} I)^2 + (4,44fN\phi_o)^2$$

Biết: U , ϕ_o , std F , kích thước mạch từ

→ đường kính dây đồng, số vòng dây N

thỏa các điều kiện:

- cuộn dây lắp vừa cửa sổ mạch từ
- nhiệt độ cuộn dây < nhiệt độ cho phép

liên quan đến việc chọn mật độ dòng điện cuộn dây: $j=2 - 4 \text{ A/mm}^2$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

45

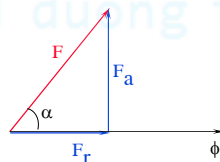
cuu duong than cong . com

Mạch từ xoay chiều Xét từ trở và từ kháng thép

Khi lõi thép bị từ hóa bởi sức từ động IN xoay chiều

→ từ thông trong lõi thép cũng là xoay chiều

→ sự lệch pha giữa sức từ động (hay từ áp) và từ thông qua mạch từ.



α : góc tổn hao

F_r : thành phần sức từ động tạo ra từ thông ϕ

F_a : thành phần sức từ động bù cho các tổn hao do từ trễ và dòng xoáy

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

46

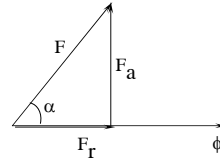
Mạch từ xoay chiều

Xét từ trở và từ kháng thép

$$R_m = \frac{F_r}{\phi} \quad (1/H): \text{ từ trở của lõi thép mạch từ}$$

$$X_m = \frac{F_a}{\phi} \quad (1/H): \text{ từ kháng của lõi thép mạch từ}$$

$$Z_m = \frac{F}{\phi} \quad (1/H): \text{ tổng trở từ của lõi thép mạch từ}$$



$$Z_m = R_m + jX_m$$

$$Z_m = |Z_m| = \sqrt{R_m^2 + X_m^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{X_m}{R_m}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

47

cuu duong than cong . com

Mạch từ xoay chiều

Xét từ trở và từ kháng thép

$$R_m = \rho_r \frac{l}{S}, \quad X_m = \rho_x \frac{l}{S}, \quad Z_m = \rho_z \frac{l}{S}$$

ρ_r (m/H): từ trở suất tác dụng

ρ_x (1/H): từ trở suất phản kháng

ρ_z (1/H): tổng từ trở suất

cuu duong than cong . com

$$\rho_x = \frac{\gamma P_0}{\pi f B^2}$$

$$\rho_z = \frac{H}{B}$$

$$\rho_r = \sqrt{\rho_z^2 - \rho_x^2}$$

γ : trọng lượng riêng của vật liệu sắt từ (kg/m³)

P_0 : tổn hao do từ trở và dòng xoáy trên 1 đơn vị khối lượng (W/kg)

B : giá trị biên độ của cảm ứng từ xoay chiều (T)

H : giá trị biên độ của cường độ từ trường xoay chiều (Henry)

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

48

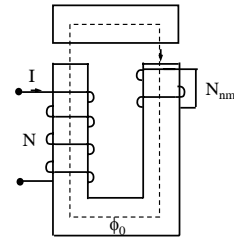
Mạch từ xoay chiều

Tính từ kháng vòng ngắn mạch toàn bộ cực từ

Sử dụng vòng ngắn mạch (VNM) ôm một phần bề mặt cực từ trong nam châm điện xoay chiều để chống hiện tượng rung nắp

Khảo sát trường hợp:

VNM có N_{nm} vòng dây ôm toàn bộ cực từ
Bỏ qua tổng trở từ lõi thép và từ thông rò



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

49

Mạch từ xoay chiều

Tính từ kháng vòng ngắn mạch toàn bộ cực từ

Từ thông qua KHKK $\rightarrow N_{nm}$ vòng dây

\rightarrow sức điện động cảm ứng E_{nm} trong N_{nm}

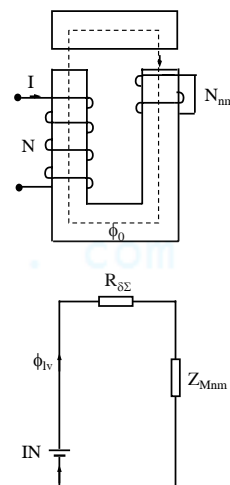
\rightarrow dòng điện I_{nm}

\rightarrow sức từ động $F_{nm} = N_{nm} \cdot I_{nm}$

\rightarrow từ thông chống lại từ thông qua KHKK và làm giảm từ thông này

$\rightarrow N_{nm} \Leftrightarrow$ tổng trở từ Z_{Mnm}

Thay thế phần cực từ có đặt vòng ngắn mạch bằng tổng trở từ Z_{Mnm} tương đương



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

50

Mạch từ xoay chiều

Tính từ kháng vòng ngắn mạch toàn bộ cực từ

Từ áp rơi trên phần cực từ có đặt VNM

$$F_{nm} = \frac{1}{\sqrt{2}} \phi_{lv} Z_{Mnm}$$

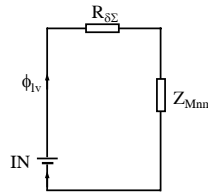
Sức từ động của vòng ngắn mạch

$$F_{nm} = I_{nm} N_{nm} = - \frac{E_{nm}}{r_{nm} + jx_{nm}} N_{nm}$$

r_{nm}, x_{nm} : điện trở và điện kháng của VNM
 E_{nm} : SĐĐ cảm ứng trong VNM

$$\text{do } E_{nm} = -j \frac{\omega}{\sqrt{2}} N_{nm} \phi_{lv}$$

$$\text{suy ra } F_{nm} = j \frac{\omega N_{nm}^2 \phi_{lv}}{\sqrt{2}(r_{nm} + jx_{nm})}$$



$$Z_{Mnm} = x_{nm} \frac{\omega N_{nm}^2}{r_{nm}^2 + x_{nm}^2} + j \frac{r_{nm} \omega N_{nm}^2}{r_{nm}^2 + x_{nm}^2}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

51

cuu duong than cong . com

Mạch từ xoay chiều

Tính từ kháng vòng ngắn mạch toàn bộ cực từ

$$Z_{Mnm} = x_{nm} \frac{\omega N_{nm}^2}{r_{nm}^2 + x_{nm}^2} + j \frac{r_{nm} \omega N_{nm}^2}{r_{nm}^2 + x_{nm}^2}$$

$$Z_{Mnm} = R_{Mnm} + jX_{Mnm}$$

$$R_{Mnm} = x_{nm} \frac{\omega N_{nm}^2}{r_{nm}^2 + x_{nm}^2}$$

$$X_{Mnm} = r_{nm} \frac{\omega N_{nm}^2}{r_{nm}^2 + x_{nm}^2}$$

Nếu $N_{nm} = 1 \rightarrow x_{nm} \ll r_{nm}$

$$R_{Mnm} = 0 \quad X_{Mnm} = \frac{\omega}{r_{nm}}$$

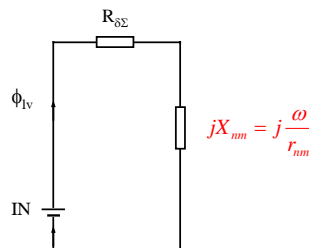
BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

52

Mạch từ xoay chiều

Tính từ kháng vòng ngắn mạch toàn bộ cực từ

Phần cực từ có đặt vòng ngắn mạch chỉ một vòng
đây được thay thế bằng từ kháng $X_{nm} = \frac{\omega}{r_{nm}}$
trong sơ đồ thay thế



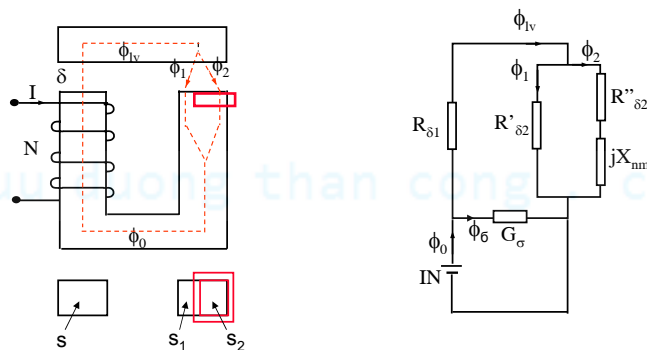
BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

53

Mạch từ xoay chiều

Vòng ngắn mạch ôm một phần cực từ

Bỏ qua tổng trở từ của thép, xây dựng sơ đồ thay thế của mạch từ



cho từ thông Φ_{lv} và các kích thước mạch từ,
áp dụng các định luật Kirchhoff 1 và 2 \rightarrow IN

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

54

Nam châm vĩnh cửu

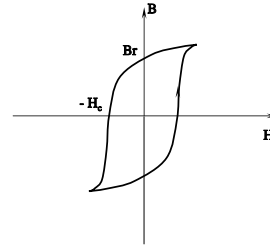
Nam châm vĩnh cửu làm từ vật liệu từ cứng:

- Thép Volfram, thép Crôm, thép Cobalt,...
- Alnico: Fe+Al+Ni+Co
- Hợp kim gốm

Đặc trưng của vật liệu từ cứng: vòng từ trễ lớn

→ từ dư B_r lớn (0,2 – 1,3 T)

→ lực kháng từ H_C lớn (10kA – 60kA/m)



Nam châm vĩnh cửu làm việc trên góc ¼ thứ hai ($H = 0$ đến $-H_C$) ⇔

đặc tính khử từ của nam châm vĩnh cửu

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

55

cuu duong than cong . com

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

Điểm làm việc của NCVC

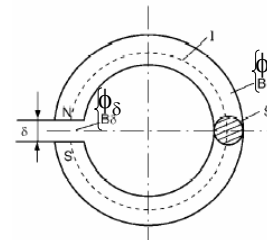
Giả sử δ nhỏ

- từ trường đều trong khe hở không khí
- bỏ qua từ thông tản

Nếu bỏ qua từ thông rò

$$\rightarrow \phi = \phi_\delta$$

$$\rightarrow B = B_\delta = \mu_0 H$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

56

cuu duong than cong . com

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

Điểm làm việc của NCVC

Áp dụng định luật dòng điện toàn phần dọc theo vòng kín là chu vi trung bình của vòng xuyên:

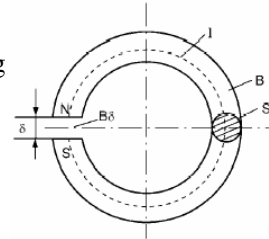
$$H_{\delta} \cdot \delta + H \cdot l = 0$$

$$H_{\delta} = \frac{-Hl}{\delta}$$

$$B = B_{\delta} = \mu_0 H_{\delta} = -\mu_0 \frac{Hl}{\delta} = (-H) \mu_0 \frac{S}{\delta} \frac{l}{S}$$

$$B = -G_{\delta} \frac{1}{S} (-H)$$

$$G_{\delta} = \frac{\mu_0 S}{\delta} \quad \text{từ dẫn của khe hở không khí } \delta \text{ có tiết diện là } S$$



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

57

cuu duong than cong . com

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

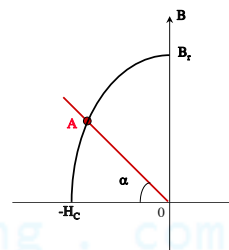
Điểm làm việc của NCVC

$$B = -G_{\delta} \frac{1}{S} (-H)$$

phương trình đường thẳng ở góc phần tư thứ hai đi qua gốc tọa độ và hợp với trục $(-H)$ một góc α :

$$\tan \alpha = \frac{m_H}{m_B} G_{\delta} \frac{1}{S} \quad m_H \text{ và } m_B \text{ là tỷ lệ xích của } H \text{ và } B \text{ trên hệ trục tọa độ}$$

Giao điểm của đường thẳng $B(-H)$ và đường đặc tính khử từ \rightarrow điểm làm việc A của NCVC ứng với khe hở không khí δ .



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

58

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

Năng lượng từ trường

Năng lượng từ trường trong khe hở không khí khi từ trường đều

$$\left. \begin{aligned} W_{\delta} &= \frac{1}{2} B_{\delta} H_{\delta} S \delta \\ B &= B_{\delta} \\ H_{\delta} &= -H \cdot \frac{l}{\delta} \end{aligned} \right\} W_{\delta} = \frac{B(-H)}{2} \cdot S \cdot l = W_{NCVC}$$

Năng lượng từ trường trong khe hở không khí bằng năng lượng từ trường dự trữ bên trong vật thể NCVC

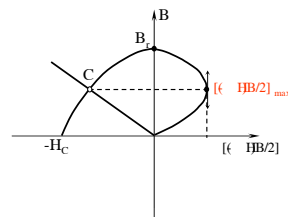
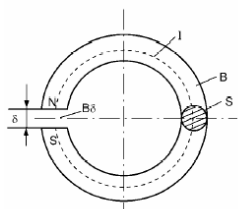
BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

59

cuu duong than cong . com

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

Năng lượng từ trường



$$W_{\delta} = \frac{B(-H)}{2} \cdot S \cdot l = W_{NCVC}$$

cuu duong than cong . com

Chọn điểm làm việc tối ưu bằng cách thay đổi δ sao cho năng lượng từ trường \Leftrightarrow tích $[(-H) B/2]$ là cực đại, khi đó thể tích cần thiết của NCVC là cực tiểu

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

60

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu Đường phục hồi

Đặc tính từ và khả năng năng lượng của NCVC có thể bị thay đổi khi:

- thay đổi khe hở không khí δ
- hệ thống mạch từ NCVC chịu sự tác động của một từ trường ngoài

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

61

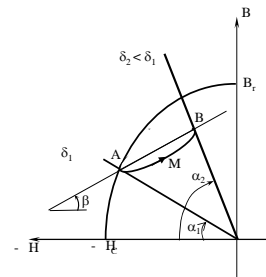
cuu duong than cong . com

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu Đường phục hồi

Khi $\delta = \delta_1$ thì điểm làm việc là điểm A ứng với góc α_1 :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_H \mu_0 S}{m_B \delta_1}$$

↓ δ : $\delta = \delta_2 < \delta_1$ điểm làm việc di chuyển theo vòng từ trễ riêng AMB do tính chất từ trễ của vật liệu sắt từ. Điểm làm việc mới B là giao điểm của vòng từ trễ riêng với đường thẳng đi qua gốc tọa độ và hợp với trục hoành với góc α_2



↑ δ : $\delta = \delta_1$ điểm làm việc di chuyển theo vòng từ trễ riêng BNA

Thực tế thì vòng từ trễ riêng AMBNA rất hẹp và được thay bằng đường thẳng AB gọi là đường phục hồi của NCVC. Đường phục hồi này tạo với trục hoành một góc β :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m_H}{m_B} \frac{\Delta B}{\Delta H} = \rho \quad : \text{ hệ số phục hồi}$$

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

62

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

Đường phục hồi

Khi hệ thống mạch từ chịu tác động của một từ trường ngoài cùng chiều hoặc ngược chiều với (-H) thì hiện tượng xảy ra tương tự

→ hệ thống mạch từ NCVC có thể bị **khử từ** trong quá trình hoạt động.

Khi khe hở không khí δ thay đổi lớn hoặc hệ thống mạch từ chịu một dòng điện khử từ lớn thì sự ổn định có thể bị mất và vật liệu từ chuyển sang làm việc ở vòng từ trễ riêng mới làm cho đặc tính từ của nó bị suy giảm đáng kể.

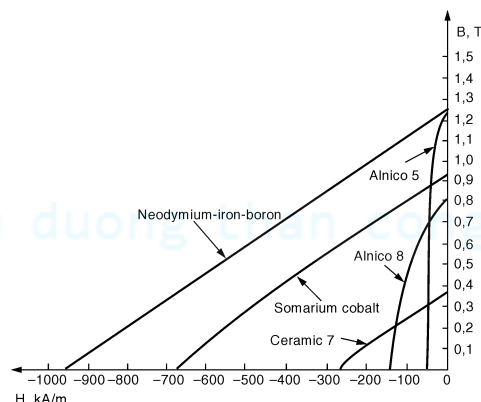
Khắc phục bằng cách chọn vật liệu từ sao cho đường đặc tính khử từ và đường phục hồi gần như trùng nhau trên đoạn làm việc

BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

63

Các quan hệ cơ bản trong nam châm vĩnh cửu

Đường phục hồi



BMTBD-KCD1-nxuong-V1-5.05

64