

Môn Cơ sở Khí cụ điện

Giáo trình : Khí cụ điện –Phạm Văn Chới

Bùi Tín

Nguyễn Tôn

§1.1 :Bài Mở đầu

* Khí cụ điện là các thiết bị điện dùng để đóng ,cắt , bảo vệ , điều khiển, Ổn định các mạch điện (đo lường) điện áp ,công suất (theo chức năng).

- Điều khiển: Tin cậy ,chọn lọc,tự động lập lại.

- Đóng cắt là chức năng quan trọng ,không dòng điện (an toàn) ,nhìn thấy khoảng cách (dao cách ly) .

+Ngăn mạch rất khó khăn khi cắt dòng ,dùng cầu chì , máy cắt ,aptômát (hạ áp).

+ Quá tải có thời gian(rơ le nhiệt).

-Điều khiển : các thiết bị công tác làm việc với các chế độ khác nhau .

• Khí cụ điện theo điện áp : - Khí cụ điện cao áp $U_{đmức} > 1000V$

- Khí cụ điện hạ áp $U_{đmức} < 1000V$

Nguyên lý làm việc giống nhau nhưng phần cách điện khác nhau .Với khí cụ điện cao áp thì phần này lớn.

Khí cụ điện cao áp : +Trung áp ($\leq 36 kV$)

+Cao áp ($36 \div 40 kV$)

+Siêu cao áp ($> 400 kV$)

* Khí cụ điện dạng dòng : +Khí cụ điện một chiều

+ Khí cụ điện xoay chiều

• Khí cụ điện nguyên lý làm việc : + Điện cơ

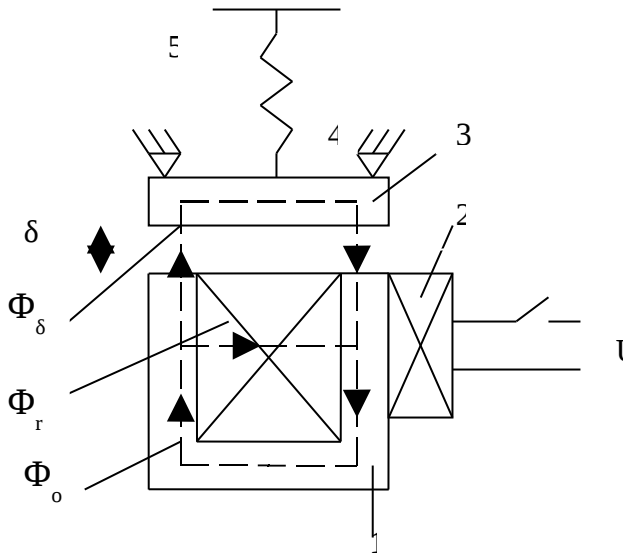
+ Điện từ

+ Điện nhiệt

Chương I : Nam châm điện .

§1.1: Đại cương nam châm điện .

1,Sơ đồ:



1-mạch từ tĩnh ;

2-cuộn dây;

3-mạch từ động(nắp);

4-lò xo nhỏ;

5-cứ chặn Φ_0 từ thông Σ ;

Φ_δ :từ thông làm việc ;

Φ_r :từ thông rò;

δ :khe hở làm việc ;

Định nghĩa : Nam châm điện l à một cơ cấu điện từ biến điện \rightarrow từ \rightarrow cơ (lực , mô men).

- Đóng K \rightarrow xuất hiện I trong cuộn dây U vòng .

$F = I\omega$:sức từ động [Avòng]

F sinh ra từ thông : $+\Phi_\delta \rightarrow$ lực điện từ hút nắp (không phụ thuộc chiều i) m à $\epsilon \delta$
 $+ \Phi_r$

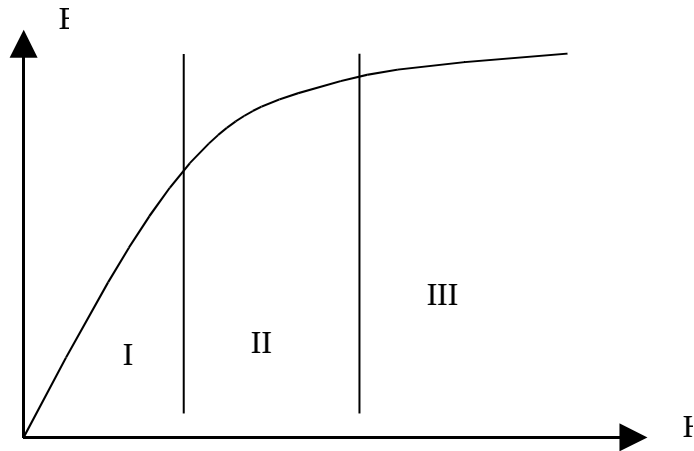
μ : [H/m] đặc trưng cho độ dẫn điện.

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m (chân không , không khí) \rightarrow tuyệt đối.

- Độ dẫn từ tương đối $\frac{\mu_x}{\mu_0}$

- Mật độ từ thông $B = \frac{\Phi}{S}$; S : tiết diện cực từ; B [Wb/m²], [T] .

- Cường độ từ trường : $H = \frac{B}{\mu}$ [T/H/m], [A/m], [Tm/H].
- Từ trở : $R_{\mu} = \frac{1}{\mu S}$ [H⁻¹]
- Từ dẫn : $G = \frac{1}{R_{\mu}} = \mu \frac{S}{l}$ [H]



I _tuyến tính;

$$\mu = \frac{dB}{dH}$$

III _bão hoà ;

II _phi tuyến → tính toán phức tạp.

* Phân loại :

- Nam châm điện nối tiếp : cuộn dây nối tiếp với phụ tải → dòng điện phụ thuộc phụ tải .
- Nam châm điện song song : cuộn dây song song với phụ tải .
- Nam châm điện xoay chiều (AC)
- Nam châm điện một chiều (DC) .

2, Các định luật cơ bản:

2.1, Định luật Ôm :

$$\Phi = \frac{U}{R_{\mu}} = U_{\mu} G$$

2.2, Định luật Kirchoff 1 : $\sum \Phi_i = 0$

2.3, Định luật Kirchoff 2 : $F = \sum U_{\mu i} = \Phi (R_{\mu 1} + \dots + R_{\mu n})$

2.4, Dòng điện toàn phần :

$$F = \oint_1 H dl$$

3, Ứng dụng: sử dụng rộng rãi trong các cơ cấu truyền động, công tắc tơ, ..., thiết bị bảo vệ ngắn mạch trong máy cách điện, dùng trong điều khiển, các cơ cấu phân ly, phân loại cơ cấu điện từ chấp hành (phanh hãm điện từ).

4, Tính toán nam châm điện :

- Mạch từ phi tuyến \rightarrow tuyến tính hoá .

- Khó xác định chính xác từ trở của mạch từ : $R_{\mu} = \frac{1}{\mu S}$ chỉ đúng cho tuyến tính đều.

§1.2 : Từ dẫn mạch từ.

* Phần sắt từ : phụ thuộc điểm làm việc trên đồ thị B(H)

$$\text{Vd: } G_{Fe} = \mu_{Fe} \frac{S}{l}$$

nếu điểm làm việc thuộc vùng tuyến tính $\mu = \text{const}$, $\mu_{Fe} \gg \mu_0 \rightarrow$ bỏ qua từ trở sắt từ.

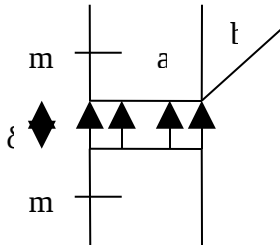
* Phần không khí :

- Ở khe hở không khí làm việc + Từ dẫn rò.

- Công thức chung : $G_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{U_{\mu \delta}}$

\rightarrow không khí không phụ thuộc vào điểm làm việc B(H) .

- $\delta \ll \sqrt{S} \rightarrow$ coi trường điện từ ở δ là trường song phẳng (đều)



$$G_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{U_{\mu\delta}} = \frac{BS}{H\delta} = \mu_0 \frac{S}{\delta} \quad [H]$$

→ bỏ qua từ thông tản

Điều kiện :

$$\begin{cases} \frac{\delta}{d} \leq 0.2 \\ \frac{\delta}{d} \geq 0.2 \end{cases}$$

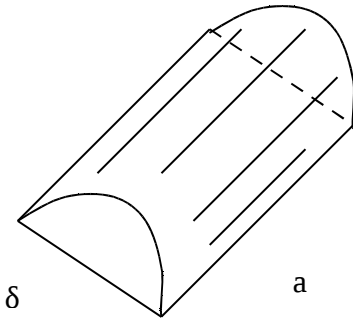
d - đường kính nú hình trụ

1, Phân chia từ trường :

- Chia từ trường thành các vùng đơn giản
- Tính dẫn các trường thành phần
- Tổng hợp lại

* Với hình hộp chữ nhật : $G_{\delta 0} = \mu_0 \frac{a^2}{\delta}$

-1/2 trụ đặc :



$$G_{\delta 2} = \mu_0 \frac{\delta_{tb}}{S_{tb}}$$

$$\Rightarrow G_{\delta 2} = \mu_0 \frac{V}{\delta_{tb}^2} = 0.26\mu_0 a$$

- 1/2 trụ rỗng :

$$G_{\delta 3} = \mu_0 \frac{2a}{\pi \left(\frac{\delta}{m} + 1 \right)} \quad (m=1:2\delta)$$

- ¼ cầu đặc : $G_{\delta 4} = 0.077\mu_0\delta$

- ¼ cầu rỗng : $G_{\delta 5} = \mu_0 \frac{m}{4}$

$$G_{\delta} = G_{\delta 0} + G_{\delta 2} + G_{\delta 3} + G_{\delta 4} + G_{\delta 5}$$

$$G_{\delta} - G_{\delta 0} = \sum_2^{16} G_{\delta i} \rightarrow \text{từ dẫn tản}$$

Hệ số từ tản : $\delta_t = \frac{G_{\delta}}{G_{\delta 0}} = \frac{G_{\delta 0} + G_t}{G_{\delta 0}} = 1 + \frac{G_t}{G_{\delta 0}}$

Khi δ nhỏ ; a,b lớn $\rightarrow G_t \ll G_{\delta 0} \rightarrow \delta_t = 1$

δ càng lớn $\delta_t \uparrow$

\rightarrow Kết quả tương đối chính xác nhưng phức tạp \rightarrow dùng tính toán kiểm nghiệm.

2, Tính bằng công thức thực nghiệm (kinh nghiệm):

Bảng (1-3) <22>

3, Tính bằng hình vẽ :

Khi cực từ khúc xạ không dùng 2 loại trên thì vẽ bức tranh từ trường

+Đường sức từ
+Đường đẳng thế } \rightarrow dẫn

§1.3 : Mạch từ một chiều .

- $F = \omega \# f(t)$.

U, I không phụ thuộc vào t \rightarrow Mạch không tổn hao do xoáy , từ trễ

- Hai bài toán :

+ Thuận : Cho Φ tính F

+ Ngược : Cho F tính Φ

Khó khăn : +Từ dẫn khó tính chính xác .

+Phi tuyến vật liệu từ .

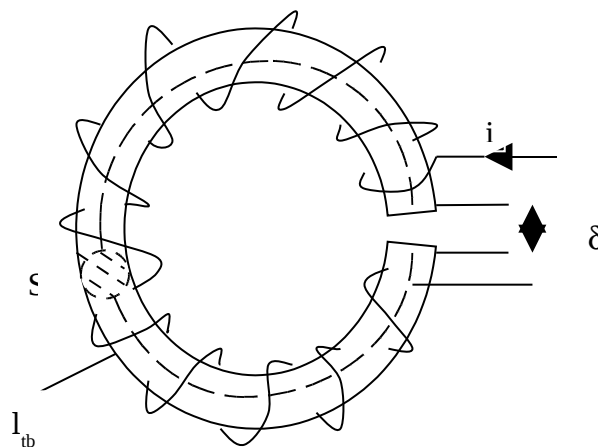
+Thông số rải \rightarrow tập trung.

1, Mạch từ 1 chiều bỏ qua từ thông rò :

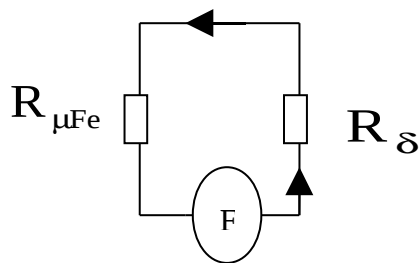
-Khi $\Phi_{r0} \ll \Phi$.

- Mạch từ hình xuyên .

A, Thuận :



biết Φ_δ tìm $F = 10$
 \Rightarrow mạch từ thay thế :

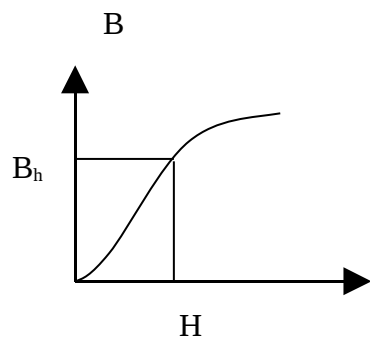


$$\Phi_\delta = \Phi_{Fe} \quad \text{vì } \Phi_{r0} = 0$$

$$F = \Phi_\delta (R_{\mu Fe} + R_\delta)$$

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

$$R_\mu = \frac{1}{\mu} \frac{l_{tb}}{S}$$



$$\Rightarrow B = \frac{\Phi}{S} \rightarrow H$$

Mạch từ một chiều $I = \text{const} \rightarrow F = \text{const}$ không phụ thuộc vào δ

$U_{Fe} \uparrow \rightarrow$ bão hòa.

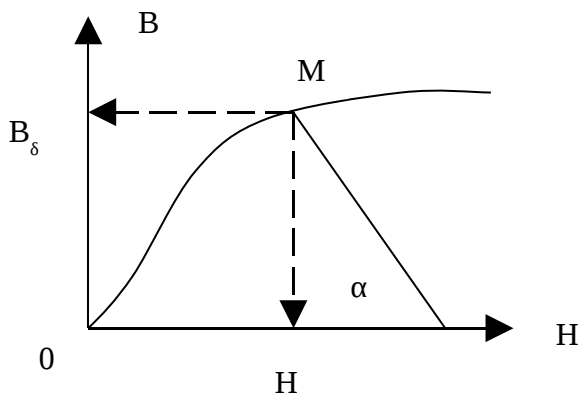
b, Ngược : biết F

$$F = IW = \Phi(R_{\mu_{Fe}} + R_{\delta}) \rightarrow \text{tính được } R_{\delta}$$

\Rightarrow Phương pháp dò trên cơ sở bài toán thuận : có thể dựng hình \rightarrow kết quả trường hợp đặc biệt .

$$IW = \Phi(R_{\mu_{Fe}} + R_{\delta}) = Hl_{tb} + \frac{BS}{G_{\delta}}$$

$$\frac{IW}{l_{tb}} = H + \frac{BS}{G_{\delta}l_{tb}}$$



- Lấy $OA = IW/l_{tb}$;

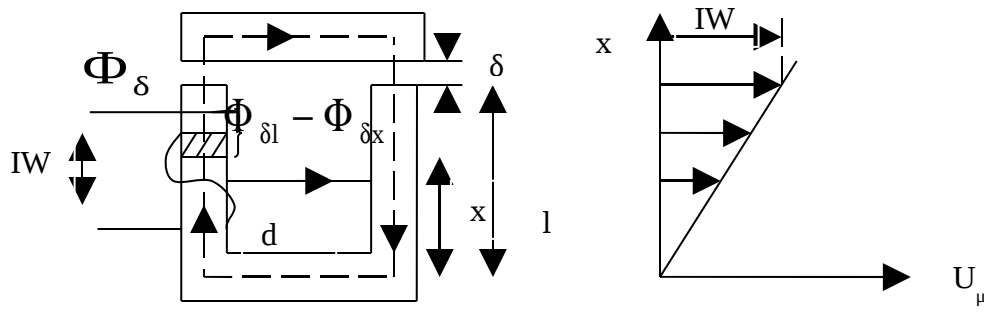
- Từ A dựng α ; $\text{tg}\alpha = \frac{1}{G_{\delta}l_{tb}}$.

2, Mạch từ 1 chiều có xét tới từ thông rò :

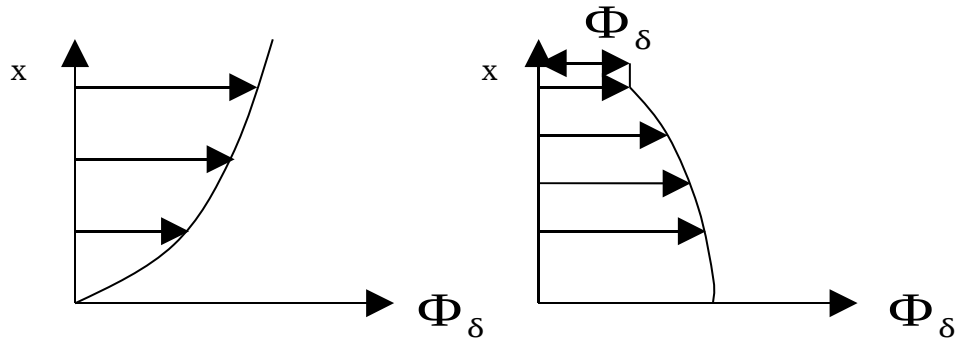
a, Bỏ qua từ trở sắt từ :

$$\mu_{Fe} \gg \mu_0 \Rightarrow R_{Fe} \rightarrow 0$$

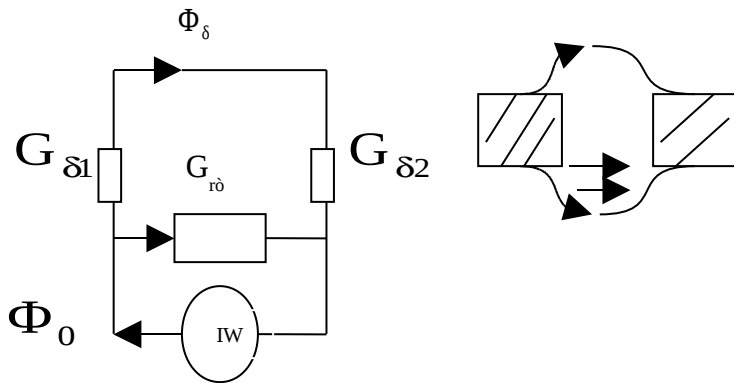
- Khi nghiệm nằm trong vùng tuyến tính của $B(H)$



$$U_{\mu} = F = Hl$$



Mạch từ thay thế :



$$G_r = kg_r l$$

g_r : dẫn suất từ dò ; $k < 1$ – hệ số từ dẫn rò qui đổi.

$$G_{\delta 1} = \mu_0 \frac{IS}{\delta_1} \quad ; \quad G_{\delta 2} = \mu_0 \frac{IS}{\delta_2}.$$

+ Thuận : $\Phi \rightarrow F$

+ Ngược : $F \rightarrow \Phi$

* Gọi $f = \frac{I\omega}{l}$

$$U_{\mu x} = fx = I\omega \frac{x}{l} \quad (\text{từ áp tại điểm } \alpha)$$

Từ thông rò tại dx : $d\Phi_{rò} = U_{\mu x} dG_{rò} = I\omega \frac{x}{l} g_r dx$

$$\Rightarrow \Phi_{rx} = \frac{I\omega}{l} g_r \frac{l^2}{2} \Rightarrow \Phi_{rl} = \frac{1}{2} I\omega l g_r = I\omega G_r$$

$$\Rightarrow G_r = \frac{1}{2} l g_r \quad \text{từ dẫn rò qui đổi theo } \Phi \quad (\text{Nam châm 1 chiều})$$

Sức từ động $F \sim$ điện áp

Từ thông $\Phi \sim$ dòng điện

- Từ thông móc vòng $\Phi\omega = \psi$

$$d\psi_{rx} = \omega_x d\Phi_{rx} = \frac{I\omega^2}{l^2} g_r x^2 dx$$

$$\psi_r = \frac{I\omega^2}{3} g_r l = \omega \frac{I\omega}{3} g_r l = \omega\Phi$$

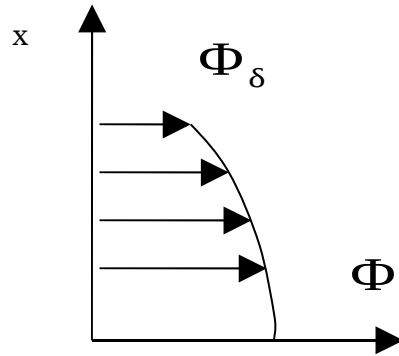
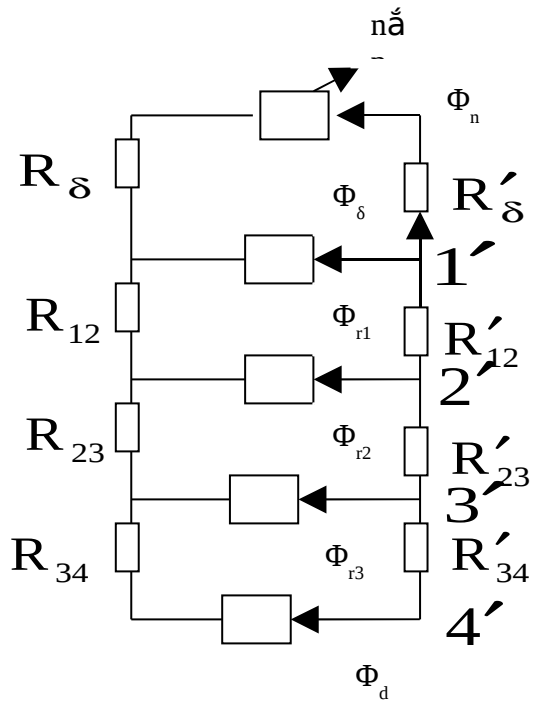
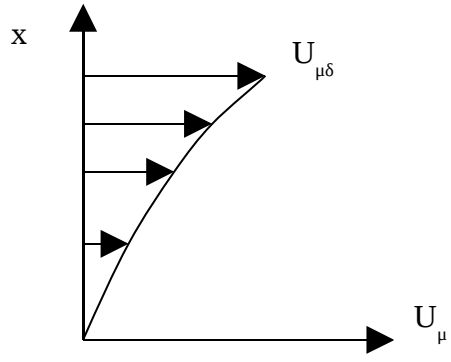
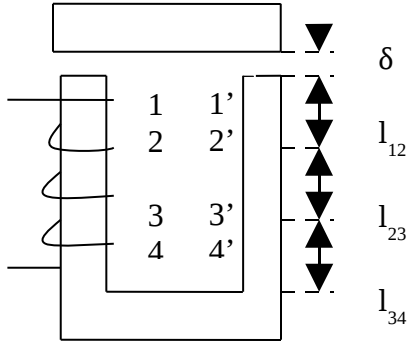
$$\Rightarrow G_r = \frac{1}{3} g_r l \rightarrow \text{Nam châm điện}$$

- Hệ số từ rò :

$$\delta_r = \frac{\Phi_0}{\Phi_\delta} = \frac{\Phi_\delta + \Phi_r}{\Phi_\delta} = 1 + \frac{\Phi_r}{\Phi_\delta}$$

b, Không bỏ qua từ trở sắt từ :

- Điểm làm việc ở vùng bão hòa của B(H)



- Giải bằng phương pháp đoạn mạch từ (tại sao 3 đoạn)
- Tính từ trở (dẫn) của không khí (chia 1 đoạn sai số lớn hơn)

$$(I\omega)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (I\omega)_i$$

* Thuận : cho $\Phi_{\delta} \rightarrow F$

$$\Phi_{\delta} = B_n S_n \Rightarrow B_n = \frac{\Phi_{\delta}}{S_n} = \frac{\Phi_{\delta}}{S} \quad \left. \vphantom{\frac{\Phi_{\delta}}{S}} \right\} \rightarrow H \rightarrow \mu_n$$

B(H)

$$R_n = \frac{1}{\mu_n} \frac{l_n}{S_n} \rightarrow U_{11'} \rightarrow R_{r1}$$

$$\Phi_{11'} = \Phi_{r1} + \Phi_{\delta} \rightarrow \Phi_{11'}$$

$$B_{11'} = \frac{\Phi_{11'}}{S} \rightarrow B(H)$$

$$\mu_{11'} \rightarrow R_{12}$$

* Ngược : cho $F \rightarrow \Phi_{\delta}$ dùng phương pháp dò

- Dùng hệ số từ rò

Tại bất cứ điểm α ;

$$\Phi_x = \Phi_{\delta} + \Phi_{rx} = \Phi_{\delta} \left(1 + \frac{\Phi_{rx}}{\Phi_{\delta}} \right) = \Phi_{\delta} \sigma_{rx}$$

- Từ dẫn và điện cảm :

$$L = w^2 G \quad ; \quad \begin{array}{l} G - \text{từ dẫn} \\ w - \text{số vòng dây} \\ L - \text{điện cảm} \end{array}$$

$$X_L = w l = 2\pi f l \quad ; \quad f \neq 0$$

§1.4 : Mạch từ xoay chiều .

+ I biến thiên \rightarrow tổn hao do từ trễ và dòng xoáy .

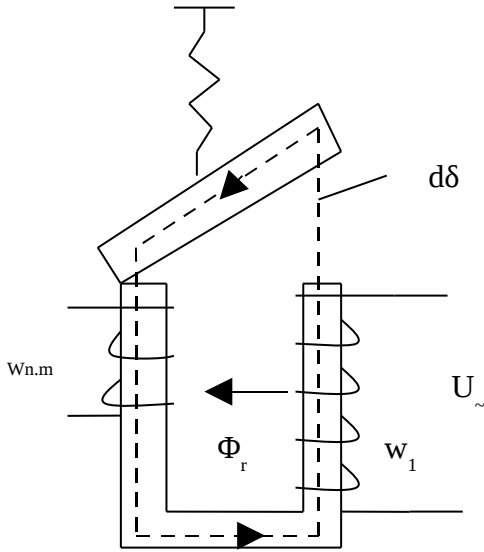
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad \left. \vphantom{\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}} \right\} I = \frac{U}{\omega l} = \frac{U}{2\pi f \omega^2 G}$$

$$R \ll X_L$$

→ I phụ thuộc khe hở δ , Φ không phụ thuộc δ .

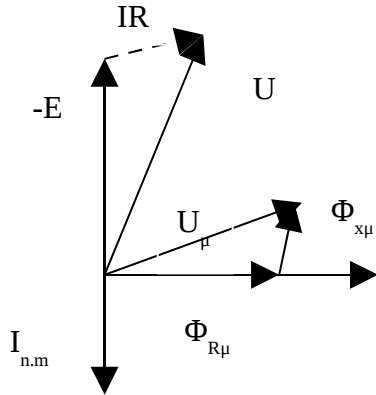
Ở nam châm điện 1 chiều $I = \frac{U}{R} = \text{const}$ không phụ thuộc khe hở δ .

+



$W_{n.m}$: vòng ngắn mạch làm cho từ thông và từ áp lệch pha về từ → chống rung nam châm điện xoay chiều.

→ Giải đồ véc tơ :



Xác định X_μ - từ kháng

$$i\omega = \Phi_\delta R_\delta = l_n \omega_n$$

$$l_n = \frac{l_n}{r_n} = -\frac{w_n}{r_n} \frac{d\Phi_\delta}{dt}$$

$$U_\mu = i\omega = \Phi_\delta R_\delta + \frac{w^2}{r_n} \frac{d\Phi_\delta}{dt}$$

$$L_n = \frac{w_x^2}{r_n} \quad ; \quad r_n - \text{điện trở vòng ngắn mạch}$$

$$X_\mu = \omega L_\mu = 2\pi f \frac{1}{r_n}$$

$$Z_\mu = R_\mu + jX_\mu$$

$$Z_\mu = \sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}$$

§1.5 : Cuộn dây nam châm điện .

- Chức năng cuộn dây : + sức từ động iw
+ không được hỏng (nóng) $U = U_{dm}$
- Các thông số : + diện tích chiếm chỗ cuộn dây (cửa sổ mạch từ)

$$S_{cd} = hl \text{ [mm}^2 \text{]}; \frac{h}{l} = m \text{ - tỉ số hình dáng dây .}$$

$m=1 \div 2 \rightarrow$ xoay chiều

$2 \div 4 \rightarrow$ một chiều

+ số vòng dây w : $\left\{ \begin{array}{l} \text{- tiết diện dây quấn } q \text{ [mm}^2 \text{]} \\ \text{- đường kính } d \text{ [m]} \end{array} \right.$

(không kể bề dày cách điện)

+ Hệ số lấp đầy cuộn dây :

$$K_d = \frac{S_{cu}}{S_{cd}} = \frac{\omega q}{lh} \quad (0.3 \div 0.7)$$

- K_d phụ thuộc :

+ Cuộn dây có khung ? \rightarrow khái niệm cách điện , chịu nhiệt .

+ Chủng loại dây quấn , hình dạng chủng loại cách điện , kích cỡ dây quấn.

+ Có cách điện lớp hay không

+ Phương pháp cuốn dây .

+ Điện trở cuộn dây

$$R = \frac{\rho \omega l_{tb}}{q} \quad ; \quad l_{tb} = \frac{l_t + l_n}{2}$$

+ Mật độ dòng điện trong cuộn dây : $j = \frac{I}{q} \text{ [A/mm}^2 \text{]};$

$j = (1.5 \rightarrow 4) \rightarrow$ dây cuốn Cu làm việc ở chế độ dài hạn

$= (10 \rightarrow 30) \rightarrow$ dây cuốn Cu làm việc ở chế độ ngắn hạn.

1, Cuộn dây nam châm điện 1 chiều :

Cho sức từ động IW , cho điện áp U_{dm} cuộn dây , chế độ làm việc .

\rightarrow Tính các kích thước , thông số của cuộn dây .

• Chọn j , K_d , ρ

- Xác định S_{cu} cuộn dây :

$$S_{cd} = lh = \frac{\omega q}{k_d} = \frac{1\omega q / l}{k_d} = \frac{1\omega / k_d}{j}$$

$$\frac{h}{l} = m \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l=? \\ h=? \end{array} \right.$$

Xác định l_{tb} , biết kích thước cực từ , S_{cd}

$$i\omega = \frac{U}{R} \omega = \frac{U}{\rho \frac{l_{tb}}{S}} \omega = \frac{U\omega}{\rho \frac{l_{tb}\omega}{q}} = \frac{Uq}{\rho l_{tb}}$$

$$\rho_{Cu(0^{\circ}C)} = 0.017 \quad [\Omega \text{ mm}^2/\text{m}]$$

- $q \rightarrow d \rightarrow$ chuẩn hóa (làm tròn)
- Số vòng : $\omega = \frac{S_{cd} l_{cd}}{q}$
- Điện trở : $R = \rho \frac{l_{tb}\omega}{q}$
- Tổn hao công suất : $P = I^2 R$
- Độ tăng nhiệt của cuộn dây ở chế độ dài hạn :

$$\tau = \frac{P}{K_T S_T} \quad [^{\circ}C] \left[\frac{[W]}{\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right] [m^2]} \right]$$

K_T : hệ số tỏa nhiệt bằng đối lưu và bức xạ ; $K_T = (6-14) [W/^{\circ}C \text{ m}^2]$ –tự không khí .

$$S_T = S_t + S_n + 2S_{dáy}$$

- Nhiệt độ thoát nóng bề mặt cuộn dây : $\theta = \theta_0 + \tau$ (θ_0 – nhiệt độ môi trường)

Nếu w rất lớn thì $i_w \neq f(\delta)$

2, Cuộn dây ,nâm châm điện xoay chiều :

$$E = 4.44f\omega\Phi_m \quad (\Phi_m - \text{tổng thông từ , } \Phi_m = \Phi_0 + \Phi_r)$$

$$\approx U$$

$$* \text{ Cho } \delta, \Phi_m \rightarrow \omega = \frac{E}{4.44f\Phi_m} = \frac{E}{4.44fB_m S} = \frac{0.85U_{dm}}{4.44fB_m S}$$

$$S_{cd} = \frac{\omega q}{k_d} \Rightarrow q$$

Sức từ động : $(i_w) = f(\delta)$

- Ở chế độ dài hạn (trạng thái hút) $\delta = 0.5$ [mm]

→ khe hở công nghệ và chống dính .

$$- I_m \omega = \frac{\Phi_m}{G_{\Sigma}} (\delta = \delta_{min})$$

$$\rightarrow I = \frac{(I_m \omega)}{\sqrt{2}\omega} \quad ; \quad q = \frac{1}{j} I \rightarrow S_{cd}$$

3, Tính lại cuộn dây khi thay đổi điện áp :

- Cơ sở : + Sức từ động không đổi } $S_{cd} = lh = \text{const}$
 + Từ thông không đổi }
 + Chế độ nhiệt không đổi $j = \text{const}$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{q_1}{q_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

Bài tập về nhà : Cho $S_{cd} = lh$, biết U , tính w , q sao cho $j = 3 \text{ [A/mm}^2 \text{]}$ (chọn k_d) .

§1.6 : Lực hút điện từ của nam châm điện 1 chiều .

Lực hút điện từ của nam châm điện 1 chiều là lực tác động lên cơ cấu công tác .

1, Dùng công thức Maxoen :

$$F = \frac{1}{\mu_0} \int_S \left[(\vec{B}_\delta \cdot \vec{n}) \vec{B}_\delta - \frac{1}{2} B_\delta^2 \vec{n} \right] dS$$

S- bề mặt cực từ ; \vec{n} - pháp tuyến ; \vec{B}_δ - từ cảm ; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ (H/m)}$

Nếu $\vec{B}_\delta \perp S$ thì \vec{B}_δ, \vec{n} cùng phương

$$F = \frac{1}{2\mu_0} \int_S B_\delta^2 dS$$

Nếu $B_\delta = \text{const}$ trong S $\rightarrow F = \frac{1}{2\mu_0} B_\delta^2 S$

\rightarrow bỏ qua từ thông tản khi $\delta \ll \sqrt{S}$, $F = 4.06 B_\delta^2 S \text{ [kg]}$

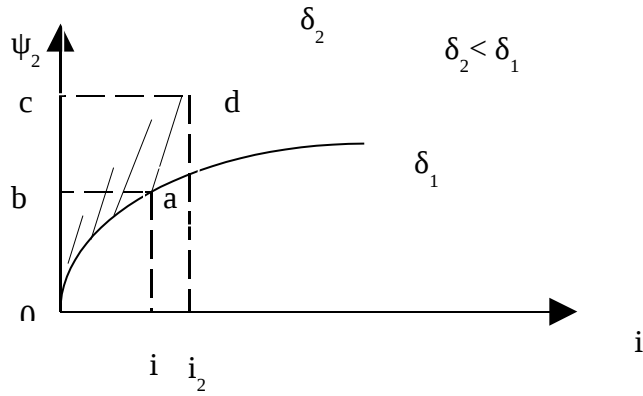
2, Tính lực điện từ bằng cân bằng năng lượng :

- Khi đóng điện vào cuộn dây nam châm điện :

phương trình cân bằng : $U = iR + \frac{d\Psi}{dt}$

$$U idt = i^2 R dt + id\Psi$$

$U idt$: điện năng vào ; $i^2 R dt$: tổn hao nhiệt ; $id\Psi$: năng lượng từ .



Năng lượng từ trường $\delta = \delta_1$

$$W_{\mu_1} = \int_0^{\psi_1} i d\psi = S_{0ab0} \quad (\text{tam giác cong})$$

Khi $\delta_1 \rightarrow \delta_2$:

$$W_{\mu_{12}} = \int_{\psi_2}^{\psi_1} i d\psi = S_{abcd}$$

$$\delta = \delta_2 \Rightarrow W_{\mu_2} = \int_0^{\psi_2} i d\psi = S_{ocdo}$$

$$\Delta W_{\mu} = W_{\mu_1} + W_{\mu_{21}} - W_{\mu_2} = S_{\text{oado}} = F \Delta S$$

$$\Rightarrow F = \frac{\Delta W_{\mu}}{\Delta S} = \frac{dW_{\mu}}{dS}$$

$$W_{\mu_1} = \frac{1}{2} \Psi_1 i_1$$

$$W_{\mu_2} = \frac{1}{2} \Psi_2 i_2$$

$$W_{\mu_{12}} = \frac{1}{2} (\Psi_2 - \Psi_1) (i_1 + i_2)$$

$$\text{Đặt } \Psi_2 = \Psi_1 + \Delta \Psi$$

§1.7 : Lực hút điện từ của nam châm điện xoay chiều .

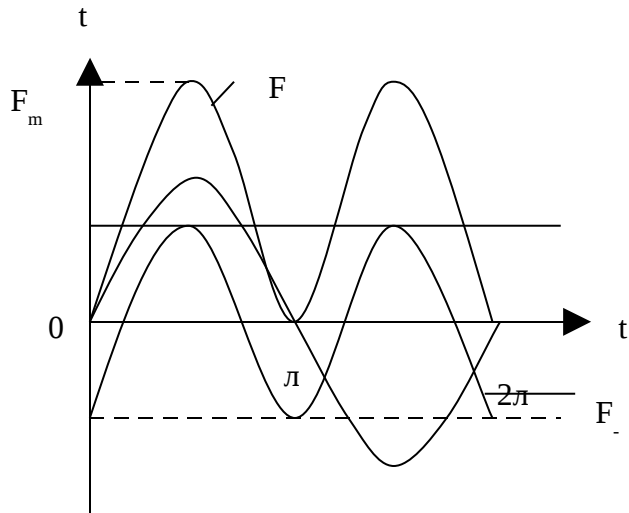
$$i = I_m \sin \omega t$$

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

$$F = \frac{1}{2} (i\omega)^2 \frac{dG}{dS} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Phi_m \sin \omega t}{G} \right)^2 \frac{dG}{dS} = \frac{1}{2} \frac{\Phi_m^2}{G} \frac{dG}{dS} \sin^2 \omega t = F_m \sin^2 \omega t$$

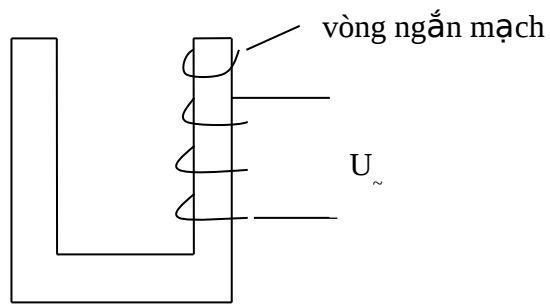
$$= F_m \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t = F_- + F_x$$

F_m - biên độ lực điện từ .

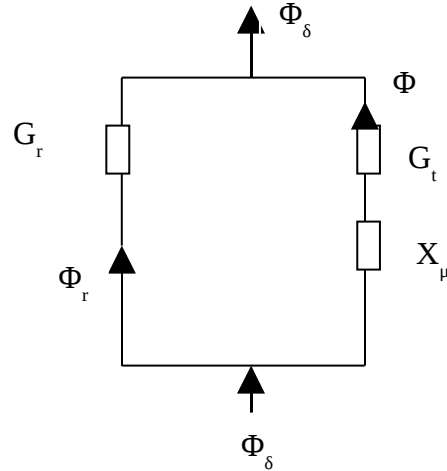


Khi $F_{c\sigma} > F \rightarrow$ nấp đẫy \rightarrow rung với chu kì $2\pi f$.
 \rightarrow chống rung bằng 2 phương pháp : tạo ra từ thông lệch pha nhau :
 + Mặc 2 cuộn dây nối tiếp với thông số khác nhau .
 + Dùng cuộn ngắn mạch .

Sơ đồ :



Sơ đồ thay thế :



$$\Phi = \Phi_t + \Phi_r = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$\Phi_2 \text{ chậm pha so với } \Phi_1 \text{ góc } \alpha \left(\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\pi f}{r_{n.m}} G_{\delta_2} \right)$$

$$\begin{cases} F_1 = F_{1m} \sin^2 \omega t = F_{1tb} - F_{1tb} \cos 2\omega t \\ F_2 = F_{2m} \sin^2 \omega t = F_{2tb} - F_{2tb} \cos(2\omega t - \alpha) \end{cases}$$

$$\Rightarrow F = F_1 + F_2 = (F_{1tb} + F_{2tb}) - (F_{1tb} \cos 2\omega t + F_{2tb} \cos(2\omega t - \alpha)) = F_{tb-} + F_{tb=}$$

$$F_{tb-} \text{ có } F_{m.tb} = \sqrt{F_{1tb}^2 + F_{2tb}^2 + 2F_{1tb}F_{2tb} \cos 2\alpha}$$

Không tồn tại điều kiện lý tưởng chống rung

- Ở máy biến áp 3 pha nói chung không có hiện tượng rung do

$$\left. \begin{aligned} F_A &= F_{Am} \sin^2 \omega t \\ F_B &= F_{Bm} \sin^2 \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \\ F_C &= F_{Bm} \sin^2 \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_A + F_B + F_C = \frac{3}{2} F_m$$

→ So sánh

Nam châm điện ~

$$\psi = \text{const}$$

$$i = f(\delta)$$

δ biến đổi \rightarrow I thay đổi

F rung 2f

F = f(δ) \rightarrow ít đổi (cứng)

Nam châm điện -

sức từ động $i\omega = \text{const}$

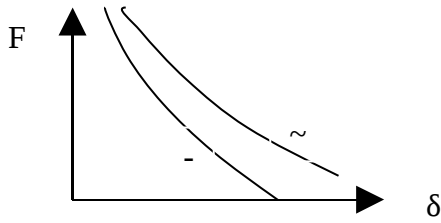
$$i = \frac{U}{R} \rightarrow \delta \text{ biến thiên thì } n\omega \text{ không}$$

cháy

F không rung \rightarrow hút êm

F = F(δ) \rightarrow thay đổi (mềm)

$$\Phi_- = \frac{i\omega}{R}; \delta \uparrow \Rightarrow G \downarrow \Rightarrow \Phi \downarrow$$



Bài tập: $(Iw) = \text{const}$ (B như nhau), cùng một mạch từ $\delta = \delta_{\min}$. Hỏi $F. > < F.?$

§1.8 : Đặc tính động của nam châm điện một chiều .

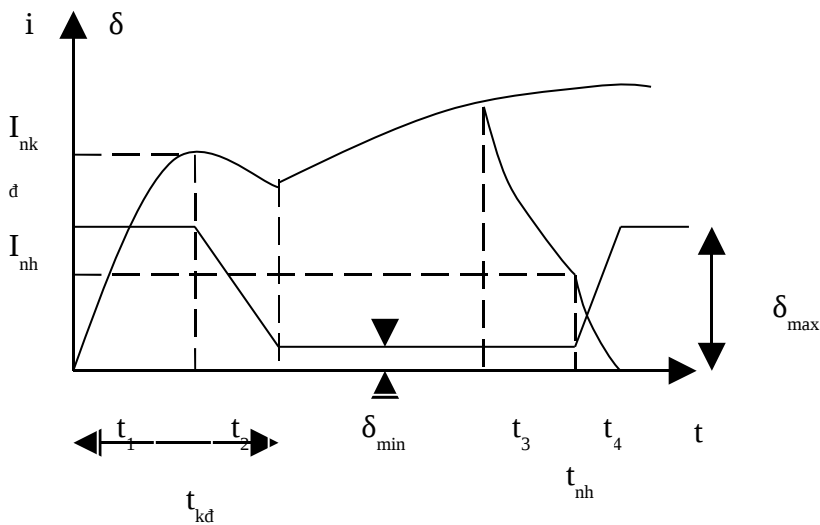
- Thông số quan trọng của NCĐ :+ Thời gian tác động .

+ Thời gian nhả của nó .

+ Thời gian tác động (t_{td}) là thời gian kể từ khi đưa tín hiệu tác động cho đến khi nắp chuyển động xong $\delta = \delta_{\min}$.

+ Thời gian nhả (t_{nh}) là khi cắt điện cuộn dây đến khi nắp của NCĐ kết thúc chuyển động $\delta = \delta_{\max}$.

I, Đặc tính động của NCĐ 1 chiều :



1, Thời gian tác động t_1 :

a, Mạch từ tuyến tính 1 cuộn dây :

$$U = iR + \frac{d\psi}{dt} = iR + \frac{d(Li)}{dt} = iR + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}$$

Thời gian khởi động $\delta = \delta_{\max} = \text{const} \rightarrow l = l_0 = \text{const}$
 $\Rightarrow U = iR + l_0 i'$

$$\frac{U}{R} - i = \frac{l_0}{R} \frac{di}{dt}$$

$$i_{\text{od}} = \frac{U}{R}; T_0 = \frac{l_0}{R}$$

$$\Rightarrow \int_0^{t_1} dt = \int_0^{l_0} \frac{di}{R i_{\text{od}} - i} \Rightarrow t_1 = T_0 \ln \frac{k_i}{k_i - 1}$$

$k_i = \frac{I_{\text{od}}}{I_{\text{kd}}}$ - hệ số dự trữ theo dòng điện của NCD.

$T_0 = \frac{l_0}{R}$ - hệ số thời gian điện từ của cuộn dây khi nắp mở.

b, Mạch từ tuyến tính có thêm cuộn dây ngắn mạch :

$$\begin{cases} iR + \frac{d\psi}{dt} = U \\ i_n R_n + \frac{d\psi_n}{dt} = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow t_1 = T_0 \left(1 + \frac{R}{R'_n} \right) \ln \frac{k_i}{k_i - 1}$$

$$R'_n = R_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2$$

$t_1 \uparrow, R_n \downarrow \rightarrow t_1$ càng lớn

$R_n \rightarrow \infty \rightarrow$ cuộn ngắn mạch bị hở mạch \rightarrow trường hợp (a)

- Ngoài ảnh hưởng của vòng ngắn mạch, t_1 chịu ảnh hưởng của dòng điện xoáy.

$$t_1 = T_0 \left(1 + \frac{R_n}{R'_n} \right) \left(1 + \frac{R_x}{R'_x} \right) \ln \frac{k_i}{k_i - 1}$$

$$R'_x = R_x \left(\frac{\omega}{\omega_x} \right)^2 = \frac{\omega^2 8\pi f x}{1}$$

$\left\{ \begin{array}{l} l - \text{chiều dài mạch từ} \\ \rho_x - \text{điện trở suất vật liệu dẫn từ.} \end{array} \right.$
 c, Trường hợp mạch từ bão hòa :

→ $\psi(i)$ quan hệ phi tuyến

$$U = iR + \frac{d\psi}{dt}$$

$$\Rightarrow t_1 = \int_0^{\psi} \frac{d\psi}{U - iR} = \frac{1}{R} \int_0^{\psi_{kd}} \frac{d\psi}{I_{od} - i}$$

2, Thời gian khởi động khi nhả t_3 (cắt điện): $U=0$

→ phương trình cân bằng :

$$iR + \frac{d\psi}{dt} = 0$$

$$\Leftrightarrow 0 = iR + L_1 \frac{di}{dt} + i \frac{dL_1}{dt} = iR + L_1 \frac{di}{dt}$$

$$\Rightarrow t_3 = -\frac{L_1}{R} \int_{I_{kd}}^{I_{nh}} \frac{di}{i} = T_1 \int_{I_{kd}}^{I_{nh}} \frac{di}{i} = T_1 \ln \frac{I_{od}}{I_{nh}}$$

L_1 – điện cảm nam châm khi $\delta = \delta_{min}$.

T_1 – hằng số thời gian điện từ NCD khi nạp hút .

Thêm vòng ngắn mạch , điện trở xoáy (phi tuyến)

$$t_3 = T_1 \left(1 + \frac{R_n}{R'_n} + \frac{R_x}{R'_x} \right) \ln \frac{I_{od}}{I_{nh}}$$

3, Thời gian chuyển động khi đóng t_2 :

- Khi $I = I_{kd} \rightarrow F > F_{cân} \rightarrow$ nam châm điện chuyển động

$$\delta_{max} \rightarrow \delta_{min}$$

$$L_0 \rightarrow L_1$$

$$\psi_{kd} \rightarrow \psi_{od}$$

$a = 4, AC = 24.$

$$\left\{ \begin{array}{l} u = iR + \frac{d\psi}{dt} \\ F_0 dx = F_c dx + d\left(\frac{mv^2}{2}\right) \end{array} \right. ; \quad t_2 = \sqrt{\frac{2mx}{F - F_0}}$$

Trong đó:

m : khối lượng phần động máy điện

$$v = dx/dt$$

Dùng phương pháp chia nhỏ $\psi(i)$ thành $\Delta\delta \rightarrow i_2$

4. Thời gian chuyển động khi nhả t_4

$$u = 0, \left. \begin{array}{l} \Psi \rightarrow \Psi_{nh} \\ F < F_c \end{array} \right\} \Rightarrow S_{min} \rightarrow S_{max}$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{2mx}{F_c - F}}$$

II. Đặc tính động NCD xoay chiều (SGK)

Chương 2 : Sự phát nóng của khí cụ điện

§1. Đại cương

- Thiết bị hỏng do + Điện áp cao \rightarrow đánh thủng cách điện \rightarrow chạm chập, ngắn mạch

+ Nhiệt dòng điện gây nên \rightarrow nóng cách điện \rightarrow già hóa, cháy

- Vật liệu cách điện – độ chịu nhiệt \rightarrow cấp cách điện

- Dạng tổn hao năng lượng trong dây dẫn :

$$\rho = I^2 R$$

Trong đó : $R = \rho \frac{l}{S}$: điện trở 1 chiều của dây dẫn độc lập

$R_v = K_m R$: K_m là hiệu ứng mặt ngoài lên tổn hao dây dẫn

- Tổn hao trong vật liệu dẫn từ (thép) không tải

$(f, B, \rho_{xoáy}) \Rightarrow \rho (W/leg) \Rightarrow f, B, \text{vật liệu}$

- Tổn hao trong chất điện môi :

$$\rho = 2\pi f U^2 \text{tg}\delta$$

Trong đó : $\text{tg}\delta$ là góc tổn hao điện môi .

§2. Các phương pháp trao đổi nhiệt

Co 3 phương pháp là dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ

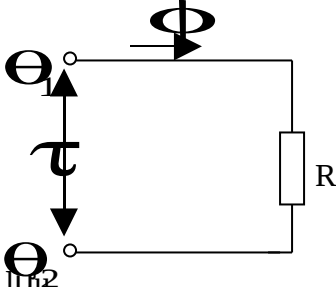
- Dẫn nhiệt : do tiếp xúc rắn – rắn mà :

$$d^2 Q = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} dS dt$$

Trong đó : $+d^2 Q$ truyền qua dS trong dt theo hướng x

- + λ là hệ số dẫn nhiệt
- + θ là nhiệt độ

o



- Đối lưu
- Bức xạ

§3. Các chế độ làm việc của khí cụ điện

Bắt đầu làm việc \rightarrow phương trình cân bằng năng lượng :

$$\rho dt = k_T S_T + \tau dt + c_T d\tau$$

Trong đó : ρdt là tổn hao

$k_T + \tau dt$ là tổn hao tỏa ra môi trường

$c_T d\tau$ là tổn hao làm nóng

$c_T = c_0 m$ là nhiệt dung thiết bị

ρ là công suất

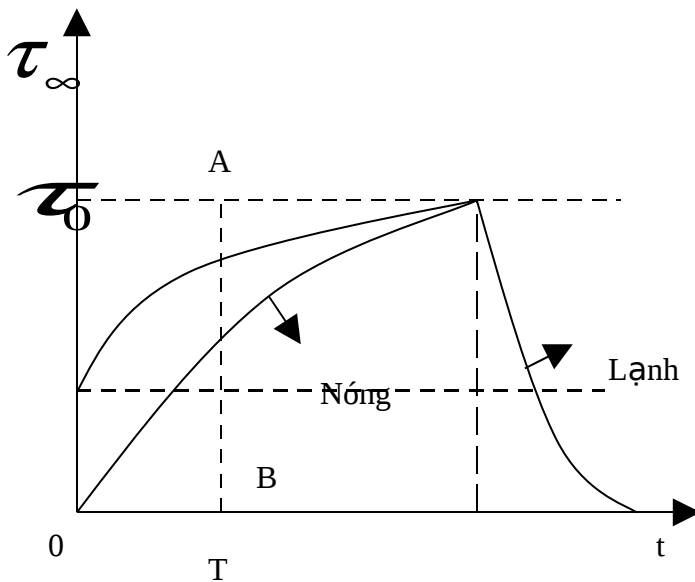
S_T là diện tích tỏa nhiệt

K_T là hệ số tỏa nhiệt

$$\Rightarrow \tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{T}} + \tau_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \text{ với } T = \frac{C_T}{K_T S_T} = C_T R_T \text{ là hằng số thời gian nhiệt}$$

$$+ t = 0 \rightarrow \tau_0 = 0 \rightarrow \tau = \tau_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \rightarrow \text{Quá trình phát nóng}$$

$$+ \text{Quá trình nguội} : 0 = k_T S_T + \tau dt + c_T d\tau \rightarrow \tau = \tau_\infty e^{-\frac{t}{T}}$$



Xác định T: Vẽ tiếp tuyến từ O cắt τ_{∞} tại A, $OB = T$.

+ Ý nghĩa T (vật lý): là khoảng thời gian phát nóng cần thiết để thiết bị đạt xác lập nhiệt không có toả nhiệt ra môi trường :

$$t = T \rightarrow \begin{cases} \tau = \tau_{\infty} \text{ nếu } K_T = 0 \\ \tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = 0.632\tau_{\infty} \end{cases}$$

+ Các chế độ làm việc phụ thuộc t, τ

1. Chế độ làm việc dài hạn :

T_{lv} đủ lớn để $\tau \rightarrow \tau_{\infty}$

Điều kiện : $t_{lv} > (4 \div 5) T$, $\tau = 0.98\tau_{\infty}$, $\frac{\Delta\tau}{\Delta t} \leq 2^{\circ} C/h$

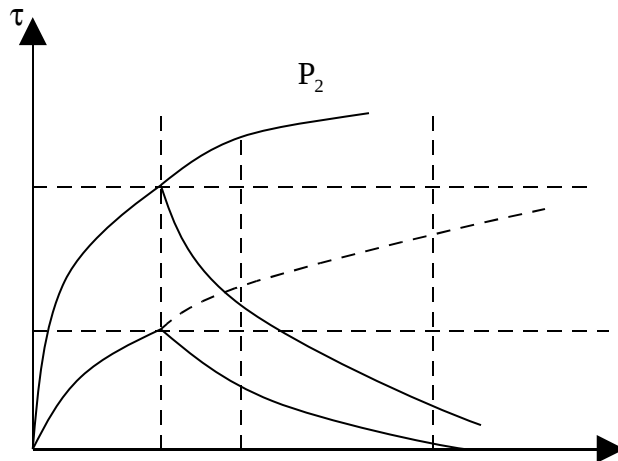
$\theta = \theta_0 + \tau_{\infty}$: nhiệt độ cho phép .

- O tải I_{dm} dài hạn ở chế độ dài hạn không cho phép quá tải

2. Chế độ làm việc ngắn hạn

- t_{lv} bé $\rightarrow \tau < \tau_{\infty}$

- t_{nghe} lớn $\rightarrow \tau \rightarrow 0$



$$\tau_{\text{mxx}2} = \tau_{\infty}$$

$$\tau_{\text{max}1}$$

$$P_1$$

$$t_{lv}$$

t

+ $t = t_{lv} \rightarrow P = P_1 \rightarrow \tau_{\text{max}1} < \tau_{\infty}$ } \Rightarrow chưa tác dụng hết lên truyền nhiệt thiết bị

$$t_{lv} \rightarrow \infty \rightarrow P = P_1 \Rightarrow \tau \rightarrow \tau_{\infty}$$

+ $P_2 > P_1 \rightarrow t = t_{lv} \rightarrow \tau_{\text{max}2} = \tau_{\infty} = \tau_{\text{cho phép}}$

$$\rightarrow k_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\tau_{\infty}}{\tau_{\text{max}1}} = \frac{\tau_{\text{max}2}}{\tau_{\text{max}1}} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{tw}{T}}} \rightarrow \text{hệ số quá tải theo công suất}$$

$$k_I = \sqrt{k_p}$$

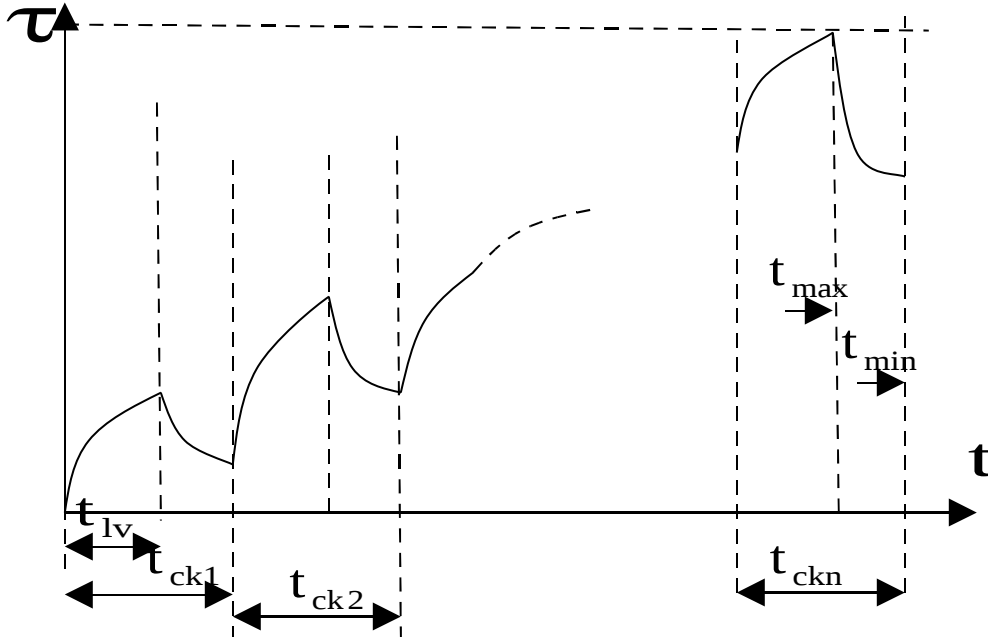
3. Chế độ ngắn hạn lặp lại

$$t_{ck} = t_{lv} + t_{ngh}$$

$$t_{lv} \text{ bé} \rightarrow \tau_{\text{max}} < \tau_{\infty}$$

$$\tau_{\text{bé}} \rightarrow \tau \rightarrow \tau_0$$

Sau $n_{\text{chu ki}}$ \rightarrow chế độ Ổn định giả quanh $(\tau_{\text{min}}, \tau_{\text{max}})$



- Chu kì 1 : $\tau_1 = \tau_\infty \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \right)$

$$\tau_1' = \tau_1 e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

- Chu kì 2 : $\tau_2 = \tau_1' e^{-\frac{t_{lv}}{T}} + \tau_\infty \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \right)$

$$\tau_2' = \tau_2 e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

$$\tau_{\max} = \tau_\infty \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \right) + \tau_{\min} e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

$$\tau_{\min} = \tau_{\max} e^{-\frac{t_{ngh}}{T}}$$

$$\tau_{\max} = \tau_\infty \frac{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{ck}}{T}}} < \tau_\infty = \tau_{\text{chophép}} \rightarrow \text{cho phép quá tải } k_p = \frac{\tau_\infty}{\tau_{\max}} = \frac{1 - e^{-\frac{t_{ck}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}} > 1$$

§ 2.4 Sự phát nóng của thiết bị điện ở chế độ ngắn mạch

t_{lv} rất bé

$\rho(I)$ rất lớn

} \Rightarrow đoạn nhiệt \rightarrow không có tỏa nhiệt

$\rho dt = c_T d\tau \rightarrow \tau \rightarrow \infty \quad \tau_{nm} \leq \tau_{\text{chophép}}$ ở chế độ ngắn hạn

- Độ bền nhiệt thiết bị điện : là khả năng của thiết bị đó chịu được dòng ngắn mạch trong thời gian cho phép:

$$I_n^2 t_n = \text{const}$$

Khi ngắn mạch i không chu kì \rightarrow quy đổi i_{nm} sang I_n (chu kì)

§2.5 Các phương pháp xác định nhiệt độ

1. Đo bằng nhiệt kế thủy ngân

-Không dò được nhiệt độ điểm

-Không truyền được tín hiệu đi xa, dễ vỡ

→ Ứng dụng nhiệt kế công tắc thủy ngân → đo khống chế nhiệt

2. Đo bằng điện trở

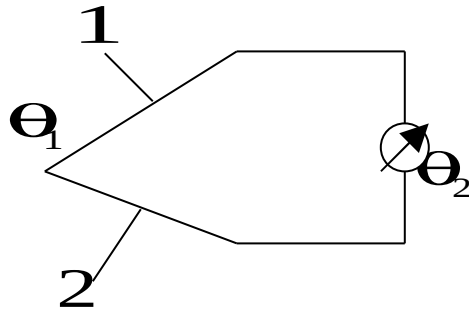
$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_T \theta) \text{ trong đó } \alpha_T \text{ là hệ số nhiệt điện trở}$$

Thông qua $R_{\theta}, R_0, \alpha_T \rightarrow \theta$

Đo $R_{\text{ngôi}}, R_{\text{nóng}}$ ta dùng V- A cầu đo

- Dùng sensor điện trở, mạch cầu
- R_x điện trở chuẩn kim loại bán dẫn

3. Đo bằng cặp nhiệt điện (nhiệt ngẫu)



- Đo nhiệt độ điểm
- Quán tính nhiệt bé
- Có thể truyền đi xa
- θ_{max} cao
- Không cần co nguồn mà vẫn được chỉ thị

4. Đo bằng bức xạ hồng ngoại

Chương 3 : Lực điện động ở khí cụ điện

§3.1 Đại cương về lực điện động

Lực điện động chính là lực tác dụng của điện trường và từ trường

Trong 1 mạch vòng có sự tác động của lực điện động làm biến dạng mạch vòng

Ở chế độ xả lập $\rightarrow I_{\text{dm}}$ không lớn $\rightarrow F = kI^2$ bé \rightarrow ngắn mạch $\rightarrow I_{\text{nm}} \gg I_{\text{dm}} \rightarrow F$ tăng lên làm cho thiết bị nhanh hỏng hơn

+ Các phương pháp tính lực điện động

1. Định luật Bio-xava-Laplace

- Đoạn mạch $dl_1(m), i_1(A)$ đặt trong từ trường $\vec{B} (T)$ có:

$$dF = [i d\vec{l}_1 \vec{B}] = i B dl_1 \sin \beta \quad \text{với } \beta = (\vec{i} \vec{B})$$

$$\Rightarrow F = \int_0^{l_1} dF = \int_0^{l_1} i_1 B \sin \beta dl_1$$

- Môi trường $\mu = \text{const}$ thì $dH = \frac{i_2 dl_2 \sin \alpha}{4\pi r^2}$

$I_2(A)$ là dòng điện trong đoạn mạch $dl_2(m)$, r là khoảng cách dl_1 với dl_2 , $\alpha = (\vec{i}_2 \vec{dl}_2)$

$$dB = M_0 dH \Rightarrow dB = \frac{M_0 i_2 \sin \alpha dl_2}{4\pi r^2} \Rightarrow B = \int_0^{l_2} 10^{-7} \frac{i_2 \sin \alpha}{r^2} dl_2$$

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \frac{\sin \alpha \sin \beta}{r^2} dl_1 dl_2 \quad (N)$$

$$k_C = \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \frac{\sin \alpha \sin \beta}{r^2} dl_1 dl_2 : \text{ gọi là hệ số kết cấu}$$

$\Rightarrow F = 10^{-7} i_1 i_2 k_C (N) \rightarrow$ để xác định hướng của F ta dùng quy tắc bàn tay trái

- Nếu có 2 mạch vòng i_1, i_2 ta có phương trình cân bằng năng lượng:

$$W = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2$$

$$\frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 : \text{ là biến đổi tự cảm}$$

$M i_1 i_2$: là biến đổi vị trí

- Nếu cho 1 mạch vòng:

$$F = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{1}{2} i_1 i_2 \frac{\partial L}{\partial x} (N)$$

- Nếu cho 2 mạch vòng:

$$F = \frac{\partial w}{\partial x} = i_1 i_2 \frac{\partial L}{\partial x}$$

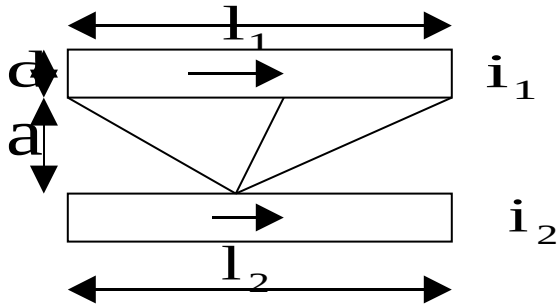
Điều kiện biết được biểu thức giải tích của L, M theo x

Lực điện động \rightarrow hệ $(l_1, l_2 \dots)$ bền vững nhất \rightarrow năng lượng lớn nhất.

- Các trường hợp thường gặp:

§3.2 Tính toán lực điện động ở các trường hợp thường gặp

1. Lực điện động ở các thanh dẫn song song



d : đường kính dây dẫn $\ll l$

$$dB = M_0 dH = \frac{\mu_0 i_1 dy}{4\pi r^2} \sin \alpha \Rightarrow B = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi} \int_0^{l_1} \frac{\sin \alpha}{r^2} dy$$

Đặt $y = a/\tan \alpha$; $r = a/\sin \alpha \rightarrow dy = -\frac{a}{\sin^2 \alpha} d\alpha$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi} \int_{\pi-\alpha_2}^{\alpha_1} -\frac{\sin \alpha}{\alpha} d\alpha = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{a} \Rightarrow dF = Bi_2 dx$$

$$dF_x = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{4\pi} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{a} dx \Rightarrow F = \int_0^{l_2} dF_x = 10^{-7} i_1 i_2 \frac{2l}{a} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right)$$

-Nếu 2 dây dài khác nhau ,đặt lệch nhau

2. Lực giữa dòng điện và môi trường sắt từ

+ Phương pháp ảnh gương

+ Dập hồ quang trong thiết bị điện hạ áp bằng phương pháp kéo dài quãng đường đi hồ quang

§3.4 Lực điện động ở điện xoay chiều

1. Điện 1 pha

Về bản chất lực điện động lực điện từ vì có thể thay thế từ trường μ_{Fe} \rightarrow dòng điện i tính theo phương pháp đối gương

2. Điện 3 pha

3. Độ bền điện động thiết bị điện

4. Cộng hưởng cơ khí

Chương 3 : Hồ quang điện

§3.1 Đại cương về hồ quang điện

1. Phóng điện trong chất điện môi

+ Nhiệt độ cao khoảng 6000°

+ $j = 10^2 \div 10^5 \text{ A/mm}^2$

+ Hiệu ứng quang

2. Quá trình ion hóa

- Phát xạ nhiệt điện từ

- Ion hóa do va chạm

- Ion hóa do nhiệt độ cao

3. Quá trình phản ion

- Phản ion do tái hợp

- Phản ion do khuếch tán

Nếu : + Quá trình ion hóa > Phản hồ quang → hồ quang tăng

+ Quá trình ion hóa < Phản hồ quang → hồ quang giảm → hồ quang sẽ tắt → Ứng dụng

dập tắt hồ quang

§3.2 Hồ quang điện 1 chiều

Muốn dập tắt hồ quang điện 1 chiều tức là làm cho nó không cháy ổn định → U_R, U_L không cắt nhau.

$$U_{hq} = \overrightarrow{E}_{hq} \overrightarrow{l}_{hq} \quad \overrightarrow{E}_{hq} = \text{const}$$

Tải cố định → U_R cố định → U_{hq} tăng → không cắt U_r → tăng U_{hq} thì tăng chiều dài ống hồ quang

§3.3 Hồ quang điện xoay chiều

1. Hồ quang điện xoay chiều

2. Phục hồi độ bền điện, điện áp

Tải R :

$i \rightarrow 0$ mà $u_0 \rightarrow 0$ → dễ dập hồ quang

$i \rightarrow 0$ mà $u_0 \rightarrow u_{max}$ → khó dập hồ quang

$i \rightarrow 0$ mà $u_c = u_{max}, 3u_{max} \dots$ → khó dập hồ quang nhất .

→ Vì vậy khi chọn thiết bị cần xem xét hệ số dự trữ

$U_{phục hồi} > U_{chọc thủng}$ → hồ quang cháy lại do nguồn và điện tích tải

+ Ảnh hưởng thuận trở

U_0, I_{hq} trùng pha

$I_0 = 0 \rightarrow U_0 = 0 \rightarrow$ Phản ion rất mạnh \rightarrow dễ dập hồ quang

+ Ảnh hưởng tải cảm (L)

U_0, I_{hq} lệch pha nhau góc $\pi/2$ vì vậy : $\left. \begin{matrix} i_0 = 0 \\ u_0 = u_{max} \end{matrix} \right\} \Rightarrow$ tạo điều kiện thuận lợi cho ion hóa và

năng lượng tích trữ nên khó dập hồ quang

+ Ảnh hưởng tải dung (C)

U_0, I_{hq} lệch pha nhau góc $\pi/2$ vì vậy : $\left. \begin{matrix} U_C = U_{max} \\ U_C = 3U_{max} \end{matrix} \right\} \Rightarrow$ khó dập tắt hồ quang hơn

\Rightarrow tải R \rightarrow chọn $I_{dm} = K_{dutr} I_{dmtai}$

Tải L thì $K=1.5$

Tải C thì $K=2$

§3.4 Các biện pháp dập hồ quang

Để dập tắt hồ quang thì cần làm cho : quá trình phản ion > quá trình ion

Chính là làm cho thời gian phóng hồ quang giảm thì phản ion mạnh

1. Kéo dài hồ quang

a. Kéo dài bằng cơ khí \rightarrow tăng khoảng cách giữa 2 tiếp điểm (điểm cực) \rightarrow tăng chiều dài dao cách li

\rightarrow tăng kích thước

Tuy nhiên nếu tăng nữa thì hiệu quả không tăng. $U_{đánh\ thủng}$ vào khoảng 3000V/mm

b. Bắt hồ quang đi vào khe ziczắc : dùng từ trường để thổi hồ quang vào khe zic zắc dùng trong công tơ điện → hồ quang điện có xu hướng đi lên

c. Thổi hồ quang bằng từ : lực điện động i và Fe → dãn dật và kéo dài hồ quang tỏa nhiệt → dùng trong khí cụ điện

d. Thổi hồ quang bằng khí nóng

- không khí khô sạch nén với áp suất cao 20 at trong bình ống dẫn đến vùng điện cực → thời điểm mở → van mở thổi mạnh → thổi độc lập (không phụ thuộc $I_{cắt}$)

- Nhược điểm là công kênh

- Hệ thống khí nén bổ xung → đóng cắt nếu không nén

2. Hồ quang cháy trong môi trường đặc biệt

a. Dầu biến áp

- Cách điện tốt

- Do hồ quang → dầu phân tích

- Nhược điểm : lượng dầu giảm vì hóa hơi và bắn → thường kiểm tra lọc sạch bổ xung → dùng trong thiết bị điện đóng cắt cao áp

Máy cắt dầu → hồ quang cách điện

b. Dập hồ quang bằng vật liệu tự sinh khí

-dùng vật liệu như thủy tinh hữu cơ ...→nhiệt độ cao →hóa hơi →có độ bền cách điện cao →với cầu chì cao áp →thời hồ quang .Lực cắt không lớn ,thiết bị rẻ tiền →thông dụng

c.Dập hồ quang điện trong chân không (cách điện lí tưởng)

-Khả năng ion hóa bằng 0 →nhiệt độ hồ quang bé →kích thước bé →không cần bảo dưỡng

-Công nghệ buồng cắt

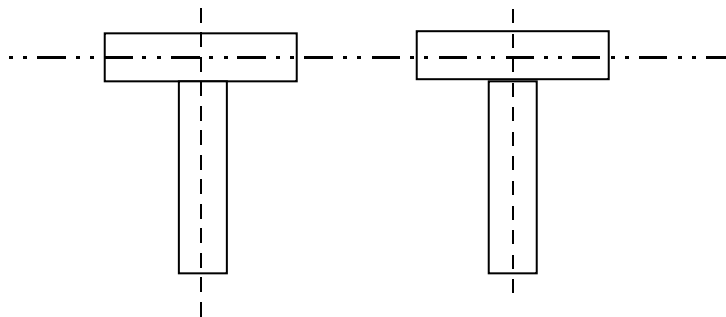
-SF₆(elegas) là khí cách điện lí tưởng ,chịu được hồ quang ,dẫn nhiệt tốt ,đông đặc ở nhiệt độ cao ,nén SF₆ trong buồng dập ,áp suất vài at

-Nhược điểm : dễ rò rỉ khí

Nếu áp suất thấp nên dập hồ quang kém (khóa không cho thao tác)→Máy cắt cao áp →Siêu cao áp

3.Phân loại hồ quang

Chia nhỏ hồ quang →điện áp cao →dùng thông dụng máy cắt hình T nối tiếp →thao tác đồng thời



4.Đóng cắt đồng bộ (cho dòng α)

- Khi $i = 0$ → thực hiện đóng cắt cơ. Thao tác 3 pha mà chỉ 1 pha bằng 0 → thao tác từng pha

- Cắt ngắn mạch → $i > 0$ → không có lợi

Chương 5 : Tiếp xúc điện

§5.1 Khái niệm chung về tiếp xúc điện

- Định nghĩa :

- Phân loại : + Tiếp xúc cố định

+ Tiếp xúc trượt

+ Tiếp xúc cắt

- Loại tiếp xúc : + Tiếp xúc điểm (cầu-cầu)

+ Tiếp xúc đường (trụ-trụ)

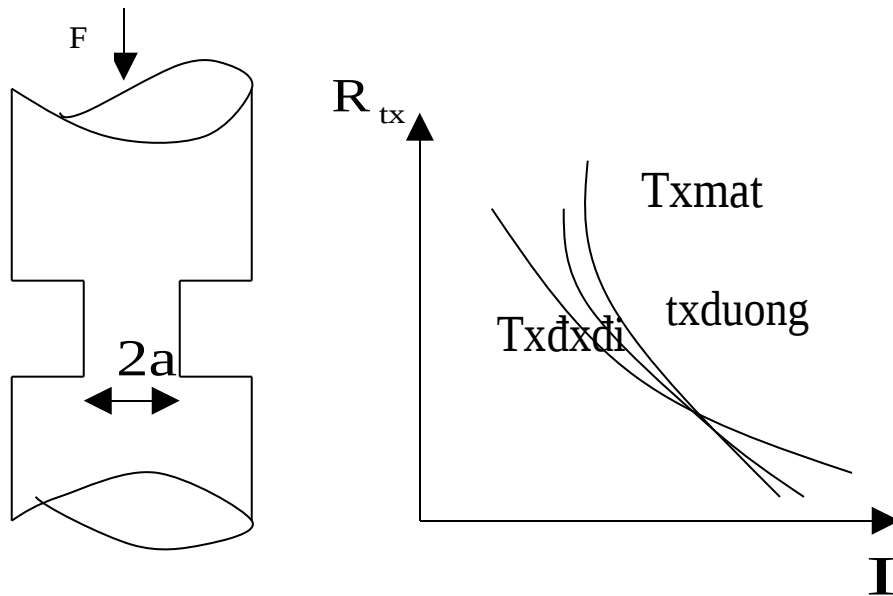
+ Tiếp xúc mặt (phẳng-phẳng)

§5.2 Điện trở tiếp xúc

Diện tích tiếp xúc $S_{tx} < S$ → dòng điện thắt lại chỗ tiếp xúc → R_{tx} tăng → tổn hao tăng

Về lý thuyết $S_{tx} = \pi a^2 = \frac{F}{\delta}$ trong đó F là lực nén tiếp xúc

S_{tx} tăng thì F tăng và δ giảm (vật liệu mềm)



§5.3 Các chế độ làm việc của tiếp điểm

1. Các thông số của tiếp điểm:

I_{dm} , U_{dm} , $I_{đóng}$, $I_{cắt}$ Nhiệt: số lần đóng cắt

m : độ mở (mm) khoảng cách giữa tiếp điểm tĩnh và động → không phóng điện liên quan đến đập hồ quang

$P_{tx} = I_{dm}^2 R_{tx}$ với $\theta_{td} < \theta_{tdchophep}$ (dài hạn)

2. Các chế độ cắt (xác lập)

- Là chế độ không có dòng điện đi qua tiếp điểm → $I = 0$

- m đủ lớn → không phóng điện

→ chống lại bụi bẩn, ôxi hóa cho tiếp điểm (IP- Cấp bảo vệ)

3. Chế độ đóng (xác lập)

- $I = I_{dm}, R_{tx} = R_{tx \text{ cuối}} (F_{tx} \text{ cuối})$
- $R_{tx \text{ cuối}} \text{ nhỏ} \rightarrow \Delta u_{tx}, \theta_{tx} \text{ phải bé}$
- Khi đang đóng tạo ra $I_{nm} \rightarrow$ lực điện động không lớn lắm
 - \rightarrow cần hàn dính tiếp điểm
 - + tăng $F_{tx} \rightarrow$ không có lợi vì tổn công cơ học và thiết bị lớn
 - + Giảm xu hướng ảnh hưởng F_{dd}

4. Quá trình đóng

- Khi có tín hiệu đóng \rightarrow tiếp điểm chuyển động phía tiếp điểm tĩnh
 - m giảm $\rightarrow E$ tăng $\rightarrow F$ đủ lớn \rightarrow Phóng điện (tia lửa, hồ quang bé)
 - khi $m = 0$ hết hồ quang $\rightarrow F_{tx} = F_{txd} < F_{txc}$
 - Hiện tượng rung tiếp điểm động (Theo Newton 3)
 - Biên độ rung cực đại X_m
 - Thời gian rung t_r
- $\left. \begin{array}{l} X_m \\ t_r \end{array} \right\} R_{tx} \text{ biến thiên} > R_{tx \text{ cuối}} \rightarrow \text{tiếp điểm mòn}$

- Để giảm rung :

- + giảm $m_{động} \rightarrow$ làm giảm thời gian rung
- + giảm vận tốc (có giới hạn)
- + tăng F_{txd} (tăng độ cứng lò xo)
- + dùng vật liệu mềm
- $I_d = I_0$ (dòng không tải bé) \rightarrow không có hiện tượng gì

$$\left. \begin{array}{l} I_d \gg I_{dm} \\ R_{txd} > R_{txc} \\ \text{Rung} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{tx \text{ lớn}} \rightarrow \text{hàm đặc tính tiếp điểm}$$

5. Quá trình cắt

- $R_{txc} \rightarrow R_{txd}$ (độ lún)
- $t > 0 \rightarrow 2$ tiếp điểm rời nhau \rightarrow hồ quang \rightarrow nóng chày bề mặt \rightarrow bốc hơi kim loại theo hồ quang \rightarrow tiếp điểm bị mòn chủ yếu do hồ quang khi cắt (mòn điện):

$$\begin{array}{l} I_{cắt} = I_0 \rightarrow \text{mòn ít} \\ I_{cắt} = I_t \rightarrow \text{mòn vừa} \\ I_{cắt} = I_{nm} \rightarrow \text{mòn lớn} \end{array}$$

\rightarrow độ mòn phụ thuộc vào dòng điện cắt

§5.4 Vật liệu tiếp điểm

Yêu cầu : dẫn điện tốt, t_{nc}^0 cao, R_{tx} tốt, ít bị ăn mòn hóa học, ít ăn mòn (chịu, hồ quang), sau phát hóa, dễ gia công, rẻ

- Đồng : R_{tx} lớn (ôxi hóa, ít mòn, cứng, chịu hồ quang) sau phát hóa, dễ gia công, rẻ → khử lớp ôxi hóa bề mặt → khử đi trong quá trình tiếp xúc có trượt trên nhau hoặc đóng

Chú ý : Khi tính nhiệt độ $U = U_{max} = 1.1 U_{dm}$

$$U = U_{min} \text{ cho phép}$$

- Bạc ít bị ôxi hóa, kém chịu hồ quang → tiếp điểm làm việc với I_{dm}

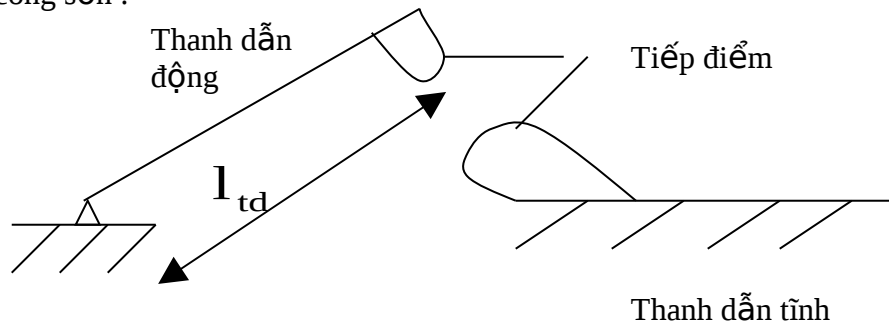
- Nhôm : oxit bền vững → không làm tiếp điểm

- Vonfram : nhiệt độ nóng chảy cao → dùng cho tiếp điểm hồ quang

- Kim loại gốm : hỗn hợp bột kim loại, ép áp suất cao tạo các tính chất vật lý thích hợp

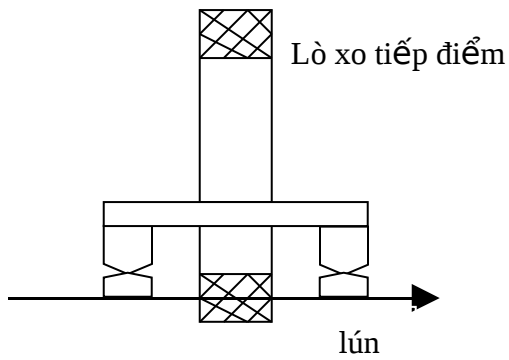
§5.5 Kết cấu tiếp điểm

+ Kiểu công sơn :



- dùng cho $I \leq 10A$
- 1 pha có 1 chỗ cắt
- Không có buồng dập hồ quang
- Nam châm điện hút chặt → lực điện từ lớn
- Lực tác dụng lên tiếp điểm là lực đàn hồi thanh dẫn
- Dùng cho rơle, $U_{tiếp\ điểm\ max} = 250 V$

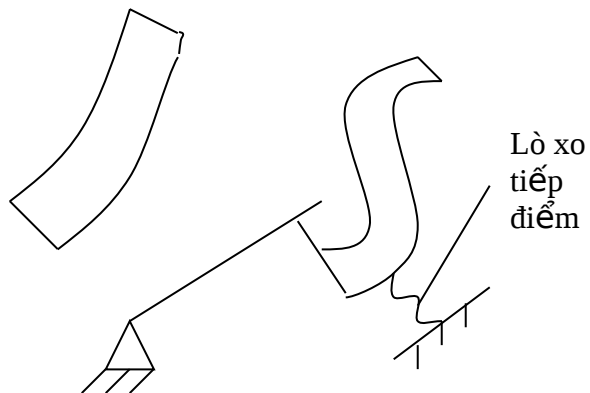
+ Kiểu cầu



Trạng thái đóng

- 1 pha 2 chỗ cắt → dễ cắt hồ quang
- Truyền dòng tịnh tiến
- Không có dây dẫn mềm
- Chỗ tiếp xúc đầu, tiếp xúc cuối là như nhau → bề mặt dễ bị rỗ do hồ quang
- 1 pha có 2 chỗ tiếp xúc → F_{tx} lớn → cơ cấu truyền động phải khỏe
→ Công tắc tơ đến 1000 V

+ Kiểu ngón

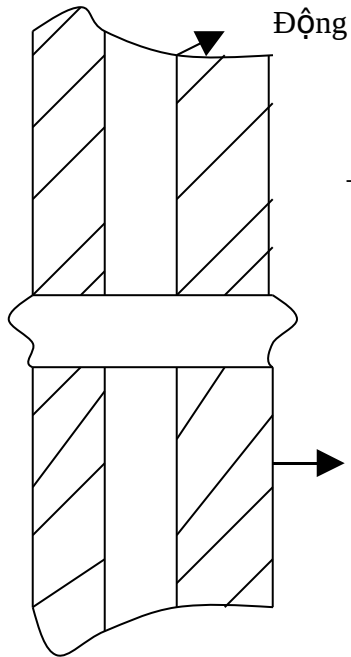


- Tiếp xúc các đường
 - 1 pha có 1 chỗ cắt và tiếp xúc cuối khác đóng → đầu tiếp xúc trước làm việc, tiếp xúc sau → hồ quang phát sinh ở vùng làm việc → làm sạch tiếp điểm
- i lớn hàng trăm, ngàn ampe → máy cắt hạ áp

+ Kiểu dao

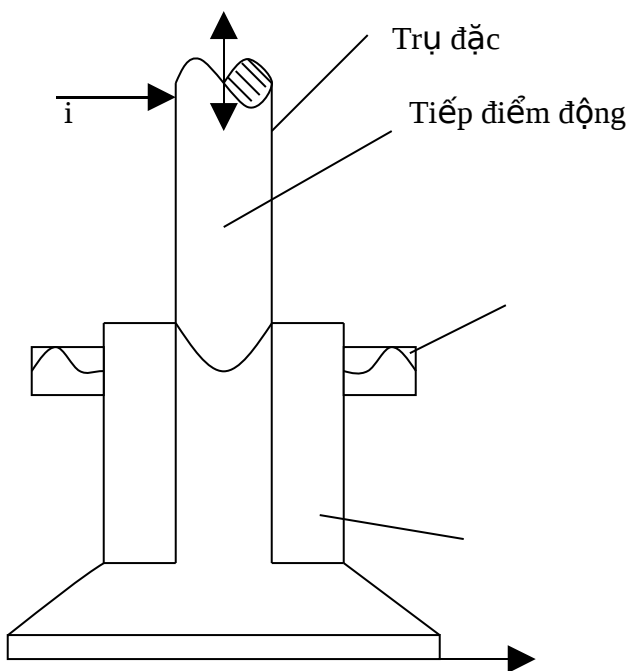
- cầu dao, dao cách li liên kết ngàm, tiếp xúc mặt → làm sạch phần làm việc vì nó ít bị hồ quang
- đóng cắt không tải (đường bé) → i_v lớn → hạ áp → cao áp

+ Kiểu đối



Nếu : + rỗng → mặt cắt không khí nén
 + đặc → mặt cắt chân không
 → Xử lý hồ quang quay → giảm các điểm nóng cục bộ

+ Kiểu hoa huệ



Giá đỡ lò xo

Lò xo tiếp điểm

Dây dẫn
mềm

Tiếp điểm tĩnh

i

- Tiếp xúc đường
- Phần tiếp xúc ban đầu và tiếp xúc làm việc khác nhau
- Khi bị ngắn mạch \rightarrow lực điện động không chống lại lực lò xo
- Dùng trong máy cắt cao áp dòng điện lớn
- Dùng cho các dạng tiếp xúc ngắn cho thiết bị hợp bộ

Chương 6 : Cách điện trong khí cụ điện

§6.1 Khái niệm chung

Giá trị R giữa các vật có U khác nhau

R – vật liệu cách điện tạo nên

+ Cấp cách điện (mức độ chịu nhiệt)

+ Khả năng chịu U , tg δ với tg δ là góc tổn hao điện môi và U là điện áp chọc thủng

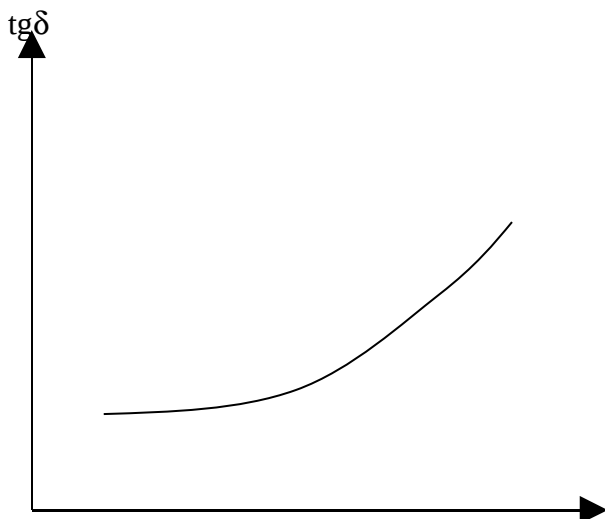
$$E = \frac{U}{l} \text{ (V/m)}$$

- cách điện quan trọng : thể hiện độ tin cậy khi làm việc , giá thành

§6.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến cách điện

- Điện trường (1)
- Nhiệt độ (2)
- Lực cơ học (3)
- Môi trường (4)

(1) phóng điện cục bộ do vật liệu không đồng nhất tác $i^2 \rightarrow$ khi i xác định \rightarrow tg δ



U

Cách điện rắn : hỗn hợp

+ Quá điện áp : $U > U_{dm}$

Nguyên nhân : - Do sét (quá điện áp khí quyển)

- Thời gian rất bé \rightarrow xung rất lớn \rightarrow không dao động, tắt nhanh theo khoảng cách $\rightarrow U = (\text{chục } \div \text{trăm}) U_{dm}$, phóng điện bề mặt

Thiết bị chống sét : sừng, van có khe hở hay van không có khe hở \rightarrow ở trước máy biến áp gần thiết bị

- Do thao tác \rightarrow đóng cắt tải lớn cộng hưởng vài lần U_{dm} với $\begin{cases} U < U_{kq} \\ t > t_{kq} \end{cases}$

- dùng các sơ đồ giảm Δu do các thao tác
- tăng dự trữ cách điện

(2) - Nhiệt độ cao \rightarrow cách điện giảm \rightarrow hỏng

- Nhiệt độ cừa phải \rightarrow cách điện tăng

(3) - Va đập lớn \rightarrow nứt, rạn cách điện rắn

(4) - Bụi bẩn \rightarrow chống bụi bẩn \rightarrow bề mặt làm gờ, rãnh, mái tăng khoảng cách phóng điện bề mặt

§6.3 Điện áp thử nghiệm

- Đặt vào phần cách điện để kiểm tra cách điện hỏng hay không
- Điện áp tần số công nghiệp

$$t_{thu} = 1s$$

$u_{thu} = k u_{dm}$ $k > 1$ - cách điện mới nếu U_{dm} thấp $\rightarrow k$ lớn và U_{dm} cao $\rightarrow k$ bé

- $U_{thấp}$, dự trữ lớn \rightarrow phụ thuộc vào độ bền cơ và điện

- Điện áp xung -> xung chuẩn du/dt -> thời gian xung (40 μ s)
- 1/2 chu kỳ 50 Hz = 1.10^{-2} s $U_{maz\ xung} > U_{max\ 50\ Hz}$
- Thử nghiệm TBD

§ 6.4 Kiểm tra cách điện

$U_{fong} => E = \frac{U}{l}$ với các dạng điện cực khác

- Điện trường đều -> E lớn
- Điện trường không đều -> E giảm
- Nối tiếp các cách điện bằng vật liệu khác , lưu ý ϵ - hằng số điện môi của vật liệu

Ôn tập

- Bài tập : chương 1 (NCD)
- Nam châm xoay chiều có vòng ngắn mạch
- Sức từ động I_{max}
- I_{hdung}
- Lý thuyết : chương 2,3,4,5
- Xoay chiều (ψ, Φ, B) giá trị max (biên độ)

—Số liệu thiết kế

$$P = 55kW \quad \cos\varphi = 0,97 \quad \frac{M_a}{M_{dm}} \geq 1,8$$

$$2p = 4 \quad \eta\% = 90$$

$$U = 220/380 V \quad \frac{I_{kt}}{I_{dm}} \leq 6,5$$

$$\frac{M_{max}}{M_{dm}} > 2,2$$

XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU

1. $P = 55 \text{ kw}$
 $n = 0,9$
 $\cos\varphi = 0,91$

Theo cấp công suất và $\cos\varphi$ đã chọn $n = 1500$ vòng/phút (228)

2. xác định chiều cao tâm trục $2p = 4$ (230)
 $h = 220$ (mm) , $D_n = 39,2$ cm
 $k_d = 0,64 - 0,68$, chọn $k_d = 0,68$

3. Xác định D
 $K_D = D/D_n \Rightarrow D = 0,68.39,2 = 26,65$ (cm)

4. Công suất tính toán

$$P' = \frac{k_E \cdot P_{dm}}{\eta \cdot \cos\varphi}$$

Chọn $k_f = 0,97$ (231)

$$P' = \frac{0,97}{0,9} \cdot \frac{55}{0,91} = 65,14 \text{ (kw)}$$

5. chiều dài tính toán lõi sắt Stato

$$l_s = \frac{6,1 \cdot P' \cdot 10^7}{\alpha_\delta \cdot k_\delta \cdot k_d \cdot A \cdot B_\delta \cdot D^2 \cdot n_{db}}$$

$$\alpha_\delta = 0,64$$

$$l_{cs} = 1,11$$

$$\text{chọn } h_d = (0,91 \div 0,92) = 0,91$$

$$\text{Từ } D_n = 39,2, 2p = 4 \Rightarrow \text{chọn } A = 3408 \text{ (A/ cm)}$$

$$B = 0,77 \text{ (T)}$$

$$\Rightarrow l_s = \frac{6,1 \cdot 65,14 \cdot 10^7}{0,64 \cdot 1,11 \cdot 0,91 \cdot 3408 \cdot 0,76 \cdot 39,2^2 \cdot 3000}$$
$$= 9 \text{ cm}$$

$$\text{Chọn } l_s = 18$$

- b, Bước cực

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot 26,65}{4} = 20,9 \text{ cm}$$

7. Hệ số kinh tế

$$\alpha = \frac{l_s}{\tau} = \frac{18}{20,9} = 0,86 \Rightarrow \text{thoả mãn}$$

8. Dòng điện pha định mức

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{3U_1 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{55 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,91} = 101,75 \text{ (A)}$$

THIẾT KẾ STATO

9. Số rãnh Stato

Chọn $q = 4$

$$z_1 = 3 \cdot 2p \cdot q_1 = 6 \cdot 2 \cdot 4 = 48 \text{ rãnh}$$

10. Bước rãnh Stato

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z_1} = \frac{\pi \cdot 26,65}{48} \\ = 1,7 \text{ (cm)}$$

11. Số thanh dẫn tác dụng của 1 rãnh

— chọn số mạch nhánh $a_1 = 42$

$$U_{r1} = \frac{a_1 \cdot A \cdot t_1}{I_1} = \frac{2 \cdot 380 \cdot 1,7}{101,75} = 13,99$$

Chọn $U_{r1} = 124 \text{ (V)}$

12. Số vòng dây nối tiếp 1 pha

$$W_1 = p \cdot q \cdot \frac{U_{r1}}{a_1} = 2 \cdot 4 \cdot 124 : 2 = 5648 \text{ (vòng)}$$

13. Tiết diện và đường kính dây dẫn

Chọn $A_J = 3100 \text{ (A}^2\text{/ cm. mm}^2\text{)}$

$$\Rightarrow J = \frac{1900}{380} = 5 \text{ (A / mm}^2\text{)}$$

\Rightarrow tiết diện sơ bộ dây dẫn

$$S_{dd} = \frac{I}{J \cdot a_1 \cdot n_1} = \frac{101,75}{5 \cdot 2 \cdot 4} = 2,54 \text{ (mm}^2\text{)}$$

số sợi chập $n_1 = 4$

chọn loại dây dẫn đồng tròn PEN có

$$d_{cd} = 1,975 \text{ (mm}^2 \text{)}$$

$$d = 1,88 \text{ (mm)}$$

14. Kiểu dây quấn

Chọn dây quấn bước ngắn

$$\tau = \frac{Z_1}{2 \cdot p} = \frac{48}{2 \cdot 4} = 12 \text{ rãnh}$$

chọn $y = 10$

$$\Rightarrow \beta = \frac{y}{Z} = \frac{10}{12} = \frac{5}{6}$$

15. Hệ số dây quấn

$$k_y = \sin \varphi \cdot \pi / 2 = \sin \left(\frac{5}{6} \cdot \frac{\pi}{2} \right) = 0,9659$$

$$k_r = \frac{\sin q \cdot \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15}{2}}{4 \cdot \sin \frac{15}{2}} = 0,9576$$

$$\alpha = \frac{p \cdot 360}{Z_1} = \frac{360 \cdot 2}{48} = 15$$

$$\Rightarrow k_{dq} = k_{ng} \cdot k_r = 0,9659 \cdot 0,9576 = 0,925$$

16. Từ thông khe hở không khí

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_s \cdot k_d \cdot f \cdot W_1} = \frac{0,96 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 0,925 \cdot 50 \cdot 5648} = 0,0187 \text{ (Wb)}$$

17. Mật độ từ thông khe hở không khí

$$B_\delta = \frac{\Phi \cdot 10^4}{\alpha_\delta \cdot \tau \cdot l_s} = \frac{0,187 \cdot 10^4}{0,64 \cdot 20 \cdot 9,18,35} = 0,77 \text{ (T)}$$

18. Sơ bộ xác định chiều rộng răng

$$B_z = \frac{B_\delta \cdot l_1 \cdot t_1}{B_{z_1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,76 \cdot 18 \cdot 1,7}{1,7 \cdot 0,95} = 0,8 \text{ cm}$$

Chọn $k_c = 0,95$

$$B_{z^1} = (1,7 \div 1,85) = 1,7$$

19. Sơ bộ xác định chiều cao gông Stato

$$h'_{g1} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2 \cdot B_{g1} \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,0183 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 0,95} = 0,8 \text{ (cm)}$$

$$\text{chọn } B_{g1} = (1,45 \div 1,6) = 1,5$$

20. Chọn rãnh hình quả lê

Có

$$h_{12} = 1781,78 \text{ mm} \quad d_1 = 10 \text{ mm}$$

$$h_{41} = 0,5 \text{ mm} \quad d_2 = 17 \text{ mm}$$

$$b_{41} = d_{cd} + 1,5 \quad h_{r1} = \frac{12,55}{2} - h'_{g1} = 2,6135 \text{ cm} = 26,14 \text{ mm}$$
$$= 3,4 \text{ mm}$$

HÌNH VE

Chọn cách điện rãnh có chiều dày 0,4 mm

Chọn cách điện nêm có chiều dày 0,5 mm

— Diện tích rãnh trừ nêm

$$S_r = \frac{\pi \cdot (d_1^2 + d_2^2)}{8} + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot (h_{12} - \frac{d_1}{2}) = \frac{\pi(10^2 + 15^2)}{8} + \frac{10 + 15}{2} (18,8 - 5) = 32,998(\text{mm}^2)$$

— Chiều rộng miếng cách – tong nêm là $\frac{\pi d_1}{2}$

Của tấm cách điện giữa 2 lớp ($d_1 + d_2$)

— Diện tích rãnh trừ nêm

$$S_r = \left[\frac{\pi d_2}{2} + 2 \cdot \ln_2 + (d_1 + d_2) \right] \cdot C + \frac{\pi d_1}{2} \cdot C' = \left(\frac{\pi \cdot 15}{2} + 2 \cdot 18,8 + 10 + 15 \right) \cdot 0,4 + \frac{\pi \cdot 10}{2} \cdot 0,5 = 46,68 \text{ mm}^2$$

$$\text{—Hệ số lấp đầy rãnh } k_d = \frac{u_1 \cdot n_1 \cdot d_{cd}^2}{S_r} = \frac{14 \cdot 4 \cdot 1,895^2}{S_r} = 0,774$$

21. Bề rộng răng Stato

$$b'_{z_1} \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot (h_{41} + h_{12}))}{Z_1} - d_2 = \pi \left[\frac{(266,5 + 2 \cdot (0,5 + 16,8))}{48} \right] - 15 = 2,76 \text{ (mm)}$$

$$b''_{z_1} \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{41} + d_1)}{Z_1} - d_1 = \frac{\pi \cdot (26,65 + 2 \cdot 0,5 + 19)}{48} - 13 = 5,6 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow b_{tb} = \frac{b'_{z_1} + b''_{z_1}}{2} = 4,18 \text{ (mm)}$$

22. Chiều cao gông Stato

$$h_{gl} \frac{D_n - D}{2} - h_{r1} + \frac{1}{6} \cdot d_2 = \frac{39,2 - 26,65}{2} - 2,68 + \frac{1}{6} \cdot 1,7 = 3,94 \text{ (cm)}$$

23. khe hở không khí

$$\delta = \frac{D}{1200} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) = \frac{266,5}{1200} \left(1 + \frac{9}{4} \right) = 0,721 \text{ (mm)}$$

Chọn $\delta = 0,9 \text{ (mm)}$

DÂY QUẤN RÃNH GÔNG STATO

24. Số rãnh Rôt (246)

Chọn $Z_2 = 38$

25. Đường kính ngoài R

$$t_2 = D_2 = D - 2\delta = 26,65 - 2 \cdot 0,07 = 26,51 \text{ (cm)}$$

26. Bức rãnh R

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D'}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 26,51}{38} = 2,19 \text{ (cm)}$$

27. Sơ bộ chiều rộng răng R

$$b'_{z_2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{B_{z_2} \cdot k_c} = \frac{0,76 \cdot 2,19}{1,75 \cdot 0,95} = 1(\text{cm})$$

Lấy $B_{z_2} = 1,75$

28. Đường kính trục R

$$D_t = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 26,65 = 8 \text{ (cm)}$$

29. Dòng trong thanh đến R

$$I_{td} = I_2 = k_t \cdot I_1 \cdot \frac{6W_1 k \cdot d_1}{Z_2} = 0,95 \cdot 101,75 \cdot \frac{6 \cdot 56 \cdot 0,95}{38} = 790,6 \text{ (A)}$$

Với $k_t = 0,95 \text{ (A)}$

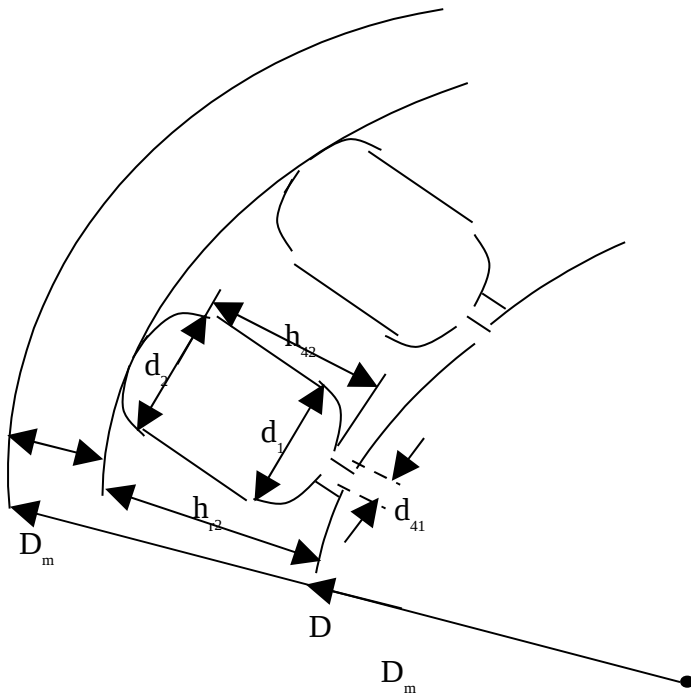
30. Dòng điện trong vành nm

$$I_v = I_{td} \frac{1}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = 790,6 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 2}{38}} = 2401,6(\text{A})$$

31. Tiết diện thanh dẫn bằng nhôm

$$S'_{td} = \frac{I_{cd}}{J_2} = \frac{790,6}{3} = 263,5 \text{ mm}^2$$

Chọn $J_2 = 3$



32. Chọn J_v

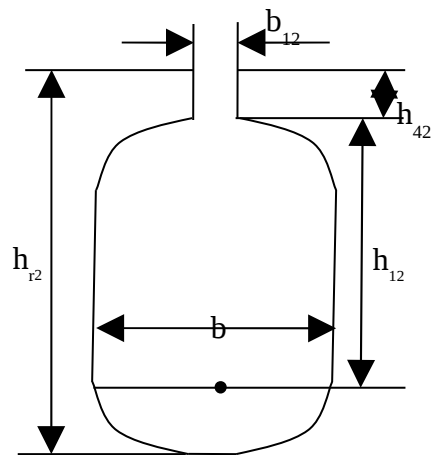
$$= 2,5 (A / mm^2)$$

$$S_v = \frac{S \cdot I_{t@}}{J_v} = \frac{240,6}{2,5} = 96,24 (mm^2)$$

33. Chọn kích thước sơ bộ Roto

—chọn dạng rãnh

HÌNH VE



$$h_{r2} = \frac{D' - D_t}{2} = \frac{26,51 - 8}{2} = 9,255 \quad (\text{m})$$

Chọn $h_{r1} = (25 \div 45) \text{ mm}$

Chọn $h_{r2} = 35 \text{ mm}$

$b_{42} = 1,5 \text{ mm}$

$h_{42} = 0,5 \text{ m}$

$d = 7 \text{ mm}$

$a \times b = 25 \cdot 38,4 \text{ mm}$

$h_{12} = h_{r2} - h_{42} - d = 27,5 \text{ (mm)}$

34. Diện tích rãnh R

$$S_{r2} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 + h_{12} \cdot d = \frac{\pi}{4} \cdot 7^2 + 27,5 \cdot 7 = 231 \quad (\text{mm}^2)$$

35. Diện tích vành nm

$$a \times b = 25 \cdot 38,4 = 960 \text{ (mm}^2\text{)}$$

36. Bề rộng rãnh ở 1/3 chiều cao rãnh

$$b_{z_2 \frac{1}{3}} = \pi \cdot \frac{\left[D' - 2 \cdot h_{42} - \frac{4}{3} (h_{12} + d) \right]}{Z_2} - d = \pi \cdot \frac{\left[265,1 - 2 \cdot 0,5 - \frac{4}{3} (27,5 + 7) \right]}{38} - 2 = 11(\text{mm})$$

37. chiều cao gông R

$$h_{g_2} = \frac{D' - D_t}{2} - h_{r_2} + \frac{1}{6} d = \frac{26,51 - 8}{2} - 3,5 + \frac{1}{6} \cdot 0,7 = 5,87(\text{cm})$$

38 Làm nghiêng rãnh ở R

$$b_n = t_1 = 1,7 \text{ cm}$$

TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

39. Hệ số khe hở không khí

$$k_{\delta_1} = \frac{t_1}{t_1 - D_1 \cdot S}$$

$$v_1 = \frac{\left(\frac{b_{41}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{41}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{3,4}{0,7}\right)^2}{5 + \frac{3,4}{0,7}} = 2,39$$

$$k_{\delta_1} = \frac{1,7}{1,7 - 2,39 \cdot 0,07} = 1,109$$

$$v_2 = \frac{\left(\frac{b_{42}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{42}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{1,5}{0,7}\right)^2}{5 + \frac{1,5}{0,7}} = 0,64$$

$$k_{\delta_2} = \frac{2,19}{2,19 - 0,64 \cdot 0,07} = 1,02$$

$$\Rightarrow k_{\delta} = k_{\delta_1} \cdot k_{\delta_2} = 1,109 \cdot 1,02 = 1,131$$

40. Chọn thép 2212

41. Sức từ động khe hở không khí

$$\begin{aligned}
 F_{\delta} &= 1,6 \cdot B_{\delta} \cdot k_{\delta} \cdot \delta \cdot 10^4 \\
 &= 1,6 \cdot 0,76 \cdot 1,131 \cdot 0,07 \cdot 10^4 \\
 &= 962,7
 \end{aligned}$$

42. Mật độ từ thông ở răng Stato

$$B_{z_1} = \frac{0,76 \cdot 1,7}{0,8 \cdot 0,95} = 17(\text{T})$$

43. Cường độ từ thông ở răng Stato

$$H_{z^1} = 19 (\text{ A / cm })$$

44. STĐ trên răng Stato

$$\begin{aligned}
 F_{z^1} &= 2h'_{z^1} \cdot H_{z^1} = 2 \cdot 2,18 \cdot 19 = 82,84 (\text{ A }) \\
 2h'_{z^1} &= h_{z^1} - \frac{d_2}{2} = 26,8 - \frac{15}{3} = 21,8 (\text{ mm })
 \end{aligned}$$

45. Mật độ từ thông ở răng R

$$B_{z^2} = \frac{0,76 \cdot 2,19}{1 \cdot 0,95} = 1,752(\text{T})$$

46. Cường độ từ trường trên răng R

$$H_{z^2} = 22,2 (\text{ A / cm })$$

47. STĐ trên răng R

$$\begin{aligned}
 F_{z^2} &= 2 \cdot h'_{z^2} \cdot H_{z^2} = 2 \cdot 3,26 \cdot 22,2 = 144,7 (\text{ A }) \\
 h'_{z^2} &= h_{z^2} - \frac{d}{3} = 35 - \frac{7}{3} = 32,6(\text{mm})
 \end{aligned}$$

48. Hệ số bão hòa răng

$$k_z = \frac{F_{\delta} + F_{z_1} + F_{z_2}}{F_{\delta}} = \frac{962,7 + 82,84 + 144,7}{962,7} = 1,24$$

49. Mật độ từ thông trên gông Stato

$$B_{g_1} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h \cdot g_1 \cdot k_c \cdot l_1} = \frac{0,0183 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,6 \cdot 0,95 \cdot 18}$$

50. Cường độ từ trường trên gông S

$$H_{g_1} = 10,6$$

51. chiều dài mạch từ ở gông Stato

$$l_{g_1} = \frac{\pi(D_n - h.g_1)}{2p} = \frac{\pi(39,2 - 3,6)}{4} = 27,96(\text{cm})$$

52. STĐ ở gông R

$$F_{g_1} = l_{g_1} . H_{g_1} = 28.10,6 = 296,8 \text{ (A)}$$

53. Mật độ từ thông trên gông R

$$B_{g_2} = \frac{\Phi.10^4}{2h.g_2.k_c.l_1} = \frac{0,0183.10^4}{2.5,87.0,95.18} = 0,911(\text{T})$$

54. Cường độ từ trường gông R

$$H_{g_2} = 2,35 \text{ (A/ cm)}$$

55. Chiều dài mạch từ gông R

$$l_{g_2} = \frac{\pi(D_t + h.g_2)}{2p} = \frac{\pi(8 + 5,87)}{4} = 10,9(\text{cm})$$

56. STĐ trên gông R

$$F_{g_2} = l_{g_2} . H_{g_2} = 2,35 . 10,9 = 25,615 \text{ (A)}$$

57. STĐ tổng

$$\begin{aligned} F_{\Sigma} &= F_{\delta} + F_{Z_1} + F_{Z_2} + F_{g_1} + F_{g_2} \\ &= 962,7 + 82,84 + 144,7 + 296,8 + 25,615 \\ &= 152,66 \text{ (A)} \end{aligned}$$

58. Hệ số bão hòa toàn mạch

$$k_{\mu} = \frac{F}{F_{\delta}} = \frac{1512,66}{962,7} = 1,57$$

59. Dòng điện từ hóa

$$I_{\mu} = \frac{P.F}{2,7.N_1.k.d_1} = \frac{2.1512,66}{2,7.56.0,925} = 22,96(\text{A})$$

Dòng từ hóa %

$$I_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{I_{dm}} . 100 = \frac{23,63}{101,75} . 100 = 23,13(\%)$$

THAM SỐ Ở CHẾ ĐỘ ĐỊNH MỨC

60. Chiều dài phần đầu nối S

$$l_{d_1} = k_{d_1} \cdot \tau_y + 2 \cdot B = 1,3 \cdot 19,19 + 2 = 27 \text{ cm}$$

$$\tau_y = \frac{\pi(D + h_{r_1})}{Z_1} \cdot y = \frac{\pi(26,65 + 2,68)}{48} \cdot 10 = 19,19$$

$$k_{d_1} = 1,3 (1,55)$$

61. Chiều dài trung bình $\frac{1}{2}$ vòng dây của dây quấn S

$$l_{tb} = l_1 + l_{d1} = 18 + 27 = 45 \text{ (cm)}$$

62. Chiều dài dây quấn 1 pha Stato

$$L_1 = 2 \cdot l_{tb} \cdot W_1 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 45 \cdot 56 \cdot 10^{-2} = 50,4 \text{ (m)}$$

63. Điện trở tác dụng của dây quấn S

$$r_1 = \rho_{75} \cdot \frac{L_1}{n_1 \cdot a_1 \cdot s_1} = \frac{1}{46} \cdot \frac{50,4}{4 \cdot 2 \cdot 2,54} = 0,049 \text{ (} \Omega \text{)}$$

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_1}{U} = 0,054 \cdot \frac{101,75}{220} = 0,025 \text{ (} \Omega \text{)}$$

64. Điện trở tác dụng dây quấn R

$$r_{td} = \rho_{Al} \cdot \frac{l_2 \cdot 10^{-2}}{S_{r_2}} = \frac{1}{23} \cdot \frac{18 \cdot 10^{-2}}{231} = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ (} \Omega \text{)}$$

65. Điện trở vành nm

$$r_v = \rho_{Al} \cdot \frac{l_2 \cdot 10^{-2}}{S_{r_2}} = \frac{1}{23} \cdot \frac{18 \cdot 10^{-2}}{231} = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ (} \Omega \text{)}$$

$$D_v = D - (a + 1) = 266,5 - (38,4 + 1) \\ = 227,1 \text{ (mm)}$$

66. Điện trở R

$$r_2 = r_{td} + \frac{2r_v}{\Delta^2} = 0,34 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot \frac{8,5 \cdot 10^{-7}}{0,329^2} = 4,97 \cdot 10^{-5} \text{ (} \Omega \text{)}$$

$$\text{Với } \Delta = 2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2} = 2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 2}{38} = 0,329$$

67. Hệ số qui đổi

$$\gamma = \frac{4.m_1(W_1.k_{d1})^2}{Z_2} = \frac{4.3.(56.0,92)^2}{38} = 838,2$$

68. Điện trở R đã qui đổi

$$r'_2 = \gamma.r_2 = 838,2.4,97.10^{-5} = 0,042 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$r_2^* = 0,042.101,75/220 = 0,0194 \text{ (}\Omega\text{)}$$

69. Hệ số từ dẫn tản Stato

$$\alpha_{r_1} = \frac{h_1}{3b} k_\beta + (0,785 - \frac{b_{41}}{2b} + \frac{h_2}{b} + \frac{h_4}{b_{41}}) k_\beta$$

Với

$$k'_\beta = 0,875$$

$$k_\beta = 0,906$$

$$h_1 = h_{r1} - 0,1d_2 - 2.c - c' = 2,68 - 0,1.1,5 - 2.0,04 - 0,05$$

$$= 2,4 \text{ (cm)} = 24 \text{ (mm)}$$

$$h_2 = -(d_1/2 - 2.c - c') = -(5 - 2.0,4 - 0,5) = -3,7$$

$$\alpha_{r_1} = \frac{24}{3.10} . 0,906 + (0,785 - \frac{3,4}{2.10} + \frac{-3,4}{10} + \frac{0,5}{3,4}) = 0,88$$

70. Hệ số từ dẫn tản tập S

$$\alpha_{t_1} = 0,9 . \frac{t_1(q_1.kd_1)^2 . \rho_{t_1} . b_{41}}{k_\delta . \delta} \sigma_1$$

$$\text{tra } \sigma = 0,0062$$

$$k_{41} = 1 - 0,033 . \frac{3,4^2}{17.0,7} = 0,968$$

$$\alpha_{t_1} = \frac{0,9.1,7(4.0,92)^2 . 0,72.0,968}{1,131.0,07} . 0,006 = 0,9327$$

71. Hệ số từ tản phần đầu nối

$$l_{d_1} = 0,34 . \frac{q_1}{l_\delta} (l_{d_1} - 0,64.\beta.\tau) = 0,34 . \frac{4}{18} . (27 - 0,64 . \frac{5}{6} . 20,9) = 1,2328$$

72. Hệ số từ dẫn tản

$$\Sigma\alpha_1 = \alpha_{r_1} + \alpha_{t_1} + \alpha_{d_1} = 1,12 + 1,13 + 1,197 = 3,442$$

73. Điện kháng dây quấn S

$$x_1 = 0,158 . \frac{f_1}{100} . (\frac{W_1}{100})^2 . \frac{l_\delta}{p.q_1} . \Sigma\alpha_1 = 0,158 . \frac{50}{100} . (\frac{56}{100})^2 . \frac{18}{2.4} . 3,442 = 0,17 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$x_1^* = 0,192 \cdot \frac{101,75}{220} = 0,0888$$

74.Hệ số từ dẫn tần rãnh R

$$\alpha_{r_2} = \left[\frac{h_1}{3 \cdot b} \left(1 - \frac{\pi \cdot b^2}{8 \cdot s_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{42}}{2 \cdot b} \right] \cdot k + \frac{h_{42}}{b_{42}}$$

$$h_1 = 35 \text{ mm} \quad h_{42} = c' - d_2$$

$$b = 75 - (0,1 + 1) \cdot 7 - 0,5 = 26,8 \text{ (mm)}$$

$$S_c = 263,5$$

$$k = 1$$

$$b_{42} = 1,5$$

$$\alpha_{r_2} = \left[\frac{35}{3 \cdot 7} \left(1 - \frac{\pi \cdot 7^2}{8 \cdot 263,5} \right)^2 + 0,66 - \frac{1,5}{2 \cdot 7} \right] \cdot 1 + \frac{0,5}{1,5} = 2,09$$

75.Hệ số từ dẫn tần tạp R

$$\alpha_{t_2} = \frac{0,9 \cdot t_2 (q_2 \cdot k \cdot d_2)^2 \rho_{t_2} b_{42}}{b_\delta \cdot \delta} \sigma_2$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0092}{\frac{t_2 \left(\frac{Z_2}{3 \cdot 2 \cdot p} k \cdot d_2 \right)^2 s_{t_2} b_{t_2}}{k_\delta - \delta}}$$

$$\alpha_{t_2} = \frac{0,9 \cdot 2,19 \cdot \left(\frac{38}{12} \right)^2 \cdot 0,0092}{0,07 \cdot 1,131} = 1,8$$

76.Hệ số từ dẫn tần phần đầu nối

$$\alpha_{d_2} = \frac{2,3 \cdot D_v}{Z_2 \cdot l_2 \cdot \Delta^2} \lg \frac{4,7 \cdot D_v}{a + 2 \cdot b} = \frac{2,3 \cdot 22,7}{38 \cdot 18 \cdot 0,329^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot 22,7}{3,84 + 2 \cdot 2,5} = 1,233$$

$$\text{Ví } \Delta = 0,329$$

77.Hệ số từ dẫn tần do rãnh nghiêng

$$\alpha_m = 0,5 \alpha_{t_2} \cdot \left(\frac{b_n}{t_2} \right)^2 = 0,5 \cdot 2,3 \cdot \left(\frac{1,7}{2,19} \right)^2 = 0,5757$$

78.Hệ số từ tần Roto

$$\Sigma \alpha_2 = \alpha_{r_2} + \alpha_{t_2} + \alpha_{d_2} + \alpha_m = 2,32 + 2,30 + 0,76 + 0,693 = 5,2528$$

79. Điện kháng tản dây quấn Roto

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot l_2 \cdot \sum \alpha_2 \cdot 10^{-8} = 7,9 \cdot 50 \cdot 18 \cdot 6,073 \cdot 10^{-8} = 0,0003734 \text{ (} \Omega \text{)}$$

80. Điện kháng R đã qui đổi

$$x'_2 = \gamma \cdot x_2 = 838,2 \cdot 4,317 \cdot 10^{-4} = 0,31648$$

$$x_2^* = x'_2 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 0,316 \cdot \frac{101,75}{220} = 0,167 \text{ (} \Omega \text{)}$$

81. Điện kháng hổ cảm

$$x_{12} = \frac{U_1 - I_\mu \cdot x_1}{I_\mu} = \frac{220 - 21,63 \cdot 0,192}{21,63} = 0,409 \text{ (} \Omega \text{)}$$

Tính theo đơn vị tương đối

$$x_{12}^* = x_{12} \cdot \frac{I_1}{U_1} = 9,98 \cdot \frac{101,75}{220} = 4,62 \text{ (} \Omega \text{)}$$

82. Tính lại k_E

$$k_E = \frac{U_1 - I_M \cdot x_1}{U_1} = \frac{220 - 101,75 \cdot 0,19}{220} = 0,98$$

TÍNH TỔN HAO

82. Trọng lượng răng Stato

$$G_{z1} = \gamma_{Fe} \cdot Z_1 \cdot b_{z1} \cdot k_{z1} \cdot l_1 \cdot k_g \cdot 10^{-3} = 5,51 \text{ (kg)}$$

83. Trọng lượng gông Stato

$$G_g = \gamma_{Fe} \cdot l \cdot L \cdot g_1 \cdot 2 \cdot p \cdot k \cdot c = 58,65 \text{ (kg)}$$

84. Tổn hao trong lõi sắt

$$P'_{Fe} = P_{Fe_{z1}} + P_{Fe_{g1}} = k_{gc} \cdot P_{Fe} \cdot Z \cdot B_{z1}^2 \cdot G_{G_1} \cdot 10^{-3} + k_{gc} \cdot P_{Fe_{g1}} \cdot B_{g1}^2 \cdot G \cdot g_1 \cdot 10^{-3} = 0,0599589 \text{ (kW)}$$

85. Tổn hao bề mặt trên răng R

$$P_{bmr} = 0,051102 \text{ (kW)}$$

86. Tổn hao đập mạch trên răng R

$$P = 0,035069 \text{ (kW)}$$

87. Tổn hao tổng thếp

$$0,68576 \text{ (kW)}$$

88. Tổn hao cơ

$$0,531284 \text{ (kW)}$$

89. Tổn hao không tải

$$1,217044 \text{ (kW)}$$

