

Chương 1

Những vấn đề chung về khí cụ điện cao áp

§1.1. Khái niệm chung

§1.2. Điều kiện làm việc và yêu cầu đối với khí cụ điện cao áp

1. Điều kiện làm việc

- + Môi trường làm việc: ngoài trời hoặc trong nhà
- + Nhiệt độ môi trường : 35°
- + Nhiệt độ ở Việt nam lấy khoảng $40^{\circ} \rightarrow 55^{\circ}$ C
- + Yếu tố điện
- + Yếu tố cơ
- + Các yếu tố làm việc đặc biệt

2. Yêu cầu

- + Làm việc ổn định, tuổi thọ cao
 - + Ổn định nhiệt
 - + Có khả năng chịu quá điện áp, không vượt quá điện áp thử
 - + Ổn định chắc chắn với khí hậu cho trước
 - + Kết cấu nhỏ, chi tiết đơn giản, sử dụng các chi tiết tiêu chuẩn
 - + Hiệu quả kinh tế cao
- ⇒ Thử nghiệm khí cụ điện về:
- + Cơ khí
 - + Cách điện (thử với các nguồn điện và thử với xung điện áp)
 - + Thử nghiệm độ tăng nhiệt
 - + Thử độ ổn định với những thao tác cơ bản
 - + Thử chịu nhiệt độ môi trường
 - + Thử điều kiện làm việc (Thử dòng điện cắt, thử dòng điện làm việc, thử dòng ngắn mạch, thử cho các chế độ vận hành bất vuộc phải thử cho chế độ ngắn hạn)
 - + Thử cắt với dòng điện nhỏ
 - + Thử dung lượng cắt

§1.3. Sự phát nóng của thanh dẫn

§1.4. Lực điện động trong khí cụ điện cao áp

§1.5. Cách điện trong Khí cụ điện cao áp

1. Vật liệu :

- + Rắn : Bakelit, composit
- + Lỏng: dầu biến áp
- + Khí : tự nhiên, nén đến 30 atm, khí SF₆

2. Tính toán cách điện

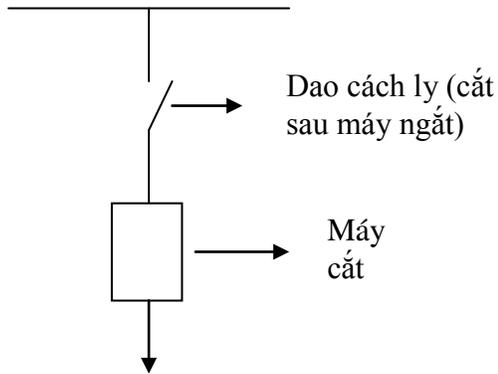
$$U_{dm} \rightarrow U_{thử} \rightarrow U_{pd} \Rightarrow S_{min}$$

Chương 2

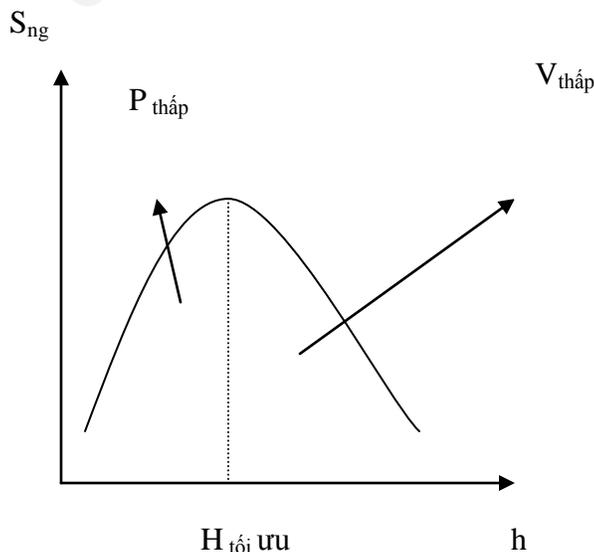
Đặc tính cơ bản và lý luận cơ bản của máy ngắt cao áp

§2.1. Khái niệm chung

- Chức năng của máy ngắt : là khí cụ điện cao áp dùng đóng cắt mạch điện cao áp ở điều kiện làm việc bình thường và tự động đóng cắt mạch điện khi có sự cố



- Thực hiện đóng cắt mạch điện bằng thao tác mở tiếp điểm gồm:
 - + 1 tiếp điểm tĩnh
 - + 1 tiếp điểm độngKhi đóng: dùng cơ cấu truyền động (tạo lực đóng) hoặc dùng hệ thống lò xo đóng
Khi ngắt: dùng lò xo ngắt
- Dập hồ quang:
 - + Dầu biến áp : - máy cắt nhiều dầu: ngắt nhờ dầu được hồ quang đốt nóng → bột khí chứa H_2 dẫn nhiệt tốt → làm nguội
 - máy cắt ít dầu(còn dùng): dầu chủ yếu dùng để làm nguội
- Không khí nén
 - + Khí tự nhiên được lọ tạp chất → nén tới $p = 15 \div 28 \text{ atm}$
 - + Khí ngắt thổi vào hồ quang và hồ quang thổi vào



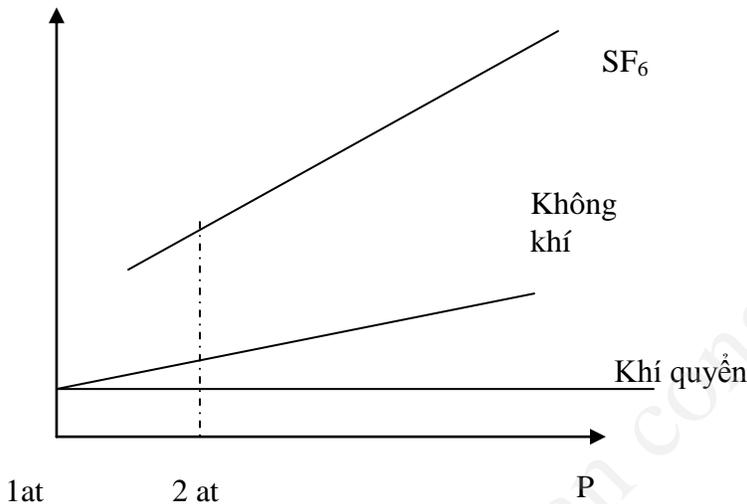
- + 3 loại : - không có dao cách ly kèm
- có dao cách ly kèm
- máy ngắt không khí chèn: sau khi dập tắt hồ quang thì bắt

đầu thổi

- Khí nén SF₆ (110 KV thì dùng)

* Đặc tính :

- độ dẫn điện gấp 5 lần không khí

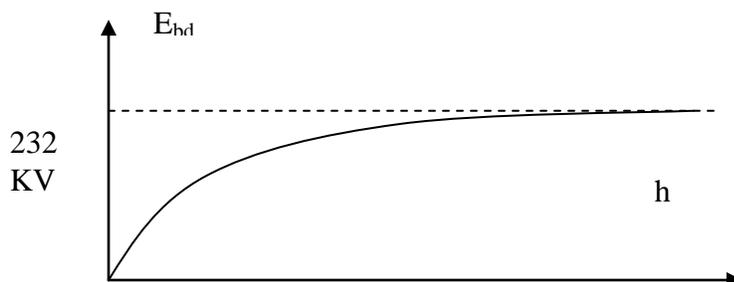


- độ bền điện cao gấp 3 lần không khí cùng áp suất, bằng dầu biến áp ở 2atm

- Thường làm (5-9) atm
- có khả năng tái hợp để trở lại trạng thái ban đầu
- hao 1%/năm
- không cấm trong công nghiệp
- cấp điện áp (5-800) KV, dòng lên đến 80 KA

* Chân không : Đặc tính :

- độ chân không ($10^{-4} - 10^{-9}$) atm
- Điện áp 100 KV/mm
- Chỉ chế tạo điện áp ≤ 72 KV, nếu lớn hơn thì hơi bão hòa sẽ tạo thành cầu nối giữa 2 tiếp điểm



* Chất rắn tự sinh khí :

- Thủy tinh hữu cơ
- Phíp đồ
- Dùng để đóng cắt $U \leq 15 \text{ KV}$ & $I \leq 600 \text{ A}$
- Phải thay buồng dập sau thời gian sử dụng

* Khí tự nhiên (điện từ)

- $U \leq 15 \text{ KV}$
- Chỉ dùng công suất cắt nhỏ

* Thời gian ngắt :

- + $t_{ng} = (0,15 \div 0,25) \text{ s}$ → Máy ngắt tự động chậm
- + $t_{ng} = (0,08 \div 0,15) \text{ s}$ → Máy ngắt tự động bình thường
- + $t_{ng} < 0,08 \text{ s}$ → Máy ngắt tự động nhanh

* Phân loại máy ngắt

- Theo môi trường dập hồ quang
- Theo cấp điện áp : 3, 10, 15, 22, 36,52, 72,110,220,...,800(>1000)KV
- Theo thời gian tác dụng

* Yêu cầu

- Làm việc tin cậy
- Tác động nhanh
- Kích thích nhỏ, dễ kiểm tra, dễ bảo dưỡng, thay thế
- An toàn khi ngắt
- Có khả năng đóng lặp lại:

Cắt → sau 180s → đóng lại → Cắt (nếu xảy ra sự cố) (3 lần thì cắt hẳn)

a) Các thông số cơ bản của máy ngắt

- U_{dm} : là điện áp dây của máy ngắt. Với U_{dm} đặt vào thời gian vô hạn ở trạng thái mở không làm máy ngắt hư hỏng

- I_{dm} : là dòng điện chạy qua hệ thống mạch vòng dẫn điện của máy ngắt, thời gian vô hạn mà không làm hỏng máy ngắt do nhiệt

- $I_{od\text{ nhiệt}}$: là I_{max} chạy qua mạch vòng dẫn điện trong 1 khoảng thời gian nhất định mà không làm cho mạch vòng dẫn điện nóng quá trị số cho phép

- I_{ngdm} : là I_{max} mà máy ngắt có thể ngắt được mà sau khi ngắt không bị hư hỏng

$$- S_{ngdm} = \sqrt{3} U_{dm} I_{ngdm}$$

- $t_{ngắt}$: là khoảng thời gian khi máy ngắt nhận tín hiệu ngắt cho đến khi nó ngắt không hoàn toàn

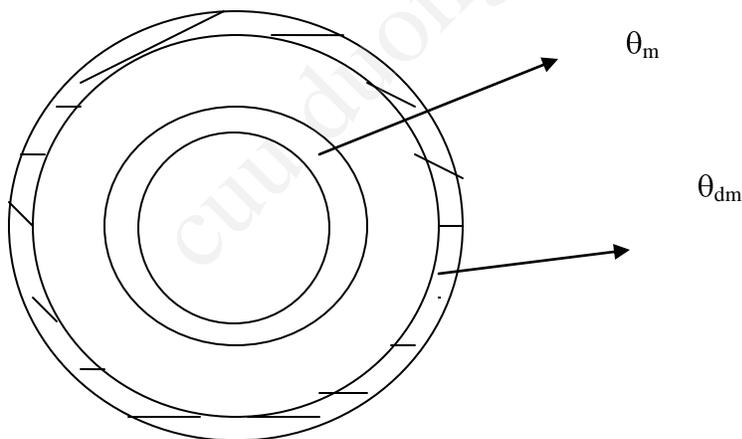
- Nguồn điện

b) Chọn máy ngắt

- Xác định thông số phải tính toán

- Chọn kết cấu và loại máy ngắt xoay chiều
 - + SF₆
 - + Chân không : < 72 KV
 - + Ít dầu (220-110) KV
 - + tự sinh khí (<72 KV)
 - +Điện từ (<72KV)
- Tính cách điện:
 - + Xác định vị trí
 - + Xác định khoảng cách cách điện : bề mặt & phóng điện qua môi trường cách điện
- Tính buồng dập hồ quang
- Chọn và tính toán bộ truyền động
- Thiết kế kết cấu
- Máy ngắt cao áp 1 chiều dùng cho U = 100 KV với các loại :
 - + Siêu cao áp : SF₆
 - + Cao áp : ít dầu SF₆
 - +Trung áp : ít dầu, SF₆ chân không tự sinh khí, điện từ
- Quy ước : ... buồng dập tuyệt vời
 - ... Rất tốt
 - ... tốt
 - ... Kém

§2.2. Cách tính gần đúng thanh dẫn sứ đầu vào



$U_{cao} \rightarrow F_{nhỏ} \rightarrow$ nhiệt dọc trục không đáng kể

$U_{thấp} \rightarrow F_{lớn} \rightarrow$ xét phân bố dọc trục

a) phân bố nhiệt theo hướng

BT1: Biết I_{dm} , điều kiện tỏa nhiệt \rightarrow Xác định kích thước thanh dẫn

BT2: Biết kích thước thanh dẫn, điều kiện tỏa nhiệt $\rightarrow I_{dm}$

⇒ Cách tính :

- ở chế độ dài hạn sau đó kiểm tra lại ở chế độ ngắn hạn

- một số sự cố :

60% → 1 pha chạm đất

15-20% → 2 pha chạm đất

20-15% → 2 pha chạm nhau

5% → 3 pha chạm đất

$$F = \frac{I_{dm}^2 \rho R_{\tau} K_{\tau} S_{\tau} + 1}{\theta_m - \theta_0}$$

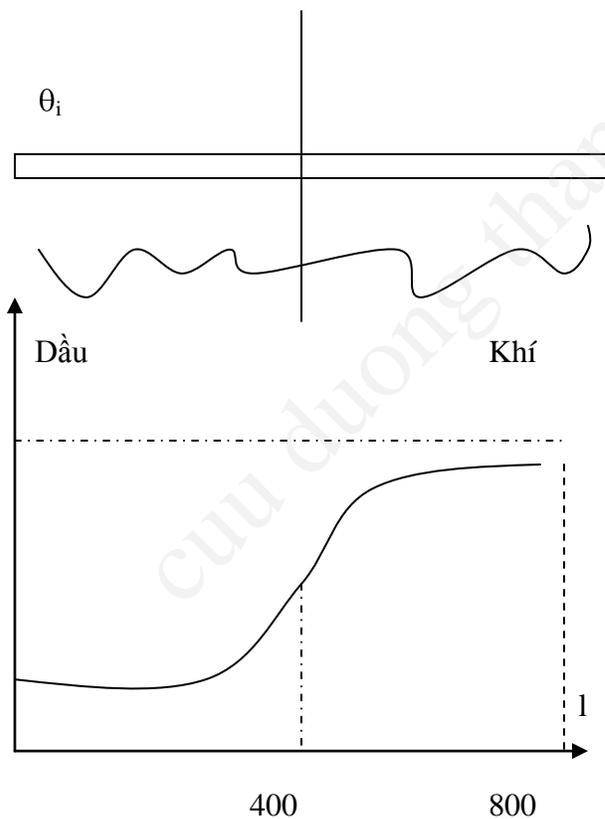
F: điện trở thanh dẫn

R_{τ} : Điện trở nhiệt

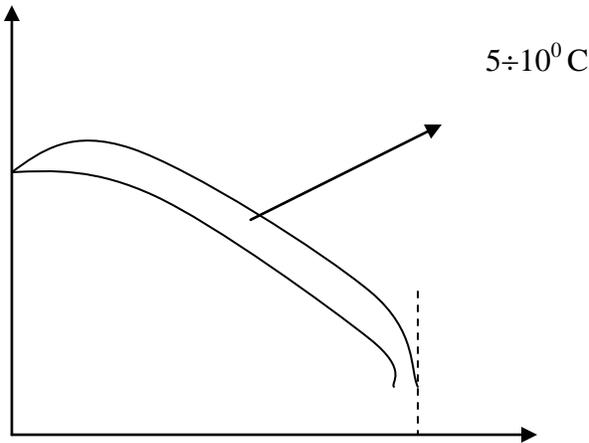
S_{τ} : diện tích tỏa nhiệt

Ở Việt nam lấy $\theta_0 = 40^{\circ} C$

b) Theo dọc trục



§2.3. Tính gần đúng hệ thống dẫn điện trong máy ngắt không khí (không khí nén, khí nén SF₆)



§2.4. Tính tiếp điểm của máy ngắt

1. Khái niệm chung

- Là quan trọng nhất của máy ngắt

- Tiếp điểm làm việc trong điều kiện phức tạp chịu hồ quang trong quá trình đóng ngắt. Chịu nhiệt độ cao ở chỗ tiếp xúc và thường xuyên hao mòn

- Kết cấu tiếp điểm phải thỏa mãn những yêu cầu sau:

+ Khi làm việc dài hạn tiếp điểm không được phát nóng quá trị số cho phép

+ Phải ổn định nhiệt và điện động

- Điều kiện cho trước :

+ Biết điều kiện và kết cấu của hệ thống tiếp điểm

+ Trị số dòng điện định mức

+ Trị số dòng điện xung kích tới hạn

+ Phải biết nhiệt độ phát nóng vật liệu tiếp điểm

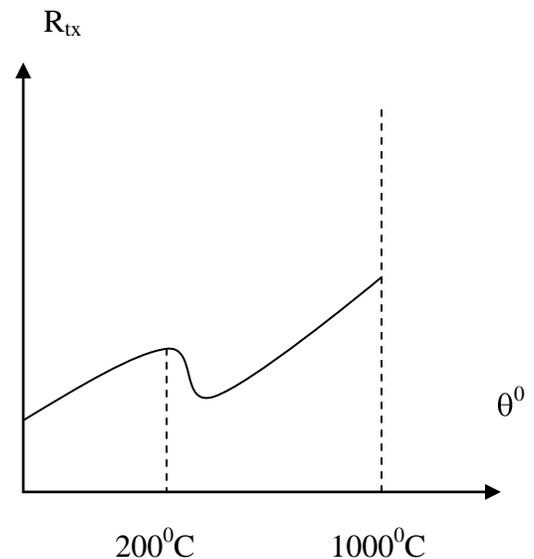
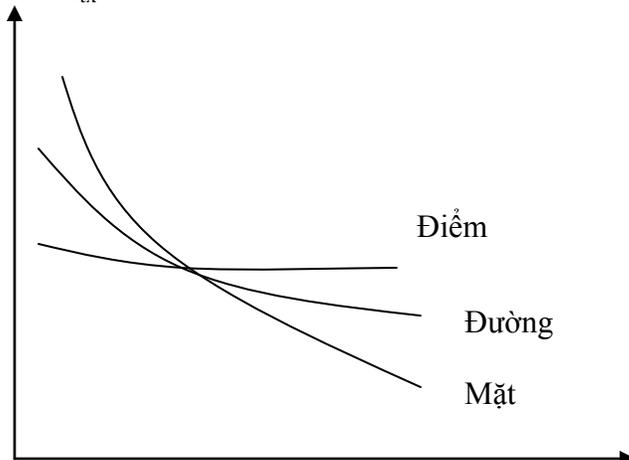
+ Xác định số lượng, hình dáng, vật liệu tiếp điểm, lực ép tiếp điểm

+ Thiết kế lò xo tiếp xúc

2. Tính tiếp điểm ở chế độ làm việc dài hạn ($I = I_{dm}$)

a) Điện trở tiếp xúc

$$R_{tx} = \frac{\rho}{R_{tx}}$$



R_{tx} phụ thuộc vào vật liệu, F_{tx} , hình thức tiếp xúc, nhiệt độ tiếp xúc
 - Nếu tiếp xúc tại nhiều điểm khác nhau

$$I_{nh} = \frac{I_{\Sigma}}{n}$$

$$R_{tx \Sigma} = \frac{R_n}{n}$$

$$P = I_{\Sigma}^2 R_{tx \Sigma} = n I_{nh}^2 R_n = n P_n$$

b) Tính lực ép tiếp điểm

$$\arccos \left(\frac{T^0}{T^{tx}} \right) = \frac{IA^{1/2}}{4\lambda r}$$

T^0 : Nhiệt độ xa chi tiết tiếp xúc

T^{tx} : Nhiệt độ chỗ tiếp xúc

A : Hằng số ($= 2,42 \cdot 10^{-8} (V/^\circ K)^2$)

$$r = \sqrt{\frac{F_{td}}{\pi \delta}} \text{ trong đó } \delta = \frac{F}{S}$$

δ là hệ số chống dập nát

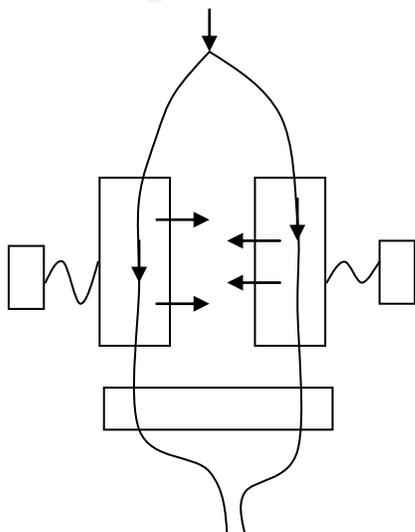
Suy ra các công thức sau:

$$\arccos \left(\frac{T^0}{T^{tx}} \right) = \left(\frac{T^0}{4\lambda \sqrt{\frac{F_{td}}{\pi \delta}}} \right)$$

$$F_{td} = \frac{\pi \delta I^2 A}{16 \lambda^2 \arccos^2 \left(\frac{T^0}{T^{tx}} \right)}$$

$$F_{td} = \frac{I^2 \rho \pi \delta}{32 (\theta_{tx} - \theta_0) \lambda}$$

3) Tính tiếp điểm ở chế độ ngắn mạch



$$F_{lxtđ} = F_{td} \pm F_{dd}$$

$$F_{dd} = F_{dd1} \pm F_{dd2}$$

F_{dd1} do tiếp xúc

F_{dd2} do mạch vòng dẫn điện

$$I_n = \frac{I_\Sigma}{n} \cdot 1,3$$

$$I_{xl} = (1,8 \div 1,9) \sqrt{2} \cdot I_{ngdm} \quad (\text{gần nguồn})$$

$$= (1,4 \div 1,77) \sqrt{2} I_{ngdm} \quad (\text{xa máy phát})$$

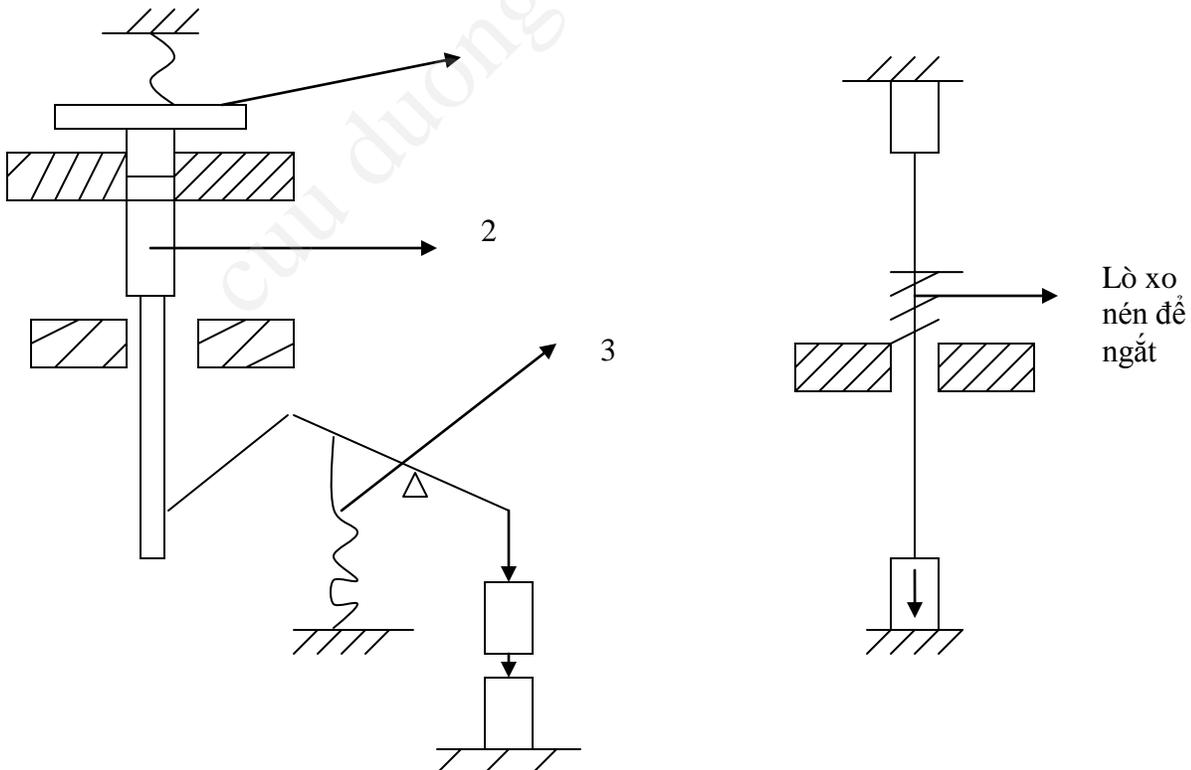
$$F_{dd1} = \frac{I_{xl}^2}{k_{h1}} \quad \text{trong đó } k_{h1} \text{ là hệ số hình dáng tiếp điểm}$$

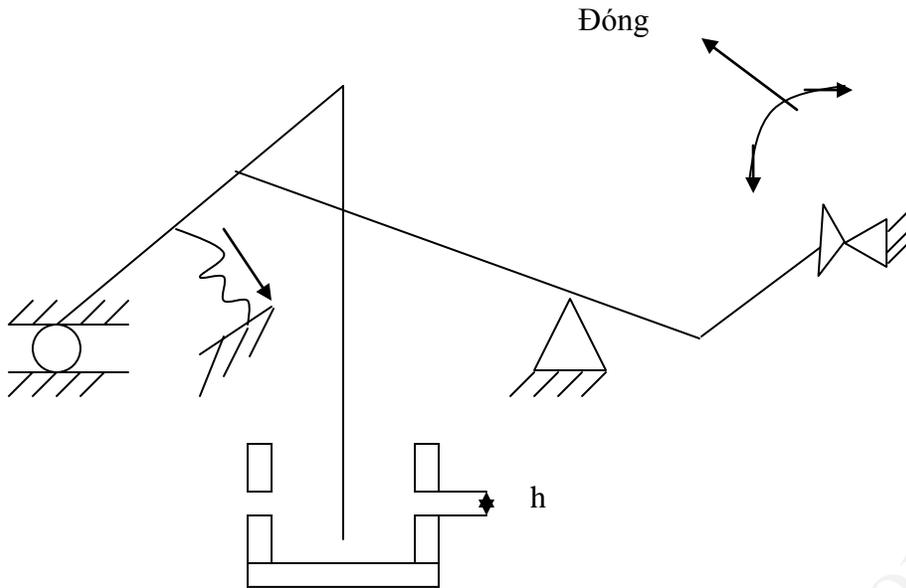
§2.5 Cơ cấu truyền động 1

Đn: Là một bộ phận quan trọng của mạch ngắt, nó đảm bảo khả năng đóng ngắt theo yêu cầu làm việc của tiếp điểm

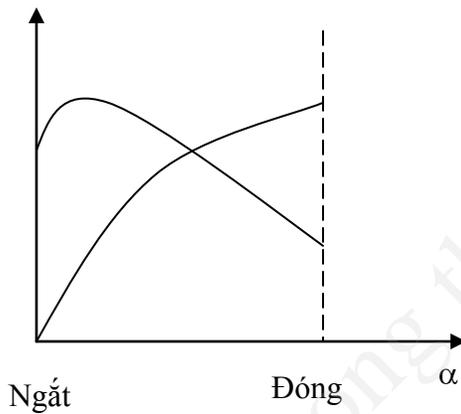
Bài toán:

- 1) Biết hình thức truyền động, vật liệu, hình dáng bộ truyền động, hành trình tiếp điểm, vận tốc tiếp điểm đảm bảo sự làm việc của tiếp điểm
→ xác định kích thước (lực ngắt) của lò xo
 - 2) Biết hình thức truyền động, vật liệu, hình dáng bộ truyền động, biết F_{lxng} → tìm hành trình tiếp điểm, vận tốc
1. Một số loại cơ cấu truyền động trong máy cắt





→ Đặc tính truyền động : $h = f(\alpha)$, $dh/d\alpha$



2. Cách tính cơ cấu truyền động

- Xác định $h = f(\alpha)$

+ Biết công thức giải → phức tạp

+ Xây dựng quỹ tích chuyển động → phương pháp đồ thị

- Do cơ cấu truyền động có nhiều chi tiết đặt ở các vị trí khác nhau nên lực tác dụng vào cơ cấu cũng khác nhau

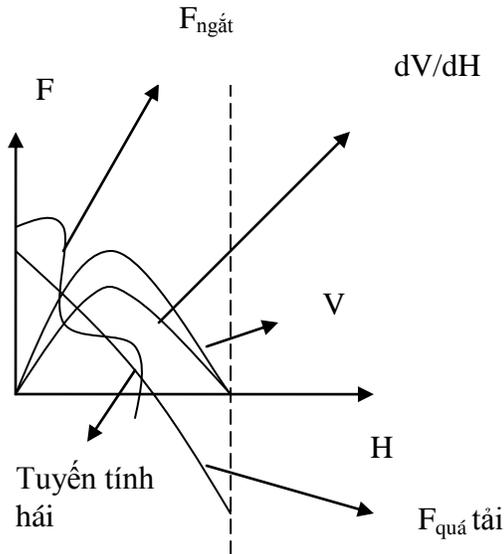
+ Quy đổi các lực về điểm quy đổi (chọn trùng với chuyển động tiếp điểm)

$$\begin{cases} F_{qt} = F_i \cdot \frac{dh_i}{dh_{qd}} \\ M_{qd} = M_i \end{cases}$$

+ Các lực : F_{lxng} , F_{lxng} , F_{lxtd} , F_{trluc} , F_{apluc} , F_{lqinh} , F_{ms}

$$F_{lxng} + F_{qt} + F_{db} = 0 \rightarrow F_{lxng} = F_{qt} - F_{db}$$

Tìm đặc tính lò xo ngắt khi thiết kế



$$F_{qt} = \frac{d}{dH} \left(\sum \frac{m' v^2}{2} \right)$$

→ Phần > 0 : tính lò xo ngắt

Phần < 0 : thiết kế lò xo hoãn xung

§2.6 Các hiện tượng xảy ra trong quá trình đóng cắt

1. Điện áp trên 2 tiếp điểm

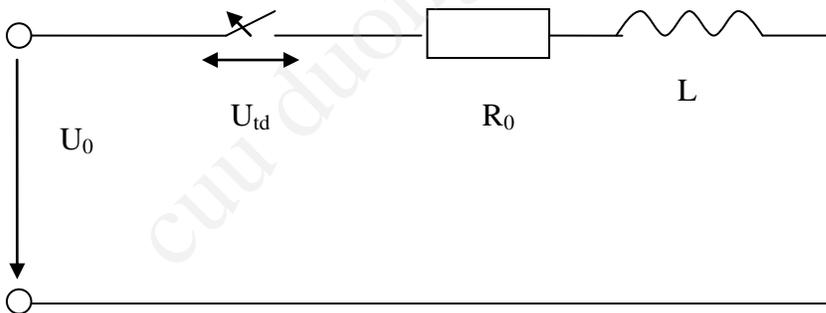
a) Cắt mạch điện 1 pha

- Các mạch điện 1 chiều

+ Tải R,L

+ Tải RL

+ Tải C (ít gặp)



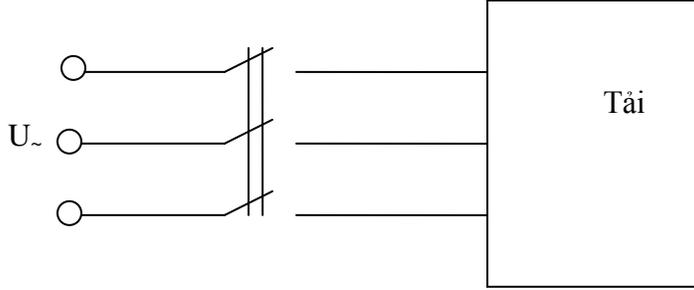
(Tính điện áp ở chế độ quá độ $u = 0 \rightarrow u_{tx}$)

- Mạch xoay chiều

+ RLC

+ R,RL,RC,C,L(tính tương tự phần trên)

b) Mạch điện 3 pha



2. Dòng điện ngắn mạch

a) Dòng xoay chiều, 1 chiều

b) Dòng xoay chiều, 3 pha

+ 1 pha chạm đất

+ 2 pha chạm đất

+ Cả 3 pha chạm đất

3. Hồ quang điện

- Nguyên nhân phát sinh hồ quang (ion hóa) :

+ phát xạ nguội ở bề mặt

+ ion hóa do va chạm ở khu vực thân hồ quang

+ ion hóa do nhiệt ở thân hồ quang

- Dập tắt hồ quang (phản ion hóa) :

+ Khuếch tán

+ Tái hợp

→ nếu ion hóa > phản ion hóa : hồ quang cháy

Nếu ion hóa < phản ion hóa : hồ quang tắt

- Uph, Ubd (Uct)

4. Quá trình nhiệt

- Phương trình cân bằng nhiệt

$$Q_{ng} = Q_{dot} + Q_{toa}$$

Q_{toa} do : + dẫn nhiệt $\lambda \frac{d\theta}{dx}$

+ tỏa nhiệt $K_T \cdot S_T \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}$

- Trường hợp ngắn mạch : Tính độ ổn định nhiệt

- Làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại

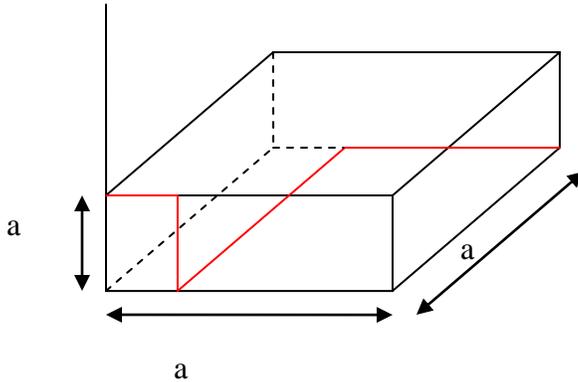
5. Lực điện động

- Tính lực F_{dd} ở các vị trí của mạch vòng dẫn điện

$$I = 2KA$$

$$a = 200mm$$

Tính lực điện động tác dụng lên các thanh



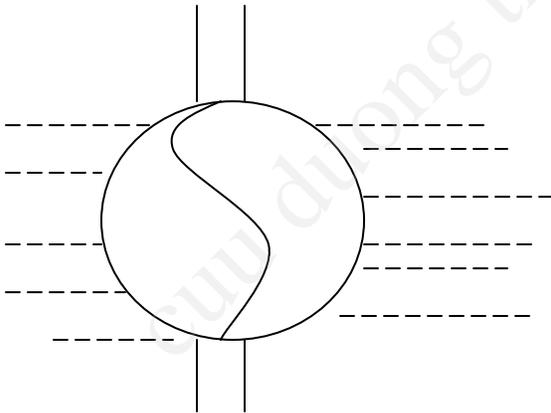
Chương 3 Máy ngắt dầu

§3.1. Khái niệm chung

1. Nguyên lý làm việc

- Khi tiếp điểm ngâm trong dầu mở ra thì hồ quang xuất hiện → đốt nóng dầu → + 60% hơi dầu(1)
+ 40% hạt dầu nhỏ (2)

(1): 80% H_2 , còn lại là các khí khác → độ dẫn nhiệt cao → làm nhiệt độ khu vực hồ quang giảm → dập tắt hồ quang



- Bọc khí hơi kín, có áp suất lớn (lên 25atm) khi giải phóng ra ngoài → dập tắt hồ quang
- Có sự xáo trộn dầu → buồng dập hồ quang tự thổi
- Thổi cưỡng bức: dùng bơm dầu thổi vào hồ quang → hiệu quả dập tốt, nhưng lại phức tạp nên ít dùng
- Đối với các công suất cắt lớn, bọc khí lớn thì dầu tiếp xúc với hồ quang thông qua hơi dầu → việc sinh khí tiếp theo không thực hiện được → dập khó

- Đặt 3 pha vào trong 1 hình → áp suất tác dụng lớn → cần thành bình dày
 → thường để 1 pha / 1 bình với dòng 170kVA/1pha → để khắc phục dùng
 buồng dập hồ quang làm bằng vật liệu cách điện để gần hồ quang cháy. Tác
 dụng: + Khoảng cách giữa dầu, hồ quang gần
 + tạo hướng thổi của dầu vào hồ quang, gồm 2 loại : buồng thổi dọc và
 buồng dập thổi ngang

2. Phân loại

- Máy cắt nhiều dầu
- Máy cắt ít dầu

3. Thể tích hỗn hợp khí hơi và năng lượng hồ quang

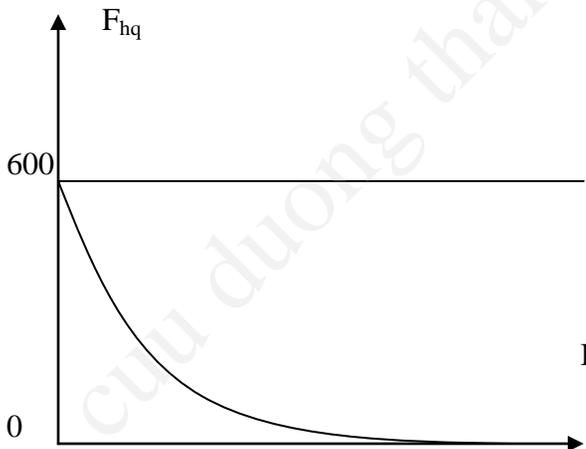
$$V_t = B_t \cdot A_t$$

V_t : thể tích khí hơi

B_t : hệ số tạo thành thể tích hơi dầu tại T

$$B_t = B_0 \frac{T}{293}, \quad B_0 \text{ là } B \text{ tại } 20^0 \text{ C}$$

- + không có buồng dập hồ quang
- + Buồng dập đơn giản
- + Buồng dập tăng cường



§3.2 Thiết bị dập hồ quang

I) Yêu cầu:

- Khi dòng điện qua 0 thì $P_{\text{khíhơi}}$ lớn nhất và tốc độ thổi của hơi dầu là lớn nhất
- Khoảng cách giữa hồ quang và dầu là nhỏ nhất

II) Cơ sở tính thiết bị của máy ngắt dầu

- Sơ đồ ngắt :
 - + 1 chỗ ngắt
 - + 2 chỗ ngắt

- +3 chỗ ngắt
- Trong sơ đồ 1 chỗ ngắt : + Thổi tự động
+ thổi cưỡng bức (thổi từ khe hẹp)

Chia làm 3 giai đoạn:

- + Hồ quang cháy trong bọc khí hơi kín
- + Bọc khí thoát ra ngoài (giai đoạn dập hồ quang)
- + Dầu sạch tràn vào buồng dập hồ quang

1. Trạng thái hồ quang cháy trong bọc khí hơi kín

$$P_t = \gamma_t \cdot R_t \quad R: \text{hằng số khí}, \gamma_t: \text{tỉ trọng}$$

$$d(v_t \gamma_t) = G_t dt \rightarrow \gamma_t = \frac{\int_0^t G_t dt}{v_t}$$

$$P_t = RT = \frac{\int_0^t G_t dt}{V_t}$$

$$\int_0^t G_t dt = K_0 A_t$$

$$\int_0^t v_d dt = \mu_d \sqrt{\frac{2g}{\gamma_0}} \int_0^t P_t dt$$

μ_d : vận tốc dầu cháy ra ngoài

$$\text{Nén đẳng nhiệt: } \frac{P_t}{\gamma_t} = \frac{P_0}{\gamma_0}; \gamma_0 = \frac{K_0}{B} \rightarrow K_0 = \gamma_0 B = \frac{B p_0}{RT}$$

2. Tình trạng khí hơi thoát ra ngoài

$$P_n = P_{bd} + a \cdot e^{-\frac{Bn\pi}{\varpi}} + a$$

$$\text{Trong đó: } a = \frac{\varepsilon \varpi}{B^2 + \varpi^2}$$

$$\varpi = 2\pi f; \varepsilon = \frac{B_t P_t U_{hq} I_{ng}}{V_{bdII}}$$

$$\beta = \frac{\alpha_{tt} \cdot F}{V_{bdIII}} \quad \text{mà } \alpha_{tt} \text{ là tốc độ chảy thực tế của khí lưu}$$

F là tiết diện

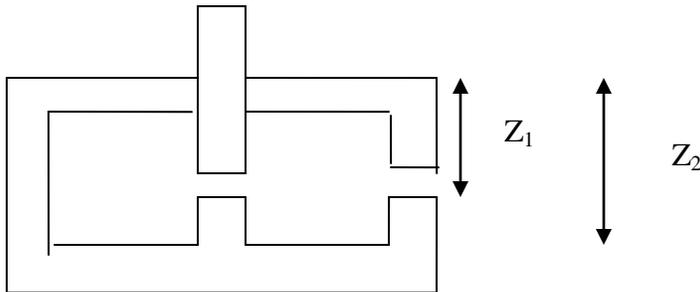
3. Dầu sạch tràn vào buồng dập hồ quang

Khi $P_t = P_B = \gamma_d \xi_n - z_0$ thì dầu tràn vào buồng dập hồ quang

$$P_t = P_{bd} \cdot e^{-\frac{\xi_n \alpha_{tt} \cdot F}{V_{bdIII} \cdot t_3}}$$

ξ là hệ số ngưng tụ dầu

$t_3 = t_1 + t_2$ với t_2 là thời gian chảy của dầu



III. Tính độ bền điện trong máy ngắt dầu

- P_t : + Hồ quang cháy trong bọc khí nén
- + Hồ quang cháy trona quá trình chảy ra ngoài (cuối giai đoạn \rightarrow tắt)
- + Dầu tràn vào đầy buồng dập hồ quang
- Điều kiện để hồ quang không bị cháy lại

$$U_{ct} \geq K_m \cdot U_{mf}$$

U_{ct} : điện áp chọc thủng của khoảng trống giữa 2 điểm

K_m là hệ số không đều của U_{ct} và $U_{phôi}(U_f)$

$$U_{ct} = U_{phóngđiện} \cdot \frac{T_0}{T_t}$$

$$T_0 = 300 \text{ } ^\circ \text{K}$$

U_p : điện áp phóng điện giữa 2 tiếp điểm tại T_0

T_t : Nhiệt độ thực trong thân tàn dư của hồ quang

$$T_t = T_{bd} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{mt} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$T_{bd} = 3500 \text{ } ^\circ \text{K}$$

τ là hằng số thời gian nhiệt của hỗn hợp khí hơi

$$\tau = \frac{C \cdot G}{K_T \cdot S_T} = \frac{C \cdot \gamma \cdot \pi \cdot r_{hq}^2 \cdot l_{hq}}{K_T \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{hq} \cdot l_{hq}} = \frac{C \cdot \gamma \cdot r_{hq}}{2 \cdot K_T}$$

$$U_p = 37 \cdot \sqrt{I_t} \cdot S^{0,45} \text{ (KV)}$$

S : khoảng cách giữa 2 tiếp điểm

$$\Rightarrow U_{ct} = 37 \cdot \sqrt{I_t} \cdot S^{0,45} \cdot \frac{T_0}{T_{bd} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{mt} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)} \geq 1,12 \cdot K_b \cdot U_d$$

$$K_m = \frac{1,57 \cdot K_b^{-0,57}}{K_b}$$

K_b : hệ số tăng biên độ của điện áp phục hồi

U_{mp} : biên độ cực đại của điện áp phức hồi

$$K_m U_{mp} = 1,12 \cdot K_b \cdot U_d$$

U_d : giá trị điện áp dây của máy ngắt

$$U_d \leq \frac{T_0}{T_{bd} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{mt} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)} \cdot \frac{37 \cdot p_t \cdot S^{0,45}}{1,12 K_b}$$

Thường coi $T_{mt} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \approx 0$

Thử $p_t (n = 1 \div 3)$

Thay $t = \frac{1}{2 \cdot f_0}$; $\tau = 2 \cdot 10^{-4}$ với $I = 5000$ A

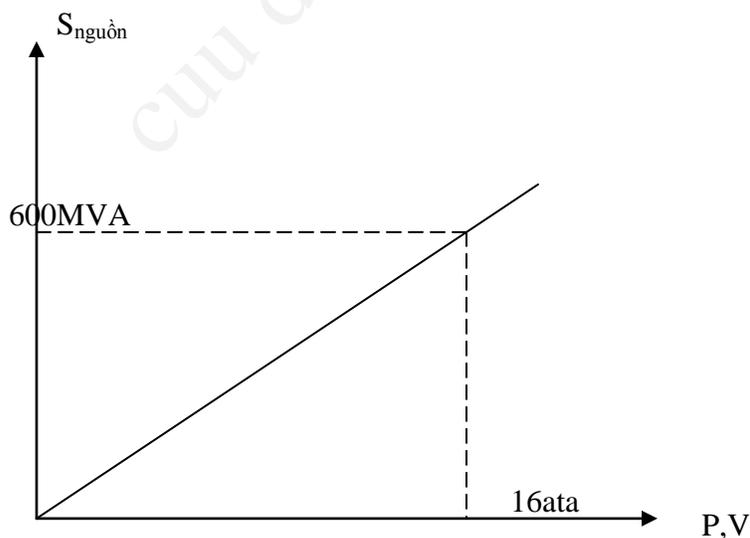
$\tau = 4 \cdot 10^{-4}$ với $I = 1000$ A

Chương 4

Máy ngắt không khí nén

§4.1 Khái niệm chung

- Nguyên tắc dập: thổi 1 luồng không khí có áp suất cao (40 at) thường 26÷27 at với vận tốc lớn vào thân hồ quang.
 - Thường đặt ở những nơi có nhiều máy cắt
 - Luôn luôn có 2 quá trình xảy ra liên quan mật thiết
 - + Khí động học
 - + Điện : hồ quang tắt, U_{ct} , quá trình U_{ph}
 - Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ngắt
- a) p, v : S_{ng} công suất ngắt



b) f_c tăng $\rightarrow dU_{ph}/dt$ tăng $\rightarrow S_{ngát}$

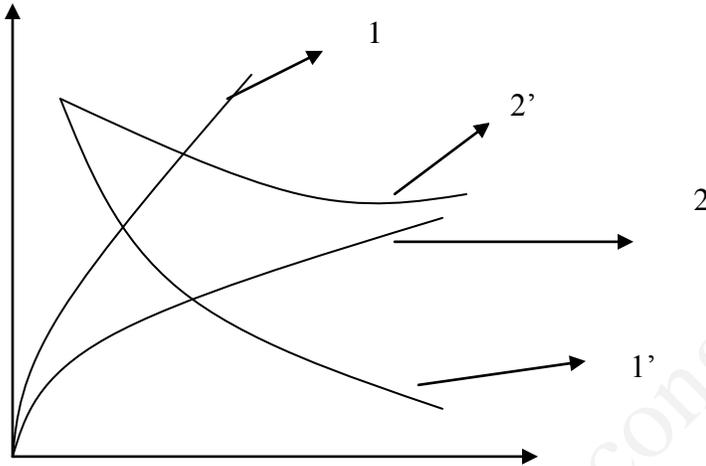
Để giảm f_0 mắc các R_{sun}

U_{pha1} không sin

U_{pha2} có sin

S_{ng} 1': không sin

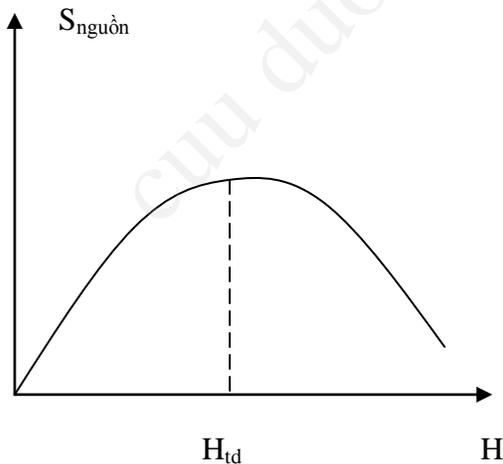
2' : có sin



c) Khoảng cách giữa 2 tiếp điểm

Gồm 3 loại :

- + Không có dao cách ly tâm
- + Có dao cách ly
- + Chèn



d) Hướng thổi

- Dọc

- Ngang : tốt hơn, tuy nhiên bùng đập phức tạp hơn \rightarrow ít dùng

e) Tiết diện miệng lỗ thổi

S lớn càng tốt nhưng lưu lượng khí tăng

§4.2 Một số loại kết cấu máy ngắt không khí

§4.3 Thiết bị đập hồ quang của máy ngắt không khí

a) Kết cấu (SGK)

b) Yêu cầu :

- Tốc độ luồng không khí nén ở miệng phôi cuối, nửa chu kì phải đạt v_{\max} (v_{th})

- Tốc độ luồng không khí ở miệng phôi khi $i = i_{\max}$ phải đạt đến một giá trị nào đó

- P ở vùng thân hồ quang tàn dư đạt đến giá trị lớn có thể

§4.4 Quá trình khí động trong máy ngắt không khí

Nếu $P/P_0 < 0,522$ thì $v \rightarrow v_{th}$

$$\text{Vận tốc : } v_{th} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \frac{P_0}{\gamma_0}} \quad (\text{m/s})$$

Lưu lượng :

$$G_{th} = \mu \cdot F \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \cdot P_0 \cdot \gamma_0} \quad (\text{kg/s})$$

$$v_{dtt} = \sqrt{2g \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_0}{\gamma_0} \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (\text{m/s})$$

$$G_{dtt} = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot P_0 \cdot \gamma_0 \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (\text{kg/s})$$

k là số mũ đoạn nhiệt ($k = 1,4$)

- Xét quá trình chảy từ bình chứa có $V_{\text{lớn}} \rightarrow V_{\text{nhỏ}}$

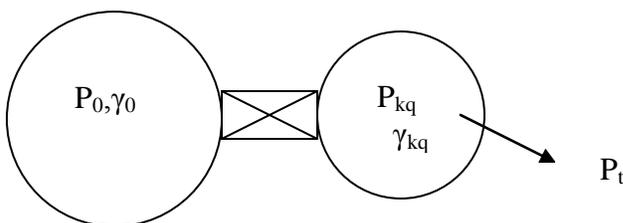
$P_0, \gamma_0 = \text{const}$ trong quá trình chảy (V rất lớn)

$$G_{s, dt} = v_n \cdot d^\gamma$$

Trong đó G_s lượng chảy trong 1s

γ trọng lượng riêng của khí

V_n thể tích bình nhỏ



- Thời gian làm đầy nhỏ $t = t_{\text{trên}} + t_{\text{dưới}}$

$$t_{\text{dưới}} \text{ khi } \frac{P_t}{P_0} \geq 0,528$$

$$t_{\text{trên}} \text{ khi } \frac{P_t}{P_0} \leq 0,528$$

- Cách tính :

$$t_{\text{trên}} = \frac{V_n}{k \cdot \mu \cdot F \cdot \Psi \cdot \sqrt{RT_0}} \left(\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - \frac{P_{\text{hq}}}{P_0} \right)$$

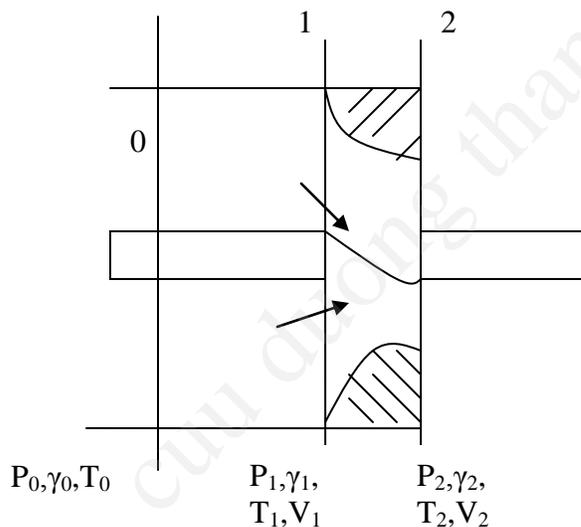
$$t_{\text{dưới}} = \frac{2 \cdot V_n}{\mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot k \cdot (k+1) \cdot R \cdot T_0}}$$

§4.5. Cách tính không khí chảy trong xi lanh có hồ quang cháy

- Trong quá trình cháy $P_0, \gamma_0, T_0 = \text{const}$

Nhiệt lượng do hồ quang sinh ra không đổi trong suốt quá trình chảy và được phân bố đều trong suốt chiều dài của ống thổi

- Quá trình chảy theo định luật đẳng nhiệt



+PT trạng thái : $p \cdot V = RT$

+PT xung : $-Vdp = \frac{v}{g} dv$

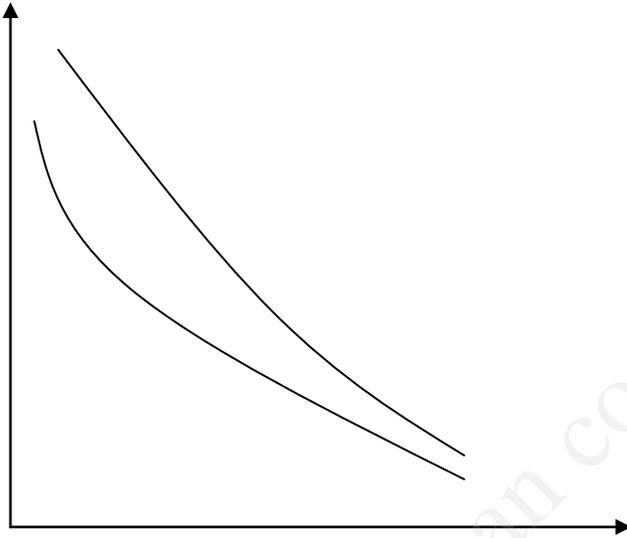
+PT năng lượng : $dQ = C_p dt + A \frac{v}{g} dv$ VỚI $A = \frac{1}{427}$

+Lưu lượng không đổi $\frac{G}{F} = \frac{v_1}{V_1} = \frac{v_2}{V_2} = \text{const}$

Từ 4 phương trình trên ta có :

$$v_1 = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{P_0}{\gamma_0} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = b \cdot f \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \text{ với } b = \sqrt{\frac{P_0}{\gamma_0}}$$

$$v_1 = f \left(\frac{N_{hq}}{P_0 F} \right)$$



$$N_{hq} = U_{max} \cdot I_{hq}$$

Nếu: $+ 0 < v_1 < 70 \text{ m/s}$ thì $v_1 = 860 \cdot \frac{P_0 F}{N_{hq}}$

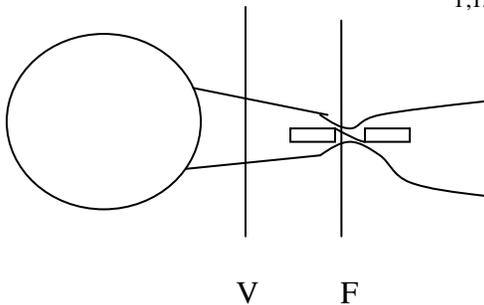
$+ 70 < v_1 < 333 \text{ m/s}$ thì $v_1 = 333 - 110 \sqrt[3]{\frac{N_{hq}}{F \cdot P_0}}$

§4.6 Cách đánh giá gần đúng hiệu quả của buồng dập hồ quang

1) Thông số của không khí nén và tiết diện ống thổi

$$F_1 P_0 > \frac{U_{hq} \cdot I_{hq} \cdot 10^5}{1 + 0,136 \cdot \delta} \text{ trong đó } \delta = \frac{V_1}{V_0}$$

Hình trụ $V_1 = V_0$ thì $F_1 \cdot P_0 \geq \frac{U_{hq} \cdot I_{hq} \cdot 10^5}{1,13}$



2) Căn cứ vào sự tung độ bền điện của buồng khí nén

$$I_{ng} = 5000 \cdot \frac{F}{S_{tu}} \quad \text{trong đó :}$$

S_{tu} khoảng cách đập hồ quang tối ưu

F : tiết diện

3. Căn cứ vào quá trình sự bịt kín miệng lỗ thổi do thân hồ quang hay do nhiệt

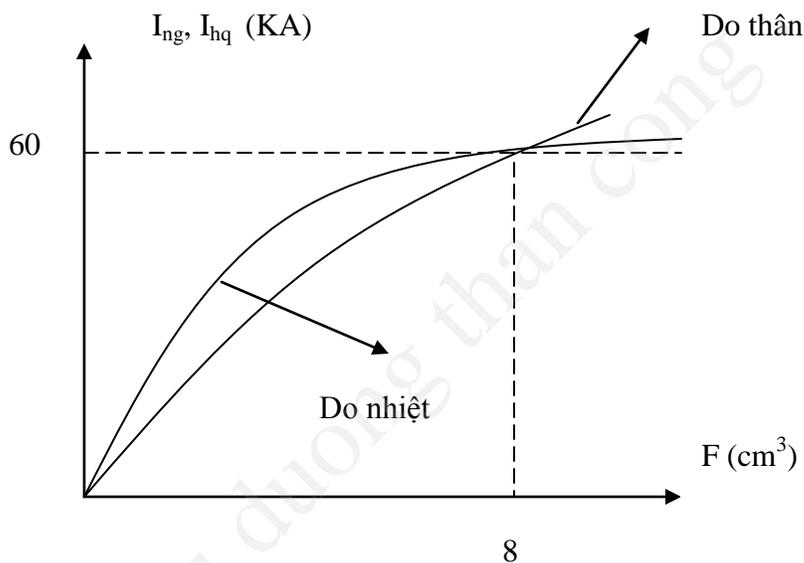
- Bịt kín do áp suất tại hồ quang quá lớn (do nhiệt) hoặc thân hồ quang

- Nếu bị bịt kín do nhiệt

$$I_{ng} = 5,35 \cdot P_0^{0,3} \cdot F^{0,54}$$

-Do thân hồ quang

$$I_{hq} = 16,65 \cdot P_0^{-0,25} \cdot F^{0,75}$$



→ Cho tiết diện của miệng lỗ thổi / sự bịt kín do thân hồ quang xảy ra trước khi do nhiệt

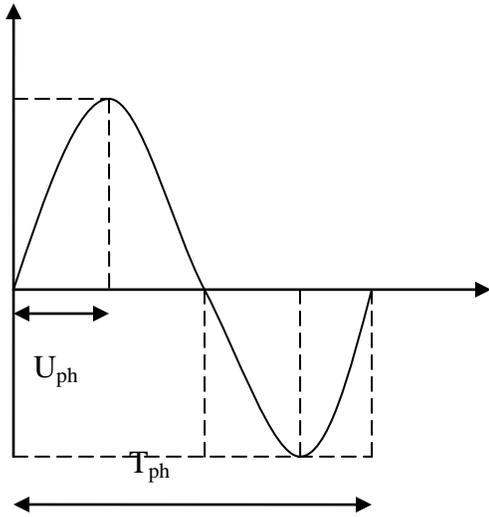
4. Đánh giá theo tốc độ phục hồi của độ bền điện $\frac{dU_b}{dt} = \frac{dU_{ph}}{dt}$

$$\frac{dU_{ph}}{dt} = 4 \cdot U_{mph} + f_{ph}$$

$U_b = b \cdot v_0 \cdot t$ trong đó v_0 là tốc độ buồng khí tại $t = 0$ (hồ quang bắt đầu tắt)

$$\rightarrow \frac{dU_b}{dt} = b \cdot v_0$$

$$v_0 = \left(300 - 100 \cdot \sqrt{\frac{U_{hq} \cdot I_{hq}}{F \cdot P_0}} \right) \cdot K_0$$

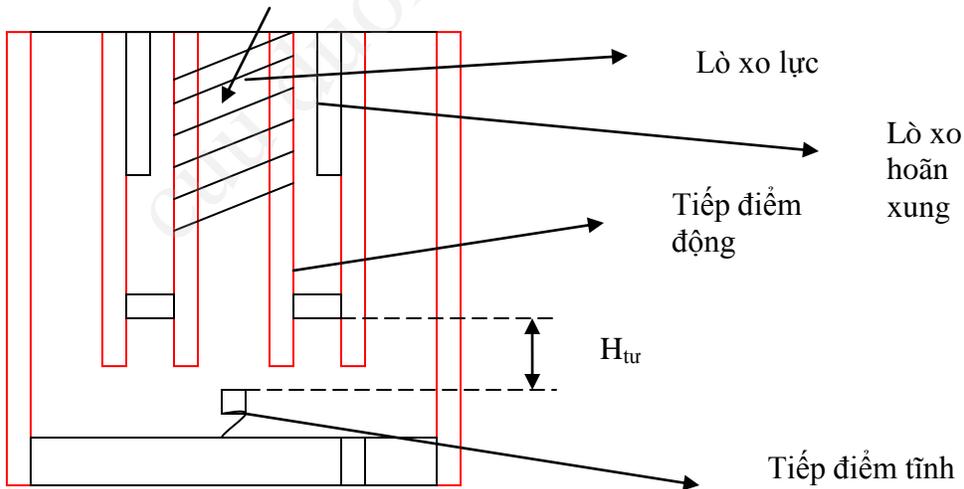


Với K_0 là hệ số hình dáng của ống

$$K_0 = \frac{S_{\text{ongthoi}}}{S_{\text{hq}}}$$

$$F = \frac{U_{\text{hq}} \cdot I_{\text{hq}}}{P_0} \cdot \left(\frac{b_1 \cdot K_0}{3bK_0 - 0,04 \cdot U_{\text{mph}} \cdot f_{\text{ph}}} \right)^5$$

§4.7 Các phần tử điều khiển bằng hơi chủ yếu I. Cơ cấu pittong-tiếp điểm



Khi ngắt khí thổi tác dụng vào pittong đẩy tiếp điểm động chuyển động lên, đồng thời tạo ra luồng khí thổi hồ quang

$$\text{Áp lực tác dụng lên pittong} : P_0(f_2 - f_1)$$

Lực phía trên : $P_{hq} (f_2 - f_1) + F_{lxpl} + F_{lxhung}$

Khi 2 lực trên bằng nhau thì cân bằng

- Yêu cầu : + Khi các tiếp điểm bắt đầu tách rời nhau thì áp suất khí nén trong buồng dập hồ quang phải đạt 1 giá trị nào đó để đảm bảo dập hồ quang và cách điện

+ Tốc độ tách điểm phải đạt giá trị cực đại

+ Khi kết hợp pittonng với hệ thống dòng điện thì kết cấu dẫn điện phải đảm bảo

II. Van điều khiển bằng hơi , bình chứa không khí nén

Các bộ phận truyền động bằng hơi và khí nén

Chương 5

Máy ngắt SF6

§5.1 Khái niệm chung

- GIS (Gas Insulated switchgear)

+ Dải điện áp 3÷800 KV

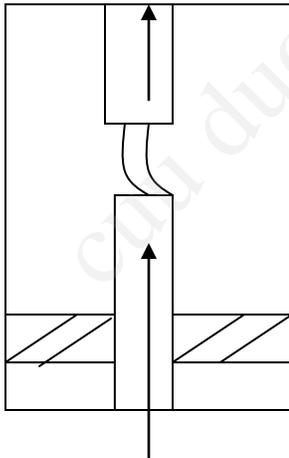
+ Dòng điện cắt $I_{ng} = 80KA$

+ Chiếm đại đa trong máy cắt $\geq 110 KV$ (85%)

- Dập hồ quang bằng khí nén SF6, áp suất tối đa hiện nay là 8 atm

Máy trung áp 36KV khoảng áp suất của SF6 là 2÷3atm (tính cho lúc tác động ,tính chưa tách ,nếu cắt thì áp suất các vùng sẽ tăng)

+ Khi SF6 không bị mất ra ngoài → ít tổn hao



- $U_{dm} \leq 170 KV$ → có thể đặt 3 pha ở chung 1 bình

- $U_{dm} > 170 KV$ → 3 pha riêng rẽ

Ưu điểm :

- Độ tin cậy cao

+ Trọng lượng thấp

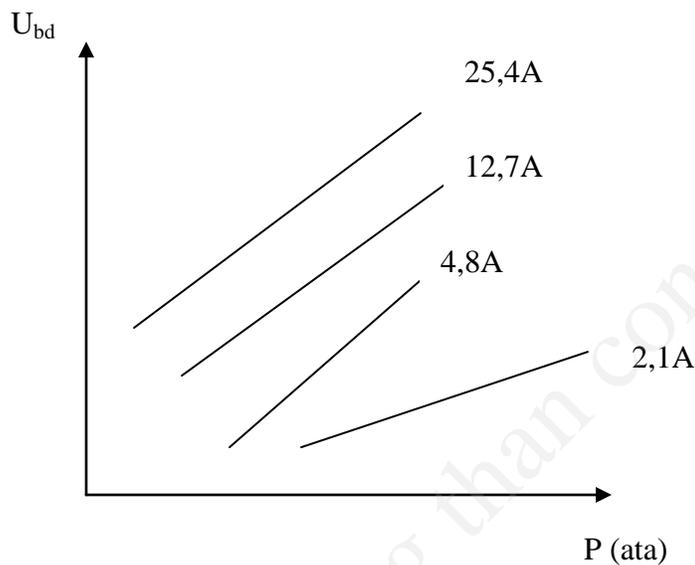
+ Chắc chắn

1) Công thức gần đúng

$$u_{bd} = u_{bds} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Trong đó : U_{bds} là độ bền điện ở trạng thái khí ở nhiệt độ thường
 t là khoảng thời gian tính từ khi dòng điện đi qua 0
 T : hằng số thời gian nhiệt

$d > 12\text{mm}$



- Khoảng cách giữa 2 tiếp điểm

$s = v \cdot (t_{hq} - t_{i=0}) \rightarrow$ có thể xác định thời gian theo cách tính của truyền động

2) Áp dụng cho dòng điện điện dung $\rightarrow 400\text{A}$

$$u_{bd} = 7,7 \cdot p^{0,56} \cdot v^{0,67} \text{ (KV)}$$

\Rightarrow công thức ở phần 1 và 2 dùng cho $U_{dm} \leq 22 \text{ KV}$

3) Tính gần đúng sự tăng áp suất do hồ quang

a) Tính năng lượng hồ quang

$$Q_{hq} = \int_0^t U_{hq} \cdot I_{hqmax} \cdot \sin \omega t dt$$

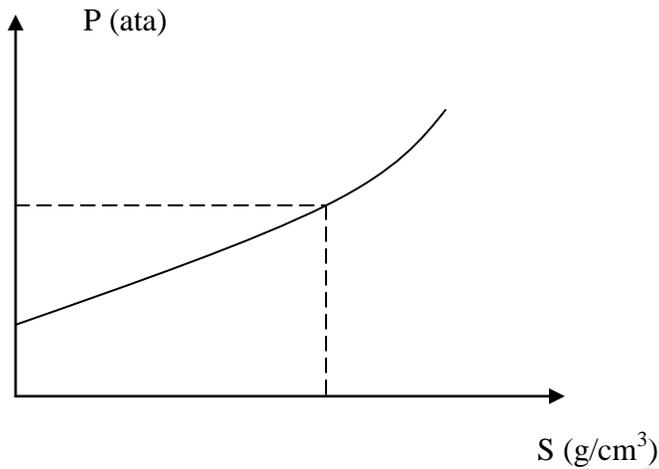
b) Suất năng lượng

$$Q_v = \frac{Q_{hq}}{v}$$

c) Mật độ khí SF6

$$\rho = \frac{\mu p}{R T} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

μ : mật độ khí SF6
 p : áp suất khí
 R : hằng số khí SF6 ($R = 80,5 \text{ cm}^3/\text{K}$)
 T : nhiệt độ tuyệt đối ($^{\circ} \text{K}$)

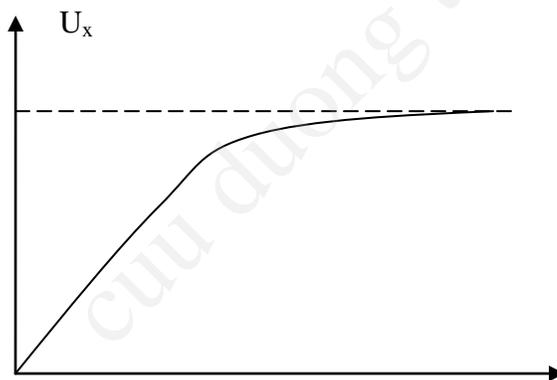


Chương 6

Máy ngắt chân không tự sinh khí điện từ

I. Máy ngắt chân không

- Ưu điểm : $U_{dm} \leq 72 \text{ KV}$



- Nguyên tắc :

Dùng môi trường chân không cao để dập tắt hồ quang (khoảng 100 KV/mm)

$$p = 10^{-4} \div 10^{-9} \text{ at}$$

- Độ mở tiếp điểm nhỏ (35 KV ; độ mở 6 mm) \rightarrow kích thước nhỏ , công suất bộ truyền động nhỏ

- Xét cấu tạo của buồng dập hồ quang

- Ưu điểm:

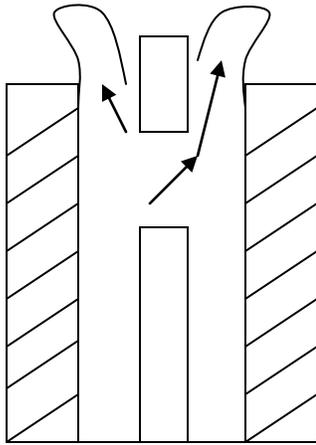
+ Kích thước nhỏ, không gây cháy nổ

- + tuổi thọ cao
- + Gần như không cần bảo dưỡng
- + Thời gian cháy hồ quang 15ms

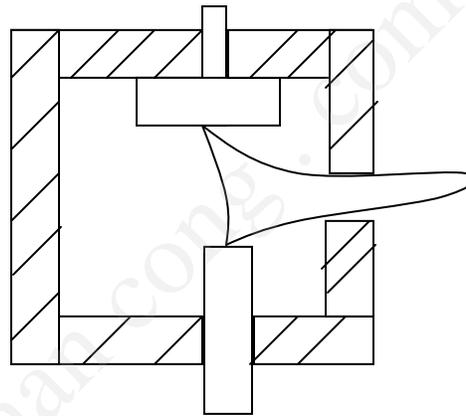
II. Máy ngắt tự sinh khí

1) Khái quát : máy ngắt tự sinh khí có buồng dập hồ quang bằng chất rắn. Dưới tác dụng của hồ quang thì chất rắn có khả năng sinh ra khí để dập tắt hồ quang

- Buồng dập hồ quang có kết cấu rãnh thổi
- tùy thuộc kết cấu của nó : + Kết cấu thổi dọc
- + kết cấu thổi ngang



Dọc



Ngang

- Ưu điểm : + Không dao cách ly (do độ mở lớn)
- + công suất cắt nhỏ
- + Cắt dòng 600A, 24KV
- + Khi cắt tạo ra độ mở để nhìn thấy
- + Chất rắn thường dùng là : píp đơ, Urê, thủy tinh hữu cơ
- Để dập tắt được hồ quang có hiệu quả thì năng lượng cần phải có lượng năng lượng nhất định $A \rightarrow$ nhược điểm : sau 1 số lần đóng cắt nhất định phải thay đổi buồng dập hồ quang

$$A = U_{hq} \cdot I_{hq} \cdot t = E_{hq} \cdot I_{hq} \cdot I_{hq} \cdot t$$

$$\text{Để dập tắt hồ quang thì } K \cdot U_{ph} \cdot I_{hq} > A \Rightarrow I_{hq} = \frac{K \cdot U_{ph}}{E_{hq} \cdot t}$$

2) Kết cấu

III. Máy ngắt điện từ

1) Khái quát :

-Việc dập hồ quang trong môi trường không khí , hồ quang được dập tắt nhờ buồng dập hồ quang (thường dùng kiểu dàn dập) kết hợp cuộn thổi từ

- Chỉ được dùng phụ tải có I, U nhỏ : $I = 600A$; $U = 10KV$
 - Trị số đóng cắt có thể lớn
 - Bộ tạo và truyền chuyển động gồm NCD
- 2) Cấu tạo

Chương 7

Dao cách ly, dao ngắt mạch , thiết bị chống sét, kháng điện

§7.1 Dao cách ly (Disconnected)

I. Khái quát

- Là khí cụ điện dùng để đóng cắt các mạch điện cao áp không tải hoặc tải rất nhỏ, thường kết hợp với máy ngắt hoặc cầu chì cao áp
- Kết cấu của dao cách ly, đơn giản , rẻ tiền
- Thiết kế : chọn kiểu truyền động, R_{tx} , kích thước thanh dẫn

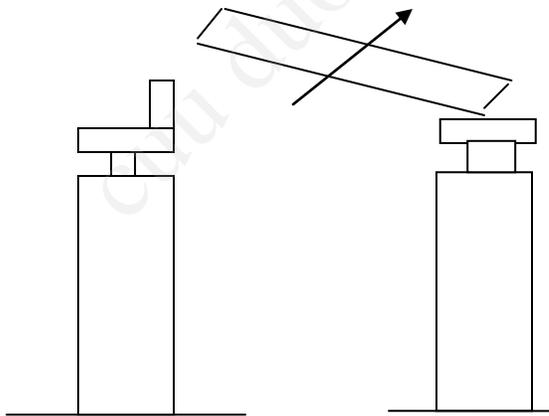
II. Kết cấu cách ly

§7.2 Dao ngắt mạch

I. Khái quát

- Dùng để nối đất các thành phần mang điện hoặc tạo ra dòng ngắn mạch để làm việc các thiết bị bảo vệ
- Khí dòng 3 pha quá tải chưa lớn , máy ngắt chưa làm việc thì dùng dao ngắt mạch → dòng qua máy ngắt lớn
- Trạng thái làm việc ngược với dao cách ly
- Dao ngắt mạch có tiếp điểm nằm trong môi trường khí SF₆ (để tăng khả năng đóng cắt không tải)
- Kết cấu đơn giản

II) Kết cấu



Kiểu chém

§7.3 Thiết bị chống sét (lightning Anester)

I. Khái quát

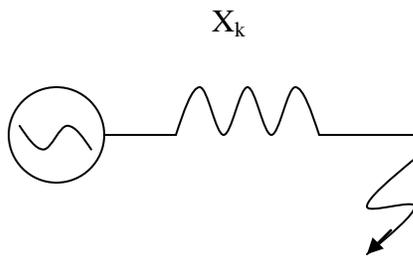
- Là Khí cụ điện dùng để bảo vệ hệ thống điện hoặc các thiết bị trong hệ thống điện khỏi bị ảnh hưởng khi sét đánh
- Đặc điểm khi $U \leq KU_{dm}$ thì tổng trở của chống sét bằng ∞

II) Kết cấu

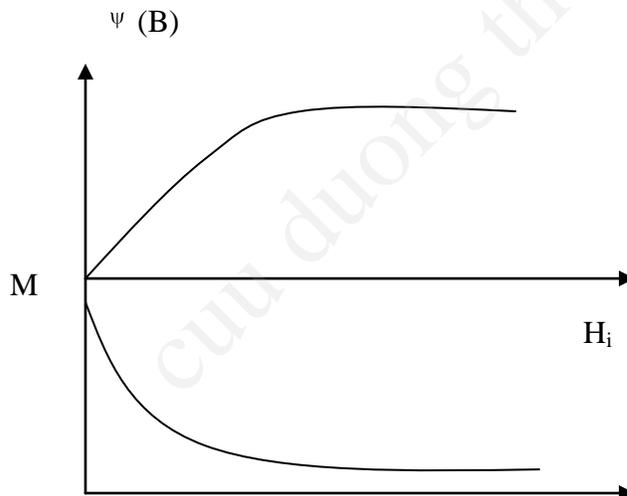
§7.4 Kháng điện

I) Khái quát :

- Công dụng : Hạn chế dòng điện ngắn mạch



- Duy trì 1 giá trị điện áp cho tahnh cái
- Điện áp rơi trên kháng điện (X_k) $< [U]$
- Thường làm kháng điện bằng cuộn dây không lõi sắt
- Có kháng điện cách điện khí và cách điện dầu
- Yêu cầu với kháng điện là X_k không biến thiên



- Cuộn dây không lõi thép : + khô
+ dầu dùng cho hệ thống phân phối điện năng ngoài trời ($> 35KV$)
- Yêu cầu : + ở chế độ định mức thì sụt áp trên kháng điện không đáng kể
+ Nhiệt độ cuộn dây không được vượt quá nhiệt độ cho phép
+ Khi ngắn mạch có độ ổn định điện động, nhiệt phải hạn chế được dòng điện ngắn mạch tới mức cần thiết

+ Tổn hao trong kháng điện phải nhỏ tối thiểu

$$R \text{ lớn} \rightarrow U_K$$

$$\rightarrow P = I^2 \cdot R \rightarrow \theta > [\theta]$$

- Kháng điện : + đơn

+ Kép

- Quá điện áp không được phát sinh đánh thủng các vòng dây kháng điện khác nhau \rightarrow sóng điện ra bên ngoài dập tắt

II. Tính toán điện cảm của kháng điện (kháng điện không lõi thép)

$$X = \omega L \quad L = \omega^2 \cdot G_{\Sigma}$$

$$L = 10,5 \omega^2 \cdot D \left(\frac{D}{2h + D} \right)^2 \cdot 10^{-6} \text{ (mH)}$$

$$\alpha \in \frac{D}{2(h + D)} = (i)$$

$$\alpha = \frac{3}{4} \quad \text{khi } 0,3 \leq (i) \leq 1$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \quad \text{khi } 1 \leq (i) \leq 3$$

Tham khảo bảng 9.1

III. Sự phát nóng và lực điện động trong kháng điện

Chương 8

Máy biến dòng điện

§8.1 Khái niệm chung

- là khí cụ điện dùng để biến đổi dòng điện có trị số cao xuống trị số thấp cung cấp cho mạch đo lường và bảo vệ (qui chuẩn)

- Tác dụng :

+ bảo vệ dụng cụ đo lường và công nhân phục vụ khỏi điện áp cao

+ Cung cấp nguồn dòng cho các dụng cụ đo

+ Cung cấp nguồn dòng cho thiết bị điện bảo vệ

- Nguyên lý làm việc :

+ Giống máy biến áp điện lực

$$i_1 \cdot w_1 = i_2 \cdot w_2 \rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

$$E = 4,44 \cdot w \cdot f \cdot \Phi_m$$

- Đặc điểm :

+ Chế độ làm việc bình thường là chế độ ngắn mạch

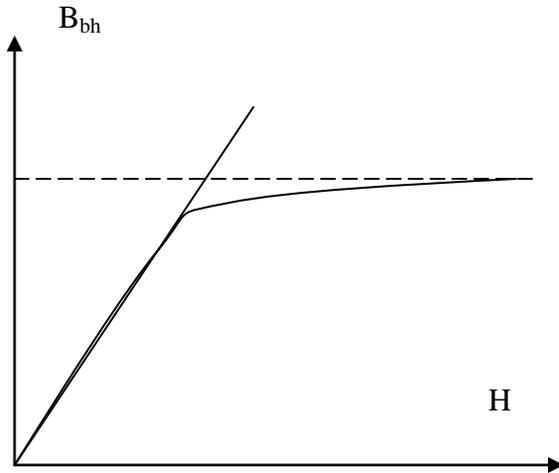
+ Máy biến dòng hở mạch thứ cấp \rightarrow cháy máy biến dòng

- khi Φ bão hòa (do hở mạch $i_1 w_1 + i_2 w_2 = 0$)

- + $B = 0,02 \div 0,1T$, thay đổi trong quá trình làm việc và để sai số nhỏ
- + Dòng điện trong cuộn dây thứ cấp của máy biến dòng không phụ thuộc vào tải mà chỉ phụ thuộc vào dòng điện sơ cấp
- + Phụ tải và sai số của máy biến dòng có liên hệ trực tiếp chặt chẽ
- Phân loại :
 - + Theo công dụng : + máy biến dòng đo lường (cấp chính xác $\leq 0,5$)
 - + Máy biến dòng bảo vệ (cấp chính xác ≥ 1) bội số dòng điện $I_{nm} = 50 I_{dm}$
 - + Máy biến dòng thí nghiệm (cấp chính xác $\leq 0,2$)
 - + Máy biến dòng hỗn hợp đo lường và bảo vệ
 - + Máy biến dòng trung gian ($5000 \rightarrow 100 \rightarrow 1 A$)
 - + Theo nơi đặt : + trong nhà
 - + Ngoài trời
 - + Đặc biệt
- Thông số cơ bản :
 - + Điện áp định mức (điện áp sơ cấp) : Điện áp dây
 - + I_{dm} : dòng định mức sơ cấp : 10, 20 , 40, 50, 75 ,100
Dòng định mức thứ cấp : 1,5, 10 A
 - + Tỷ số biến đổi dòng điện định mức: $K_{dm} = \frac{I_{1dm}}{I_{2dm}}$
 - + Sai số về trị số dòng điện :
$$\Delta I\% = \frac{K \cdot I_2 - I_1}{I_{1dm}} \cdot 100\% = \frac{I_2 \cdot w_2 - I_1 \cdot w_1}{I_1 \cdot w_1} \cdot 100\%$$
 - + So sánh góc pha : $s = \arctan(-I_2)$
 - + Độ bền nhiệt và độ bền điện động
 - + Cấp chính xác : 0,1;0,2;0,5;1;3(10)
 - + Tải định mức : $Z_2 = R_t + jX_t \quad \cos \varphi = 0,8$
 - + Công suất định mức : $S_{dm} = I_{2dm} \cdot Z_{2dm}$
 - + Bội số dòng điện định mức giới hạn $\frac{I_1}{I_{1dm}} = K$ (bội số)
- ΔI không vượt quá 10%
- + Thường điện thế tạo bởi 3 pha không riêng rẽ

§8.2 Vật liệu từ và lõi sắt, thép máy biến dòng

- Dùng các loại vật liệu từ tốt
- + Giá trị mật độ từ cảm bão hòa cao
- + Độ từ thẩm cao



- + Thường dùng vật liệu sắt từ có 0,2 mm
- Các yêu cầu đối với vật liệu từ
- + B nhỏ thì μ lớn \rightarrow quan trọng với máy biến dòng đo lường
- + Độ bão hòa cao \rightarrow điều kiện cho máy biến dòng bảo vệ
- + Tổn hao trong lõi thép nhỏ (do suất tổn hao lớn thì so sánh máy biến dòng tăng)
- + μ lớn, không đổi trong 1 dải rộng
- Kiểu lõi thép
- + hình xuyên
- + Hình chữ nhật

§8.3 Tính toán máy biến dòng (tính toán điện từ)

- Chọn kết cấu tính toán: dầu, chất rắn, không khí
- Tính cách điện
- Tính toán điện từ

1) tính toán lõi thép

- Cho $Z_t = R_t + jX_t$
 I_{2dm}, K_{dm}, I_{1dm}

- xác định tiết diện lõi thép

$$Q = \frac{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot F_2}{w_2 \cdot B_m}$$

$$F_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \phi_m = 220 \cdot w_2 \cdot Q \cdot B_m$$

F_2 là suất điện động của cuộn 2 (giá trị hiệu dụng)

$$F_2 = I_{2dm} \cdot \sqrt{r_1 + R_t^2 + X_2 + X_t^2}$$

Coi $\left. \begin{matrix} r_2 = R_t \\ X_2 = X_t \end{matrix} \right\} \Rightarrow E_2 = 2 \cdot I_{2dm} \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$

- Tính w_2 : $\frac{I_{1dm}}{I_{2dm}} = K = \frac{W_{2dm}}{W_{1dm}}$

Chọn $w_1 = 1,2, 3$

→ Tìm $w_2 = K.w_1$

- Tính $B_m = (0,02 \div 0,1)$

2) Tính dây quấn

- Tính số vòng dây w_1, w_2

- Tính đường kính dây: $q = \frac{i}{j}$

Chọn $i = 1,8 \div 2,8$ với máy biến dòng ngâm dầu

$j = 1 \div 2,6$ với máy biến dòng không khí

Thường dùng để chọn nhiệt

§8.4 Cách xác định điện kháng máy biến dòng

1. Xác định điện trở: theo cách thông thường

- $R_{cd} = \rho \cdot \frac{l}{S} = \rho \cdot \frac{w \cdot l_1}{S}$ (ρ thường lấy ở θ tương ứng)

Lấy ở $\theta = (75 \div 80^\circ C)$ thì $\rho_{75} = 0,02 \text{ m m}^2 / \text{m}$

- Đo: + điện trở 1 chiều

+ Điện trở xoay chiều : $R_{\square} = K.R$ - $K_{(f=50\text{Hz})} = 1,05 \div 1,1$

2. Xác định điện kháng

- Đo bằng thí nghiệm

$$X_2 = w \cdot L_2 = 314 \cdot L_2 \quad (f = 50 \text{ Hz})$$

- Tính toán

$$L_2 = w^2 \cdot G_{\Sigma} = 4 \cdot \pi \cdot w^2 \cdot \frac{S}{h} \left(\frac{S}{2} + \frac{\Delta_2}{3} \right) \cdot 10^{-9}$$

- 2 cuộn dây cùng quấn trên 1 trụ có chiều cao bằng nhau

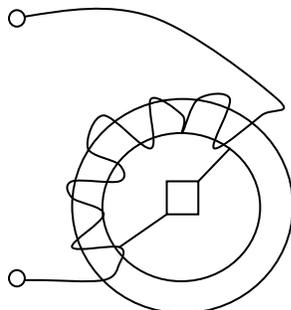
Δ_2 thứ cấp

h : chiều cao

H : hệ số hiệu chỉnh Rogoley $H = 1 - \frac{S + \Delta_1 + \Delta_2}{R \cdot h}$

S : Chiều dài trung bình từ tản máy biến dòng điện

- Cuộn dây mạch từ hình xuyên $X_2 = (6,7 \div 8) H w^2 \cdot 10^{-6} \lg \frac{360}{2} \quad (\Omega)$

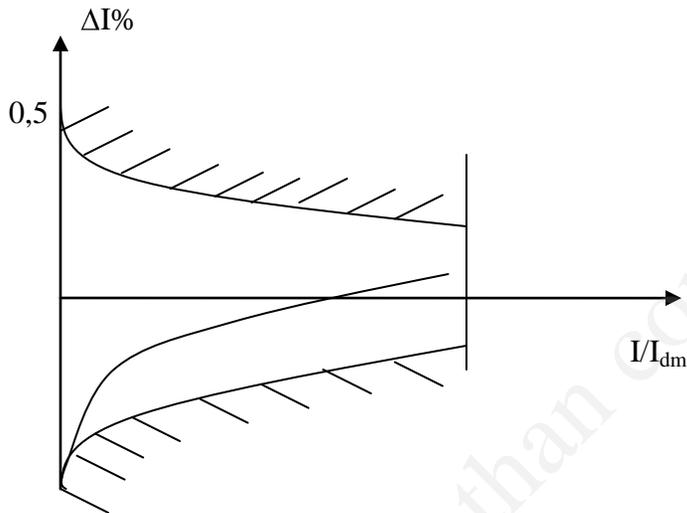


- $d < 150 \text{ mm} \rightarrow H = a$
- $= (150 \div 400) \text{ mm} \rightarrow H = a + b$
- $> 400 \text{ mm} \rightarrow H = a + 2b$

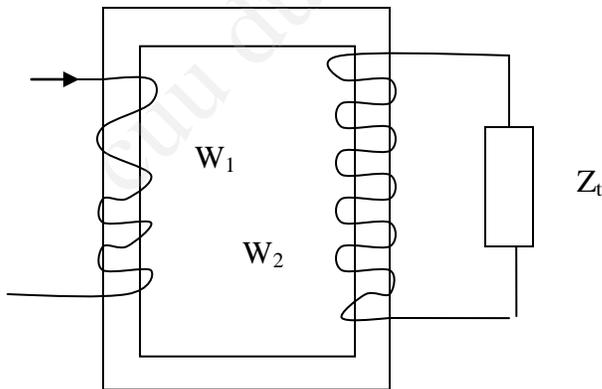
§8.5 Cấp chính xác – Đồ thị véc tơ- Phương trình sai số

1. Cấp chính xác

- Tùy sai số, $\Delta I\%$, $S \rightarrow$ Cấp chính xác: +0,1 0,2 0,5 1: Đo lường
+ 3 10 : Bảo vệ
- Dao động $\Delta I\%$, S thuộc miền $I = (0,1 \div 1,2) I_{dm}$



2. Đồ thị véc tơ



$$F_1 = I_2 r_1 + r_t + j x_1 + x_2$$

$$I_1 W_1 + I_2 W_2 = I_0 W_1$$

3. Phương trình sai số

$$\Delta I\% = \frac{|K I_2 - I_1|}{I_1} \cdot 100\% = \frac{|I_2 W_2 - I_1 W_1|}{I_1 W_1} \cdot 100\%$$

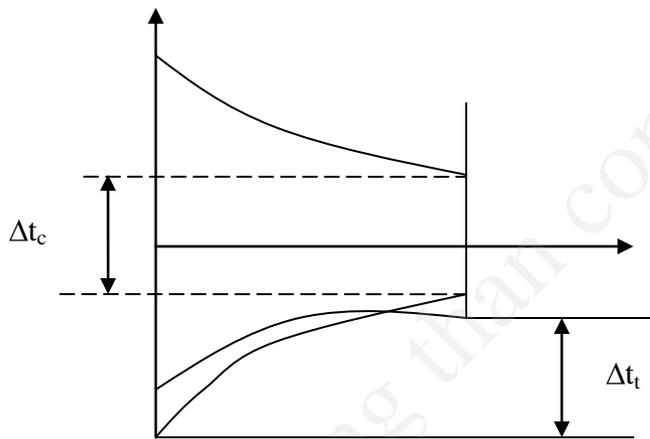
$$= \frac{I_0 W_1}{I_1 W_1} \cdot \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\%$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_2 + x_t}{r_2 + r_t}$$

sai số góc:

$$\delta = \sin \delta = \frac{CB}{I_1 W_1} = \frac{I_0 W_1}{I_1 W_1} \cos(\psi + \alpha) = 3440 \cdot \frac{I_0 W_1}{I_1 W_1} \cos(\psi + \alpha)$$

§8.6 Hiệu chỉnh sai số bằng cách thay đổi số vòng dây thứ cấp



- Điều kiện : Sai số âm (tải cảm)

$$\Delta_{tt} < \Delta_{tc}$$

$$\Delta I_{hc} = - \frac{I_0 W_1}{I_1 W_1} \sin(\psi + \alpha) + \Delta W_2 \cdot \frac{100}{W_{2dm}} \%$$

§8.7 Quan hệ giữa so sánh và các thông số tính toán Máy biến dòng

- Các thông số + $I_{1dm} W_1$

+ Chiều dài trung bình lõi sắt (l_{tb})

$$+ Q \text{ tiết diện lõi thép } Q = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{W_2 \cdot B_m}$$

+ Z_{o2} : không biến thiên được

$$H = \alpha \cdot B_m^\beta \quad ; B \approx \text{const}$$

$$\alpha = 0,55 \quad (\text{thép tốt})$$

$$\alpha = 0,82 \quad (\text{thép trung bình})$$

$$\alpha = 1,1 \quad (\text{thép xấu})$$

- Thiết kế máy biến dòng điện:

- + Phân tích chọn pha
- + Tính toán điện từ
- + Tính toán sai số máy biến dòng điện
- Đạt → xong
- Không đạt → phải tính lại

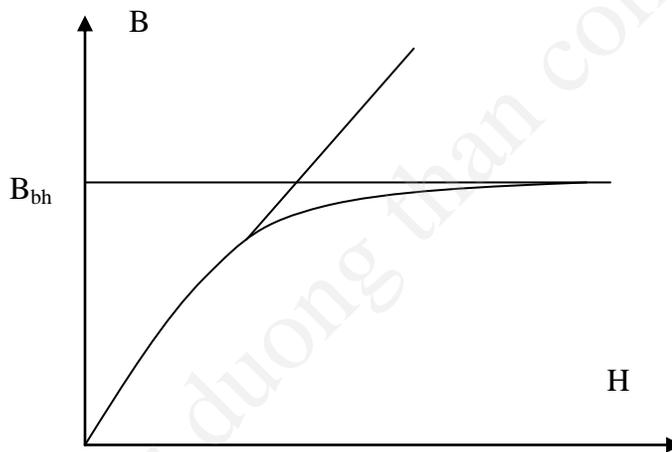
§8.8 Các phương pháp hiệu chỉnh so sánh máy biến dòng điện

1. Phương pháp tuyến tính hóa đường cong từ hóa lõi thép

$$\Delta I\% = \frac{I_0 W_1}{I_1 W_1} \cdot \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\%$$

$$I_0 W_1 = H_0 l_{tb} = \frac{B_m \cdot l_{tb}}{\mu}$$

$$\Delta I\% = \frac{B_m \cdot l_{tb}}{\mu \cdot I_1 W_1} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\%$$



Nhận xét:

+ B nhỏ → μ nhỏ → ΔI rất lớn

+ B lớn → μ nhỏ → ΔI rất lớn

a) Dùng Sun từ Pecmaloi

- I_1 nhỏ → Φ đi qua sun từ

- W_2 tỉ lệ với W_{21} giống việc

- I_1 lớn → Φ chủ yếu khép qua mạch từ cuộn dây 2

$$W_2 \approx W_{21} + W_{22}$$

$$K_1 = \frac{W_2}{W_1} \rightarrow \text{sai số}$$

b) Phương pháp Wilson

- Nhánh 1: $\phi_1 = \phi_c - \phi_p$

- Nhánh 2: $\phi_2 = \phi_c + \phi_\eta$

I nhỏ \rightarrow ở nhánh 2 : μ lớn \rightarrow đoạn H_2

I lớn \rightarrow ở nhánh 1: μ lớn \rightarrow đoạn H_1

2) Bù sai số bằng cách kích từ lõi thép

a) Kích từ dùng nguồn ngoài

b) Tự kích từ

- 2 lõi thép có số vòng dây khác nhau

- Lõi A: $I_1 W_1 + I_2 W_{2A} < I_2 W_{2dm}$

$$I_1 W_1 - I_2 W_2 + W_{2A}$$

- Lõi B : $I_1 W_1 + I_2 W_{2B} > I_2 W_{2dm}$

$$I_2 W_2 + W_{2B} - I_1 W_1$$

3) Bù sai số theo phương pháp MĐV

§8.9 Điện áp khe hở mạch thứ cấp

U_2 lớn : $I_1 W_1 + I_2 W_2 = I_0 W_1 \rightarrow$ từ hóa lõi sắt \rightarrow bão hòa

$$I_1 = I_0$$

$$e_2 = -W_2 \cdot \frac{d\phi}{dt} = -W_2 \omega \phi_m$$

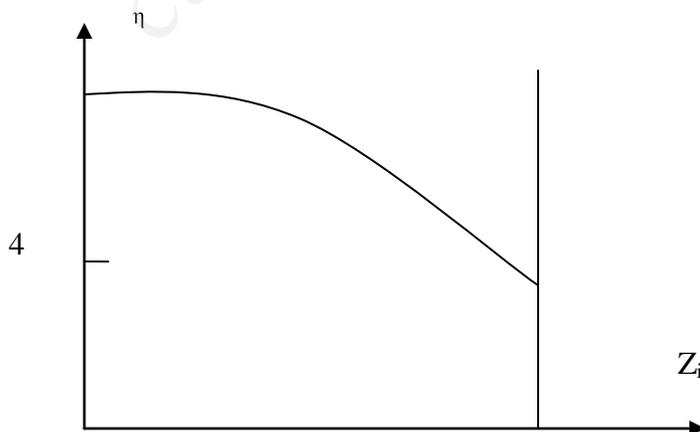
$$I_0 W_1 = H_0 l_{tb} = \frac{4m}{Q \cdot \mu} \cdot I_{tb} \rightarrow \phi_m$$

Thiết bị hạ áp chỉ thị : 2500 V

§8.10 Các thông số bội máy biến áp dòng

1. Bội số 10%

$$n_{10} = \frac{I_2}{I_{2dm}} \text{ vẫn sai số } 10\% \text{ tương ứng với } \cos\varphi = 0,8$$



Cách xác định : $n_1 > 1 \rightarrow I_2 = n_1 I_{2dm} \rightarrow$ tính ss= 10% : + Nếu đúng thì $n_1 = n_{10}$
 + nếu sai thì tính lại

$$I_2 = n_{10} \cdot I_{1dm} \cdot 0,95$$

2. Bội số cực đại

$\phi_{max} \rightarrow B_{max} \rightarrow I_{2max} : n = \frac{I_{2max}}{I_{2dm}}$ bội số cực đại của dòng thứ cấp

$$I_{2max} = \frac{E_{2max}}{Z_2} = \frac{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot B_{max} \cdot Q}{Z_2}$$

$$n = \frac{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot B_{max} \cdot Q}{I_{2dm} \cdot Z_2}$$

3) Bội số ngắn mạch máy biến dòng (xét về nhiệt)

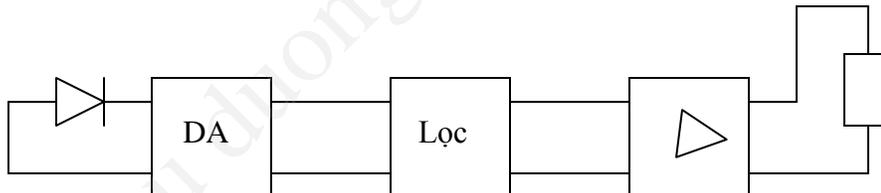
$$n_{nm} = \frac{I_{1nm}}{I_{1dm}}$$

$$n_{nml} = \frac{I_{1nml}}{I_{1dm}}$$

§8.11 Máy biến dòng kiểu mới

$$U_{1dm} \geq 100 \text{KV}$$

1) Máy biến dòng làm việc theo nguyên lý chuyển đổi điện quang



2) Máy biến dòng làm việc theo nguyên lý từ quang

Chương 9 : Máy biến điện áp

§9.1 Khái niệm chung

Máy biến dòng điện áp là khí cụ điện dùng để biến đổi điện áp có trị số cao xuống trị số thấp cung cấp cho mạch đo lường bảo vệ

- U_{1dm} theo dãy 3, 6, 10, 15, 20, 22, 35, 52, 72, 110, 220, 400, 500, 750 KV

- U_{2dm} theo dãy : 100, $100 / \sqrt{3}$, 120 V

- Không cần để ý đến tính toán điện động, nhiệt vì công suất máy biến điện áp nhỏ khoảng 100VA

- Nguyên lý làm việc giống máy biến áp điện lực, tải rất nhỏ - coi nó làm việc ở chế độ không tải. Thường được chế tạo thành loại 1 pha và loại 3 pha 3 trụ, 3 pha 5 trụ

- Để bảo vệ ngắn mạch 1 pha chạm đất không có trung tính nối đất, dùng máy biến áp 3 pha 5 trụ để đo lường và bảo vệ

- Cấp chính xác : tùy thuộc sai số máy biến chia ra các cấp điện áp : 0,1 ; 0,2; 0,5; 1; 3 (10)

- Các thông số cơ bản :

+ U_{dm} : là giá trị điện áp đặt vào máy biến áp trong thời gian vô hạn mà không bị phóng điện hư hỏng

+ Hệ số biến đổi dòng áp $K=U_1/U_2$

+ Sai số về trị số điện áp: $\Delta_u \% = \frac{K \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%$

+ Sai số về góc : $s = \frac{U_1}{U_2}$ với $U_1 = (0,9 \div 1,1) U_{dm}$

$$S = (0,25 \div 1) S_{dm}$$

§9.2 Đồ thị véc tơ – Phương pháp sai số

$$I_1 W_1 + I_2 W_2 = I_0 W_1$$

$$U_1 = I_1 (r_1 + jx_1) + (-I_2') (r_2 + jx_2) + (-U_2')$$

Thay $I_1 = I_0 - I_2'$ vào ta có:

$$U_1 = I_0 (r_1 + jx_1) + I_2' (r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)) + (-U_2')$$

Không có sai số thì $-U_2' = U_1$

Phương trình sai số:

$$\Delta_u \% = \frac{K_1 U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% = \frac{|U_2' - U_1|}{U_1} \cdot 100\%$$

$$\Delta_u \% = I_0 (r_1 \sin \psi + x_1 \cos \psi) + I_2 [(r_1 + r_2) \cos \phi + (x_1 + x_2) \sin \phi]$$

§9.3 Tính toán lựa chọn máy biến áp

- Máy biến điện áp nếu có S lớn → chế tạo 3 pha trong cùng 1 vỏ U_{dm} (điện áp dây)

- máy biến điện áp S nhỏ hơn hoặc S rất lớn thì được chế tạo 1ph/1vỏ

- Chọn $U_{dmcaop} = U_{dmluoi}$

$$S_{dmBu} \geq S_{tinhtoan}$$

Cấp chính xác : 0,2 dùng làm mẫu

0,5 dùng để bảo vệ

- Để giảm X_1, X_2 thì cuộn 2 cuộn dây theo khoảng cách giảm dần vì vậy ảnh hưởng đến khí cụ điện

§9.4 Một vài loại máy biến điện áp

- Máy biến điện áp nổi tầng :

Với cấp điện áp cao áp và siêu cao áp để giảm bớt điện áp và phân phối đều điện áp trên các cuộn dây người ta sử dụng máy biến điện áp kiểu nối tầng.

+ Ưu điểm: đơn giản, dễ làm

+ Nhược điểm : số vòng dây sơ cấp nhiều \rightarrow sai số lớn, dùng ở hệ thống bảo vệ, máy biến điện áp kiểu phân áp bằng tụ

- Mục đích : Khắc phục những nhược điểm do máy biến điện áp kiểu nối tầng tạo ra.

- Máy biến điện áp kiểu mới

- Máy biến áp Pockel

- Hiệu chỉnh sai số máy biến áp

+ Giảm số vòng dây $w_1 \rightarrow u_2$ tăng so với ban đầu

+ Thay đổi điểm làm việc :

$$\Delta u \% \approx f \left(\frac{I_0}{u_1} \right)$$

$$u = 4,44 \cdot f \cdot w \cdot B \cdot S$$

$$I_0 \cdot w_1 = H_0 \cdot l$$

$$\Rightarrow \Delta u \% \approx \frac{H}{B} = \frac{1}{\mu}$$

Gồm dây quấn bù và dây quấn cân bằng

- Sai số về góc

$$\delta = \text{tg} \delta = \frac{EF}{OF} = 3440 \cdot I_0 \cdot r_1 \cos \psi - X_1 \sin \psi + I_2 \cdot r_1 + r_2' \sin \varphi - x_1 + x_2' \cos \varphi = u_1$$

Tùy theo giá trị r_1, r_2' tỷ lệ với x_1, x_2' mà có giá trị dương âm của δ trong 1 phạm vi nào đó/ $\Delta u\%$ biến thiên ít nhất

- Điện áp định mức $U_{1dm}/U_{2dm}=110/0,1$

Công suất : $S_{dm} = 100VA$

Cấp chính xác: 0,5

- Chọn cách điện kiểu máy biến áp \rightarrow tính toán điện từ \rightarrow tính toán sai số máy biến áp: $\Delta u\%, S_1$

- Khi $U_{dm} \geq 400KV \rightarrow$ phân áp

- $U_{dm} \geq 220KV \rightarrow$ dùng biến áp phân tầng 500/50/0,1

Chương 10: Quá trình đóng cắt

§10.1. Khái quát

- Là các thiết bị đóng, cắt, đổi nối mạch điện nói chung từ hạ áp sang cao áp

+ Đóng cắt đổi nối chế độ làm việc : $I \leq I_{dm}$

+ Tự động cắt khi có sự cố trong mạng điện (quá tải, ngắn mạch, quá áp, thấp áp, khác tần số, $P_{ngược}$, thấp dòng)

- Theo điện áp :

- + điện áp thấp (0÷1 KV) với xoay chiều, (0÷1,2KV) với 1 chiều
- + Trung áp : 1÷100 KV
- + Cao áp : 100÷400 KV
- + Siêu cao áp : > 400 KV
- Thiết bị đóng cắt tham gia vào hầu hết các thiết bị điện
- Các loại thiết bị điện đóng cắt :
 - + Máy ngắt
 - + Cầu chì
 - + Dao cách ly, dao ngắt mạch
 - + công tắc tơ, rơ le
 - + Thiết bị đóng cắt hợp bộ
 - + Bộ bảo vệ quá điện áp (bao gồm cả thiết bị chống sét)
 - +KĐT (công tắc tơ + Thiết bị bảo vệ)
- Các hiện tượng cần chú ý
 - + Quá độ điện : khi đóng, cắt thì u,i biến thiên tùy theo tải
 - Đóng tải RL,DC(AC)
 - Đóng tải RC (DC) AC
 - Đóng tải RLC AC(DC)
 - + Quá độ nhiệt :
 - Dài hạn , ngắn hạn, ngắn hạn lặp lại
 - + Lực điện động
 - + Hồ quang điện (khi $I \leq 10A$, không cần dập hồ quang về ảnh hưởng không lớn)

Dàn đập $F_{dt} = F_{dt1} + F_{dt2}$

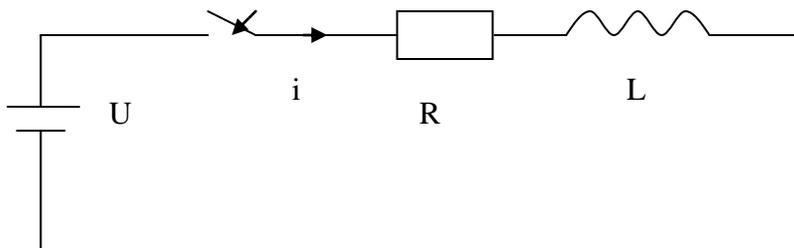
Trong đó: F_{dt1} : Mạch vòng dẫn điện

F_{dt2} : do các thanh sắt từ non

Môi trường hồ quang cháy

§10.2 Quá độ điện

1) Đóng nguồn 1 chiều vào tải RL



$$u = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$i = i_{st} + i_{tr}$$

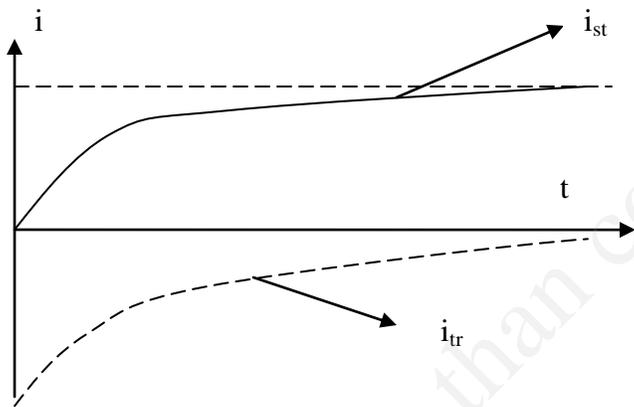
$$i_{st} = \frac{U}{R}$$

st : steady-state

tr : transient

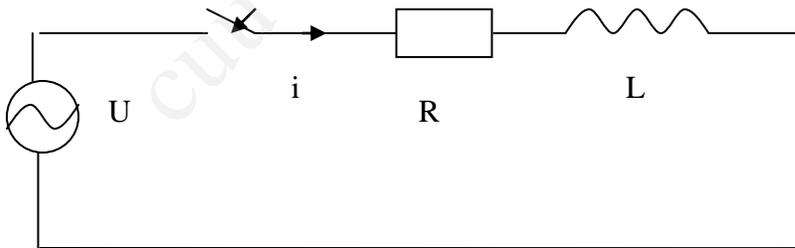
$$u = i_{st} \cdot R + L \cdot \frac{di_{st}}{dt} + i_{tr} \cdot R + L \cdot \frac{di_{tr}}{dt} = 0 + i_{tr} \cdot R + L \cdot \frac{di_{tr}}{dt}$$

$$\Rightarrow i = \frac{u}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad T = \frac{L}{R}$$



Giá trị i tăng từ từ

2) Đóng nguồn AC vào tải RL



$$u = U_m \cdot \cos \omega t + \psi$$

$$i = I_m \cdot \cos \omega t + \psi - \varphi$$

$$i_t = \frac{U_m}{Z} \cos \omega t + \psi - \varphi - e^{-t/T} \cdot \sin \psi - \varphi$$

- Hệ số quá tải dòng

$$K_p = \frac{I_{max}}{I_m}$$

Khi $\psi = \varphi \pm \frac{\pi}{2} \rightarrow I_{max} = 2.I_m$

Chú ý :

- + Ngắn mạch gần máy phát $K_p > 2$ do điện kháng máy phát thay đổi
- + Đóng cắt máy biến áp không tải

$$\varphi = k \cdot \frac{\omega}{\omega} + \varphi_{re}$$

Khi $S = 20MVA \rightarrow I = (5 \div 7)I_m$

3. Đóng nguồn 1 chiều vào tải RC

$$u = i.R + u_c$$

$$u = R C \cdot \frac{du_c}{dt} + U_c$$

$$u_c = \frac{1}{C} \int \frac{di}{dt}$$

$$u_c = U_0 (1 - e^{-t/T}) \quad T = RC$$

$$i(t) = I(t) \cdot \frac{U_0}{R} \cdot e^{-t/T}$$

4. Đóng nguồn AC vào tải RC

$$u_c(t) = U_m \cdot \frac{X_c}{Z} \sin(\omega t + \psi + \varphi) - \sin(\omega t + \psi) \cdot e^{-t/T}$$

$$i(t) = C \cdot \frac{du_c}{dt} = \frac{U_m}{Z} \cdot \cos(\omega t + \psi + \varphi) + \sin(\omega t + \psi + \varphi) \cdot e^{-t/T}$$

5. Đóng nguồn AC vào tải RLC

6. Đóng nguồn DC vào tải RLC

7. Đóng cắt mạch 3 pha

§10.3 Quá độ nhiệt

- Phương pháp cân bằng nhiệt

+ Nguồn nhiệt : $I^2 R dt$: định mức, sự cố, quá tải, quá áp, quá dòng, ngắn mạch

Thời gian quá tải phụ thuộc đặc tính của đối tượng bảo vệ

Thời gian ngắn mạch \rightarrow phần lớn đốt hệ thống mạch vòng dẫn điện:

+ tổn hao do từ xoáy, trễ

+ Tổn hao do điện môi

\Rightarrow Chủ yếu tính toán ở mạch vòng dẫn điện, hồ quang điện

$$I^2 R dt = G C d\tau + K_{\tau} S_{\tau} \tau dt + \left(-\lambda \cdot S \cdot \frac{d\tau}{dx} \right)$$

- Khi tính toán dài hạn $\tau_{\text{đd}} = \text{const} \Rightarrow I^2 R dt = K_{\tau} S_{\tau} \tau dt$

- Ở chế độ ngắn hạn, đồng nhất $I^2 R dt = G C d\tau$
- Ở chế độ không đồng nhất $I^2 R dt = G C d\tau + \left(-\lambda S \frac{d\tau}{dx} dt \right)$
- Tính toán xác lập: dài hạn, ngắn hạn, ngắn hạn lặp lại

§10.4 Lực điện động

1. Phương pháp tính cân bằng năng lượng

+ Cân bằng năng lượng

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

+ Bioxava-laplace

$$\vec{dG} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \vec{i}_1 \cdot \frac{d\vec{l}_1 \wedge \vec{r}_0}{r^2}$$

$$\vec{dF} = \vec{i}_2 \cdot d\vec{l}_2 \wedge \vec{B}$$

ở I_{dm} thì F_{dd} không lớn \rightarrow hệ thống dẫn điện chịu được

I_{nm} : đảm bảo độ bền cơ khí cho hệ thống dẫn điện, đảm bảo điện trở tiếp xúc giới hạn cho tiếp điểm

§10.5 Hồ quang điện

1. - $R_{\text{hồ quang}}$ thuần trở, phi tuyến dùng công thức thực nghiệm

- Lý thuyết : + Đặc điểm hồ quang điện

+ quá trình phát sinh và dập tắt hồ quang phát sinh (ion hóa):

ion hóa do va chạm, ion hóa do nhiệt, phát xạ ngược (e) ở K, phát xạ e ở K do nhiệt độ

+ Dập tắt (phản ion hóa) : khuếch tán, tái hợp

- Hồ quang điện 1 chiều, xoay chiều

2. Máy cắt điện áp cao 1 chiều – 100KV

$$I_{dm} = 2KA, I_{ngdm} = 10KA$$

a) Khái quát

b) Các phương pháp cắt:

- Các phương pháp cắt U_{ng}

- Các phương pháp biến thiên dòng điện

- Các phương pháp bơm 1 dòng điện ngược

Chương 11: Những vấn đề liên quan đến thế và vận hành máy ngắt

§11.1 Nguyên lý đóng cắt máy ngắt

- Không tải định mức: làm việc bình thường theo ý muốn người vận hành

- Sự cố quá tải ngắn mạch, quá áp khác tần số : tự động cắt nhờ rơ le bảo vệ và nam châm đóng ngắt

1. Hệ thống tiếp điểm

- Dùng môi trường đặc biệt dập hồ quang: dầu, khí nén, SF₆, chân không, tự sinh khí, áp suất khí quyển

2. Bộ truyền động

- Tạo lực đóng cắt: lò xo, điện cơ, điện từ, khí nén thủy lực (ít dùng)

- Truyền động: truyền lực từ nguồn lực → chấp hành

- Cơ cấu giả phóng năng lượng: truyền động chính xác, nối với nam châm điện đóng cắt

§11.2 Đóng cắt đồng bộ và kiểm tra tình trạng máy ngắt

- Nhìn chung quá trình đóng cắt là ngẫu nhiên → điều kiện dập hồ quang rất khó khăn → thường thực hiện đóng cắt tổ hợp → đạt điều kiện tốt nhất

- Đóng cắt đồng bộ

a) Bộ truyền động cơ khí

b) Độ bền điện khoảng 2 tiếp điểm

SF₆: 10÷25KV/mm

Chân không: 20÷30 KV/mm

c) Cắt không tải có điện dung kí sinh

d) Cắt tải cảm: điện kháng, máy biến áp

e) Cắt dòng ngắn mạch

Hạn chế thời gian cháy của hồ quang

2. Kiểm tra máy cắt

