

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN
BỘ MÔN: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP

MÁY ĐIỆN II

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ
MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU
MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU CÓ VÀNH GÓP

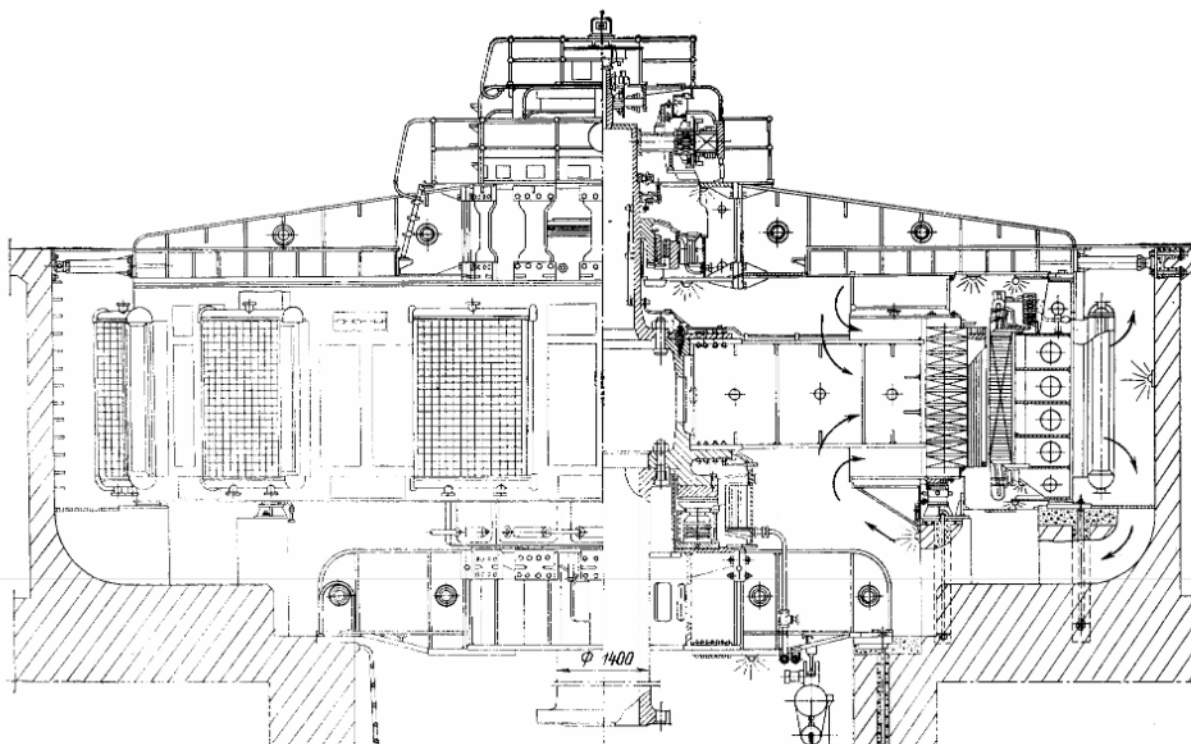


Fig. 62-12. Hydro-alternateur de 150 MW, 15,75 kV, 100tr/min du type parapluie.

Phần thứ tư

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Chương 1. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Hầu hết các nguồn điện xoay chiều công nghiệp và dân dụng đều được sản xuất từ máy phát điện đồng bộ.
- Động cơ đồng bộ được dùng trong các tải lớn và có thể phát ra công suất phản kháng
- Máy bù đồng bộ để nâng cao hệ số công suất

1.1 Phân loại và kết cấu m.đ.đ.b

1. Phân loại

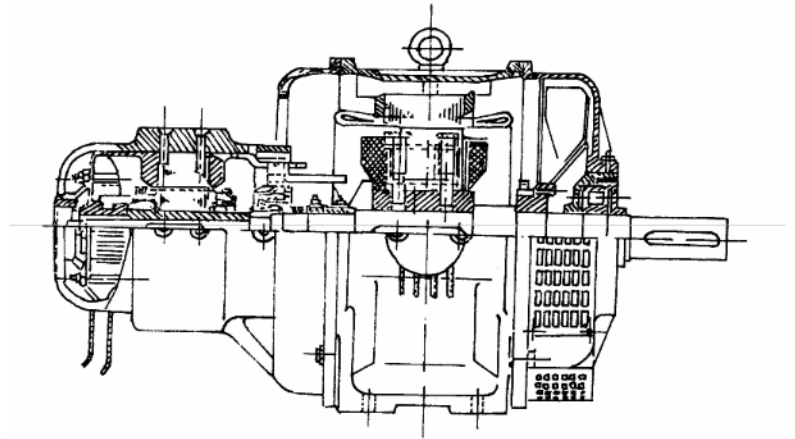
Theo kết cấu cực từ: Máy cực ẩn ($2p = 2$); Máy cực lộ ($2p \geq 4$)

Dựa theo chức năng: Máy phát (Tuabin nước; tuabin hơi; diesel);

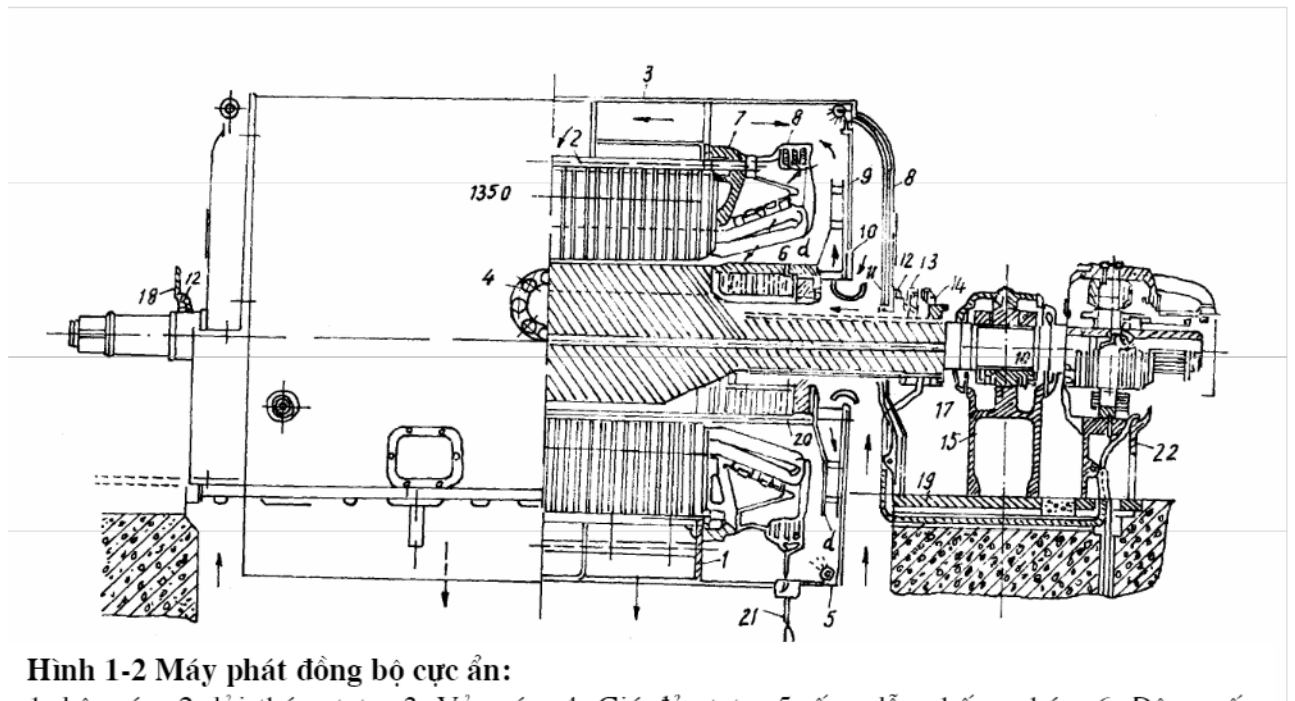
Động cơ ($P \geq 200 \text{ KW}$); máy bù đồng bộ

2. Kết cấu.

Hình 1-1 mô tả máy phát đồng bộ cực lộ công suất vừa và hình 1-2 là máy phát tuabin hơi (máy cực ẩn).



Hình 1-1. Máy phát điện đồng bộ cực lộ



Hình 1-2 Máy phát đồng bộ cực ẩn:

1. bộ máy; 2. lõi thép stato; 3. Vỏ máy; 4. Giá đỡ stato; 5. ống dẫn chống cháy; 6. Dây quấn stato; 7. Vành ép stato; 8. Lá chắn ngoài; 9. Lá chắn trong; 10. Lá chắn thông gió; 11. Che lá chắn; 12. Cán chổi; 13. Tay giữ chổi; 14. Chổi; 15. ổ trục; 16. Miếng lót; 17. ống phun dầu; 18. Giá đỡ ống phun; 19. Tấm mỏng; 20. Rôto; 21. Cực; 22. Máy kích thích

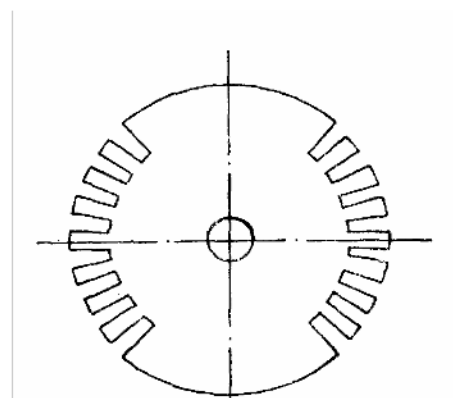
Kết cấu của stato của máy điện đồng bộ hoàn toàn giống như stato của m.đ.k.đ.b, nên ở đây chỉ giới thiệu phần kết cấu của rôto.

a) Kết cấu máy đồng bộ cực ẩn

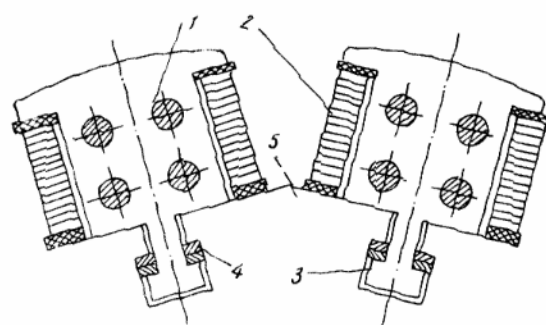
Rô to máy đồng bộ cực ẩn được làm bằng thép hợp kim, gia công thành hình trụ và phay rãnh để bố trí dây quấn kích thích. Phần không phay rãnh tạo nên mặt cực của máy. Mặt cắt ngang của lõi thép rôto như hình 1-3.

Vì máy cực ẩn có $2p = 2$, ($n = 3000$ vg/ph) nên để hạn chế lực ly tâm $D \leq 1,1 - 1,15$ m, để tăng công suất ta tăng chiều dài rôto l đến 6,5m.

Dây quấn kích thích thường là dây đồng trần tiết diện hình chữ nhật, quấn theo chiều dẹt thành từng bối, giữa các vòng dây có một lớp cách điện bằng mica mỏng. Các bối dây được ép chặt trong các rãnh rôto sau đó miệng rãnh được kín bằng thanh thép không từ tính. Hai đầu ra của dây quấn kích thích được nối với 2 vành trượt trên trục. Máy phát kích thích thường được nối cùn trực với rôto.



Hình 1-3 Mặt cắt ngang lõi thép



Hình 1-4. Cực từ của máy đồng bộ cực lồi
1. Lá thép cực từ; 2. Dây quấn kích thích;
3. Đuôi cực từ; 4. Nêm; 5. Lõi thép rôto

b) Kết cấu máy cực lồi.

Máy cực lồi thường quay với tốc độ thấp nên đường kính rôto có thể lớn tới 15m, trong khi chiều dài lại bé. Thường $l/D = 0,15 - 0,2$.

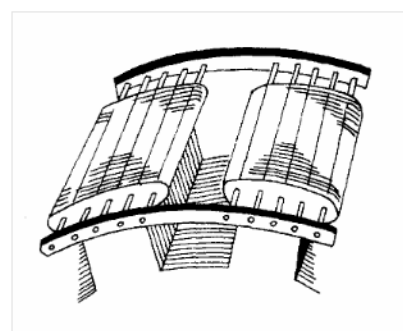
Với các máy nhỏ và vừa rôto được làm bằng thép đúc, gia công thành khối lăng trụ trên có các cực từ, hình 1-4.

Với các máy công suất lớn rôto được ghép từ các lá thép dày từ 1-6 mm, dập định hình và ghép trên giá đỡ rôto. Cực từ đặt trên rôto ghép bằng các lá thép dày từ 1-1,5 mm.

Dây quấn kích thích được quấn định hình và lồng vào thân cực từ, hình 1.4

Trên bề mặt cực từ có một bộ dây quấn ngắn mạch, như dây quấn lồng sóc của m.đ.k.đ.b. Với máy phát điện đây là dây quấn còn với động cơ là dây quấn mở máy, như hình 1.5

Dây quấn mở máy có điện trở lớn hơn dây quấn cản.



Hình 1-5. Dây quấn cản hoặc dây quấn mở máy

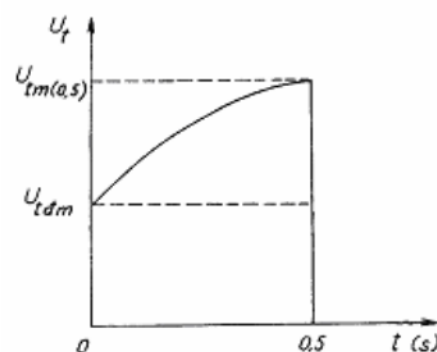
1.2 Hệ thống kích từ.

1. Yêu cầu đối với hệ kích từ.

- Khi làm việc bình thường có khả năng điều chỉnh được dòng điện kích từ $I_t = U_t/r_t$ để duy trì điện áp định mức.

- Có khả năng cường bức dòng kích từ tăng nhanh khi điện áp lưới giảm thấp do có ngắn mạch ở xa. Thường trong khoảng 0,5 giây phải đạt $\frac{U_{tm(0,5)} - U_{tâm}}{U_{tâm}} \approx 2$, như hình 1-6.

- Triệt từ kích thích khi có sự cố bằng điện trở triệt từ R_T



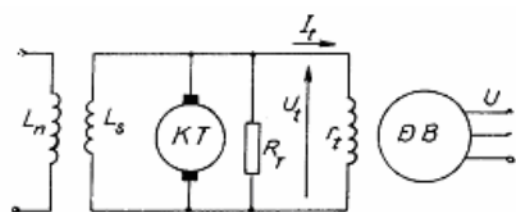
Hình 1-6. Cường bức kích thích

2. Các hệ thống kích từ của máy điện đồng bộ.

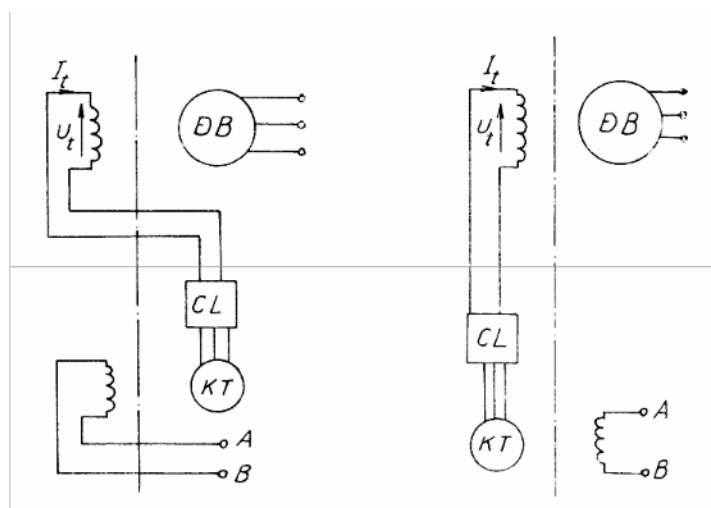
a) Kích từ bằng máy phát điện một chiều gắn cùng trục với máy đồng bộ. Máy phát điện 1 chiều kích thích thường có 2 cuộn dây kích thích: 1 cuộn song song L_s dùng để tự kích thích và 1 cuộn độc lập L_n , hình 1.7.

b) Kích từ bằng máy phát kích từ xoay chiều có chỉnh lưu, hình 1.8a là máy kích từ có phần cảm quay và phần ứng tĩnh và hình 1-8b là máy phát kích từ có phần cảm tĩnh và phần ứng quay

c) Hệ thống tự kích thích hỗn hợp, hình 1-9, theo sơ đồ này điện áp và dòng điện kích từ sẽ tỷ lệ với U_T và I_T của biến điện áp TU và biến dòng điện TI .

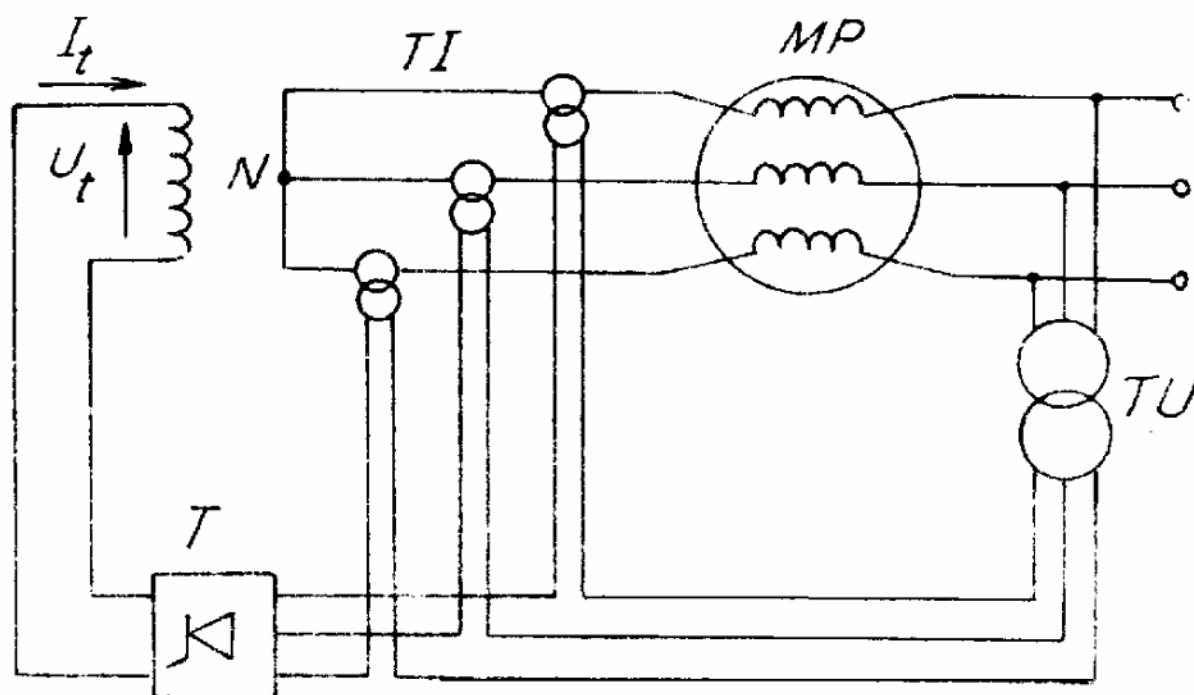


Hình 1-7 Kích từ bằng máy phát kích từ một chiều



Phân quay Phần tĩnh Phần quay Phần tĩnh

Hình 1-8 Máy kích từ xoay chiều có chỉnh lưu



Hình 1-9 Hệ thống tự kích thích hỗn hợp của máy điện đồng bộ

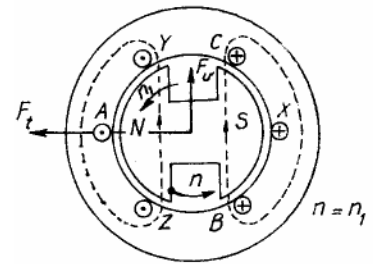
1.3 Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện đồng bộ

Khi ta đưa dòng điện kích thích một chiều i_t vào dây quấn kích thích đặt trên cực từ, dòng điện i_t sẽ tạo nên một từ thông Φ_t . Nếu ta quay rôto lên đến tốc độ n (vg/ph), thì từ trường kích thích Φ_t sẽ quét qua dây quấn phần ứng và cảm ứng nên trong dây quấn đó S.Đ.Đ và dòng điện phần ứng biến thiên với tần số $f_1 = p.n/60$. Trong đó p là số đôi cực của máy.

Với máy điện đồng bộ 3 pha, dây quấn phần ứng nối sao (Y) hoặc nối tam giác (Δ) như hình 1.10.

Khi máy làm việc dòng điện phần ứng I_u chạy trong dây quấn 3 pha sẽ tạo nên một từ trường quay (đã biết ở phần 2 MĐ). Từ trường này quay với tốc độ đồng bộ $n_1 = 60.f_1/p$.

Như vậy ở máy điện đồng bộ ta thấy: $n = n_1$ chính vì vậy mà ta gọi nó là máy điện đồng bộ.



Hình 1-10 Nguyên lý LVCB

1.4 Các trị số định mức.

Kiểu máy; số pha; tần số (Hz); công suất định mức (kW hay KVA); điện áp dây (v); Sơ đồ đấu dây stato; Các dòng điện stato và rôto; Hệ số công suất; Tốc độ quay (vg/ph); Cấp cách điện.

Chương 2.

TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

2.1 Đại cương.

Từ trường trong m.đ.đ.b bao gồm: Từ trường cực từ F_t do dòng điện kích thích i_t và từ trường phản ứng F_u dòng điện phản ứng I_u tạo nên.

Khi không tải ($I = 0$), trong máy chỉ có từ trường F_t . Nếu roto quay F_t quét qua dây quấn stato và cảm ứng nên trong đó S.đ.đ không tải E_0 .

Khi có tải ($I \neq 0$), trong máy ngoài F_t còn có F_u . Với máy 3 pha F_u là từ trường quay, từ trường này bao gồm từ trường cơ bản và từ trường bậc cao. Trong đó từ trường cơ bản là quan trọng nhất.

Tác dụng của từ trường phản ứng F_u lên từ trường cực từ F_t gọi là phản ứng phần ứng.

Khi mạch từ không bão hoà ta xét riêng F_t và F_u rồi xếp chồng để được F_δ .

Trong chương này ta cũng xác định các điện kháng do các từ trường trên sinh ra.

2.2 Từ trường của dây quấn kích thích (F_t).

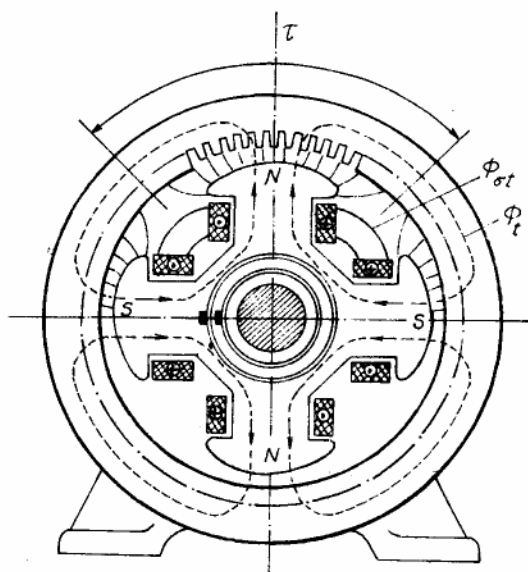
1. Máy cực lồi.

Sức từ động của một cực từ:

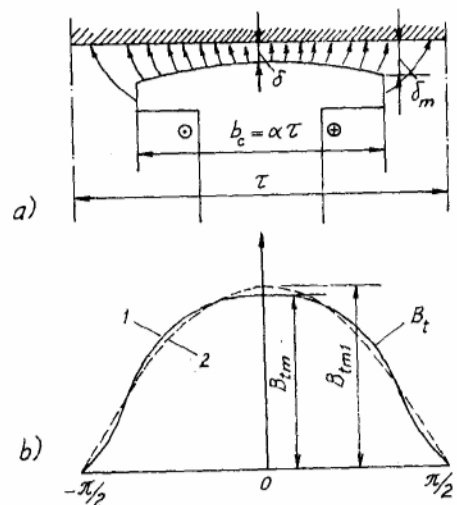
$$F_t = \frac{w_t i_t}{2p} \quad 2-1$$

Từ thông do F_t sinh ra khi $p = 2$ như hình 2.1. Trong đó: ϕ_t là từ thông chính, nó đi qua khe hở không khí và móc vòng với dây quấn Stato; $\phi_{\sigma t}$ là từ thông tản của cực từ.

Sự phân bố của từ trường và từ cảm trong khe hở như hình 2.1 và 2.2.



Hình 2.1 Sự phân bố của từ trường kích thích



Hình 2.2 Phân bố của từ cảm trong khe hở

Trên hình 2.2 sự khác nhau giữa từ cảm cơ bản và từ cảm kích từ B_t được biểu thị qua hệ số dạng sóng.

$$k_t = \frac{B_{tml}}{B_{tm}} \quad (2-2)$$

Trong đó: B_{tml} là biên độ của sóng từ cảm cơ bản; B_{tm} là trị số cực đại của từ cảm

$k_t \in \delta_m / \delta$; $\alpha = b_c / \tau$. Thường $\delta_m / \delta = 1-2,5$; $\alpha = 0,67-0,75$ và $k_t = 0,95-1,15$

Từ 2.2 ta có:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = \frac{\mu_0 F_t}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot k_t = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{w_t \cdot i_t}{2p} \cdot k_t \quad (2-3)$$

k_δ là hệ số khe hở; $k_{\mu d}$ là hệ số bão hoà dọc trục cực từ.

Từ thông ứng với sóng cơ bản

$$\phi_{t1} = \frac{2}{\pi} B_{tm1} \cdot \tau \cdot l_\delta = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{\tau \cdot l_\delta}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{w_t \cdot i_t}{p} k_t \quad (2-4)$$

Từ thông móc vòng $\Psi_{tud} = w \cdot k_{dq} \cdot \Phi_{t1} \cdot \cos \omega t$ và sức điện động hở cảm trong dây quấn stato

$$e_0 = - \frac{d\Psi_{tud}}{dt} = \omega \cdot w \cdot k_{dq} \cdot \Phi_{t1} \sin \omega t = E_{0m} \sin \omega t$$

Khi rô to quay với tốc độ góc $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ thì từ thông móc vòng với dây quấn phần ứng sẽ là: $\psi_{tud} = W \cdot k_{dq} \cdot \phi_{t1} \cdot \cos \omega t$

Sức điện động hở cảm trong dây quấn sẽ là:

$$e_0 = - \frac{d\Psi_{tud}}{dt} = \omega \cdot W \cdot k_{dq} \cdot \phi_{t1} \cdot \sin \omega t = E_{0m} \cdot \sin \omega t$$

$$\text{Trong đó: } E_{0m} = \omega \cdot W \cdot k_{dq} \cdot \frac{\mu_0 \tau \cdot l_\delta}{\pi k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t \cdot k_t}{p} \cdot i_t = \omega \cdot M_{ud} \cdot i_t = x_{ud} \cdot i_t \quad 2-5$$

Vậy hệ số hở cảm của dq kích thích và dq phản ứng là

$$M_{ud} = \frac{\mu_0 \tau \cdot l_\delta}{\pi k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t \cdot k_t}{p} \quad 2-6$$

$$\text{và điện kháng hở cảm } x_{ud} = \omega \cdot M_{ud} \quad 2-7$$

Hệ số tự cảm của dây quấn kích thích.

$$L_t = L_{t\delta} + L_{\sigma t} \quad 2-8$$

Với: $L_{\sigma t}$ là hệ số tự cảm do từ trường tản gây ra (tra tài liệu TK); $L_{t\delta}$ là hệ số tự cảm do từ trường khe hở $\phi_{t\delta}$ gây ra.

Nếu gọi k_ϕ là tỷ số giữa diện tích giới hạn bởi đường 1 và đường 2 hình 2.2 thì.

$$\phi_{t\delta} = k_\phi \cdot \phi_{t1} \Rightarrow L_{t\delta} = \frac{W_t \cdot \phi_{t\delta}}{i_t} = \frac{\mu_0 \tau \cdot l_\delta}{\pi k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t^2}{p} \cdot k_t \cdot k_\phi \quad 2-9$$

2. Máy cực ẩn.

Hình 2.3 biểu diễn sự phân bố của từ cảm cực từ và sóng cơ bản. Lấy trục cực từ làm gốc ta tính được.

$$B_{tm1} = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} B_t \cos \alpha d\alpha = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}} B_{tm} \cos \alpha d\alpha + \frac{4}{\pi} \cdot \int_{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{2}{\gamma \cdot \pi} B_{tm} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{4 \sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\pi \frac{\gamma\pi}{2}} B_{tm}$$

Vậy với máy cực ẩn:

$$k_t = \frac{B_{tm1}}{B_{tm}} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\frac{\gamma\pi}{2}} \quad 2-10$$

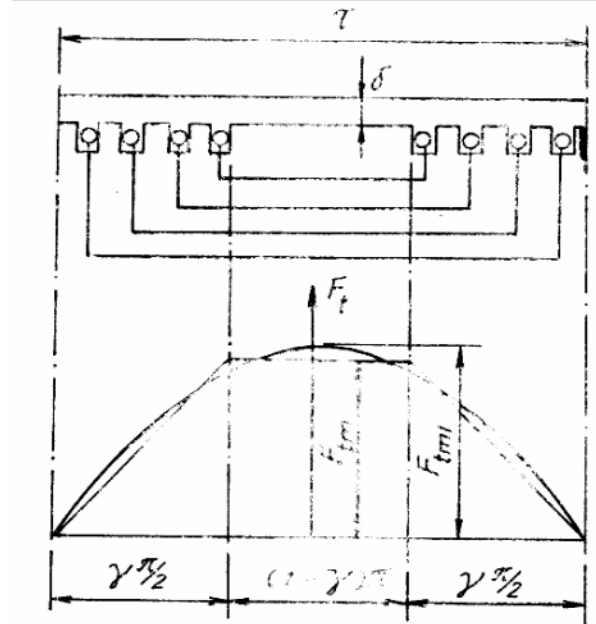
Thường $\gamma = 0,6 - 0,85$, nên $k_t = 1,065 - 0,965$.

$$\text{Hệ số hình dáng } k_\phi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1 - \frac{2}{3} \cdot \gamma}{k_t} \quad 2-11$$

Hệ số hở cảm và tự cảm của máy cực ẩn cũng được xác định theo biểu thức 2.6 và 2.9.

2.3 Từ trường phản ứng.

Khi máy điện đồng bộ làm việc từ trường do dòng điện I_u chạy trong dây quấn Stato sinh ra gọi là từ trường phản ứng F_u . Tác dụng của F_u lên F_t gọi là phản ứng phản ứng. *Tuỳ thuộc vào tính chất của tải và dạng cực từ mà phản ứng phản ứng có các dạng khác nhau.*



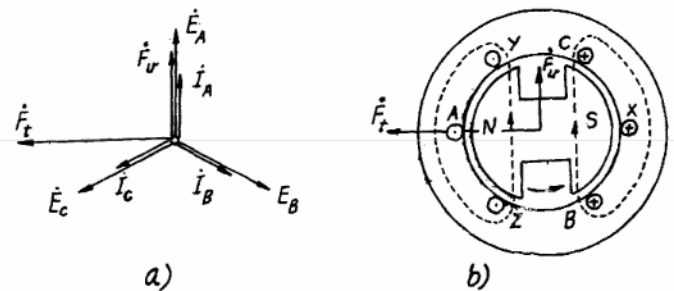
Hình 2.3 Sự phân bố của từ cảm cực từ

1. Phản ứng phản ứng ngang trục và dọc trục

Xét một máy đồng bộ 3 pha ($m = 3$), $2p = 2$, mỗi pha được tượng trưng bằng một vòng dây, thời điểm xét $\dot{I}_A = I_m$; $\dot{I}_B = \dot{I}_C = -I_m/2$

a/ Khi tải thuần trở.

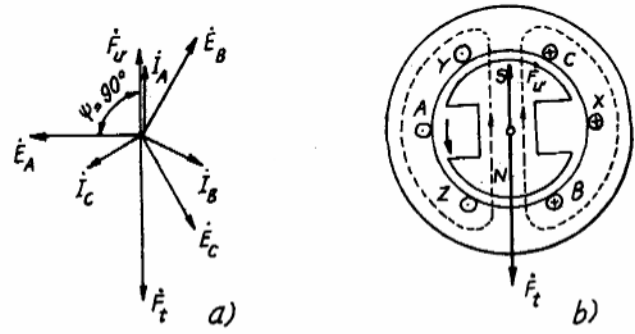
Khi tải đối xứng và thuần trở, $\dot{I}$ và $\dot{E}$ trùng pha nhau ($\psi = 0$). Tại thời điểm xét $\dot{I}_A = I_m$ nên $F_u \equiv \dot{I}_A \equiv \dot{E}_A$ còn s.t.đ $\dot{F}_A$ sinh ra $e_A = \dot{E}_{Am}$ sẽ vượt pha trước $\dot{E}_A$ một góc $\pi/2$. Như vậy trong trường hợp này $\dot{F}_{uu} \perp \dot{F}_t$, **phản ứng phản ứng là ngang trục**. Đồ thị véc tơ thời gian $\dot{I}$, $\dot{E}$ và không gian $\dot{F}_u$, $\dot{F}_t$ như hình 2.4



Hình 2.4 Phản ứng phản ứng khi tải thuần trở

b/ Khi tải thuần cảm.

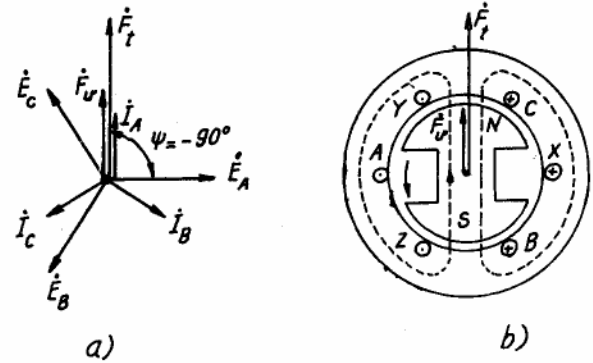
$\dot{E}_A$ vượt pha trước $\dot{I}_A$ một góc $\pi/2$ và $\dot{F}_t$ vượt pha trước $\dot{E}_A$ một góc $\pi/2$, nên $\dot{F}_u$ và $\dot{F}_t$ trùng phương nhưng ngược chiều, **phản ứng phần ứng là dọc trục khử từ**. Đồ thị véc tơ thời gian $\dot{I}$, $\dot{E}$ và không gian $\dot{F}_u$, $\dot{F}_t$ như hình 2.5



Hình 2.5 Phản ứng phần ứng khi tải thuần cảm

c/ Khi tải thuần dung.

$\dot{E}_A$ chậm pha so với $\dot{I}_A$ một góc $\pi/2$ và $\dot{F}_t$ vượt pha trước $\dot{E}_A$ một góc $\pi/2$, nên $\dot{F}_u$ và $\dot{F}_t$ trùng phương, chiều với nhau nên, **phản ứng phần ứng là dọc trục khử từ**. Đồ thị véc tơ thời gian $\dot{I}$, $\dot{E}$ và không gian $\dot{F}_u$, $\dot{F}_t$ như hình 2.6



Hình 2.6 Phản ứng phần ứng khi tải thuần dung

d/ Khi tải hỗn hợp.

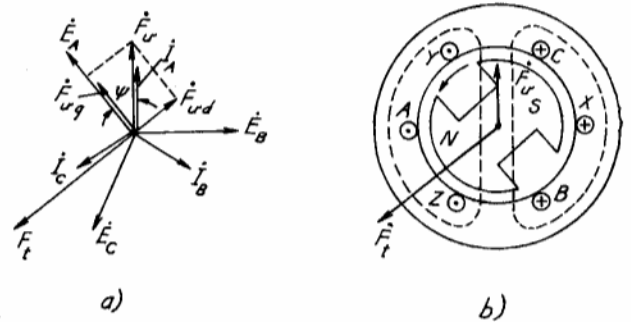
$\dot{E}_A$ lệch so với $\dot{I}_A$ một góc ψ , ta phân $\dot{F}_u$ thành 2 thành phần:

$$F_{ud} = F_u \sin \psi - \text{dọc trục}$$

$$F_{uq} = F_u \cos \psi - \text{ngang trục}$$

Vậy khi $0 < \psi < \pi/2$, **phản ứng phần ứng là ngang trục và khử từ**

Vậy khi $-\pi/2 < \psi < 0$, **phản ứng phần ứng là ngang trục và trợ từ**



Hình 2.7 Phản ứng phần ứng khi tải có tính

2. Từ cảm do từ trường phần ứng và các điện kháng tương ứng.

a/ Máy đồng bộ cực ẩn.

Với máy đồng bộ cực ẩn δ đều, nếu mạch từ không bão hoà thì từ trở là hằng số, như vậy nếu F_u là sin thì B_u cũng sin.

$$B_{um} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \cdot F_u = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} \cdot I \quad 2-12$$

$$\text{và} \quad \phi_u = \frac{2}{\pi} \cdot B_{um} \cdot \tau \cdot l_\delta = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \tau \cdot l_\delta}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} \cdot I \quad 2-13$$

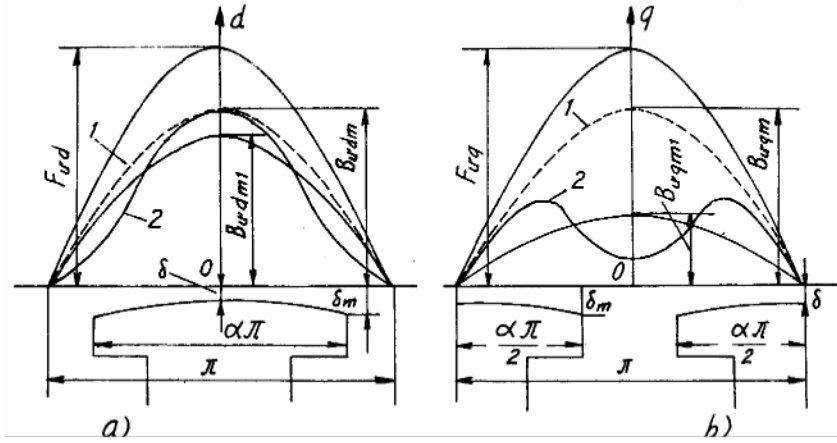
Sức điện động phần ứng do từ thông ϕ_u cảm ứng nên có trị số:

$$E_u = \frac{\omega}{2} W \cdot k_{dq} \cdot \phi_u = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot W \cdot k_{dq} \cdot \phi_u \quad \text{và} \quad x_u = \frac{E_u}{I_u} = 4 \cdot m \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau \cdot l_\delta}{\pi \cdot k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \frac{W^2 \cdot k_{dq}^2}{p} \quad 2-14$$

Thường $x_u = 1,1 - 2,3$

b/ Máy đồng bộ cực lỗi.

Máy đồng bộ cực lỗi δ dọc trục và ngang trục không giống nhau, nên mặc dầu s.t.đ là sin nhưng từ cảm sẽ không sin. Sự không sin của B_u còn phụ thuộc vào tính chất của tải. Để thuận lợi ta phân F_u ứng với một tải bất kỳ thành hai thành phần dọc trục và ngang trục như hình 2.8



Hình 2.8 Sự phân bố của s.t.đ và từ cảm dọc trục và ngang trục

Ta có:

$$F_{ud} = F_u \cdot \sin \psi = \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} I \cdot \sin \psi = \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} I_d \quad 2-15$$

$$F_{uq} = F_u \cdot \cos \psi = \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} I \cdot \cos \psi = \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} I_q \quad 2-16$$

và từ cảm tương ứng.

$$B_{udm} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} F_{ud} \quad \text{và} \quad B_{uqm} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu q} \cdot \delta} F_{uq} \quad 2-17$$

Thực tế B_{ud} và B_{uq} phân bố không sin, phân tích thành sóng cơ bản và sóng bậc cao. Với các sóng cơ bản ta có hệ số dạng sóng:

$$k_{ud} = \frac{B_{udm1}}{B_{udm}} \quad \text{và} \quad k_{uq} = \frac{B_{uqm1}}{B_{uqm}} \quad 2-18$$

Các hệ số k_{ud} và k_{uq} phụ thuộc vào α , δ_m/δ , δ/τ được tính sẵn trong tài liệu thiết kế. Các điện kháng tương ứng xác định như máy cực ản:

$$x_{ud} = \frac{E_{ud}}{I_d} = 4 \cdot m \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau \cdot I_\delta}{\pi \cdot k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \frac{W^2 \cdot k_{dq}^2}{p} k_{ud} \quad 2-19$$

$$x_{uq} = \frac{E_{uq}}{I_q} = 4 \cdot m \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau \cdot I_\delta}{\pi \cdot k_\delta \cdot k_{\mu q} \cdot \delta} \frac{W^2 \cdot k_{dq}^2}{p} k_{uq} \quad 2-20$$

Thường: $x_{ud} = 0,5 - 1,5$; $x_{uq} = 0,3 - 0,9$