

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

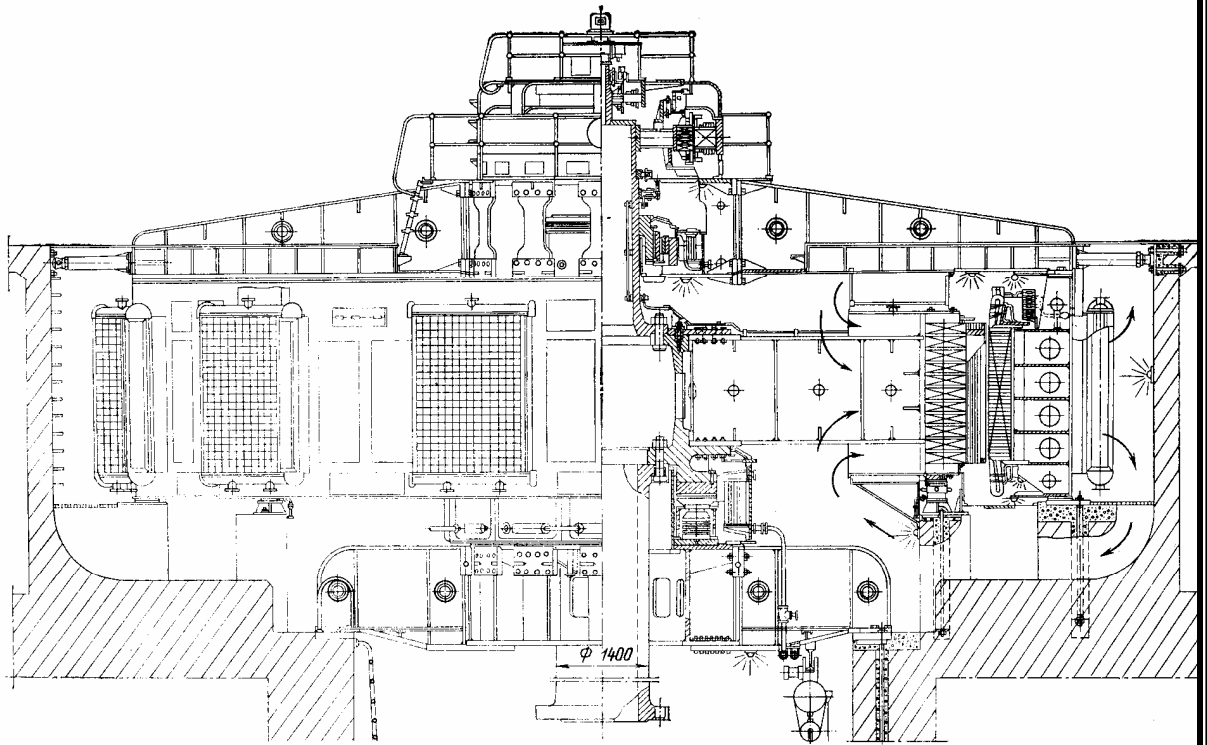


Fig. 62-12. Hydro-alternateur de 150 MW, 15,75 kV, 100tr/mn du type parasol.

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 ỏn

($2p = 2$); Máy cực lỏn ($2p \geq 4$)

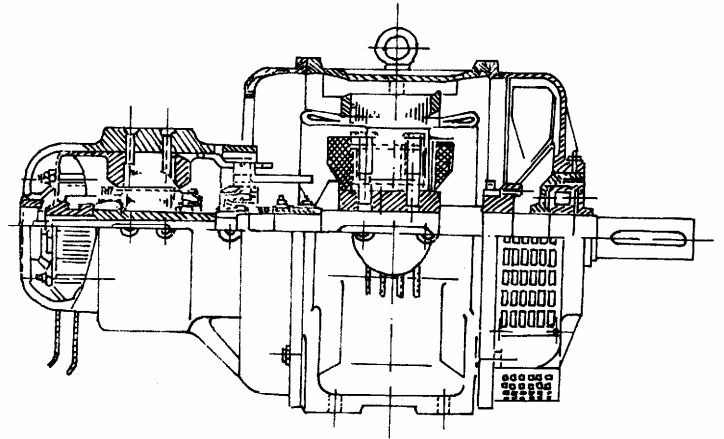
Dựa theo chức năng: Máy phát

(Tuabin nước; tuabin hơi; điêzen);

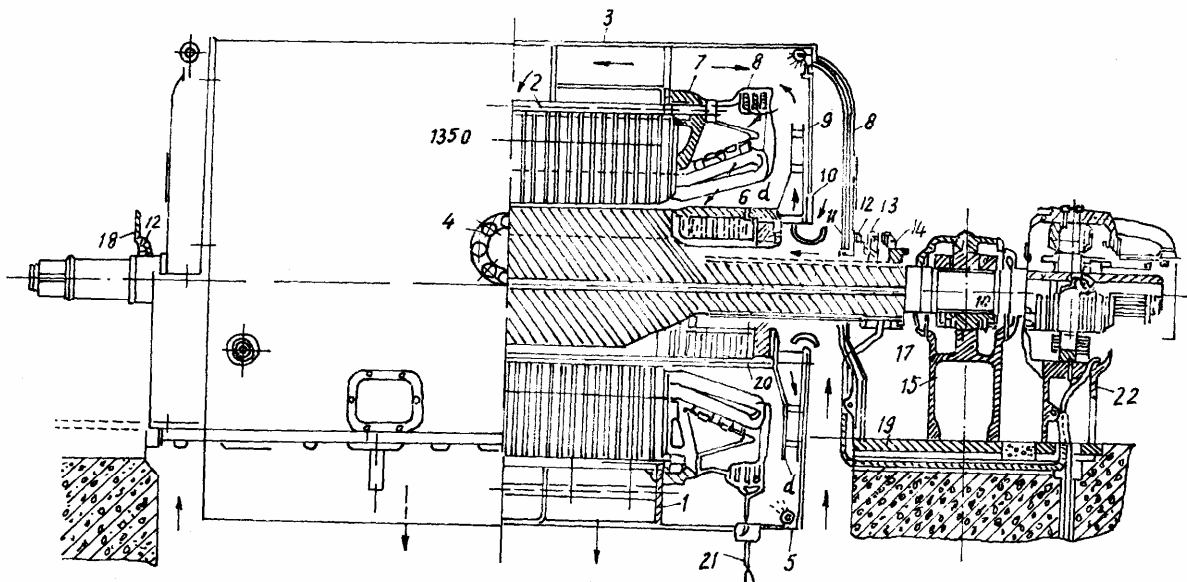
Động cơ ($P \geq 200$ KW); máy bù đồng bộ

2. Kết cấu.

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



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



Hình 1-2 Máy phát đồng bộ cực ỏn:

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 chỏn; 13. Tay giữ chỏn; 14. Chỏn; 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

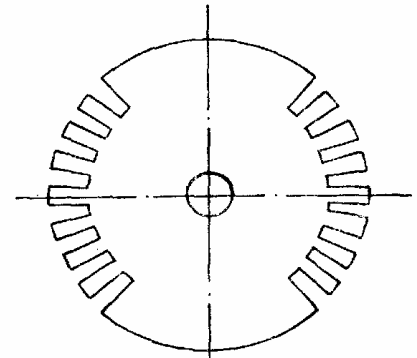
Kết cấu của stato của máy điện đồng bộ hoàn toàn giống như stato của m.đ.k.đ.b, nên ở đây chỉ giới thiệu phần kết cấu của rôto.

a) Kết cấu máy đồng bộ cực ần

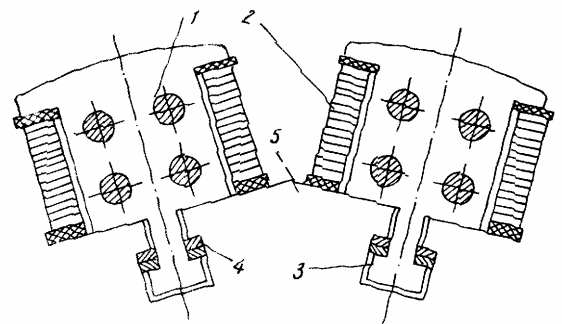
Rô to máy đồng bộ cực ần được làm bằng thép hợp kim, gia công thành hình trụ và phay rãnh để bố trí dây quấn kích thích. Phần không phay rãnh tạo nên mặt cực của máy. Mặt cắt ngang của lõi thép rôto như hình 1-3.

Vì máy cực ần 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 gắn 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 ần
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 ần.

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

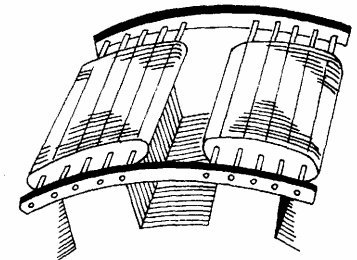
Với các máy nhỏ và vừa rôto được làm bằng thép đúc, gia công thành khối lăng trụ trên có các cực từ, hình 1-4.

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.

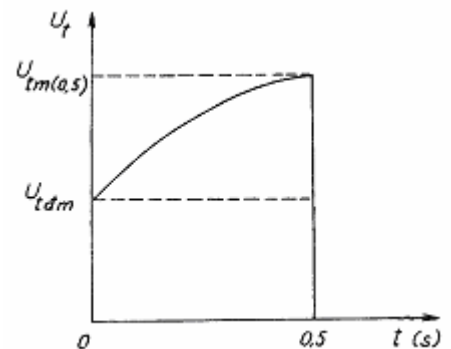
1. Yêu cầu đối với hệ kích từ.

- 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 cưỡng 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

đạt $\frac{U_{tm(0,5)} - U_{tdm}}{U_{tdm}} \approx 2$, 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

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

Khi ta đưa dòng điện kích thích một chiều i_f vào dây quấn kích thích đặt trên cực từ, dòng điện i_f sẽ tạo nên một từ thông Φ_f . Nếu ta quay rôto lên đến tốc độ n (vg/ph), thì từ trường kích thích Φ_f 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.

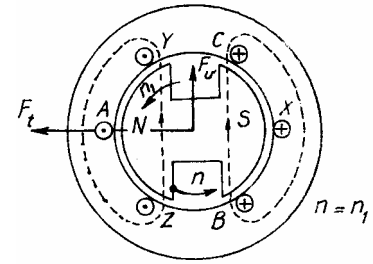
Với máy điện đồng bộ 3 pha, dây quấn phần ứng nối sao (Y) hoặc nối tam giác (Δ) như hình 1.10.

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.

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.



Hình 1-10 Nguyên lý LVCB

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 hòa 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).

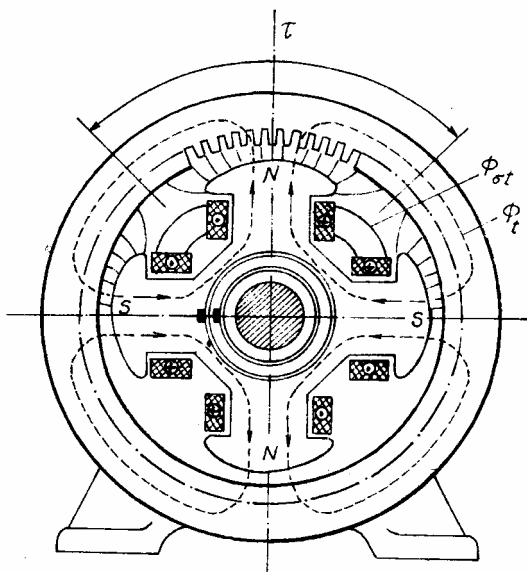
1. Máy cực lồi.

Sức từ động của một cực từ:

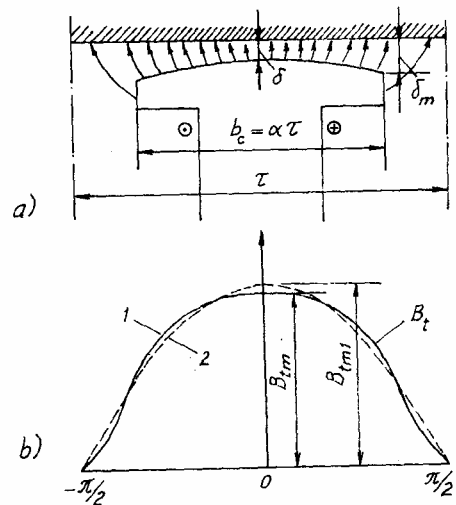
$$F_t = \frac{w_t i_t}{2p} \quad 2-1$$

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.

$$k_t = \frac{B_{tm1}}{B_{tm}} \quad (2-2)$$

Trong đó: B_{tm1} 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:

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

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:

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

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

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

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

và điện kháng hở cảm $x_{ud} = \omega \cdot M_{ud}$ 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.

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

Vậy với máy cực ẩn:

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

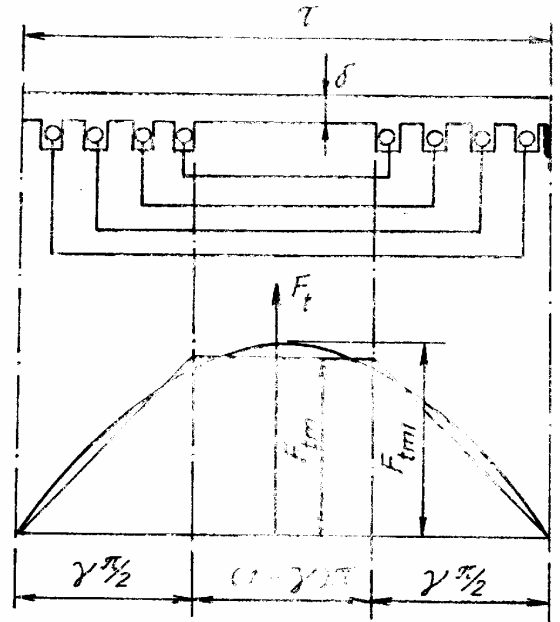
Thường $\gamma = 0,6 - 0,85$, nên $k_t = 1,065 - 0,965$.

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

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. *Tùy thuộc vào tính chất của tải và dạng cực từ mà phản ứng phản ứng có các dạng khác nhau.*



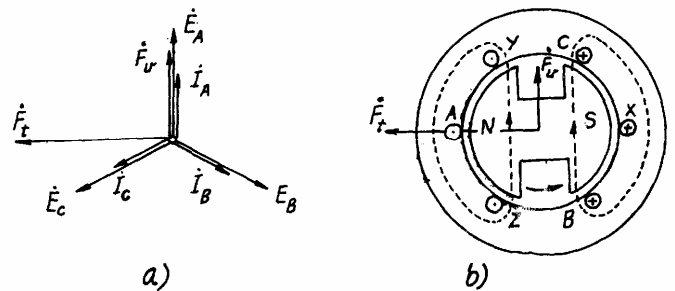
Hình 2.3 Sự phân bố của từ cảm cực từ

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 $i_A = I_m$; $i_B = i_C = -I_m/2$

a/ Khi tải thuần trở.

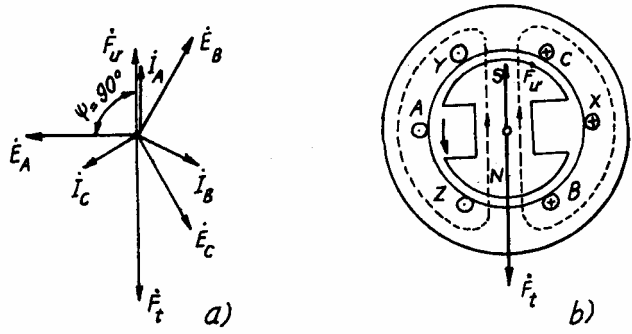
Khi tải đối xứng và thuần trở, i và \dot{E} trùng pha nhau ($\psi = 0$). Tại thời điểm xét $i_A = I_m$ nên $F_u \equiv \dot{i}_A \equiv \dot{E}_A$ còn s.t.đ \dot{F}_A sinh ra $e_A = \dot{E}_{Am}$ sẽ vượt pha trước \dot{E}_A một góc $\pi/2$. Như vậy trong trường hợp này $\dot{F}_{uA} \perp \dot{F}_t$, **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.

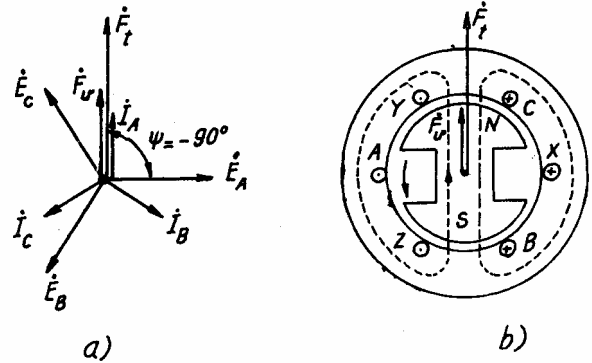
\dot{E}_A vượt pha trước \dot{I}_A một góc $\pi/2$ và \dot{F}_t vượt pha trước \dot{E}_A một góc $\pi/2$, nên \dot{F}_u và \dot{F}_t trùng phương nhưng ngược chiều, **phản ứng phần ứng là dọc trục khử từ**. Đồ thị véc tơ thời gian \dot{I} , \dot{E} và không gian \dot{F}_u , \dot{F}_t như hình 2.5



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.

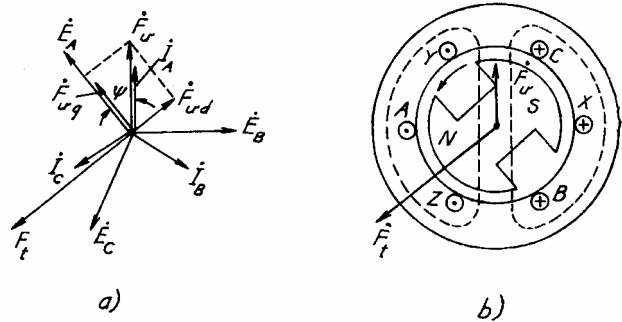
\dot{E}_A lệch so với \dot{I}_A một góc ψ , ta phân \dot{F}_t thành 2 thành phần:

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

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

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 hòa thì từ trở là hằng số, như vậy nếu F_u là sin thì B_u cũng sin.

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

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

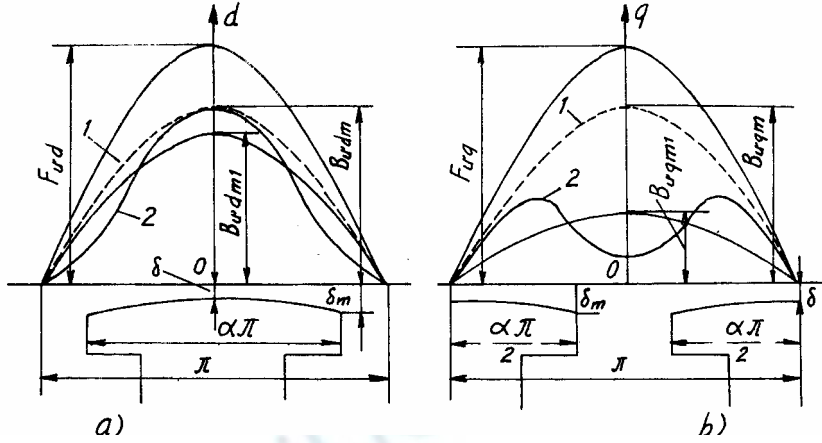
Sức điện động phần ứng do từ thông ϕ_u cảm ứng nên có trị số:

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

Thường $x_u = 1,1 - 2,3$

b/ Máy đồng bộ cực lồi.

Máy đồng bộ cực lồi 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_{ur} còn phụ thuộc vào tính chất của tải. Để thuận lợi ta phân F_{ur} 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:

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

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

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 ẩn:

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

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

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

2.4 Quy đổi các S.T.Đ trong máy điện đồng bộ

Chế độ làm việc xác lập, tải đối xứng tác dụng của F_u lên F_t là trợ từ hoặc khử từ. Để đánh giá được mức độ ảnh hưởng đó ta phải quy đổi F_u về F_t và như vậy khi xét các đặc tính làm việc của máy ta có thể biểu thị chúng trên cùng một hệ trục toạ độ và đường cong không tải $E = f(i_t)$.

Chế độ quá độ ta phải quy đổi ngược lại F_t về F_u .

Việc quy đổi phải đảm bảo điều kiện:

$$B_{tm1} = B_{um1} \quad 2-21$$

Chế độ xác lập, máy cực ẩn ta có:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = k_t \cdot \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \cdot F_t \quad \text{và} \quad B_{um1} = B_{tm} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \cdot F_t \quad 2-22$$

$$\text{Vậy } F'_u = \frac{F_u}{k_t} = k_u \cdot F_u \quad \text{hay} \quad k_u = \frac{1}{k_t}$$

Với máy cực lồi theo hướng dọc trục:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = k_t \cdot \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot F_t \quad \text{và} \quad B_{udm1} = k_{ud} \cdot B_{udm} = k_{ud} \cdot \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot F_{ud} \quad 2-23$$

Sức từ động phần ứng dọc trục đã quy đổi về s.t.đ cực từ:

$$F'_{ud} = F_{ud} \frac{k_{ud}}{k_t} = F_{ud} \cdot k_d \quad \text{với} \quad k_d = k_{ud} / k_t$$

Cũng vậy, theo hướng ngang trục:

$$F'_{uq} = F_{uq} \frac{k_{uq}}{k_t} = F_{uq} \cdot k_q \quad \text{với} \quad k_q = k_{uq} / k_t$$

Các hệ số k_d và k_q phụ thuộc vào α , δ_m/δ , δ/τ được tính sẵn trong tài liệu thiết kế.

Chương 3.

QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

3.1 Đại cương.

Quan hệ điện từ trong m.đ.đ.b bao gồm các phương trình điện áp, đồ thị véc tơ, giản đồ năng lượng và công suất điện từ của máy điện đồng bộ.

3.2 Phương trình điện áp và đồ thị véc tơ.

Chế độ tải đối xứng ta chỉ cần xét cho một pha.

Đối với máy phát điện:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta - i(r_u + jx_{\sigma u}) \quad 3-1$$

Đối với động cơ và máy bù đồng bộ:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta + i(r_u + jx_{\sigma u}) \quad 3-2$$

Trong đó: U là điện áp đầu cực của máy, r_u và $x_{\sigma u}$ là điện trở và điện kháng tản của dây quấn phân ứng;

E_δ là s.đ.đ cảm ứng trong dây quấn do từ trường khe hở.

Khi mạch từ không bão hoà, áp dụng nguyên lý xếp chồng ta có:

$$\dot{E}_\delta = \dot{E}_0 + \dot{E}_u \quad 3-3$$

Khi mạch từ bão hoà ta phải xác định $\dot{F}_\delta = \dot{F}_0 + \dot{F}_u$ rồi suy ra \dot{E}_δ

1. Trường hợp máy phát điện.

a/ Khi mạch từ không bão hoà.

Giả sử tải đối xứng và có tính cảm

$$(0 < \psi < 90^\circ)$$

-/ Máy cực ẩn:

Phương trình cân bằng điện áp là:

$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_u - i(r_u + jx_{\sigma u}) \quad 3-4$$

Chương 2 ta đã xác định được

$$\dot{E}_u = -j\dot{I}x_u \text{ nên}$$

$$\dot{U} = \dot{E} - j\dot{I}(x_u + jx_{\sigma u}) - \dot{I}r_u = \dot{E} - j\dot{I}x_{db} - \dot{I}r_u$$

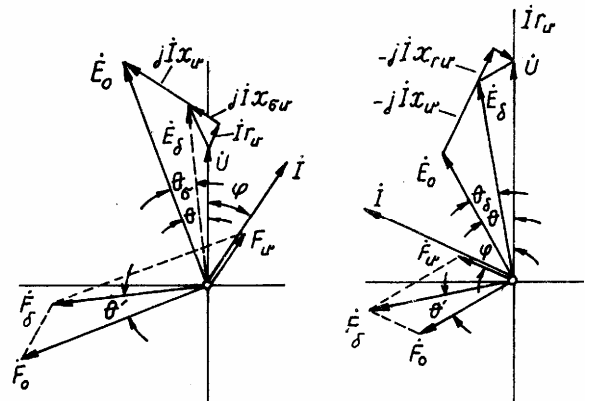
3.5

trong đó $x_{db} = x_u + x_{\sigma u}$ là điện kháng đồng bộ, thường $x_{db} = 0,7 - 1,6$

Đồ thị véc tơ như hình 3.1

- / Máy cực lồi.

Ta phân s.t.đ phản ứng F_u thành F_{ud} và F_{uq} , từ thông tương ứng với các s.t.đ đó sẽ cảm nên các s.đ.đ: $\dot{E}_{ud} = -j\dot{I}_d x_{ud}$ và $\dot{E}_{uq} = -j\dot{I}_q x_{uq}$ Phương trình cân bằng điện áp có dạng.



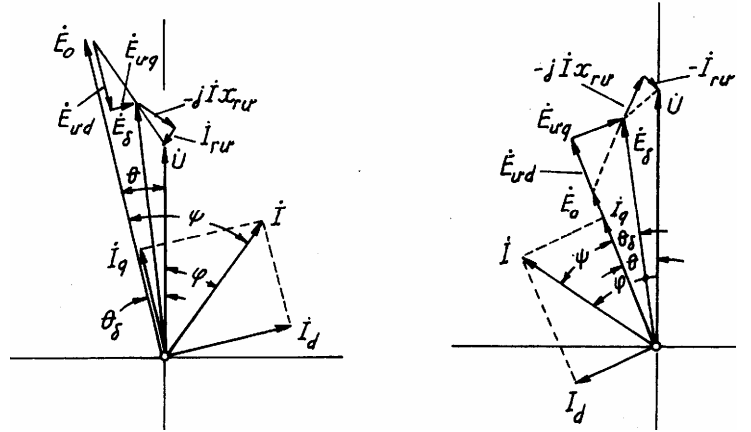
Hình 3.1 Đồ thị s.đ.đ máy phát đồng bộ cực ẩn

$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} - \dot{I}(r_u + x_{ou}) = \dot{E} - j\dot{I}x_{ud} - j\dot{I}x_{uq} - j\dot{I}x_{ou} - \dot{I}r_u \quad 3.6$$

Đồ thị véc tơ như hình 3.2 có tên gọi là đồ thị Blondel

Véc tơ $-j\dot{I}x_{ou}$ do từ thông tản của từ trường phản ứng sinh ra không phụ thuộc vào từ dẫn hướng dọc và ngang trục, tuy nhiên ta cũng có thể phân tích chúng theo 2 hướng dọc và ngang trục:

$$\begin{aligned} -j\dot{I}x_{ou} &= -j(\dot{I}x_{ou} \cos\psi - \dot{I}x_{ou} \sin\psi) = \\ &= -j\dot{I}_q x_{ou} - j\dot{I}_d x_{ou} \end{aligned}$$



Hình 3.2 Đồ thị s.d.đ máy phát điện đồng bộ cực lồi

và phương trình điện áp được viết lại:

$$\dot{U} = \dot{E} - j\dot{I}_d(x_{ud} + x_{ou}) - j\dot{I}_q(x_{uq} + x_{ou}) - \dot{I}r_u = \dot{E} - j\dot{I}_d x_d - j\dot{I}_q x_q - \dot{I}r_u \quad 3.7$$

Trong đó:

$x_d = x_{ud} + x_{ou}$ gọi là điện kháng đồng bộ dọc trục, thường $x_d = 0,7 - 1,2$

$x_q = x_{uq} + x_{ou}$ gọi là điện kháng đồng bộ ngang trục, thường $x_q = 0,46 - 0,76$

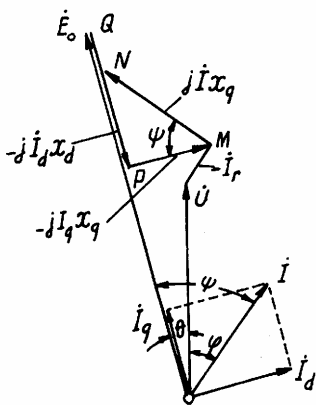
Đồ thị véc tơ ứng với phương trình 3.7 như hình 3.3

b/ Khi mạch từ bão hoà.

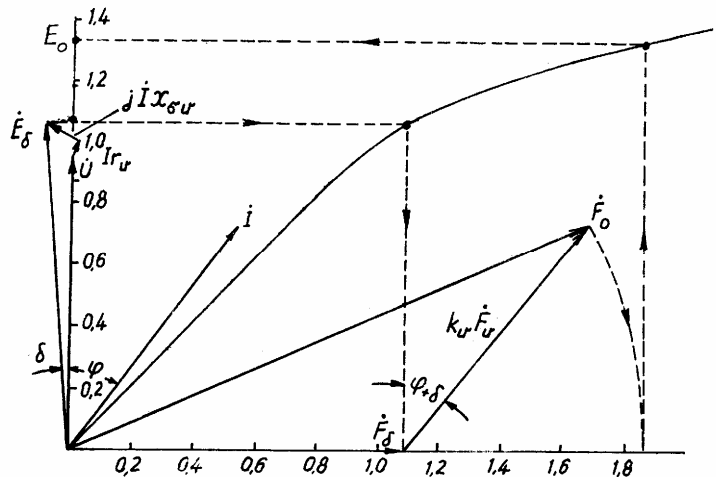
Khi mạch từ bão hoà vì các hệ số $k_{\mu d}$ và $k_{\mu q}$ rất khó tính chính xác nên ta phải vẽ kết hợp đồ thị s.t.đ và s.d.đ với đường cong không tải. Đồ thị này được gọi là đồ thị s.t.đ.đ, có tên là đồ thị Pôchiê.

- Máy cực ẩn:

Giả sử $U, I, \cos\varphi, r_u, x_{ou}$ và đặc tính không tải đã biết, để thành lập đồ thị s.t.đ.đ trên trục tung của đặc tính không tải, ta đặt véc tơ U và véc tơ I chậm sau U một góc φ .



Hình 3.3 Đồ thị s.d.đ máy phát điện đồng bộ cực lồi đã biến đổi



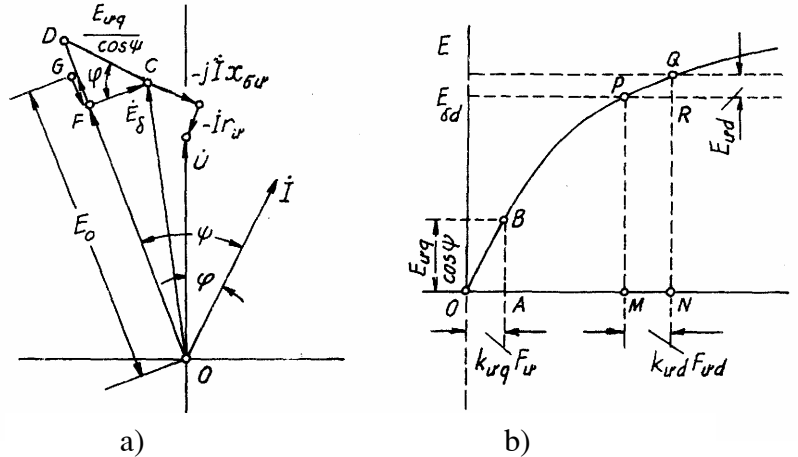
Hình 3.4 Đồ thị S.T.Đ.Đ máy phát điện đồng bộ cực ẩn

Cộng U với $I r_u$ và $j I x_u$ được \dot{E}_δ . Trên trục hoành đặt \dot{F}_δ rồi cộng \dot{F}_δ với $K_u \dot{F}_u$ hợp với trục hoành một góc $90^\circ + (\varphi + \delta)$, tìm được \dot{F}_0 . Từ đồ thị này xác định được $\Delta U = E - U_{dm}$, thường = (5 - 10)%

- Với máy phát đồng bộ cực lồi, việc thành lập chính xác đồ thị véc tơ là rất khó, vì ϕ_d và ϕ_q hỗ cảm với nhau, hơn nữa mức độ bảo hoà theo 2 hướng lại khác nhau. Như vậy x_{ud} và x_{uq} phụ thuộc cả vào ϕ_d và ϕ_q . Để đơn giản ta coi x_{ud} chỉ phụ thuộc vào ϕ_d và x_{uq} chỉ phụ thuộc vào ϕ_q và $k_{\mu q}$ đã biết. Khi đó sau khi đã vẽ các véc tơ $U, I r_u$ và $j I x_{\sigma u}$ được \dot{E}_δ , hình 3.5a, theo hướng $j I x_{\sigma u}$ vẽ đoạn

$$CD = I x_{uq} = \frac{E_{uq}}{\cos \psi} \text{ và xác}$$

định được phương của E . Trị số x_{uq} có thể tính hoặc lấy bằng 1,1 - 1,15. Từ hình 3.5b ta cũng xác định được CD qua $OA = F'_{uq} = k_q F_{uq}$, sau đó xác định được $E_{\delta d} = OF = MP$, lấy $MN = F'_{ud} = k_d F_{ud}$ chiếu lên ta được E

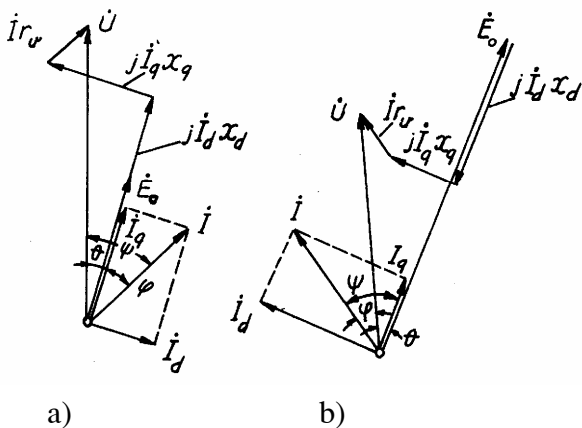


Hình 3-6 Cách xây dựng đồ thị véc tơ s.t.d.đ của máy đồng bộ cực lồi

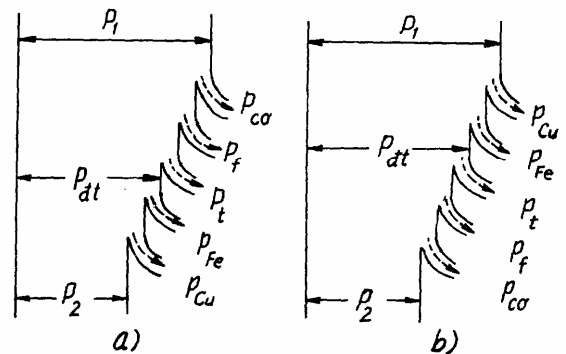
2. Trường hợp động cơ điện.

Động cơ điện đồng bộ có cấu tạo cực lồi vì vậy phương trình điện áp sẽ là:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta + \dot{I}(r_u + jx_{cu}) = \dot{E} + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} + \dot{I}(r_u + jx_{cu}) = \dot{E} + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q + \dot{I} r_u \quad 3.8$$



Hình 3-6 Đồ thị véc tơ Động cơ đồng bộ
a) Thiếu kích thích; b) Quá kích thích



Hình 3-7 Giải đồ năng lượng
a) máy phát; b) động cơ

3.3 Giải đồ năng lượng của máy điện đồng bộ

Máy phát: $P_{dt} = P_1 - (p_{c\sigma} + p_t + p_f)$ và $P_2 = P_{dt} - p_{cu} - p_{fe}$

Động cơ: $P_{dt} = P_1 - p_{cu} - p_{fe}$ và $P_2 = P_{dt} - (p_{c\sigma} + p_t + p_f)$

3.4 Các đặc tính góc của máy điện đồng bộ

1. Đặc tính góc công suất tác dụng.

$P = f(\theta)$ khi $E = const, U = const$, với θ là góc tải giữa véc tơ E và U .

Để đơn giản ta bỏ qua r_u vì nó rất bé so với (x_{db}, x_d, x_q) . Công suất đầu cực của máy đồng bộ bằng: $P = mUI \cos \varphi$

Theo đồ thị véc tơ hình 3.3 ta có:

$$I_d = \frac{E - U \cos \theta}{x_d}, \quad I_q = \frac{U \sin \theta}{x_q} \quad \text{và} \quad \varphi = \psi - \theta \quad 3.9$$

$$\begin{aligned} \text{Do đó: } P &= mUI \cos \varphi = mUI \cos(\psi - \theta) \\ &= mU(I \cos \psi \cos \theta + I \sin \psi \sin \theta) \end{aligned}$$

$P = mU(I_q \cos \theta + I_d \sin \theta)$, thay I_d và I_q vào ta có:

$$P = \frac{mU^2}{x_q} \sin \theta \cos \theta + \frac{mEU}{x_d} \sin \theta - \frac{mU^2}{x_d} \sin \theta \cos \theta$$

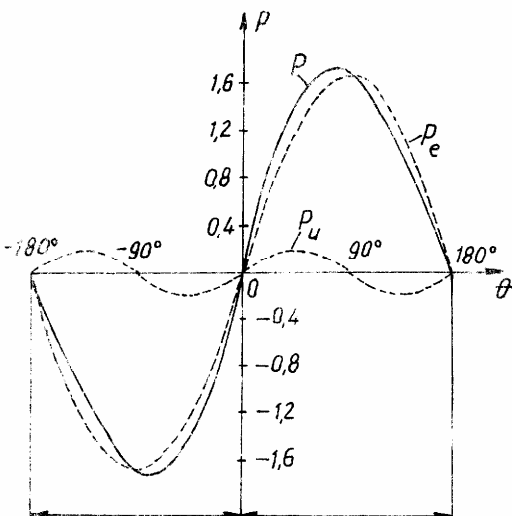
Hay

$$P = \frac{mUE}{x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta = P_e + P_u \quad 3.10$$

Từ biểu thức 3.10 ta thấy công suất tác dụng của máy đồng bộ cực ắc có hai phần. Một phần P_e tỷ lệ với $\sin \theta$ và phụ thuộc vào kích từ; một phần P_u tỷ lệ với $\sin 2\theta$ không phụ thuộc vào kích từ. Như vậy đối với máy phát đồng bộ cực lồi khi mất kích từ công suất tác dụng vẫn có một lượng nhỏ là P_u . Người ta ứng dụng điều này để chế ra các động cơ điện phản kháng có công suất cơ vài chục oát.

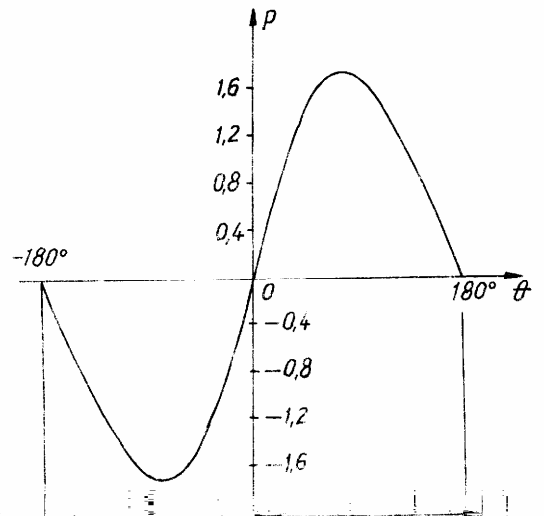
- Với máy đồng bộ cực ắc vì $x_d = x_q$ nên $P = m \frac{UE}{x_{db}} \sin \theta \quad 3.11$

Đặc tính góc công suất tác dụng máy điện đồng bộ như hình 3.9



Động cơ Máy phát

Hình 3-9 Đặc tính góc công suất tác dụng. a) máy cực lồi;



Động cơ Máy phát

b) máy cực ắc

2. Đặc tính góc công suất phản kháng.

Công suất phản kháng của máy điện đồng bộ được tính:

$$Q = mU I \sin \varphi = mU I \sin(\psi - \theta) = mU(I \sin \psi \cdot \cos \theta + I \cos \psi \cdot \sin \theta)$$

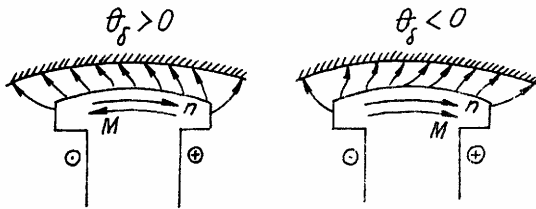
$$Q = mU(I_d \cdot \cos \theta - I_q \cdot \sin \theta)$$

Thay I_d và I_q vào ta có:

$$Q = \frac{mUE}{x_d} \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} + \frac{1}{x_d} \right)$$

Đặc tính góc công suất phản kháng của máy điện đồng bộ như hình 3.11.

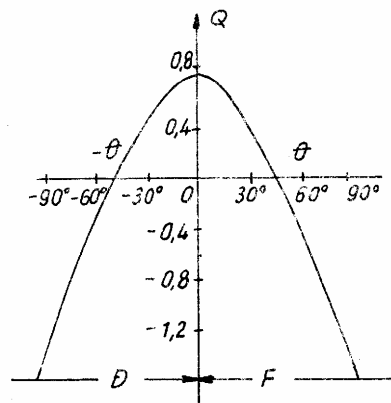
Khi $-\theta' < \theta < +\theta'$ máy phát công suất phản kháng vào lưới, ngoài phạm vi trên máy tiêu thụ công suất phản kháng.



Hình 3-10 Từ trường khe hở

a) máy phát,

b) động cơ



Hình 3-11 Đặc tính góc công suất phản kháng máy cực lồi

Chương 4.

MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC VỚI TẢI ĐỐI XỨNG

4.1 Đại cương.

Chế độ tải đối xứng của máy điện đồng bộ được đặc trưng bởi các đại lượng: $U, I, I_t, \cos\varphi$ và tần số f hoặc tốc độ n .

Trong đó $f = f_{dm}$; $\cos\varphi$ phụ thuộc vào tải còn lại 3 đại lượng U, I, I_t xác định cho ta các đặc tính.

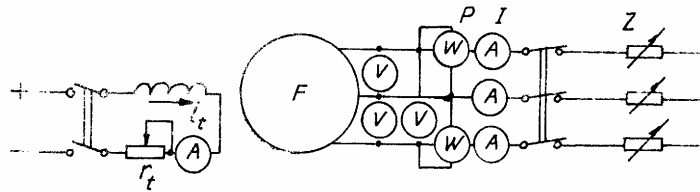
- | | |
|------------------------|---|
| 1. Đặc tính không tải | $U = f(I_t)$ khi $I = 0; f = f_{dm}$ |
| 2. Đặc tính ngắn mạch | $I_n = f(I_t)$ khi $U = 0; f = f_{dm}$ |
| 3. Đặc tính ngoài | $U = f(I)$ khi $I_t = cte; f = f_{dm}; \cos\varphi = Cte$ |
| 4. Đặc tính điều chỉnh | $I_t = f(I)$ khi $U = cte; f = f_{dm}; \cos\varphi = Cte$ |
| 5. Đặc tính tải | $U = f(I_t)$ khi $I = cte; f = f_{dm}; \cos\varphi = Cte$ |

Các đặc tính trên được xác định bằng cách tính toán hoặc thí nghiệm.

Từ các đặc tính trên ta suy ra tỷ số ngắn mạch K ; ΔU và các tham số $x_d; x_q; x_{\sigma u}$

4.2 Các đặc tính của máy phát điện đồng bộ.

Sơ đồ thí nghiệm như hình 4.1



Hình 4.1 Sơ đồ thí nghiệm lấy các đặc tính của máy phát điện đồng bộ

1. Đặc tính không tải.

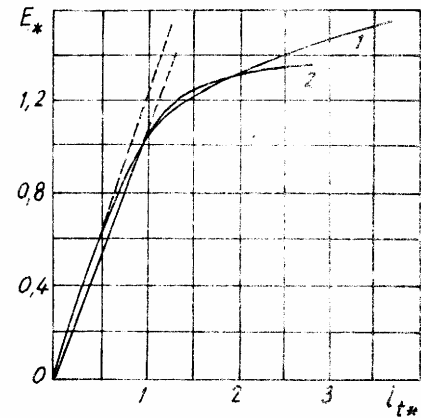
$$(E = U = f(I_t) \text{ khi } I = 0 \text{ và } f = f_{dm})$$

Hệ đơn vị tương đối $E_* = E/E_{dm}; I_{t*} = I_t / I_{tdm0}$

Theo sơ đồ thí nghiệm hình 4.1 Mở cầu dao tải, quay máy phát đến tốc độ định mức, thay đổi dòng điện kích từ ta nhận được đường đặc tính không tải, như hình 4.2

Đường (1) máy phát tuabin hơi, đường (2) máy phát tuabin nước. Ta thấy máy phát tuabin hơi bảo hoà nhiều hơn máy phát tuabin nước.

Khi $E = E_{dm} = 1$ máy phát tuabin hơi có $k_{\mu d} = k_{\mu} = 1,2$ còn máy phát tuabin nước có $k_{\mu} = 1,06$



Hình 4.2 Đặc tính không tải, (1) MF tuabin hơi, (2) MF tuabin nước

2. Đặc tính ngắn mạch, $I_n = f(I_t)$ khi $U = 0, f = f_{dm}$ và tỷ số ngắn mạch K

Khi ngắn mạch nếu bỏ qua r_{ur} thì tải của máy phát là dây quấn của phần ứng nên nó được coi là thuần cảm $\psi = 0, I_q = I \cos \psi = 0$ còn $I_d = I \sin \psi = I$

Mạch điện thay thế và đồ thị véc tơ như hình 4.3, ta có

$$\dot{E}_0 = + j I x_d \tag{4.1}$$

Khi ngắn mạch vì từ thông ϕ_δ cần thiết để sinh ra $E_\delta = E - I x_{ud} = I x_{\sigma ur}$ rất bé nên mạch từ không bão hòa do đó quan hệ $I = f(I_t)$ là đường thẳng, hình 4.4

Tỷ số ngắn mạch K . Đây là tỷ số giữa dòng điện ngắn mạch I_{n0} ứng với dòng điện I_t sinh ra $E = U_{dm}$ lúc không tải và dòng điện định mức I_{dm}

$$K = I_{n0} / I_{dm} \tag{4.2}$$

Từ hình 4.5 ta suy ra:

$$I_{n0} = U_{dm} / x_d \tag{4.3}$$

Với x_d là điện kháng đồng bộ dọc trục ứng với $E = U_{dm}$

$$\text{Vậy } K = U_{dm} / x_d \cdot I_{dm} = I / x_{d^*}$$

Thường $x_{d^*} > 1$ nên $K < 1$, hay $I_{n0} < I_{dm}$. Vậy dòng điện ngắn mạch xác lập của máy phát điện đồng bộ không lớn, đó là do tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng.

Qua hai tam giác đồng dạng OAA' và OBB' ta có:

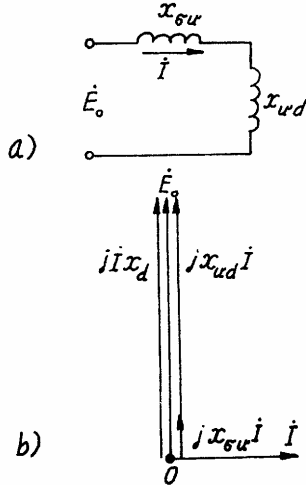
$$K = \frac{I_{n0}}{I_{dm}} = \frac{I_{t0}}{I_{tn}} \tag{4.4}$$

$$I_{t0} \Rightarrow U_0 = U_{dm} \text{ và } I_{tn} \Rightarrow I_n = I_{dm}$$

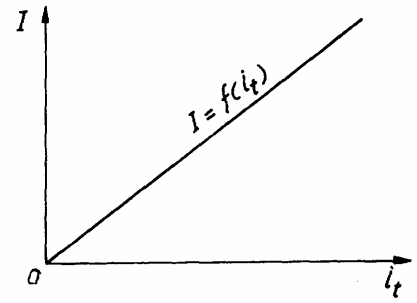
K là một tham số quan trọng của máy phát điện đồng bộ.

K lớn $\Rightarrow \Delta U$ bé và P_{dt} lớn \Rightarrow máy làm việc ổn định, muốn K lớn thì x_{d^*} phải lớn $\Rightarrow \delta$ lớn \Rightarrow kích thước của máy lớn \Rightarrow giá thành tăng.

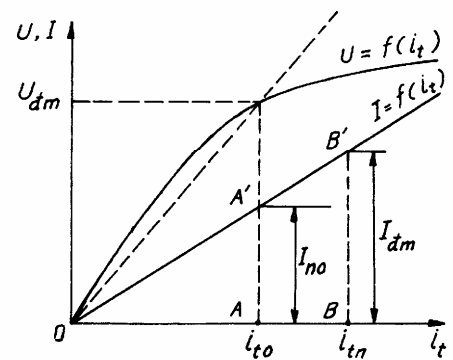
Thường máy phát tourbin nước $K = 0,8 - 1,8$; và tourbin hơi $K = 0,5 - 1,0$



Hình 4.3 (a) mạch điện thay thế; (b) đồ thị véc tơ



Hình 4.4 Đặc tính ngắn mạch của máy phát điện đồng bộ



Hình 4-5 Xác định tỷ số ngắn mạch K

3. Đặc tính ngoài và độ thay đổi điện áp ΔU_{dm}

Đặc tính ngoài: $U = f(I)$ khi $I_t = Cte$; $\cos\varphi = Cte$; $f = f_{dm}$

Các đường đặc tính ngoài phụ thuộc vào tính chất tải như hình 4.6

Dòng điện kích từ I_t ứng với $U = U_{dm}$, $I = I_{dm}$, $\cos\varphi = \cos\varphi_{dm}$ và $f = f_{dm}$ được gọi là dòng điện kích từ định mức I_{tdm}

Độ thay đổi điện áp ΔU_{dm}

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100 \quad 4.5$$

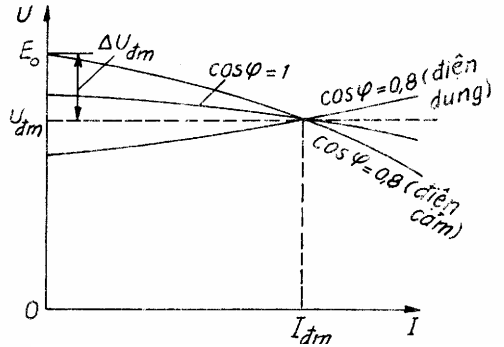
Máy phát tourbin hơi có x_d lớn hơn máy phát tourbin nước nên $\Delta U_{dm} \%$ của nó lớn hơn máy phát tourbin nước. Thường $\Delta U_{dm} \% = (25 - 35) \%$

4. Đặc tính điều chỉnh $I_t = F(I)$ khi $U = U_{dm} = Cte$, $\cos\varphi = Cte$ và $f = f_{dm}$.

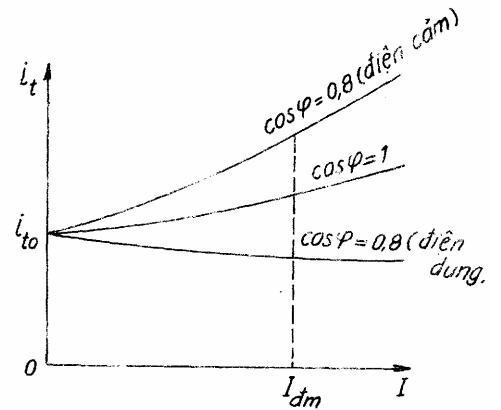
Thường $\cos\varphi_{dm} = 0,8$ (điện cảm), khi I tăng từ 0 đến I_{dm} với $U = U_{dm}$ thì dòng điện kích từ thay đổi 1,7 - 2,2 lần

5. Đặc tính tải $U = f(I)$ khi $I = Cte$, $\cos\varphi = Cte$; $f = f_{dm}$

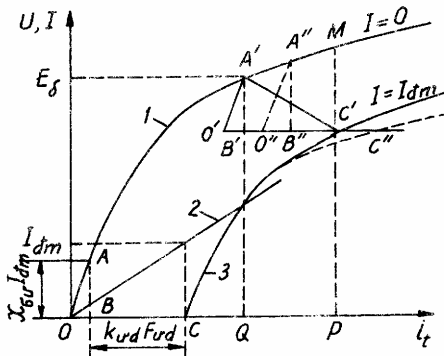
Theo quan hệ trên, với các giá trị khác nhau của I và $\cos\varphi$ ta sẽ có các đường đặc tính tải khác nhau. Trong đó đặc biệt nhất là đường đặc tính tải thuần cảm, khi $\cos\varphi = 0$, ($\varphi = 90^\circ$) và $I = I_{dm}$ (đường 3 trên hình 4.8)



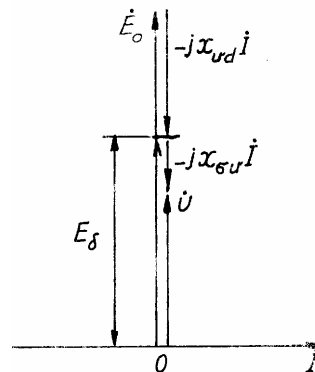
Hình 4.6 Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ



Hình 4.7 Đặc tính điều chỉnh



Hình 4.8 Đặc tính tải thuần cảm



Hình 4.9 Đồ thị s.d.t máy đồng bộ tải thuần cảm

Bỏ qua r_u ta vẽ được đồ thị véc tơ như hình 4.9

Tam giác điện kháng:

Lấy $I_n = I_{dm}$ chiếu qua đặc tính ngắn mạch (2), chiếu xuống trục hoành được điểm C. Thì $OC = I_m$ (dòng điện kích từ), dòng điện I_m gồm 2 phần:

Một phần $BC = k_{ud} \cdot F_{ud}$ khắc phục phản ứng phần ứng, vậy $BC \sim I_{dm}$

Một phần $CB = OC - BC$ sinh ra $E_{\sigma_{ur}} = I_{dm} \cdot x_{\sigma_{ur}} = AB$

Như vậy tam giác ABC có 2 cạnh AB và BC tỷ lệ với I_{dm} .

Xây dựng đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng. Tịnh tiến ΔABC (hoặc ΔAOC) sao cho đỉnh A nằm trên đường (1) thì đỉnh C sẽ vẽ nên đường (3) với $\Delta A'B'C'$

Khi có xét đến bảo hoà đường (3) là đường đứt nét với $\Delta A''B''C''$ (hoặc $O''A''C''$).

4.3 Cách xác định các tham số của máy phát điện đồng bộ

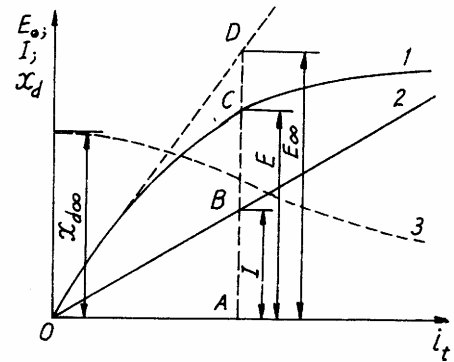
1. x_d và x_q

$$x_d = \frac{E}{I_n} = \frac{AC}{AB} \quad 4.6$$

Quan hệ $x_d = f(I)$ là đường (3) khi mạch từ không bảo hoà, ta có:

$$x_{d\infty} = \frac{E_\infty}{I_n} = \frac{AD}{AB} = const \quad 4.7$$

$$\text{vì } \frac{E_\infty}{E} = k_{\mu d} \quad \text{nên} \quad x_d = \frac{x_{d\infty}}{k_{\mu d}} \quad 4.8$$



Hình 4.10 Xác định điện kháng đồng bộ dọc trục

Máy cực lồi thường $x_q = 0,6 \cdot x_d$;

Máy cực ẩn $x_d = x_q = x_{db}$

2. Điện kháng tản $x_{\sigma_{ur}}$

Từ một điểm C' bất kỳ trên đường (3), dựng đoạn $C'O' \parallel OC$, từ O' vẽ đường \parallel với OA cắt đường (1) tại A' , từ A' hạ $A'B' \perp C'O'$ thì $x_{\sigma_{ur}} = A'B' / I$

Khi xét đến bảo hoà $x_p = A''B'' / I$ $x_p > x_{\sigma_{ur}}$ là điện kháng Pôchiê

Máy cực ẩn $x_p = (1,05 - 1,1) x_{\sigma_{ur}}$

Máy cực lồi $x_p = (1,1 - 1,3) x_{\sigma_{ur}}$

4.5 Tổn hao và hiệu suất

Tổn hao đồng: trên điện trở dây quấn phần ứng $p_{cu} = I^2 \cdot r_u$

Tổn hao thép: do dòng điện xoáy và từ trễ

Tổn hao kích từ: trên r_t và tiếp xúc chổi than

Tổn hao phụ: do từ trường tản và sự đập mạch của từ trường bậc cao

Tổn hao cơ: ma sát ổ bị, ổ đỡ, làm mát...

Hiệu suất của máy $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} =$ thường $\eta = 0,98 \%$