

KỸ THUẬT ĐIỆN

CHƯƠNG VIII

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ:

- Máy điện xoay chiều có tốc độ của rô to (n) bằng tốc độ của từ trường quay (n_1).
- Dùng làm các máy phát điện xoay chiều (phần lớn).
- Dùng làm động cơ điện đồng bộ để truyền tải cho các phụ tải có yêu cầu tốc độ quay không đổi và có công suất lớn (từ vài trăm kW trở lên).
- Dùng làm máy bù đồng bộ nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

1. Cấu tạo máy điện đồng bộ

Máy điện đồng bộ
gồm 2 phần chính là
Stato và Rôto.

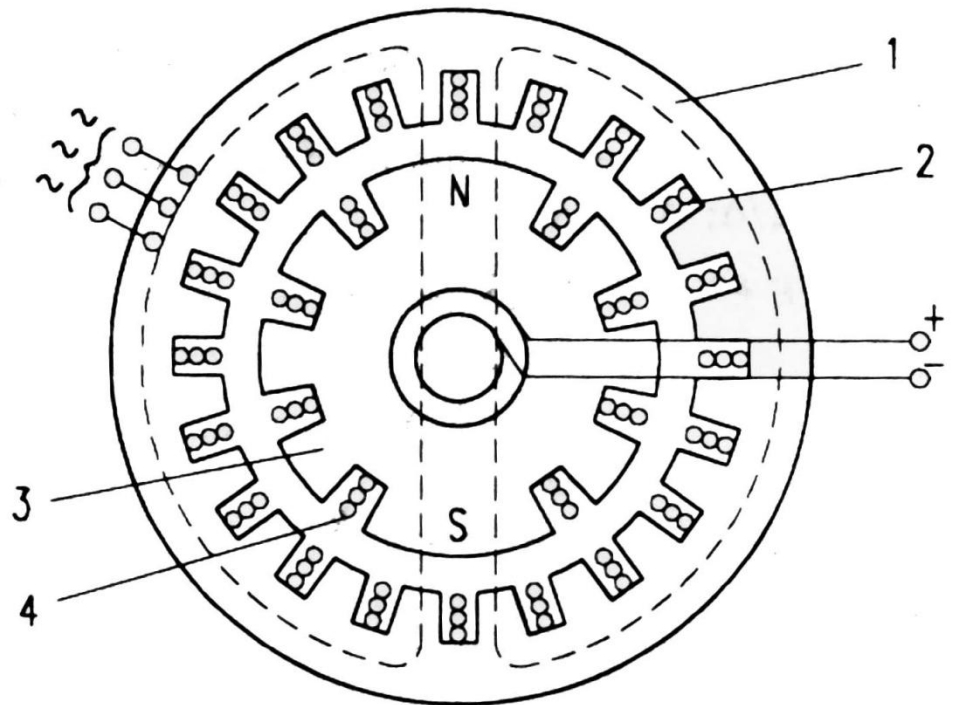
Thông thường:

Stato → Phía ngoài

Rôto → Phía trong.

1,2: Lõi thép, dây
quần Stato.

3,4: Lõi thép, dây
quần Rôto.



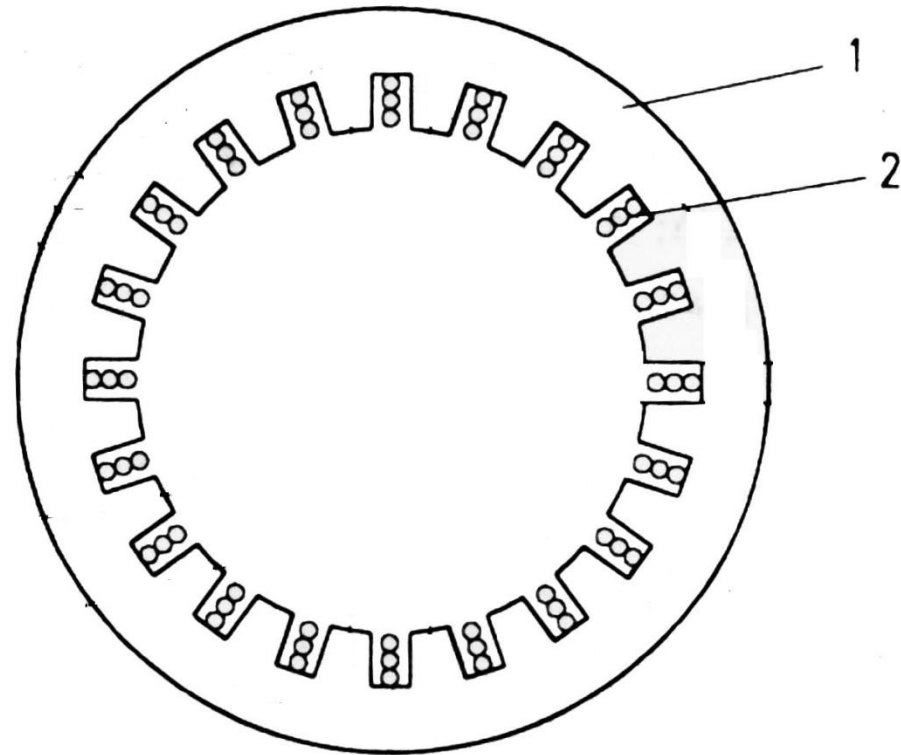
CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

1.1. Stato (phần tĩnh)

Stato của máy điện đồng gồm lõi thép và dây quấn

a) Lõi thép:

- Làm từ lá thép kỹ thuật điện dày 0,35-0,5mm, phủ cách điện.
- Mặt trong xẻ rãnh để đặt dây quấn.
- Ép lại thành hình trụ, và được ép vào vỏ bảo vệ



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

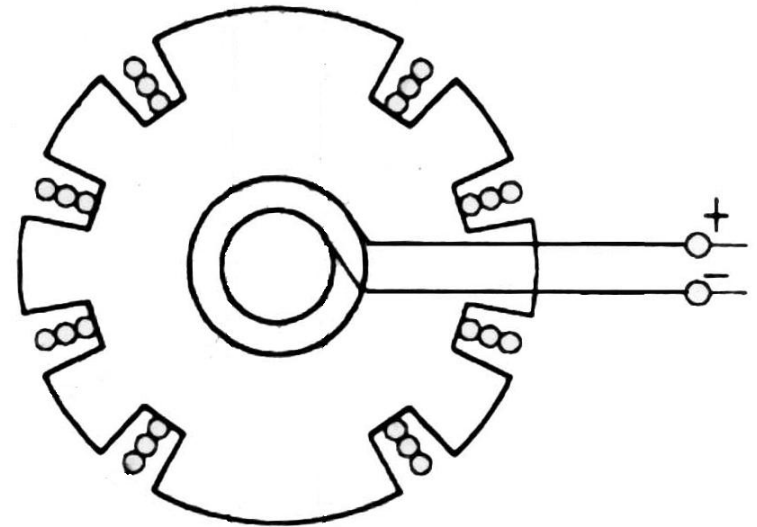
1.2. Rôto

Rôto của máy điện đồng bộ được cấu tạo từ lõi thép và dây quấn.

Lõi thép gồm phần thân Rôto và các cực từ.

Dây quấn Rôto được gọi là dây quấn kích từ và được cấp điện một chiều nhờ hai vành trượt.

Rôto của máy điện đồng bộ có hai loại: cực ẩn và cực lồi (phụ thuộc vào tốc độ của máy)



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

a) Rôto cực ẩn

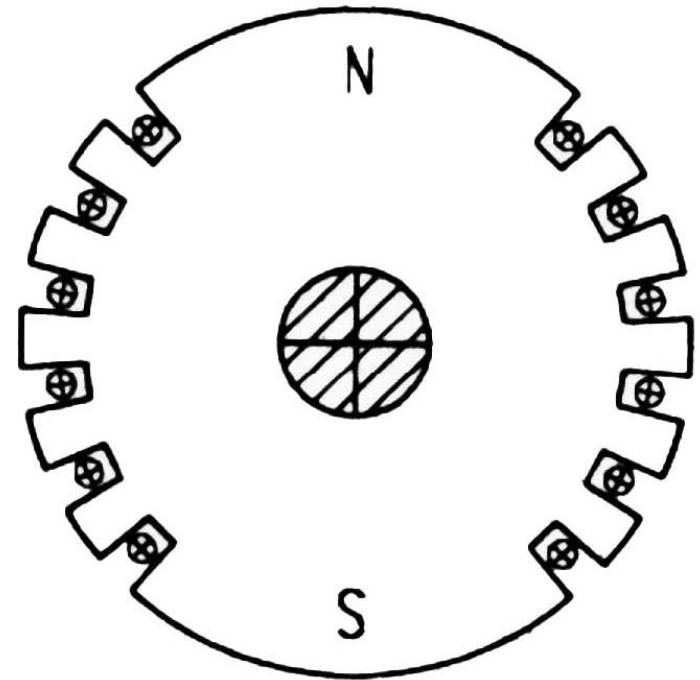
- Lõi thép:

Làm bằng thép hợp kim chất lượng cao, được đúc thành khối hình trụ, có rãnh để đặt dây quấn kích từ.

Phần không phay rãnh tạo thành mặt cực từ.

Đường kính rôto không quá 1,5m.

Để tăng công suất → tăng chiều dài l của rôto ($l \approx 6,5\text{m}$)

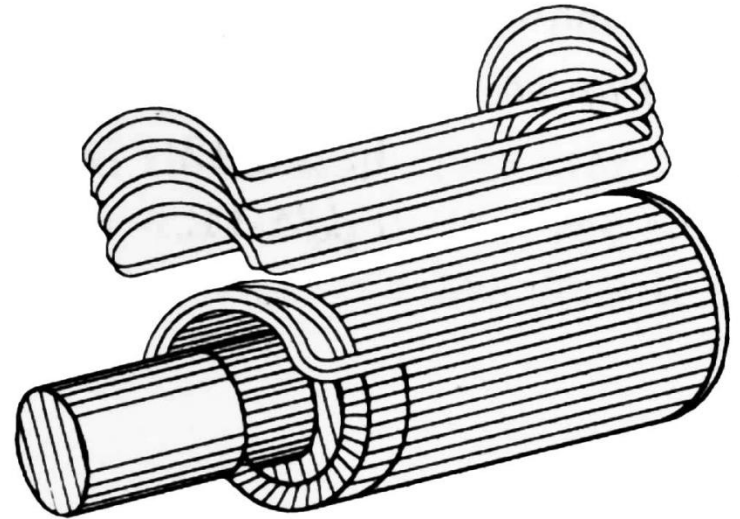


CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Dây quấn:

Đặt trong rãnh của rôto, dây đồng, tiết diện chữ nhật và được quấn tạo thành các bố đồng tâm và cách điện với nhau.

Hai đầu dây quấn kích từ nối với hai vành trượt đặt ở đầu trục, thông qua chổi than để lấy điện một chiều từ ngoài làm nguồn kích từ.



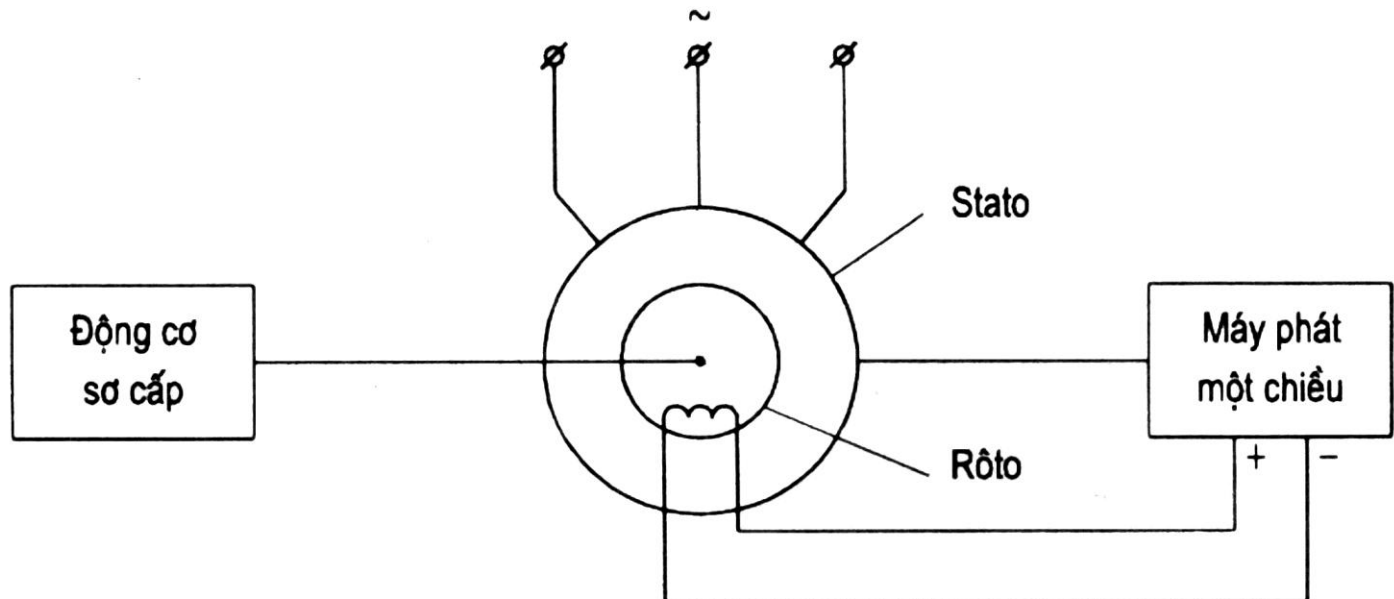
Rôto cực ẩn thường có số đôi cực là 1, hoặc 2 nên tốc độ có thể tới 3000vg/ph và động cơ sơ cấp thường là các tuabin khí, hơi

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Cấp nguồn điện cho dây quấn Rôto thường là máy phát một chiều công suất từ 0,3%-2% công suất của máy điện đồng bộ.
- Truyền động cho máy phát một chiều:

Nối trực với trục của máy điện đồng bộ

Có trục chung với máy điện đồng bộ (máy phát điện đầu trục).



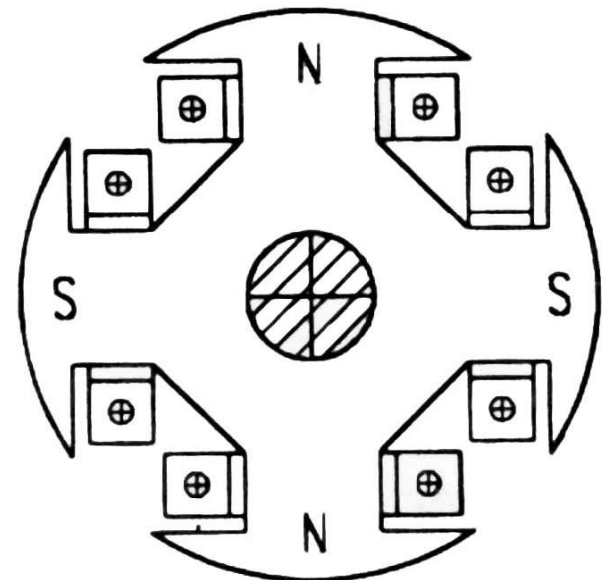
CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

b) Rôto cực lồi

Số lượng cực từ lớn, dùng trong trường hợp động cơ sơ cấp là các tuabin nước (thủy điện) có tốc độ chậm.

+ Lõi thép:

Các máy công suất nhỏ và trung bình, Rôto có kích thước không lớn nên lõi thép được chế tạo bằng thép đúc, gia công thành khối hình trụ hoặc lăng trụ trên mặt là các cực từ

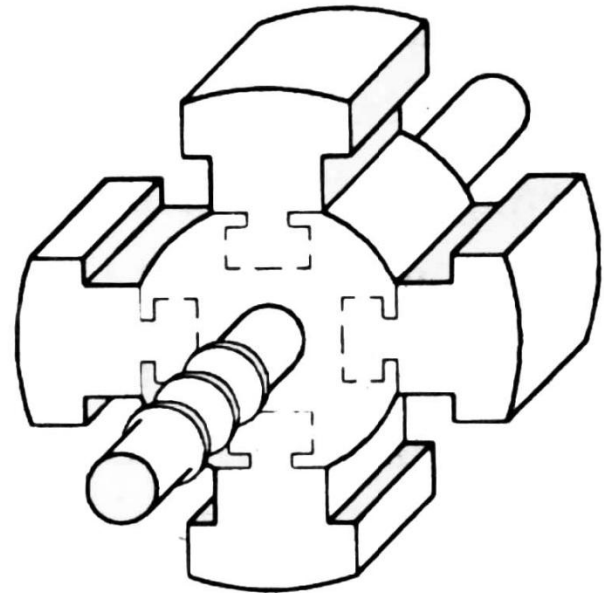


CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

+ Lõi thép:

Các máy công suất lớn, lõi thép làm từ các tấm thép dày 1-6mm, dập hoặc đúc định hình sẵn để ghép thành các khối lăng trụ.

Cực từ được ghép từ lá thép dày 1÷1,5mm, ghép cố định với lõi nhờ bulông xuyên qua mặt cực hoặc đuôi hình chữ T.



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

+ Dây quấn:

Dây quấn kích từ bằng dây đồng, quấn xung quanh cực từ, các vòng dây được quấn cách điện với nhau.

Hai đầu nối với vành trượt ở một đầu trục, thông qua chổi than nối với nguồn điện một chiều.

Máy điện đồng bộ cực lồi có tốc độ thấp.

Tốc độ rôto $n \leq 1000$ vg/ph.

Đường kính rôto (D) có thể lớn tới 15m, trong khi chiều dài nhỏ

Tỉ lệ (chiều dài / đường kính) = $0,15 \div 0,2$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ được chia thành phần cảm và phần ứng.

Phần máy điện có dây quấn cảm ứng sức điện động → **Phần ứng**

Phần nam châm điện (nam châm vĩnh cửu tạo ra từ trường chính trong máy → **Phần cảm**

Các máy điện đồng bộ công suất lớn và trung bình, phần tĩnh (stato) thường là phần ứng, còn phần quay (rôto) là phần cảm.

Một số máy công suất nhỏ, phần quay đóng → phần ứng, phần tĩnh → phần cảm

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các lượng định mức và các thông số máy điện đồng bộ:

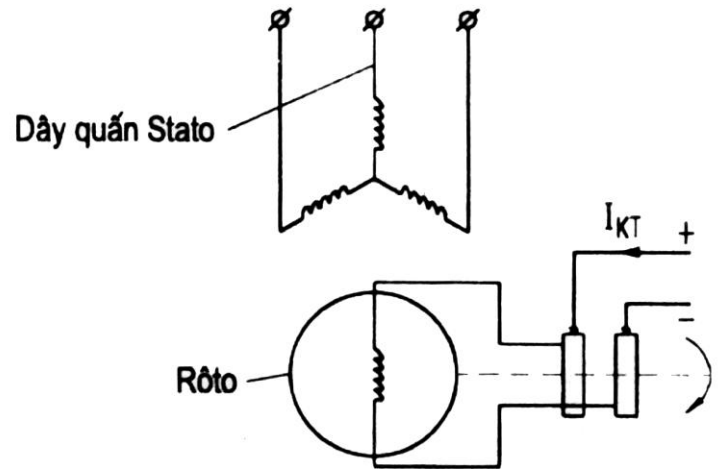
- Kiểu máy
- Số pha
- Tần số
- Công suất định mức (W,kW)
- Điện áp dây định mức (V,kV).
- Dòng điện stato và rôto định mức (A)
- Sơ đồ nối dây phần ứng
- Hệ số $\cos\varphi$
- Tốc độ (vg/ph)

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

2. Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ

Dùng động cơ sơ cấp quay rôto của máy phát điện đồng bộ tới tốc độ n và cho dòng một chiều vào dây quấn rôto thì rôto trở thành một nam châm điện quay.

Từ trường của rôto quét qua dây quấn phần ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin.



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trị số sức điện động cảm ứng

$$E_0 = 4,44.f.w_1k_{dq}\Phi_0$$

E_0 : sđđ pha,

w_1 : số vòng dây một pha

k_{dq} : hệ số dây quấn

Φ_0 : từ thông cực từ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Rôto có p đôi cực, khi quay được một vòng, số lần phần ứng sẽ biến thiên p chu kỳ.

Tốc độ rôto n (vg/s) \rightarrow tần số số lần: $f = p.n$

Tốc độ rôto n (vg/ph) \rightarrow tần số số lần: $f = \frac{p.n}{60}$

Dây quấn ba pha stato có trục lệch nhau 120° trong không gian nên số lần các pha lệch nhau góc pha 120° .

Khi nối dây quấn stato với tải, trong dây quấn có dòng điện ba pha \rightarrow từ trường quay, với tốc độ n_1 :

$$n_1 = \frac{60.f}{p} = n \quad \rightarrow \text{máy điện đồng bộ}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

3. Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ

Khi máy phát điện đồng bộ không tải ($I=0$), từ trường trong máy chỉ do dòng kích từ I_{kt} tạo nên (từ trường cực từ), gọi là từ trường không tải Φ_0 .

Từ trường Φ_0 này cắt dây quấn stato cảm ứng ra sđđ E_0 chậm pha so với Φ_0 một góc 90°

Khi mang tải, trong dây quấn phần ứng có dòng điện tải

Máy ba pha thì hệ thống dòng điện ba pha trong dây quấn ba pha stato sẽ sinh ra sức từ động phần ứng F_{ψ} và do đó tạo ra từ thông phần ứng với Φ_{ψ} , là từ trường quay, quay đồng bộ với tốc độ quay của rôto

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Từ trường phản ứng tác dụng lên từ trường cực từ (còn gọi là phản ứng phản ứng) làm ảnh hưởng đến quá trình làm việc của máy điện đồng bộ.

Ảnh hưởng này không chỉ phụ thuộc độ lớn của dòng tải (I) mà còn phụ thuộc vào tính chất của tải, nghĩa là phụ thuộc vào góc lệch pha giữa sđđ không tải E_0 và dòng điện phản ứng I

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

a) Tải thuần điện trở

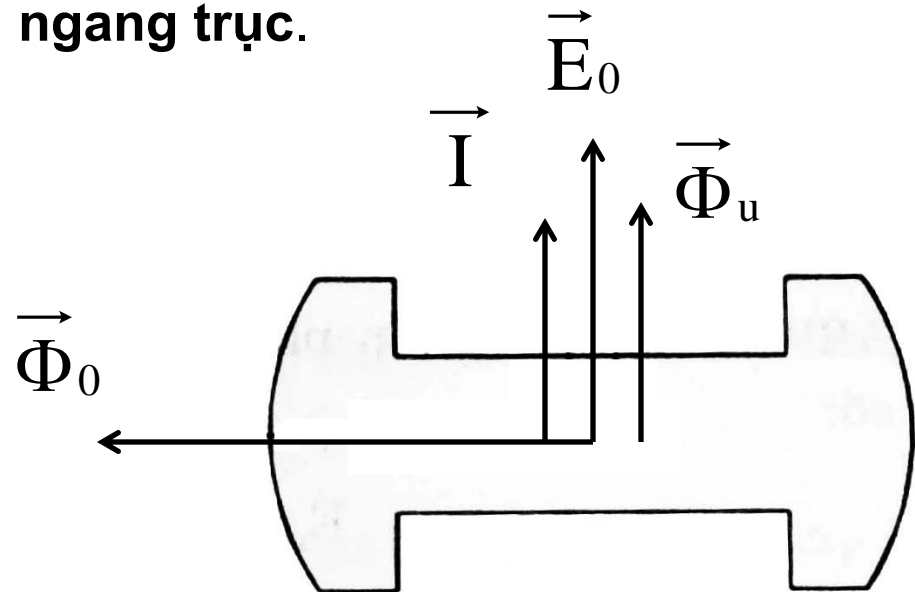
Từ trường cực từ Φ_0 có hướng dọc theo cực.

Khi tải đối xứng và thuần trở, dòng điện I trùng pha E_0

Dòng điện phần ứng sinh ra từ trường Φ_u cùng pha với dòng điện.

Từ trường phần ứng Φ_u tác dụng lên từ trường cực từ Φ_0 theo hướng ngang trục, làm méo từ trường cực từ

→ **phản ứng phần ứng ngang trục.**



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

b) Tải thuần điện cảm

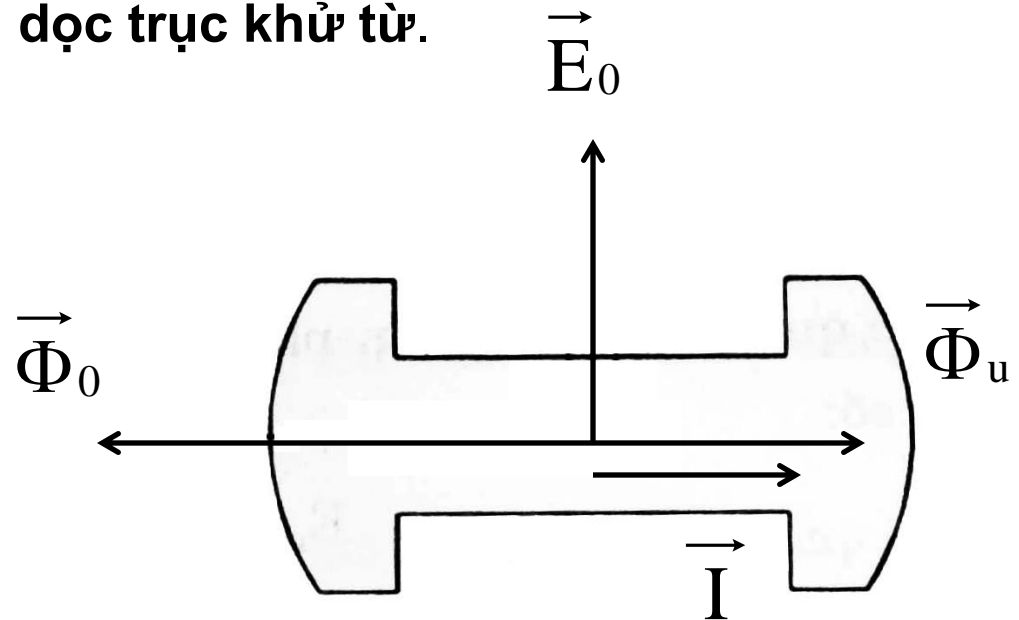
Từ trường cực từ Φ_0 có hướng dọc theo cực.

Dòng điện I chậm pha so với E_0 góc 90° .

Dòng điện phần ứng sinh ra từ trường Φ_u cùng pha với dòng điện.

Từ trường phần ứng Φ_u tác dụng lên từ trường cực từ Φ_0 theo hướng dọc trục, làm giảm từ trường

→ **phản ứng phần ứng dọc trục khử từ.**



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

c) Tải thuần điện dung

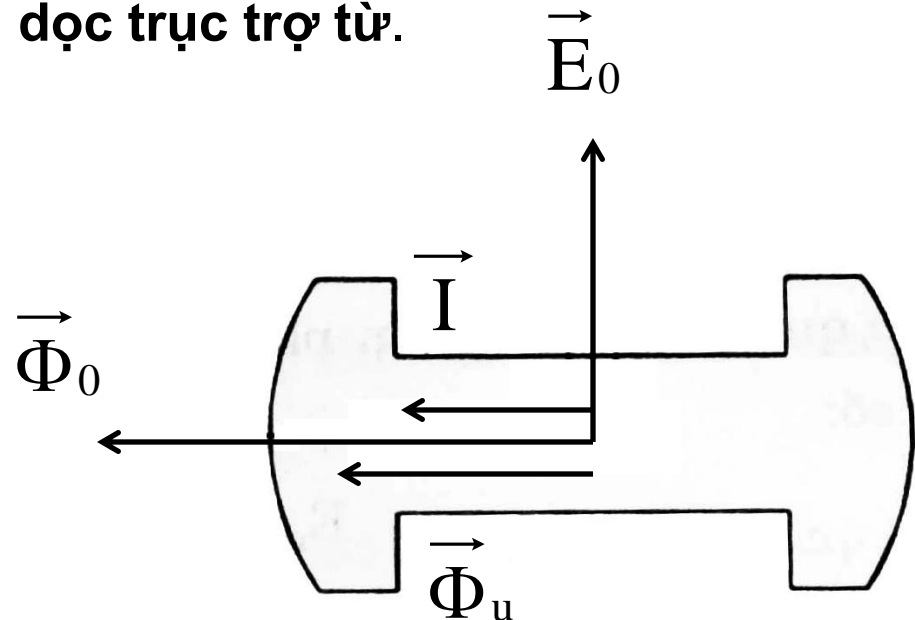
Từ trường cực từ Φ_0 có hướng dọc theo cực.

Dòng điện I sớm pha so với E_0 góc 90°

Dòng điện phần ứng sinh ra từ trường Φ_u cùng pha với dòng điện.

Từ trường phần ứng Φ_u tác dụng lên từ trường cực từ Φ_0 theo hướng dọc trục, làm tăng từ trường cực từ.

→ phản ứng phần ứng dọc trục trợ từ.



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

d) Tải hỗn hợp

Dòng điện lệch pha so với E_0 một góc ψ , có các trường hợp:

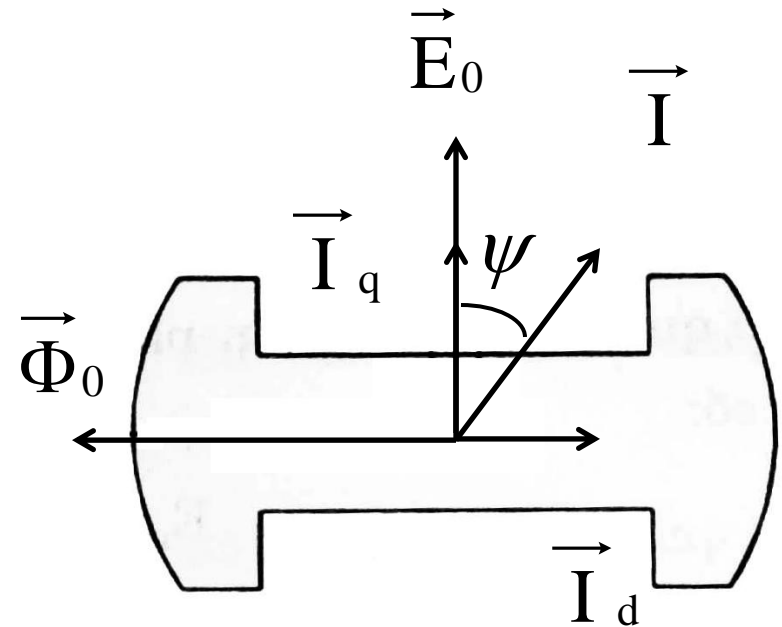
- Khi $\psi = 0 \rightarrow$ như tải thuần trở (đã xét ở mục a)
- Khi $\psi > 0 \rightarrow$ tải có tính điện cảm

Phân tích dòng điện I thành các thành phần:

$$I_d = I \sin\psi \text{ (dọc trục)}$$

$$I_q = I \cos\psi \text{ (ngang trục)}$$

\rightarrow phản ứng phần ứng ngang trục và dọc trục khử từ.



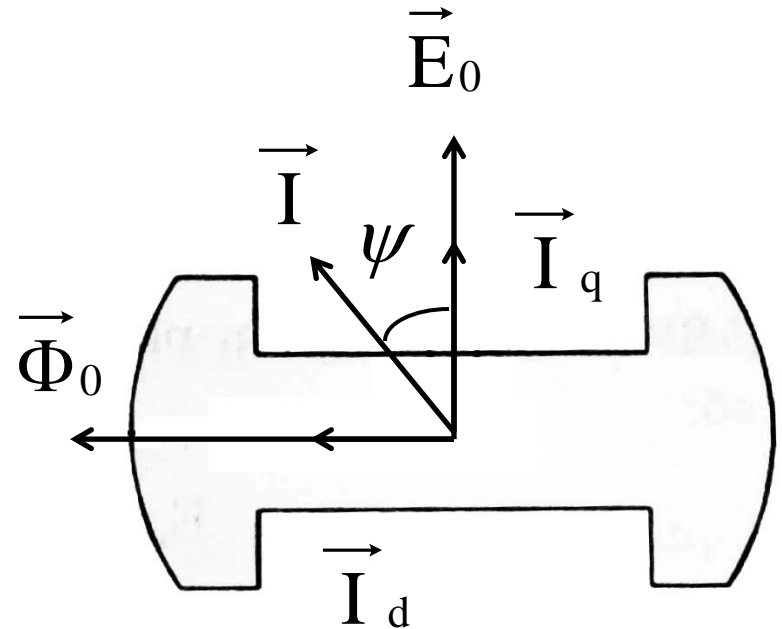
CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Khi $\psi < 0 \rightarrow$ tải có tính điện dung

Phân tích dòng điện I thành các thành phần:

$$I_d = I \sin \psi \text{ (dọc trục)}$$

$$I_q = I \cos \psi \text{ (ngang trục)}$$



\rightarrow phản ứng phần ứng ngang trục và dọc trục trợ từ.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

4. Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ

Từ trường cực từ Φ_0 sinh ra sđđ E_0 ở dây quấn stato, khi máy mang tải, có điện áp U , dòng điện I trên tải và dây quấn phản ứng. Từ trường phản ứng có phản ứng lên từ trường cực từ.

Do máy cực lồi khe hở giữa Stato và Rôto theo chiều dọc trục và ngang trục khác nhau không giống máy cực ẩn (khe hở dọc trục và ngang trục bằng nhau) nên ảnh hưởng của phản ứng phần ứng dọc trục và ngang trục có khác so với cực ẩn.

Lập phương trình của mô hình toán học máy điện đồng bộ cần xét riêng từng trường hợp cực lồi và cực ẩn.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

4.1. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi

Từ trường phần ứng ngang trục tạo sđđ ngang trục E_{uq} :

$$\dot{E}_{uq} = -j\dot{I}_q X_{uq}$$

Từ trường phần ứng dọc trục tạo sđđ dọc trục E_{ud} :

$$\dot{E}_{ud} = -j\dot{I}_d X_{ud}$$

Trong đó: X_{uq} - điện kháng phản ứng phần ứng ngang trục

X_{ud} - điện kháng phản ứng phần ứng dọc trục

Điện kháng tản X_t đặc trưng từ thông tản stato, bởi không phụ thuộc hướng dọc trục hay ngang trục, làm xuất hiện sđđ E_t

$$\dot{E}_t = -j\dot{I}X_t = -j\dot{I}_q X_t - -j\dot{I}_d X_t$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - \dot{E}_{uq} - \dot{E}_{ud} - \dot{E}_t - \dot{I}R_u$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_q X_{uq} - j\dot{I}_d X_{ud} - j\dot{I}_q X_t - j\dot{I}_d X_t - \dot{I}R_u$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_q (X_{uq} + X_t) - j\dot{I}_d (X_{ud} + X_t) - \dot{I}R_u$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_q X_q - j\dot{I}_d X_d - \dot{I}R_u$$

Trong đó: $X_{uq} + X_t = X_q$ - điện kháng đồng bộ ngang trục

$X_{ud} + X_t = X_d$ - điện kháng đồng bộ dọc trục,

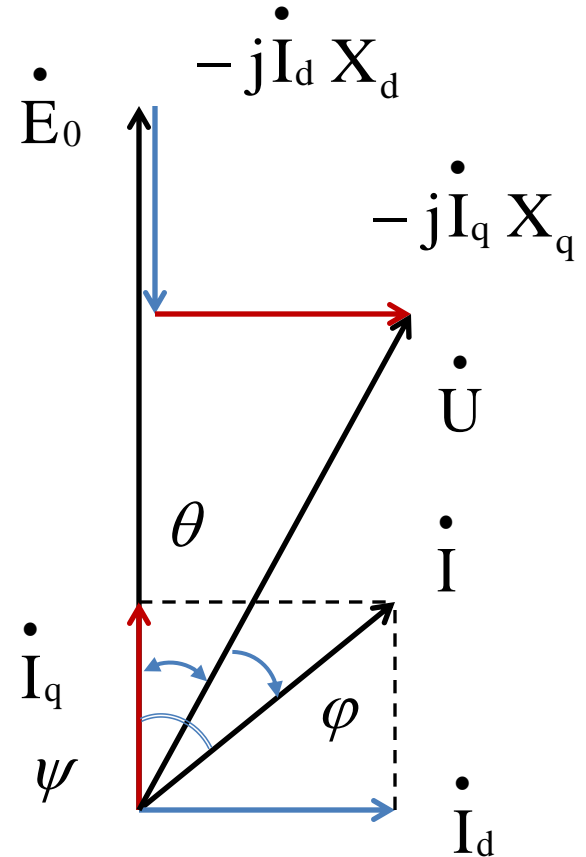
IR_u - điện áp rơi trên dây quấn stato

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Nếu bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn stato:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_q X_q - j\dot{I}_d X_d$$

Đồ thị véc tơ phương trình:



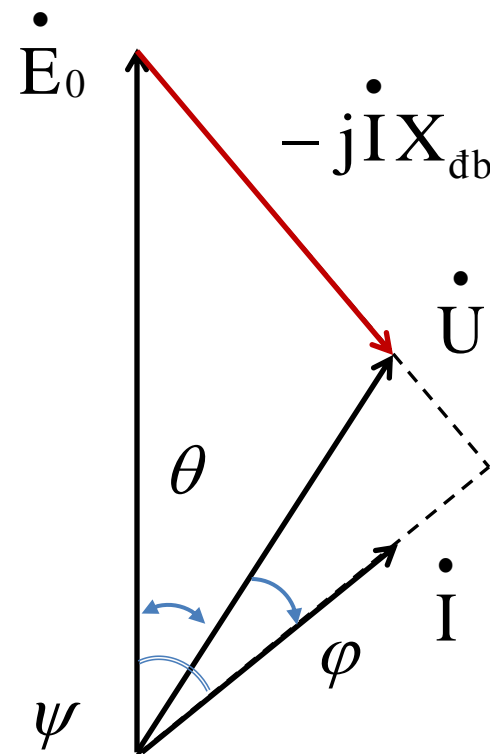
CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

4.2. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực ẩn

Máy cực ẩn là trường hợp đặc biệt của máy cực lồi, $X_d = X_q = X_{đb}$ gọi là điện kháng đồng bộ, thì phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}X_{đb} - \dot{I}R_u$$

Đồ thị véc tơ phương trình:



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

5. Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ

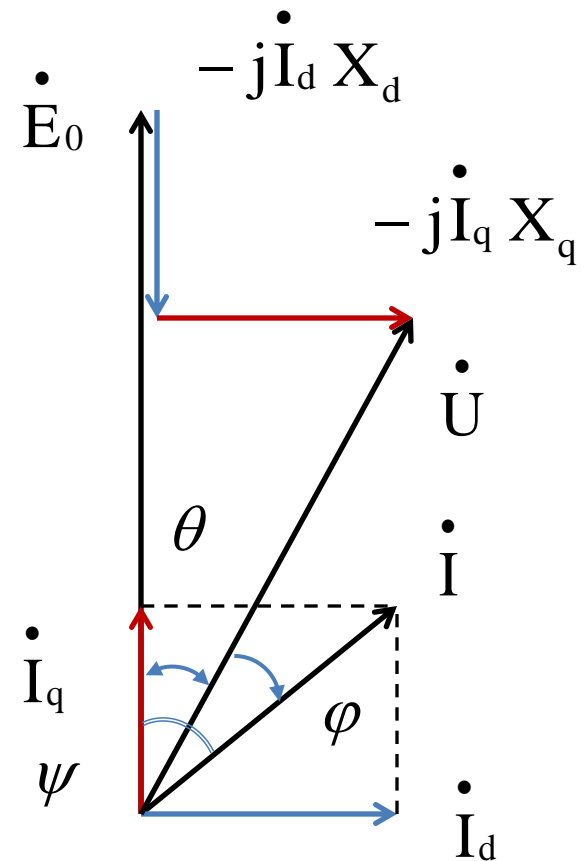
5.1. Công suất tác dụng P

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải:

$$P = m.U.I.\cos\varphi$$

Theo đồ thị véc tơ máy điện cực lõi, ta thấy $\varphi = \psi - \theta$, do vậy:

$$P = m.U.I.\cos(\psi - \theta)$$



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

$$P = m.U.I.\cos\psi\cos\theta + m.U.I.\sin\psi\sin\theta$$

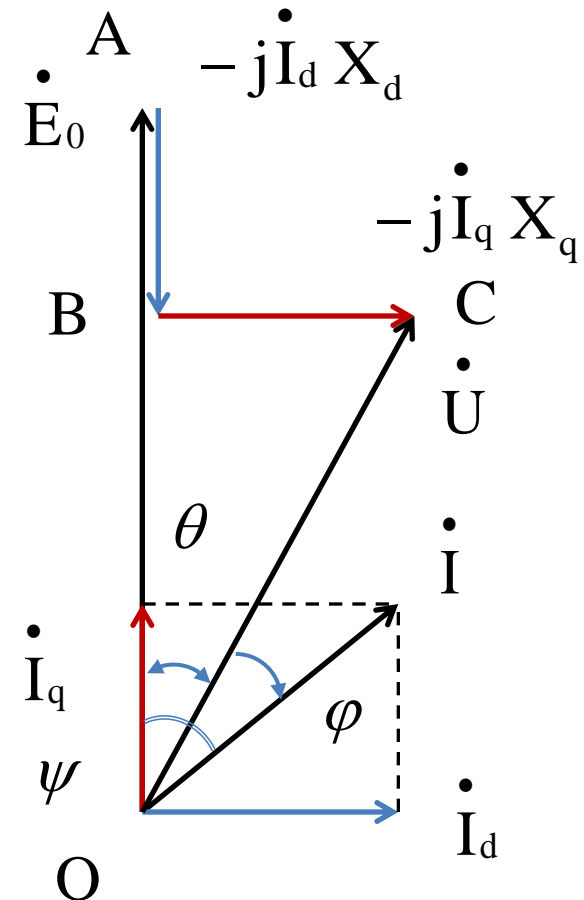
$$P = m.U.I_q\cos\theta + m.U.I_d\sin\theta$$

Từ đồ thị véc tơ:

$$I_q X_q = \overline{BC} = U \sin\theta \rightarrow I_q = \frac{U \sin\theta}{X_q}$$

$$I_d X_d = \overline{AB} = \overline{OA} - \overline{OB} = E_0 - U \cos\theta$$

$$\rightarrow I_d = \frac{E_0 - U \cos\theta}{X_d}$$



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Thay I_d , I_q vào biểu thức công suất tác dụng:

$$P = m.U \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_d} \sin \theta + m.U \frac{U \sin \theta}{X_q} \cos \theta$$

$$P = m.U \frac{E_0}{X_d} \sin \theta - m.U^2 \frac{\cos \theta}{X_d} \sin \theta + m.U^2 \frac{\sin \theta}{X_q} \cos \theta$$

$$P = m.U \frac{E_0}{X_d} \sin \theta + \frac{1}{2} m.U^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$

$$P = P_e + P_u$$

Công suất tác dụng gồm 2 thành phần: P_e và P_u

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Thành phần P_e : do dòng điện kích từ tạo ra, tỷ lệ với $\sin\theta$, là thành phần công suất chính.

$$P_e = m.U \frac{E_0}{X_d} \sin \theta$$

Thành phần P_u :

$$P_u = \frac{1}{2} m.U^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$

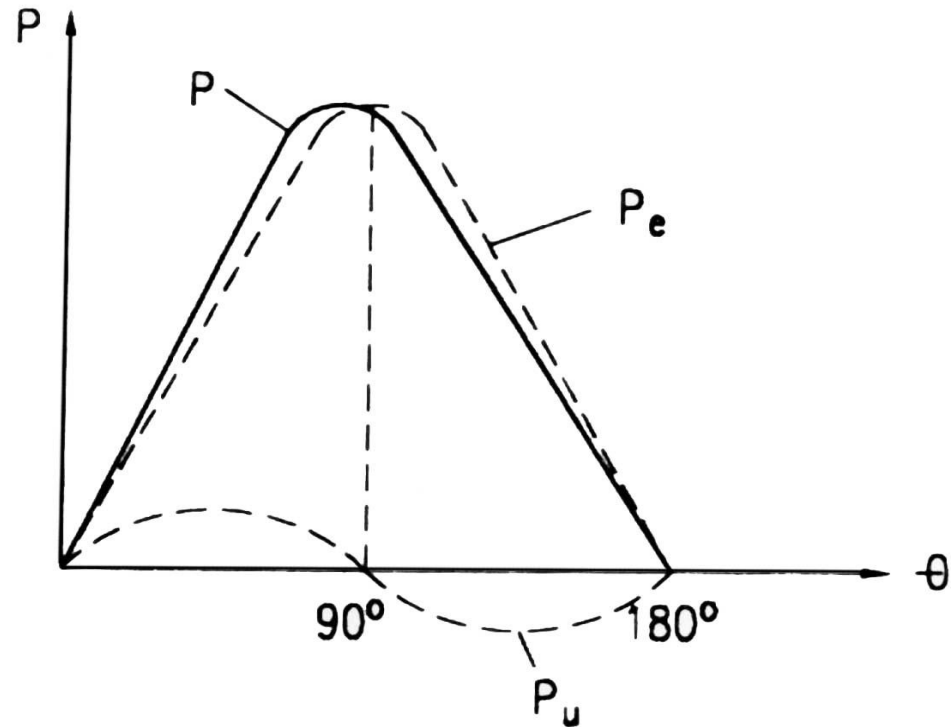
Thành phần P_u không phụ thuộc vào dòng kích từ và chỉ xuất hiện khi $X_q \neq X_d$. Với máy cực ẩn, $X_d = X_q \rightarrow P_u = 0$

Những động cơ đồng bộ, rôto có khe hở dọc và ngang trục khác nhau (cực lồi), khi không có dòng điện kích từ vẫn có thể hoạt động được do thành phần công suất P_u tạo nên được mômen quay \rightarrow nguyên lý của động cơ phản kháng

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Đặc tính $P = f(\theta)$ khi $U = \text{const}$,
 $E_0 = \text{const}$ được gọi là đặc tính
công suất – góc.

Máy phát, làm việc ổn định khi
 θ nằm trong khoảng $0 \div 90^\circ$, và
khi tải định mức, $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

5.2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ:

$$Q = m.U.I. \sin \varphi$$

$$Q = m.U.I. \sin(\psi - \theta)$$

$$Q = m.U.I. \sin \psi \cos \theta - m.U.I. \cos \psi \sin \theta$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

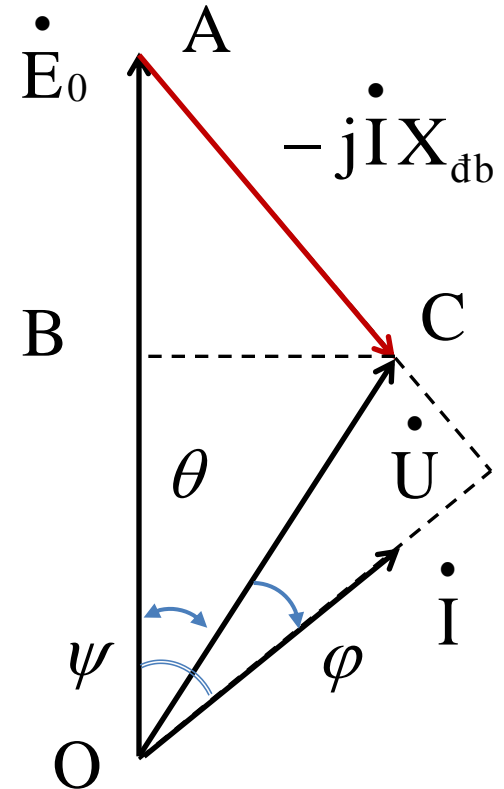
Từ đồ thị véc tơ:

$$I.X_{\text{đb}} \sin \psi = \overline{AB} = \overline{OA} - \overline{OB} = E_0 - U \cos \theta$$

$$\rightarrow I \sin \psi = \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_{\text{đb}}}$$

$$I.X_{\text{đb}} \cos \psi = \overline{BC} = U \sin \theta$$

$$\rightarrow I \cos \psi = \frac{U \sin \theta}{X_{\text{đb}}}$$



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Thay các giá trị $I \cos \varphi$ và $I \sin \varphi$ vào biểu thức công suất phản kháng

$$Q = m.U \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_{đb}} \cos \theta - m.U \frac{U \sin \theta}{X_{đb}} \sin \theta$$

$$Q = m.U \frac{E_0}{X_{đb}} \cos \theta - m.U^2 \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta}{X_{đb}}$$

$$Q = m.U \frac{E_0}{X_{đb}} \cos \theta - m. \frac{U^2}{X_{đb}}$$

$$Q = \frac{m.U}{X_{đb}} (E_0 \cos \theta - U)$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

5.3. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

+ Điều chỉnh công suất tác dụng:

Máy phát điện, cơ năng được biến thành điện năng.

Để điều chỉnh công suất tác dụng $P \rightarrow$ phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp (tuốc bin hơi, tuốc tin khí v.v..)

+ Điều chỉnh công suất phản kháng

Từ biểu thức công suất phản kháng

$$Q = \frac{m \cdot U}{X_{đb}} (E_0 \cos \theta - U)$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi giữ U, f, P không đổi thì xảy ra các trường hợp:

- Nếu $E_0 \cos\theta < U \rightarrow Q < 0$, máy không phát mà nhận công suất phản kháng của lưới, máy thiếu kích từ, làm giảm hệ số $\cos\varphi$ lưới điện.
- Nếu $E_0 \cos\theta = U \rightarrow Q = 0$ máy không phát mà cũng không nhận công suất Q của lưới.
- Nếu $E_0 \cos\theta > U \rightarrow Q > 0$, máy phát công suất phản kháng cung cấp cho lưới, máy quá kích từ.

Như vậy, muốn thay đổi công suất phản kháng, ta phải thay đổi E_0 bằng cách điều chỉnh dòng kích từ (I_{kt}).

Bởi vì khi I_{kt} tăng $\rightarrow E_0$ tăng $\rightarrow \cos\theta$ tăng (vì $E_0 \sin\theta = \text{const}$) do đó Q tăng

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

6. Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh

6.1. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính ngoài của máy phát là quan hệ điện áp trên cực máy phát và dòng điện tải, $U = f(I)$ khi tính chất tải không đổi ($\cos\varphi = \text{const}$, tần số và dòng điện kích từ máy phát không đổi)

Từ phương trình điện áp

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_q X_q - j\dot{I}_d X_d$$

Vẽ đồ thị điện áp máy phát ứng với các loại tải khác nhau:
R, L, C

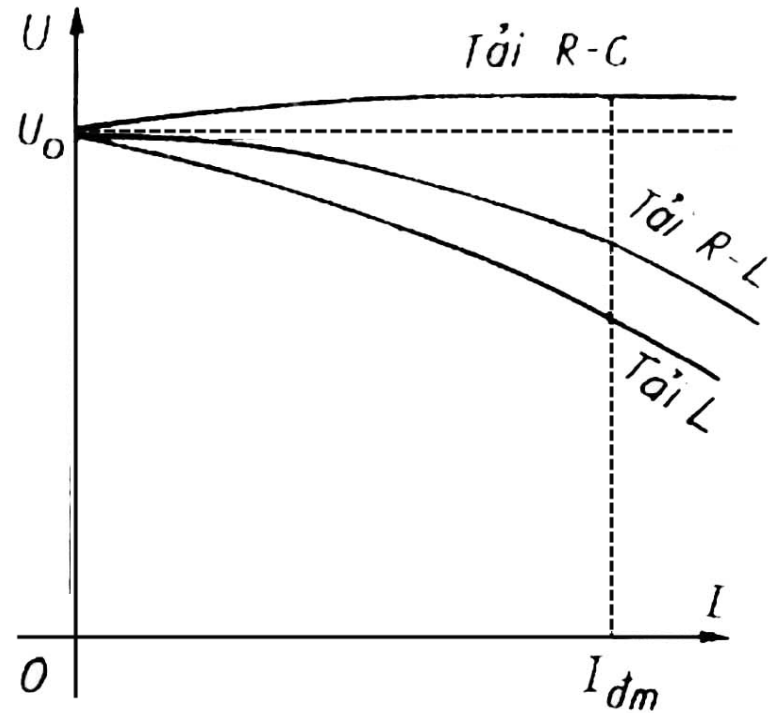
CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Đồ thị quan hệ $U = f(I)$ khi $\cos\varphi = \text{const}$, $I_{kt} = \text{const}$ và tần số không đổi.

Ta thấy khi phụ tải của máy phát điện tăng:

Đối với tải dung điện áp tăng.

Đối với tải cảm và trở, điện áp giảm (tải cảm điện áp giảm nhiều hơn)



Khi tải có tính chất cảm phản ứng phần ứng dọc trục khử từ làm từ thông tổng giảm do đó đặc tính ngoài dốc hơn tải điện trở

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

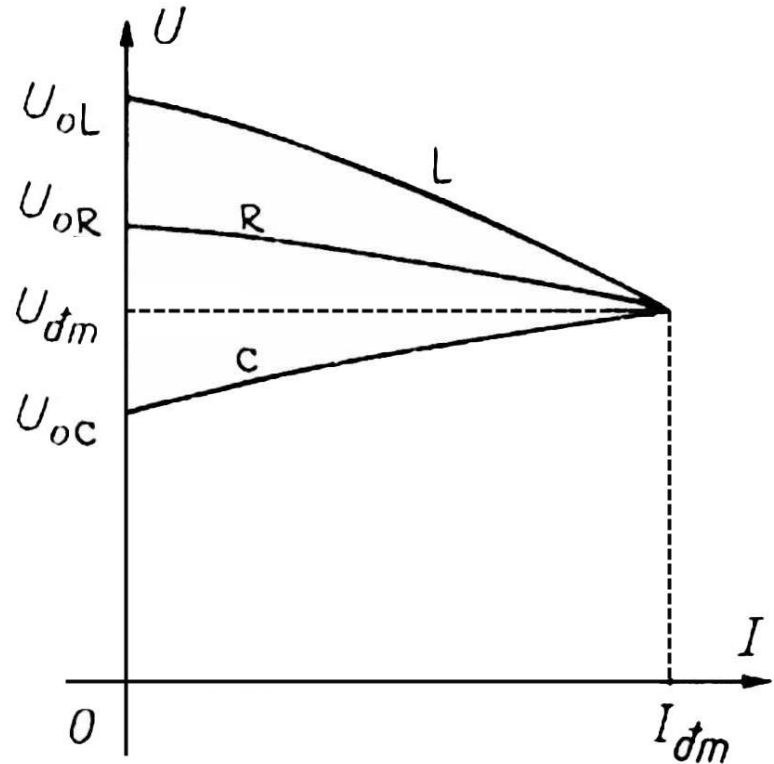
Với các loại tải khác nhau, để điện áp $U = U_{đm}$ khi tải định mức \rightarrow phải thay đổi E_0 bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ I_{kt} .

Đường đặc tính ngoài ứng với điều chỉnh kích từ sao cho khi $I = I_{đm}$ có $U = U_{đm}$ hình bên.

Trong đó: $E_0 = U_{0L}$ tải cảm,

$E_0 = U_{0R}$ tải trở

$E_0 = U_{0C}$ tải dung



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Độ biến thiên điện áp đầu cực của máy phát khi làm việc định mức so với khi không tải xác định:

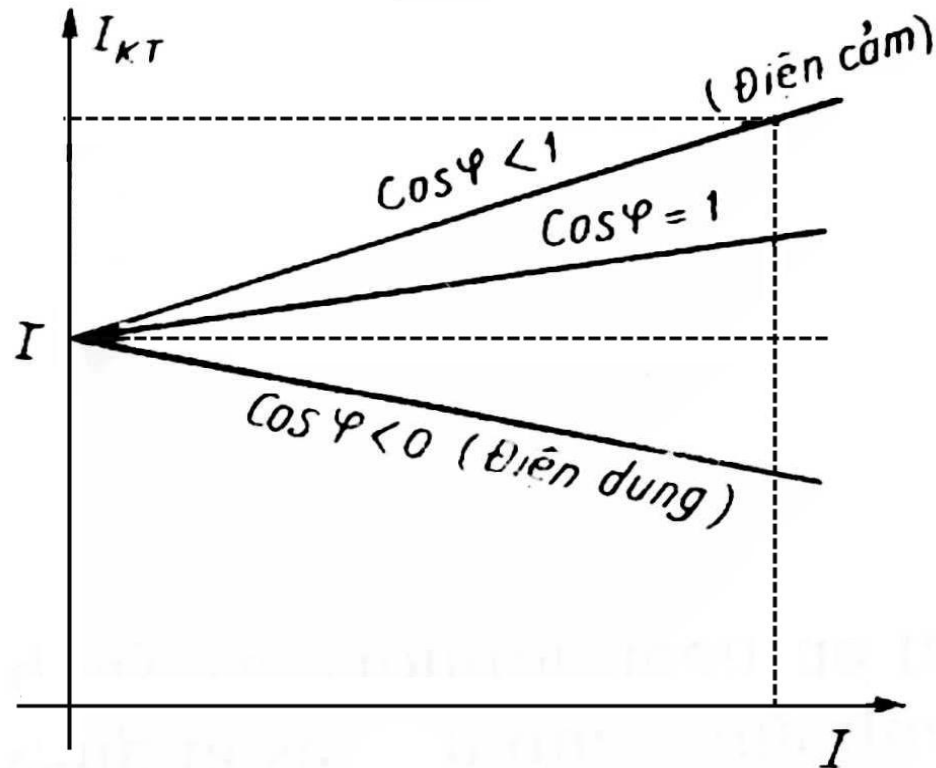
$$\Delta U_{\%} = \frac{U_0 - U_{đm}}{U_{đm}} 100 = \frac{E_0 - U_{đm}}{U_{đm}} 100$$

Độ biến thiên điện áp $\Delta U_{\%}$ của máy phát đồng bộ có thể đạt đến vài chục phần trăm vì điện kháng đồng bộ $X_{đb}$ khá lớn

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

6.2. Đặc tính điều chỉnh

Đường đặc tính điều chỉnh là quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng điện tải khi điện áp U không đổi và bằng định mức



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

7. Máy phát điện đồng bộ làm việc song song

Hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau cùng cấp điện cho phụ tải, tạo thành lưới điện.

Công suất của lưới điện rất lớn so với công suất mỗi máy riêng rẽ, do đó điện áp cũng như tần số của lưới có thể giữ không đổi, khi thay đổi tải.

Để các máy làm việc song song, phải đảm bảo các điều kiện sau:

1. Điện áp của máy phát phải bằng điện áp của lưới điện và trùng pha nhau.
2. Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện.
3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

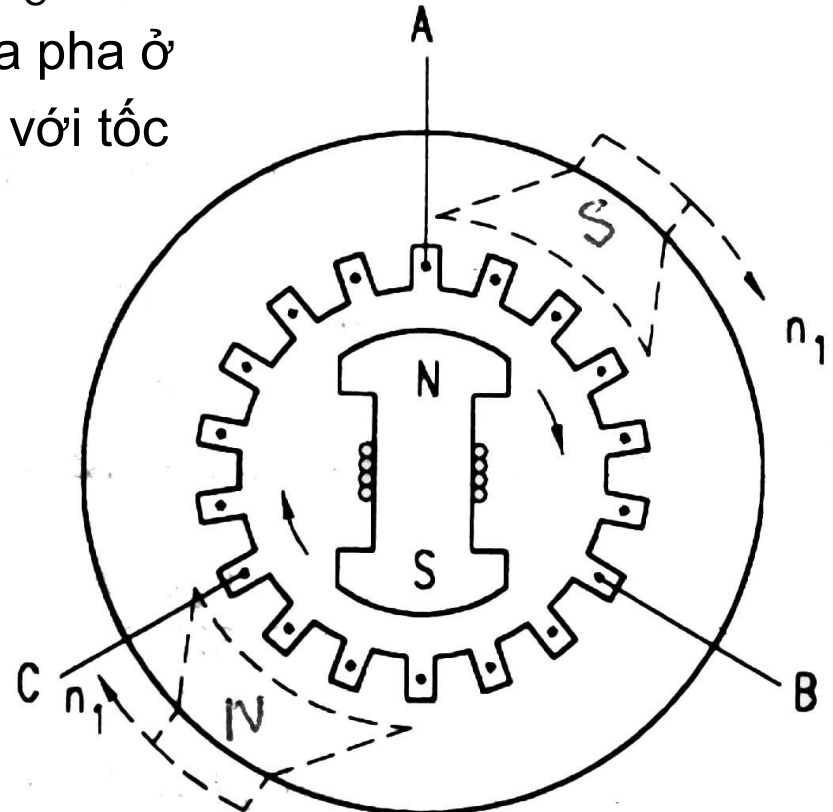
8. Động cơ điện đồng bộ

8.1. Nguyên lý làm việc, phương trình điện áp và độ thị véctor

Khi cho dòng điện ba pha i_A, i_B, i_C vào ba dây quấn stato, dòng điện ba pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ $n_1 = 60.f / p$.

Đồng thời, cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto \rightarrow nam châm điện.

Tác dụng tương hỗ giữa từ trường stato và từ trường rôto tạo ra lực tác dụng lên rôto



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Từ trường stato quay với tốc độ n_1 nên lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto quay với tốc độ $n = n_1$. Trục rôto nối với máy sản xuất, thì động cơ đồng bộ cũng kéo máy đó quay với tốc độ n không đổi

Phương trình cân bằng điện áp của động cơ điện đồng bộ:

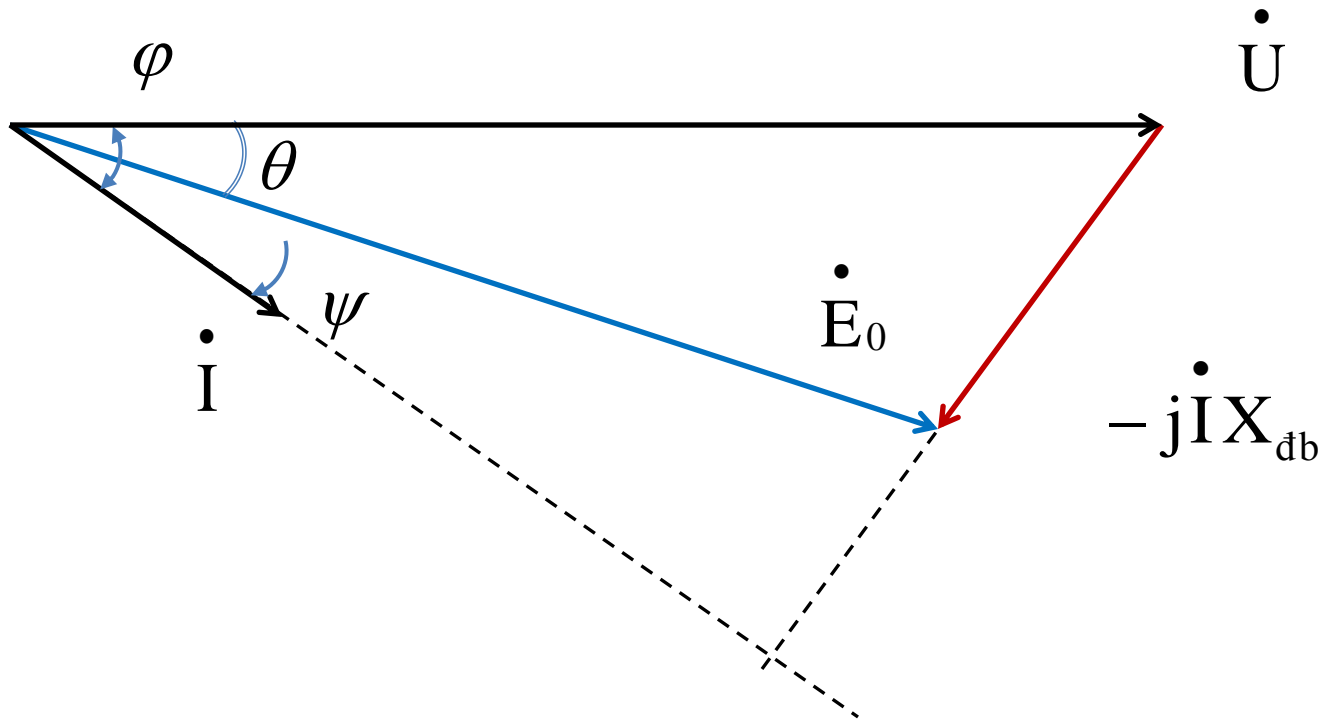
$$\dot{U} = \dot{E}_0 + j\dot{I}X_{đb} + \dot{I}R_u$$

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn Stato

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + j\dot{I}X_{đb}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Đồ thị véc tơ:



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.2. Điều chỉnh hệ số $\cos\varphi$ của động cơ điện đồng bộ

Thay đổi tăng dòng kích từ thì E_0 tăng. Nhưng giữ cho công suất tác dụng không đổi thì $E_0 \sin\theta = \text{const} \rightarrow \cos\theta$ tăng.

Như vậy có thể thay đổi công suất phản kháng Q dẫn đến thay đổi được hệ số $\cos\varphi$.

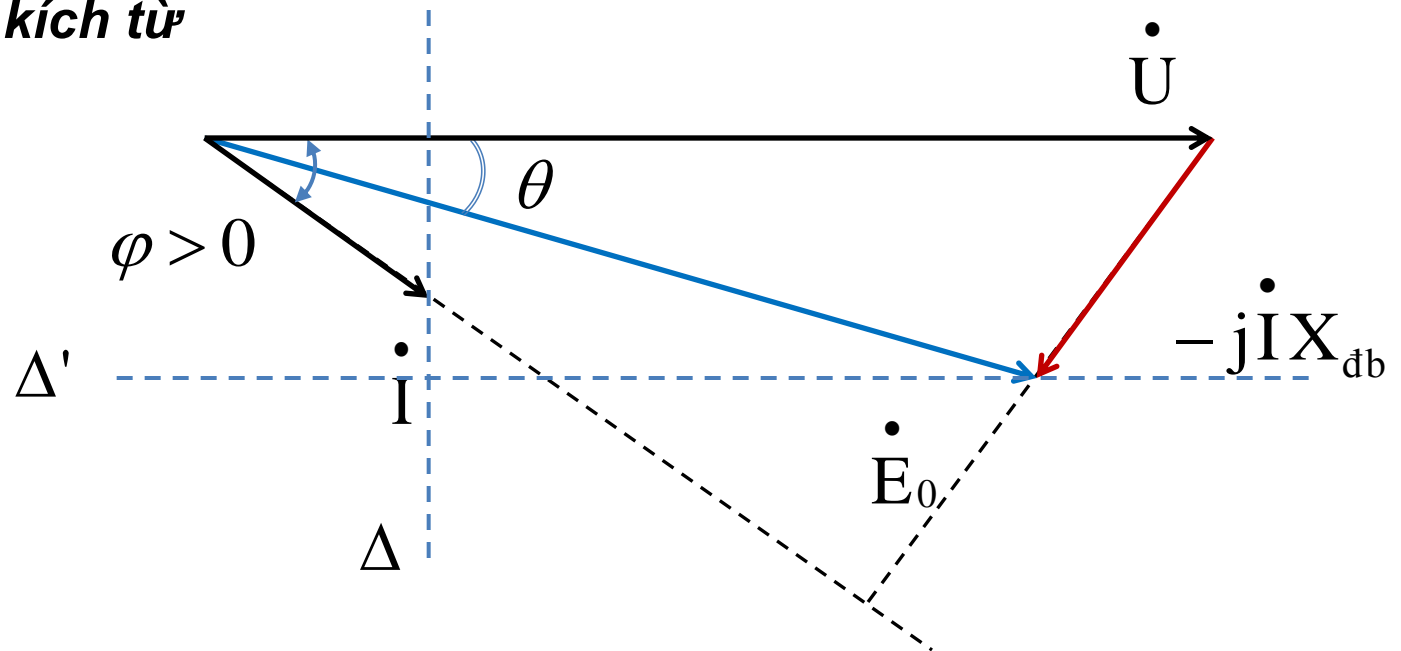
Để thấy rõ điều này ta xét 3 trường hợp thể hiện trên đồ thị véc tơ ứng với 3 tình trạng:

- Thiếu kích từ
- Đủ kích từ
- Quá kích từ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Do U, f, P không đổi nên $I \cos \varphi = \text{const}$, $E_0 \sin \theta = \text{const}$ nên véc tơ E và I có điểm cuối trên các đường Δ và Δ'

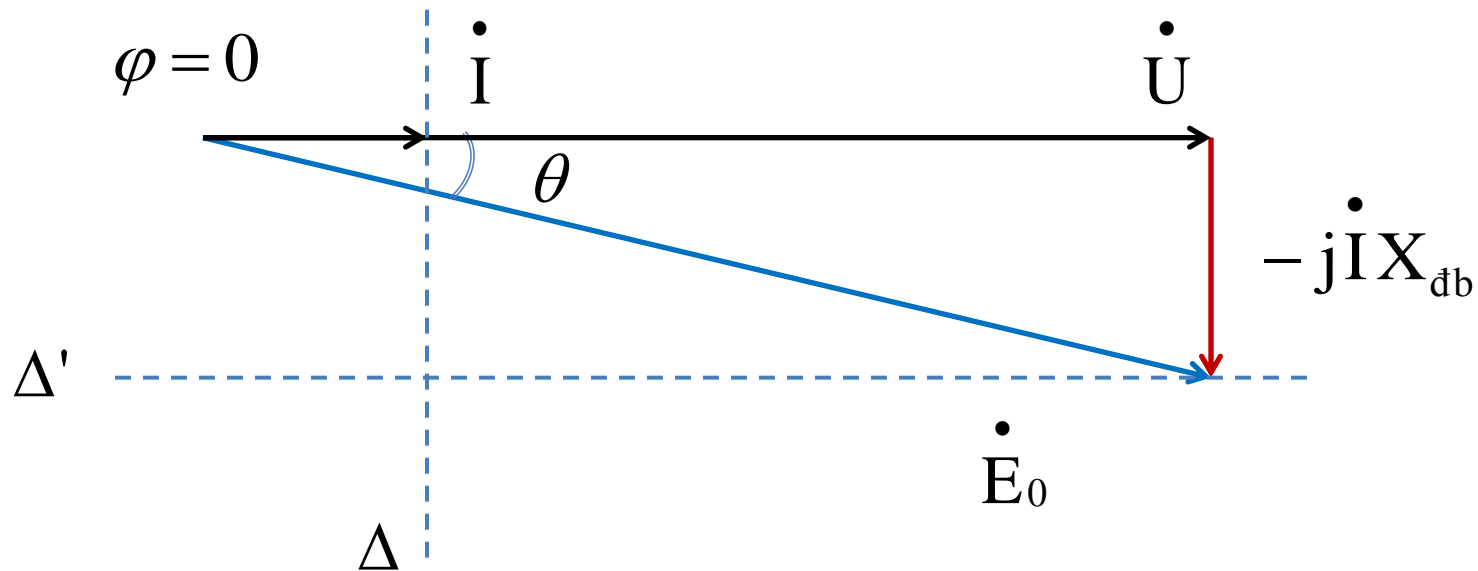
- *Thiếu kích từ*



Dòng chậm pha sau áp, góc $\varphi > 0$, động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

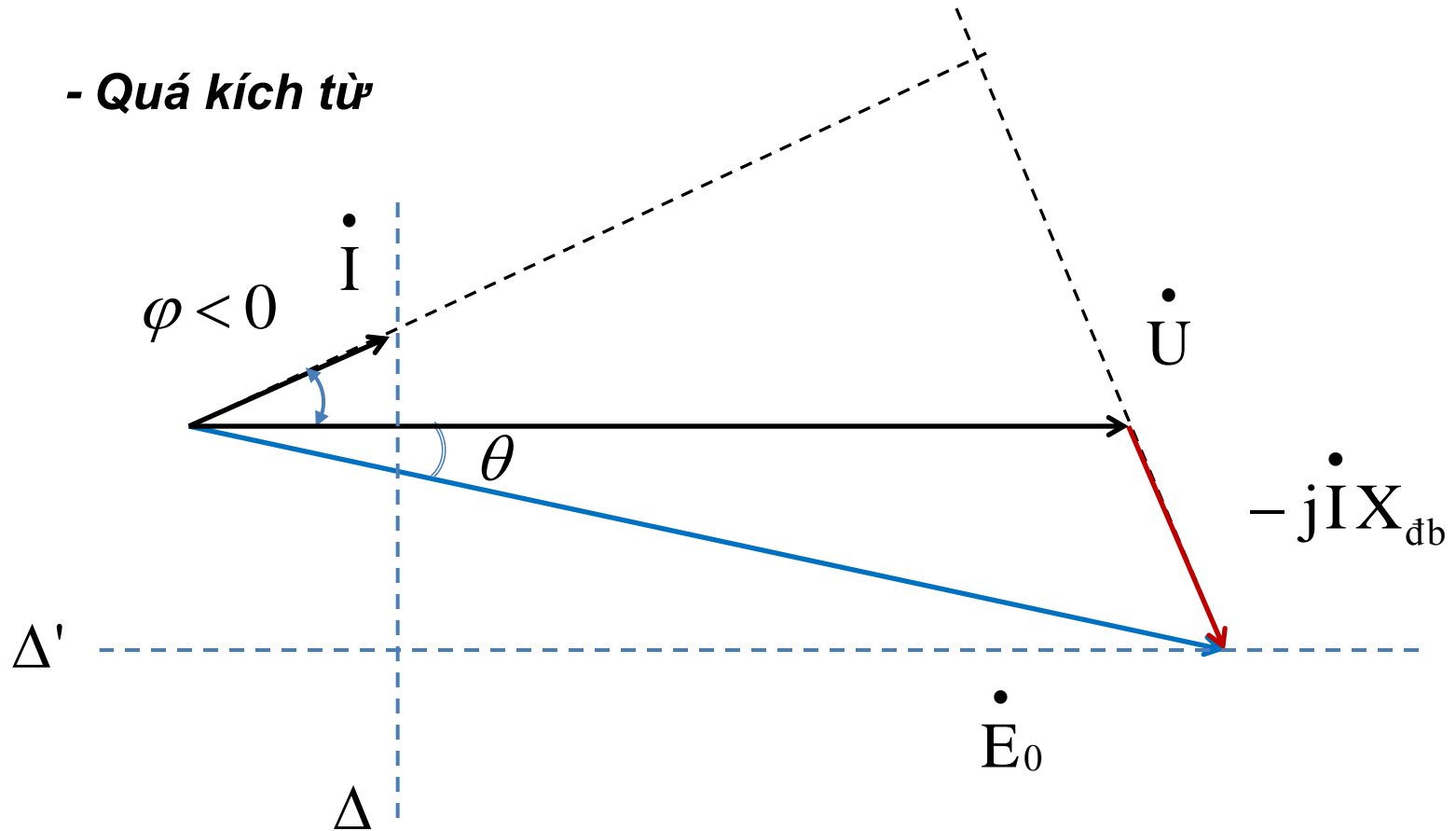
- *Đủ kích từ*



Dòng trùng pha với điện áp, góc $\varphi = 0$, động cơ không tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Quá kích từ



Dòng sớm pha trước điện áp, góc $\varphi < 0$, động cơ phát công suất phản kháng vào lưới điện.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.3. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Mở máy động cơ đồng bộ, cho dòng điện xoay chiều ba pha vào 3 dây quấn phần ứng và cho dòng điện một chiều vào dây quấn kích từ thì động cơ không thể quay được.

Do sự đổi chiều dòng điện trong dây quấn phần ứng làm chiều của lực điện từ đổi chiều theo chiều dòng điện trong dây quấn phần ứng → vì có quán tính, rôto không quay ngay được, lực điện từ (do đó mômen điện từ) tác dụng lên rôto phải theo một chiều cố định.

Để mở máy động cơ đồng bộ phải áp dụng các phương pháp đặc biệt.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

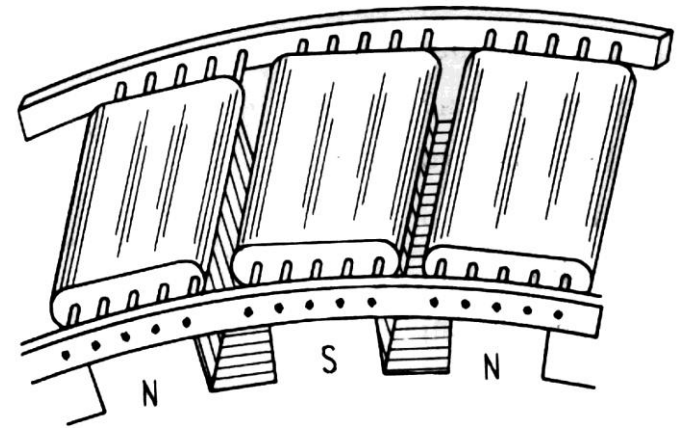
- *Mở máy nhờ động cơ phụ:*

Dùng động cơ không đồng bộ kéo rôto của động cơ đồng bộ đến một tốc độ nào đấy, sau đó động cơ sẽ quay đồng bộ theo nguyên lý của nó

- *Mở máy trực tiếp:*

Cấu tạo động cơ đồng bộ có khác biệt, trên các mặt cực từ rôto, có các thanh dẫn được nối ngắn mạch như lồng sóc ở động cơ không đồng bộ.

Khi mở máy nhờ có dây quấn mở máy ở rôto, động cơ làm việc như động cơ không đồng bộ



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trong quá trình mở máy ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ phải được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng 6-10 lần điện trở dây quấn kích từ.

Khi rôto đã quay lên tốc độ $n \approx n_1$, ta đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ.

Với động cơ công suất lớn (khoảng 3-5MW, phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào stato, thường dùng điện kháng hay máy biến áp tự ngẫu nối vào mạch stato.

Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ điện không đồng bộ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

9. Các ví dụ

Ví dụ 1:

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn đầu sao, $S_{đm} = 10.000$ kVA; $U_{đm} = 6,3$ kV; $f = 50$ Hz; $\cos\varphi = 0,8$; số đôi cực $p = 2$; điện trở dây quấn stato $R = 0,04\Omega$; điện kháng đồng bộ $X_{đb} = 1\Omega$; tổn hao kích từ $\Delta P_{kt} = 2\% P_{đm}$, tổn hao cơ, sắt từ $\Delta P_{cstf} = 2,4\% P_{đm}$.

- a) Tính tốc độ quay rôto, dòng điện định mức
- b) Tính công suất tác dụng và phản kháng máy phát ra.
- c) Công suất động cơ sơ cấp kéo máy phát và hiệu suất máy phát

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Bài giải:

a) Tốc độ quay rôto:

$$n = \frac{60.f}{p} = \frac{60.50}{2} = 1500(\text{vg / ph})$$

Dòng điện định mức:

$$I_{\text{đm}} = \frac{S_{\text{đm}}}{\sqrt{3}.U_{\text{đm}}} = \frac{10.10^3}{\sqrt{3}.6,3} = 916,5\text{A}$$

b) Công suất tác dụng và phản kháng :

$$P_{\text{đm}} = S_{\text{đm}} \cos \varphi = 10.10^3.0,8 = 8.10^3 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{đm}} = S_{\text{đm}} \sin \varphi = 10.10^3.0,6 = 6.10^3 \text{ kVAr}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Tổn hao kích từ

$$\Delta P_{kt} = 0,02.P_{đm} = 0,02.8.10^3 = 160\text{kW}$$

Tổng tổn hao sắt từ, cơ và phụ

$$\Delta P_{st.cf} = 0,024.P_{đm} = 0,024.8.10^3 = 192\text{kW}$$

Tổn hao trên điện trở dây quấn phản ứng

$$\Delta P_{đl} = 3.916,5^2.0,04 = 100,8\text{ kW}$$

Công suất động cơ sơ cấp:

$$P_1 = P_{đm} + P_{kt} + P_{st.cf} + P_{đl}$$

$$P_1 = 8000 + 160 + 192 + 100,8 = 8452,8\text{ kW}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Hiệu suất máy phát

$$\eta = \frac{P_{\text{đm}}}{P_1} = \frac{8000}{8452,8} = 0,946$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Ví dụ 2:

Hai máy phát điện đồng bộ làm việc song song cung cấp điện cho hai tải:

Tải 1: $S_1 = 5000$ kVA; $\cos\varphi_1 = 0,8$

Tải 2: $S_2 = 3000$ kVA; $\cos\varphi_2 = 1$.

Máy phát thứ nhất phát ra $P_1 = 4000$ kW, $Q_1 = 2500$ kVAr. Tính công suất máy phát thứ hai và hệ số công suất mỗi máy phát.

Bài giải:

Công suất tác dụng của 2 tải

$$P_t = S_1 \cos \varphi_1 + S_2 \cos \varphi_2$$

$$P_t = 5000 \cdot 0,8 + 3000 \cdot 1 = 7000 \text{ kW}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Công suất phản kháng của 2 tải

$$Q_t = S_1 \sin \varphi_1 + S_2 \sin \varphi_2$$

$$Q_t = 5000 \cdot 0,6 + 0 = 3000 \text{ kVAr}$$

Công suất tác dụng máy phát 2:

$$P_2 = P_t - P_1 = 7000 - 4000 = 3000 \text{ kW}$$

Công suất phản kháng máy phát 2:

$$Q_2 = Q_t - Q_1 = 3000 - 2500 = 500 \text{ kVAr}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Hệ số công suất máy phát 1:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} = \frac{4000}{\sqrt{4000^2 + 2500^2}} = 0,848$$

Hệ số công suất máy phát 2:

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{3000}{\sqrt{3000^2 + 500^2}} = 0,986$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Ví dụ 3:

Một động cơ điện đồng bộ ba pha đấu sao có thông số $P_{\text{đm}} = 575$ kW, $U_{\text{đm}} = 6000\text{V}$; $\eta = 0,95$; $\cos\varphi_{\text{đm}} = 1$; $f = 50\text{Hz}$.

a) Tính mômen quay định mức, dòng điện định mức.

b) Nếu mômen cản chỉ đạt 75% $M_{\text{đm}}$ thì công suất phản kháng tối đa động cơ có thể bù cho mạng điện là bao nhiêu? Muốn đạt điều đó phải làm thế nào?

Bài giải:

a) Tốc độ quay rôto

$$n = n_1 = \frac{60.f}{p} = \frac{60.50}{3} = 1000(\text{vg / ph})$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Dòng điện định mức

$$I_{\text{đm}} = \frac{P_{\text{đm}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{đm}} \cos \varphi_{\text{đm}} \eta_{\text{đm}}} = \frac{575 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 1 \cdot 0,95} = 58,2 \text{ A}$$

Tốc độ góc định mức

$$\omega_{\text{đm}} = \frac{2\pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,67 \text{ (rad / s)}$$

Mômen định mức

$$M_{\text{đm}} = \frac{P_{\text{đm}}}{\omega_{\text{đm}}} = \frac{575 \cdot 10^3}{104,67} = 5493 \text{ Nm}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Công suất điện động cơ tiêu thụ

$$P_{1đ} = \frac{P_{đm}}{\eta_{đm}} = \frac{575}{0,95} = 605\text{kW}$$

Tổn hao công suất động cơ khi tải định mức

$$\Delta P = P_{1đ} - P_{đm} = 605 - 575 = 30\text{kW}$$

Tổn hao công suất động cơ khi tải gần định mức gần như không thay đổi:

Cơ năng động cơ phát ra khi mômen cản bằng 75% định mức:

$$P_{co} = 0,75.P_{đm} = 0,75.575 = 431\text{kW}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Công suất tác dụng động cơ điện nhận ở lưới điện:

$$P_1 = P_{co} + \Delta P = 431 + 30 = 461 \text{ kW}$$

Công suất phản kháng động cơ điện có khả năng phát :

$$Q_{\max} = \sqrt{S_{\text{đm}}^2 - P_1^2} = \sqrt{605^2 - 461^2} = 390 \text{ kVAr}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Bài tập

Bài số 8.1

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn, dây quấn stato nối sao, điện áp dây không tải $U_{0d} = 398,4V$.

Khi dòng điện tải $I = 6A$, $\cos\varphi = 0,8$ ($\varphi > 0$) thì điện áp $U_d = 380V$.

Thông số dây quấn stato $R = 0$; điện kháng tản $X_t \approx 0,2\Omega$.

a) Tính sức điện động pha của máy phát khi không tải.

b) Tính điện kháng đồng bộ $X_{đb}$ và điện kháng X_{σ} .

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Bài giải:

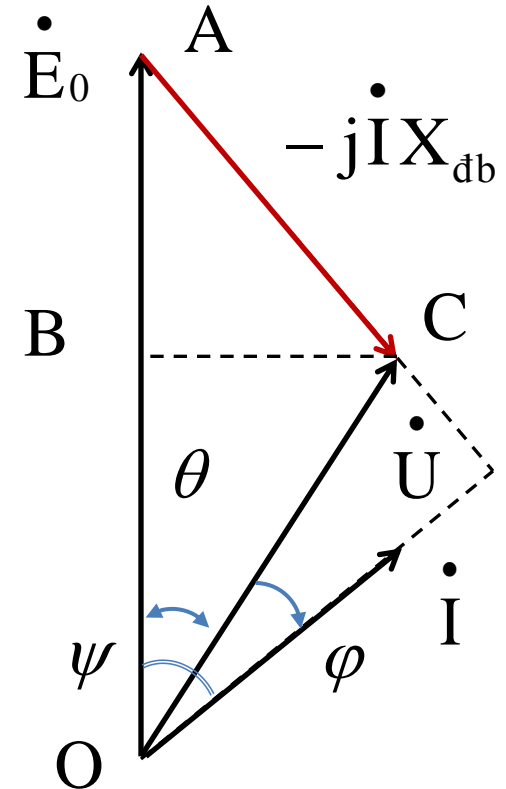
Khi không tải, dòng điện $I = 0$, điện áp ở cực máy bằng số:

$$E_0 = \frac{U_{0d}}{\sqrt{3}} = \frac{398,4}{\sqrt{3}} = 230V$$

Theo đồ thị véc tơ điện áp máy cực ẩn:

$$(I.X_{db} + U_p \sin \varphi)^2 = E_0^2 - (U_p \cos \varphi)^2$$

$$I.X_{db} = \sqrt{E_0^2 - (U_p \cos \varphi)^2} - U_p \sin \varphi$$



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Điện kháng đồng bộ:

$$X_{đb} = \frac{\sqrt{E_0^2 - (U_p \cos \varphi)^2} - U_p \sin \varphi}{I}$$

$$X_{đb} = \frac{\sqrt{230^2 - (220 \cdot 0,8)^2} - 220 \cdot 0,6}{6} = 2,68 \Omega$$

Điện kháng phản ứng:

$$X_u = X_{đb} - X_t = 2,68 - 0,2 = 2,48 \Omega$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Bài số 8.2.

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn, có $S_{đm} = 1500\text{kVA}$, $U_{đm} = 6000\text{V}$; $\cos\varphi_{đm} = 0,8$; dây quấn stato nối Y và có điện trở $R = 0,45\Omega$; điện kháng đồng bộ $X_{đb} = 6\Omega$.

a) Một tải có $U = 6000\text{V}$, $\cos\varphi = 0,8$ tiêu thụ dòng điện bằng định mức của máy phát. Tính dòng điện, công suất tác dụng và công suất phản kháng của tải.

b) Nếu cắt tải còn dòng kích từ vẫn giữ trị số như lúc có tải như trên thì điện áp đầu cực máy phát bằng bao nhiêu?

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Bài giải:

Dòng điện định mức máy phát:

$$I_{\text{đm}} = \frac{S_{\text{đm}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{đm}}} = \frac{1,5 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 144 \text{A}$$

Dòng điện tải bằng dòng định mức máy phát → công suất của tải:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 144 \cdot 0,8 = 1200 \text{kW}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 144 \cdot 0,6 = 900 \text{kVAr}$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Từ phương trình điện áp máy phát cực ẩn \rightarrow vẽ đồ thị véc tơ:

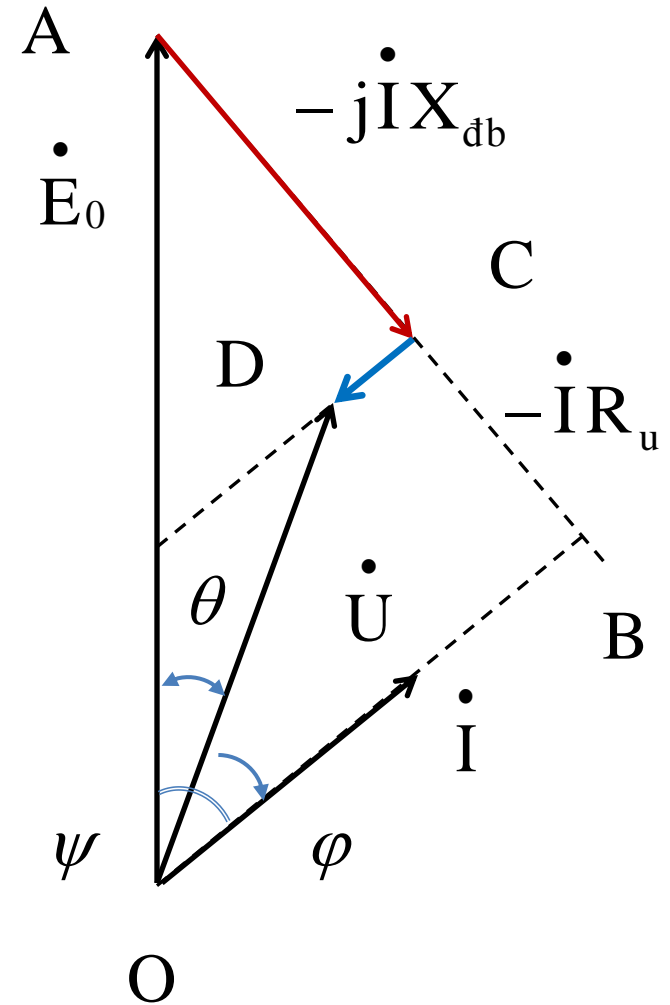
$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}X_{đb} - \dot{I}R_u$$

Từ đồ thị véc tơ:

$$E_0 = \overline{OA} = \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{OB}^2}$$

$$\overline{AB} = I.X_{đb} + U.\sin \varphi$$

$$\overline{OB} = I.R_u + U \cos \varphi$$



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

$$E_0 = \sqrt{(IX_{đb} + U \sin \varphi)^2 + (IR_u + U \cos \varphi)^2}$$

$$E_0 = \sqrt{(144.6 + 3464.0,6)^2 + (144.2 + 3464.0,8)^2}$$

$$E_0 = 4244V$$

Điện áp máy phát:

$$U = \sqrt{3}.E_0 = \sqrt{3}.4244 = 7351V$$

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Bài số 8.3.

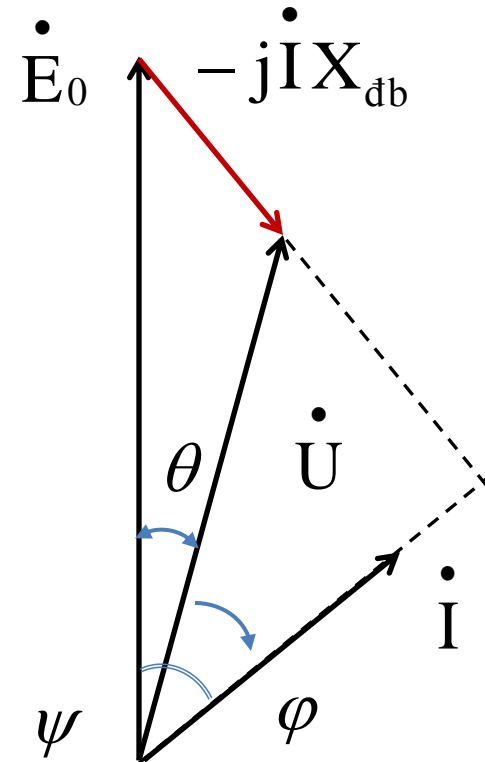
Một máy phát điện đồng bộ cực ẩn có sức điện động $E = 420\text{V}$, điện kháng tản $X_t = 1\Omega$ cấp điện cho tải được kích thích sao cho trên tải có dòng tác dụng, góc pha giữa điện áp với sức điện động là $\theta = 15^\circ$. Khi bỏ qua điện trở phần ứng, hãy xác định dòng điện tải, điện áp trên tải và công suất tác dụng

Bài số 8.3.

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}X_{db}$$

Đồ thị véc tơ phương trình:



CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

CHƯƠNG VIII : MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ
