

**Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp**

Giáo trình Kỹ thuật Điện

Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tân Lợi, Nguyễn Văn Tân, Võ Quang Sơn

Chương 8
MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.1. ĐẠI CƯƠNG

Máy điện đồng bộ là máy điện xoay chiều có tốc độ rôto n bằng tốc độ từ trường quay trong máy n_1 . Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay của rôto n luôn không đổi.

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của lưới điện các quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là tuabin hơi, tuabin nước hoặc tuabin khí. Các máy phát thường nối làm việc song song với nhau. Công suất của một máy phát đã chế tạo trên 1200MW.

Còn động cơ điện đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW và với yêu cầu tốc độ không đổi. Động cơ điện đồng bộ dùng trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, máy bơm, khí nén, quạt gió...

8.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của máy điện đồng bộ gồm có hai bộ phận chính là stator và rotor.

8.2.1. Stator (phản ứng)

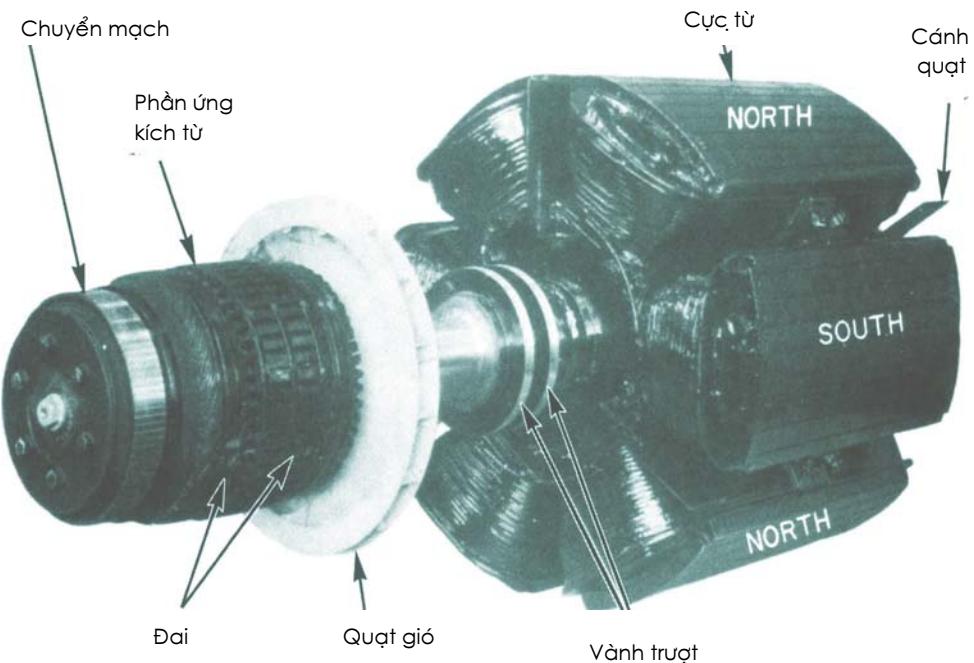
Stator của máy điện đồng bộ giống như stator của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stator và dây cuốn ba pha stator (xem lại phần máy điện không đồng bộ). Dây cuốn stator còn gọi là dây cuốn phản ứng.

8.2.2. Rotor (phản cảm)

Rotor của máy điện đồng bộ là nam châm điện gồm có lõi sắt và dây cuốn kích thích. Dòng điện đưa vào dây cuốn kích thích là dòng điện một chiều. Rotor của máy điện đồng bộ có hai kiểu là rotor cực lồi và rotor cực ẩn.

1. Rôto cực lồi:

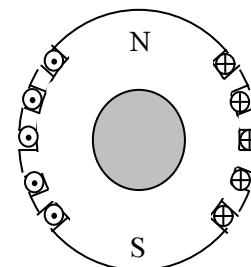
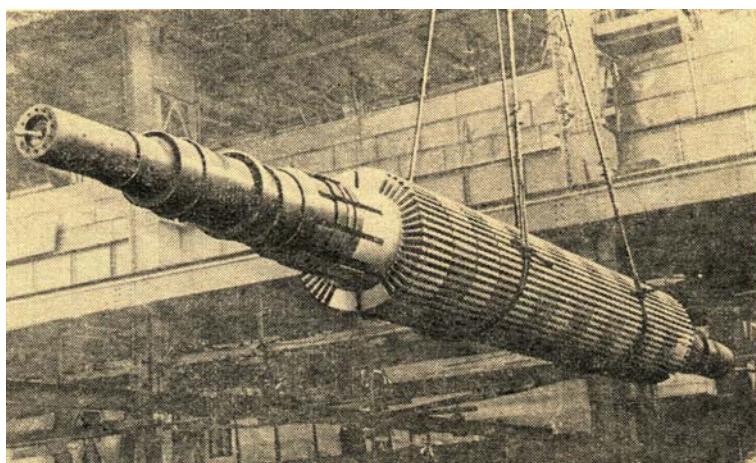
Dạng mặt cực để khe hở không khí không đều, mục đích là làm cho từ cảm phân bố trong khe hở không khí hình sin để sđd cảm ứng ở dây quấn stator hình sin (hình 8.1). Loại rôto này dùng ở các máy phát có tốc độ thấp, có nhiều đoi cực như máy phát kéo bởi tuốc bin thủy điện.



Hình 8.1 Rôto cực lồi

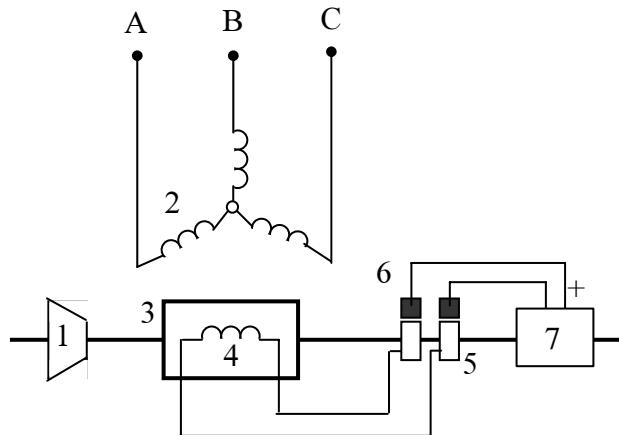
2. Rôto cực ẩn:

Khe hở không khí đều và rôto chỉ có hai cực hoặc bốn cực (hình 8.2). Loại rôto cực ẩn được dùng ở các máy có tốc độ cao như các máy kéo bởi tuốc bin nhiệt điện. Vì tốc độ cao nên để chống lực ly tâm, rôto được chế tạo nguyên khối có đường kính nhỏ.



Hình 8.2 Lõi thép và mặt cắt ngang rotor của máy điện đồng bộ cực ẩn

8.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ



Hình 8.3 Sơ đồ nguyên lý của MF đồng bộ ba pha

1. Động cơ sơ cấp (tuabin hơi); 2. Dây quấn stator;
3. Rôto của máy phát đồng bộ; 4. Dây quấn rôto; 5. Vành trượt;
6. Chổi than tì lên vòng trượt; 7. Máy phát điện một chiều nối cùng trực với máy phát điện đồng bộ.

Động cơ sơ cấp 1 (tuốc bin hơi) quay rôto máy phát điện đồng bộ đến gần tốc độ định mức (hình 8.3), máy phát điện một chiều 7 được thành lập điện áp và cung cấp dòng điện một chiều cho dây quấn kích thích 4 máy phát điện đồng bộ thông qua chổi than 5 và vòng góp 6, rôto 3 của máy phát điện đồng bộ trở thành nam châm điện. Do rôto quay, từ trường rôto quét qua dây quấn phần ứng stator và cảm ứng ra sđđ xoay chiều hình sin, có trị số hiệu dụng là:

$$E_0 = \pi \sqrt{2} f N k_{dq} \Phi_0 \quad (8.1)$$

Trong đó: E_0 là sđđ pha; N là số vòng dây của một pha; k_{dq} là hệ số dây qân; Φ_0 từ thông cực từ rôto.

Nếu rôto có số đôi cực từ là p , quay với tốc độ n thì sđđ cảm ứng trong dây quấn stator có tần số là:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (8.2a)$$

Hoặc

$$n = \frac{60f}{p} \text{ (vg/ph)} \quad (8.2b)$$

Khi dây quấn stator nối với tải, trong dây quấn sẽ có dòng điện ba pha chạy qua. Hệ thống dòng điện này sẽ sinh ra từ trường quay, gọi là từ trường phần ứng, có tốc độ là :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vg/ph)} \quad (8.2c)$$

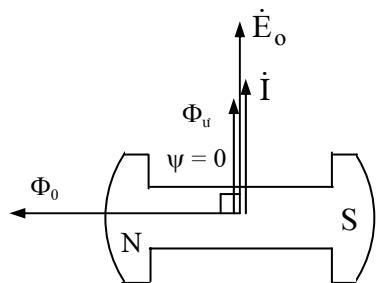
Từ (8.2b) và (8.2c), ta thấy tốc độ rôto n bằng tốc độ từ trường quay trong máy n_1 , nên gọi là *máy điện đồng bộ*.

8.4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

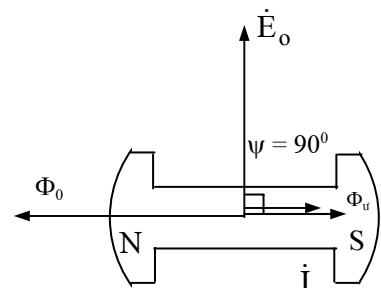
Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ Φ_0 cắt dây quấn stator và cảm ứng sđđ E_0 chệch pha so với từ thông Φ_0 góc 90° (hình 8.4a). Dây quấn stator nối với tải nên có dòng điện I cung cấp cho tải. Dòng điện I chạy trong dây quấn stator tạo nên từ trường quay phần ứng. Từ trường phần ứng quay đồng bộ với từ trường cực từ Φ_0 . Góc lệch pha giữa E_0 và I do tính chất tải quyết định. Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

Trường hợp tải thuần trở (hình 8.4a) : E_0 và I trùng pha nên $\psi = 0$. Dòng điện I sinh ra từ thông phần ứng Φ_u cùng pha với dòng điện. Từ thông phần ứng theo hướng ngang trực, ta gọi là phản ứng phần ứng ngang trực. Từ thông này làm méo từ trường cực từ.

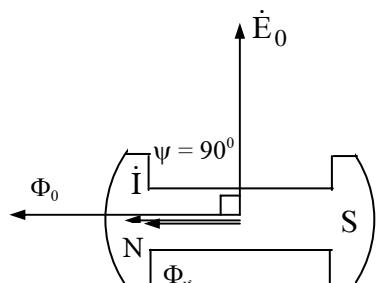
Trường hợp tải thuần cảm (hình 8.4b): E_0 và I lệch pha nhau một góc $\psi = 90^\circ$. Dòng điện I sinh ra từ thông phần ứng Φ_u ngược chiều với Φ_0 ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trực khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng.



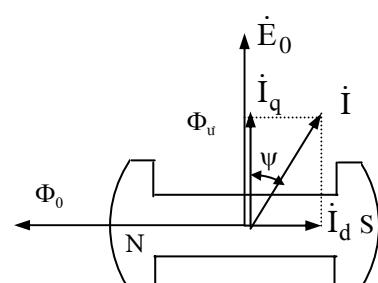
Hình 8.4a Tải thuần trở $\psi = 0$



Hình 8.4b Tải thuần cảm $\psi = 90^\circ$



Hình 8.4c Tải thuần dung $\psi = -90^\circ$



Hình 8.4d Tải hỗn hợp $\psi > 0$

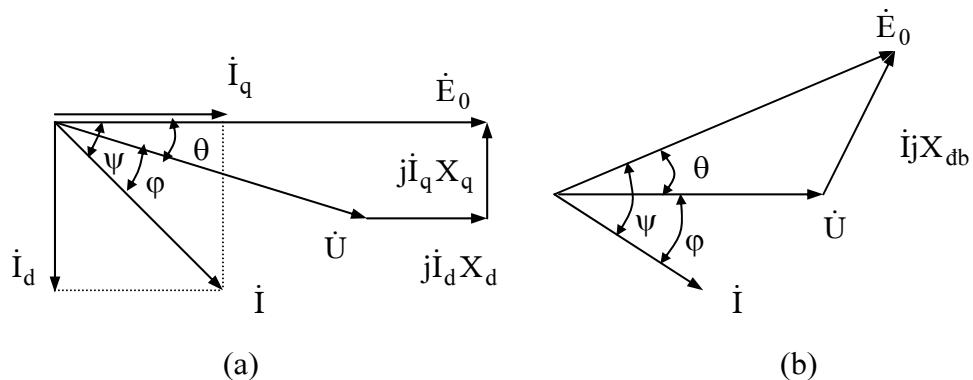
Trường hợp tải thuần dung (hình 8.4c): E_0 và I lệch pha nhau một góc $\psi = -90^\circ$. Dòng điện I sinh ra từ thông phần ứng Φ_u cùng chiều với Φ_0 ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trực trợ từ, có tác dụng làm tăng từ trường tổng.

Trường hợp tải hỗn hợp (hình 8.4d, tải có tính cảm : $0 < \psi < \pi/2$) : E_0 và I lệch pha nhau một góc ψ . Ta phân tích dòng điện I làm hai thành phần: Thành phần dọc trực $I_d = I \sin \psi$ sinh ra từ thông phần ứng dọc trực Φ_{ud} cùng chiều với Φ_0 và thành phần ngang trực $I_q = I \cos \psi$ sinh ra từ thông phần ứng ngang trực Φ_{uq} vuông góc với Φ_0 ta gọi chung là phản ứng phần ứng ngang trực khử từ. Trường hợp tải có tính dung ($-\pi/2 < \psi < 0$), phản ứng phần ứng ngang trực trợ từ.

8.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.5.1. Phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện cực lồi

Khi máy phát điện làm việc từ thông cực từ Φ_0 sinh ra sđđ E_0 ở dây quấn stato. Khi máy có tải dòng điện I trong dây quấn stato sinh ra từ trường phản ứng Φ_u . Ở máy cực lồi do khe hở dọc trực và ngang trực khác nhau nên ta phân tích Φ_u thành hai thành phần: dọc trực Φ_{ud} và ngang trực Φ_{uq} . Từ trường phản ứng ngang trực Φ_{uq} tạo nên sđđ ngang trực $\dot{E}_q = -j\dot{I}_q X_{uq}$, với X_{uq} là điện kháng phản ứng phần ứng ngang trực và từ trường phản ứng dọc trực Φ_{ud} tạo nên sđđ dọc trực $\dot{E}_d = -j\dot{I}_d X_{ud}$, với X_{ud} là điện kháng phản ứng phần ứng dọc trực.



Hình 8.5 Đồ thị vectơ máy phát điện đồng bộ
a. Máy cực lồi; b. Máy cực ẩn

Ngoài ra dòng điện tải I còn sinh ra từ thông tản của dây quấn stato được đặc trưng bởi điện kháng tản X_t không phụ thuộc hướng dọc trực hoặc ngang trực, tương ứng có sđđ tản là :

$$\dot{E}_t = -j\dot{I}X_t = -j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t \quad (8.3)$$

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

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

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d(X_{ud} + X_t) - j\dot{I}_q(X_{uq} + X_t) \quad (8.4)$$

Bỏ qua điện áp rơi trên điện trở dây quấn phần ứng jR_u , ta có :

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q \quad (8.5)$$

trong đó: $X_d = X_{ud} + X_t$ là điện kháng đồng bộ dọc trực;

$X_q = X_{uq} + X_t$ là điện kháng đồng bộ ngang trực.

Phương trình (8.5) tương ứng với đồ thị vectơ của máy phát điện đồng bộ cực lồi, hình 8.5a.

Từ phương trình điện áp và đồ thị vectơ ta thấy góc lệch pha giữa sđđ E_0 và điện áp U gọi là góc công suất θ , do phụ tải quyết định.

8.5.2. Phương trình điện áp của máy phát điện cực ẩn

Đối với máy phát đồng bộ cực ẩn là trường hợp đặc biệt của máy phát cực lồi, trong đó $X_{db} = X_d = X_q$, gọi là điện kháng đồng bộ. Phương trình điện áp của máy phát điện cực ẩn có thể viết là:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I} X_{db} \quad (8.6)$$

Đồ thị vectơ của nó được trình bày trên hình 8.5.b.

8.6. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.6.1. Công suất tác dụng

1. Máy phát cực lồi

Công suất tác dụng của máy phát điện cung cấp cho tải là

$$P = mUI\cos\phi \quad (8.7)$$

Trong đó: U , I tương ứng là điện áp pha, dòng điện pha. Còn m là số pha.

Theo đồ thị vectơ hình 8.5a, ta có $\phi = \psi - \theta$, do đó :

$$P = mUI\cos\phi = mUI\cos(\psi-\theta) = mUI\cos\psi.\cos\theta + mUI\sin\psi.\sin\theta .$$

$$P = mUI_q.\cos\theta + mUI_d.\sin\theta \quad (8.8)$$

với $I\cos\psi = I_q$ và $I\sin\psi = I_d$.

Theo đồ thị vectơ hình 8.5a, ta rút ra:

$$I_q = \frac{U\sin\theta}{X_q} \text{ và } I_d = \frac{E_0 - U\cos\theta}{X_d}$$

Thay biểu thức I_q và I_d vào phương trình (8.8), sau một vài biến đổi và bỏ qua tổn hao, ta có công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lồi:

$$P_{dt} = mU \frac{E_0}{X_d} \sin\theta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (8.9)$$

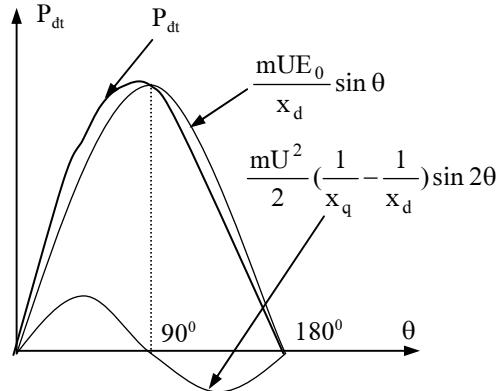
Ta thấy công suất điện tử gồm hai thành phần (hình 8.6):

- Thành phần $\frac{mUE_0}{X_d} \sin \theta$ do dòng điện kích từ tạo nên tỉ lệ với $\sin \theta$. Đó là

thành phần công suất chủ yếu của máy phát.

$$\text{- Thành phần } m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$

không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ xuất hiện khi $X_q \neq X_d$. Do đó người ta chế tạo động cơ điện đồng bộ với rôto có khe hở dọc trực và ngang trực khác nhau mà không cần dòng điện kích từ, do ảnh hưởng của thành phần công suất này cũng tạo nên được mômen quay, đó là nguyên lý của động cơ điện phản kháng.



Hình 8.6 Đặc tính góc công suất
máy phát cực lồi

Đặc tính $P = f(\theta)$ gọi là đặc tính góc công suất. Máy phát làm việc ổn định khi θ trong khoảng $0 \div \frac{\pi}{2}$; khi tải định mức $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$.

2. Máy phát cực ẩn

Với máy phát điện cực ẩn $X_d = X_q = X_{db}$ nên phương trình (8.9) viết lại thành:

$$P_{dt} = mU \frac{E_0}{X_{db}} \sin \theta \quad (8.10)$$

Khi máy phát điện cực ẩn phát công suất cực đại thì góc công suất $\theta = 90^\circ$.

VÍ DỤ 8.1

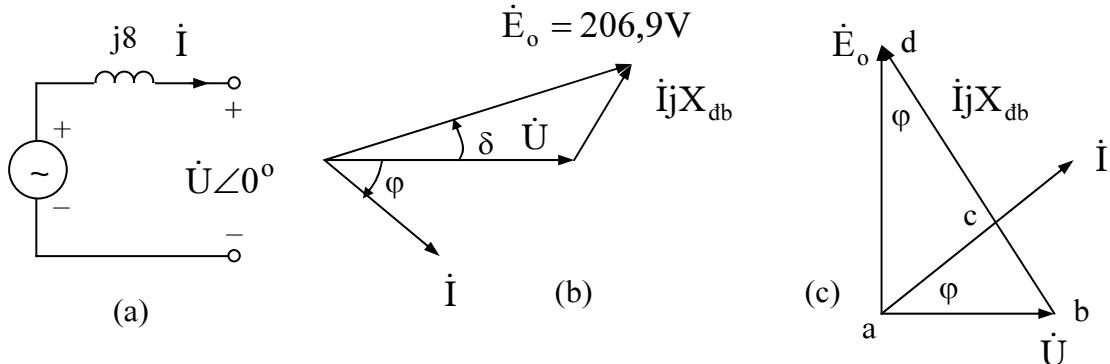
Máy điện đồng bộ ba pha cực ẩn 5kVA, 208V, 4 cực từ, 60Hz, nối Y có điện trở dây quấn stator không đáng kể và điện kháng đồng bộ $8\Omega/\text{pha}$. Máy làm việc ở chế độ máy phát nối vào lưới có 208V, 60Hz.

a. Xác định sđđ kích thích và góc công suất khi máy làm việc đầy tải có hệ số công suất 0,8 (R-L). Vẽ đồ thị vector trong trường hợp này.

b. Với dòng điện kích thích của câu (a), công suất động cơ só cấp giảm chậm. Tìm giá trị tương ứng của dòng điện stator, hệ số công suất và công suất phản kháng trong điều kiện máy phát công suất cực đại ?

Giải

Mạch điện thay thế của máy phát điện một pha trình bày trên hình VD8.1.



Hình VD 8.1 Mạch điện tương đương và đồ thị vector máy phát

a. Điện áp pha của máy phát :

$$U = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V}$$

Dòng điện stator khi dây tải :

$$I_{dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 208} = 13,9 \text{ A}$$

$$\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = 36,9^\circ \text{ (tính cảm)}$$

Phương trình cân bằng điện áp khi bỏ qua R_u :

$$\dot{E}_o = U \angle 0^\circ + \dot{I}jX_{db}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_o &= 120 \angle 0^\circ + 13,9 \angle -36,9^\circ \times 8 \angle 90^\circ \\ &= 206,9 \angle 25,5^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Sđđ kích thích của một pha : $E_o = 206,9 \text{ V}$

Góc công suất : $\theta = 25,5^\circ$.

b. Máy phát công suất cực đại xảy ra khi $\theta = 90^\circ$, vậy :

$$P_{max} = \frac{3E_o U}{X_{db}} = \frac{3 \times 206,9 \times 120}{8} = 9.320 \text{ W}$$

Dòng điện stator :

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_o - \dot{U}}{jX_{db}} = \frac{206,9 \angle 90^\circ - 120 \angle 0^\circ}{j8} = 29,9 \angle 30,1^\circ \text{ A}$$

Trị hiệu dụng : $I = 29,9 \text{ A}$.

Hệ số công suất : $\cos 30,1^\circ = 0,865$ (dung)

Cũng có thể dùng đồ thị vector (hình VD 8.1c) trong trường hợp phát công suất cực đại để tính dòng điện stator như sau :

$$(IX_{db})^2 = E_o^2 + U^2$$

$$\Rightarrow I = \left(\frac{206,9^2 - 120^2}{8^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 29,9 \text{ A.}$$

8.6.2. Công suất phản kháng

1. Máy phát cực lồi :

Công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ là:

$$Q = mUI\sin\varphi = mUI\sin(\psi-\theta) = mUI\sin\psi.\cos\theta + mUI\cos\psi.\sin\theta.$$

$$Q = mUI_d.\cos\theta + mUI_q.\sin\theta \quad (8.10)$$

Thay biểu thức I_q và I_d vào phương trình (8.10), sau một vài biến đổi và , ta có công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ cực lồi:

$$Q = mU \frac{E_0}{X_d} \cos\theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right) \quad (8.11)$$

2. Máy phát cực ẩn :

Đối với máy phát cực ẩn $X_d = X_q = X_{db}$ nên phương trình (8.11), ta có công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ cực ẩn là:

$$Q = \frac{mUE_0}{X_{db}} \cos\theta - \frac{mU^2}{X_{db}} = \frac{mU}{X_{db}} (E_0 \cos\theta - U) \quad (8.12)$$

8.6.3. Điều chỉnh công suất máy phát

1. Điều chỉnh công suất tác dụng :

Máy phát biến cơ năng thành điện năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát điện ta phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp.

2. Điều chỉnh công suất phản kháng :

Từ biểu thức công suất phản kháng (8.12), ta viết lại :

$$Q = \frac{mU(E_0 \cos\theta - U)}{X_{db}} \quad (8.13)$$

Giả thiết giữ U, f và P không đổi thì:

- Nếu $E_0 \cos\theta < U$ thì $Q < 0$, nghĩa là máy nhận công suất phản kháng của lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích thích.

- Nếu $E_0 \cos\theta > U$ thì $Q > 0$, máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích thích.

Như vậy, muốn điều chỉnh công suất phản kháng ta phải thay đổi E_0 , nghĩa là phải điều chỉnh dòng điện từ. Để tăng công suất phản kháng phát ra ta phải tăng dòng điện từ. Thực vậy, nếu tăng dòng điện từ, E_0 sẽ tăng và $\cos\theta$ tăng nhưng $E_0 \sin\theta$ không đổi, do đó Q tăng.

8.7. ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

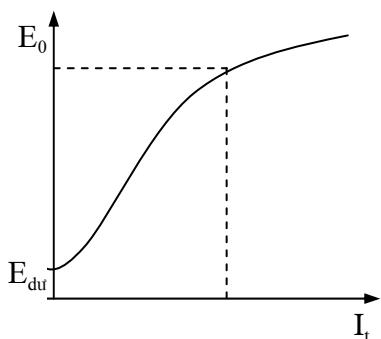
Chế độ làm việc của máy phát điện đồng bộ ở tải đối xứng được thể hiện rõ ràng qua các đại lượng như điện áp U ở đầu cực máy phát, dòng điện I trong dây quấn phần ứng, dòng điện kích thích I_t . Còn tần số $f = f_{dm} =$ hằng số và $\cos\phi =$ const do tải bên ngoài quyết định. Như vậy từ ba đại lượng còn lại ta thành lập các đặc tính máy phát điện đồng bộ sau đây:

- + Đặc tính không tải
- + Đặc tính ngoài
- + Đặc tính điều chỉnh

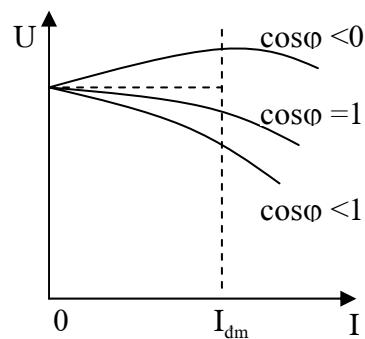
8.7.1. Đặc tính không tải của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính không tải của máy phát là quan hệ giữa sđđ E và dòng điện từ I_t khi máy làm việc không tải ($I = 0$) và tốc độ quay của rôto không đổi (hình 8.7). Nó chính là dạng đường cong từ hóa $B = f(H)$ của vật liệu sắt từ.

8.7.2. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ



Hình 8.7 Đặc tính không tải $E_0 = f(I_t)$

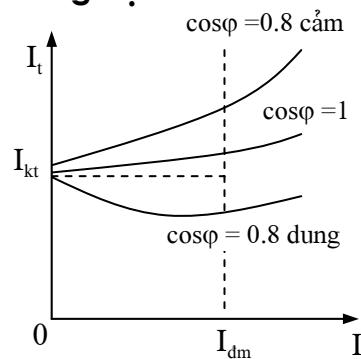


Hình 8.8 Đặc tính ngoài $U = f(I)$

Đặc tính ngoài của máy phát là quan hệ giữa điện áp U trên cực máy phát và dòng điện tải I khi tính chất tải không đổi ($\cos\varphi_t = \text{const}$), cũng như tốc độ quay n và dòng điện kích từ I_t không đổi (hình 8.8).

8.7.3. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính điều chỉnh của máy phát là quan hệ giữa dòng điện kích từ I_t theo dòng điện tải I khi điện áp U không đổi và tốc độ quay n , $\cos\varphi_t$ cũng không đổi (hình 8.9). Đặc tính này cho biết cần phải điều chỉnh dòng điện kích từ như thế nào để giữ điện áp U trên đầu cực máy phát không đổi. Thường trong các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ để giữ điện áp không đổi.



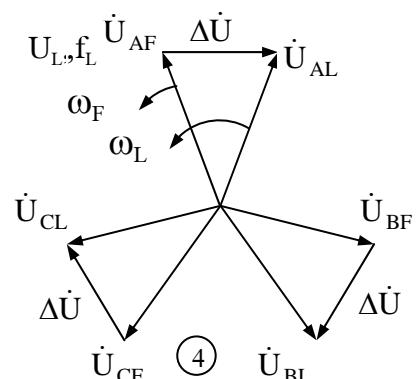
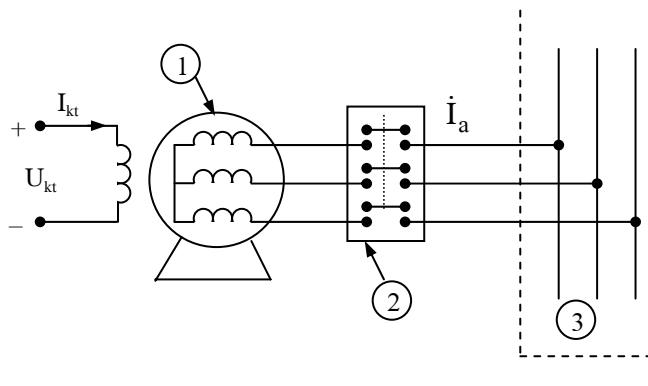
Hình 8.9 Đặc tính điều chỉnh
 $I_t = f(I)$ khi $U = \text{const}$

8.8. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

Trong hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau, tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn rất lớn so với công suất của từng máy phát, do đó tần số và điện áp của lưới điện gần như không đổi khi thay đổi tải.

Trước khi đưa một máy phát vào làm việc cùng với lưới điện tức là hòa đồng bộ (hình 8.10), phải kiểm tra các điều kiện sau đây:

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



Hình 8.10. Hòa đồng bộ máy phát đồng bộ vào lưới điện
 1. Máy phát đồng bộ; 2. Máy cắt; 3. Lưới điện; 4. Các điều kiện hòa đồng bộ

Khi các điều kiện trên được thỏa mãn tức là điện áp ở hai đầu máy cắt bằng không, ta đóng máy cắt 2 để hòa đồng bộ. Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy quẩn trong máy, phá hỏng máy và gây rối loạn hệ thống điện.

Sau khi hòa đồng bộ, cần lưu ý:

+ Ta điều chỉnh dòng điện kích từ I_t , điện áp của máy phát vẫn không đổi vì đó là điện áp của lưới điện. Việc thay đổi dòng điện kích từ I_t chỉ làm thay đổi công suất phản kháng của máy phát.

+ Muốn máy phát mang tải, ta tăng công suất động cơ sơ cấp: tăng lưu lượng nước trong máy thủy điện hoặc tăng lưu lượng hơi trong máy nhiệt điện.

8.9. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.9.1. Khái niệm chung

Về cấu tạo động cơ điện đồng bộ giống máy phát điện đồng bộ.

Máy phát điện đồng bộ có thể làm việc như động cơ điện đồng bộ. Nếu tháo động cơ sơ cấp ra khỏi máy phát và nối dây quấn staton vào lưới điện ba pha đồng thời cung cấp dòng điện một chiều cho dây quấn kích từ, động cơ sẽ quay với tốc độ không đổi và tạo ra momen kéo tải cơ đầu vào trực.

Ưu điểm động cơ điện đồng bộ là hệ số công suất cao và có thể điều chỉnh được bằng cách thay đổi dòng điện kích từ, điều này cho phép nâng cao hệ số công suất của lưới điện khi cần.

Trường hợp động cơ quay không tải và tăng dòng kích từ đủ lớn thì dòng điện lưới vào động cơ sẽ vượt trước điện áp của nó một góc gần 90° , lúc này động cơ làm việc như một tụ điện phát công suất phản kháng vào lưới, đây là chế độ máy bù đồng bộ.

8.9.2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ

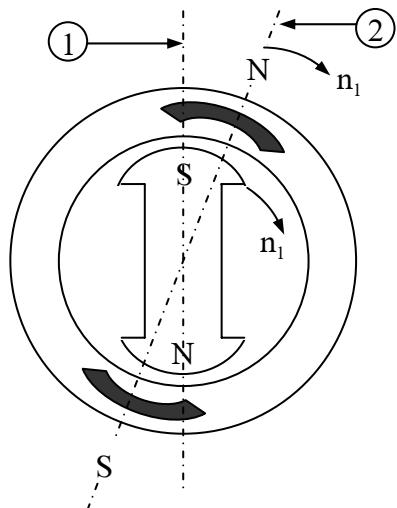
Khi cho dòng điện ba pha vào dây quấn staton, dòng điện ba pha ở dây quấn staton sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f}{p} (\text{vg/ph}) \quad (8.14)$$

Nếu rôto đang đứng yên (hình 8.11), cực Nam S của rôto bị cực Bắc N staton kéo và nó có xu hướng quay theo chiều kim đồng hồ. Nhưng do quán tính và cực Bắc staton quét qua nó quá nhanh, trong khi nó chưa quay tới thì sau nữa chu kỳ nó đã đổi điện với cực Nam staton và bị đẩy lùi, nghĩa là rôto có xu hướng quay theo chiều

ngược lại. Kết quả là moment (mô máy) trung bình bằng không và rôto không quay được.

Tuy nhiên nếu chúng ta quay trước rôto với tốc độ đồng bộ các cực từ rôto bị "khóa chặt" vào cực từ stator trái dấu. Khi không tải, từ trường stator và rôto cùng quay với tốc độ đồng bộ n_1 và trục của chúng trùng nhau ($\theta = 0$). Lúc có tải trực từ trường rôto đi chậm sau trục từ trường stator một góc θ , tải càng nặng góc θ càng lớn, nhưng cả hai vẫn cùng quay với tốc độ đồng bộ n_1 .



Hình 8.11. Sự tạo ra mômen trong động cơ đồng bộ. 1. Trục rôto; 2. Trục từ trường stator

8.9.3. Phương trình điện áp, mạch điện tương đương, đồ thị vectơ

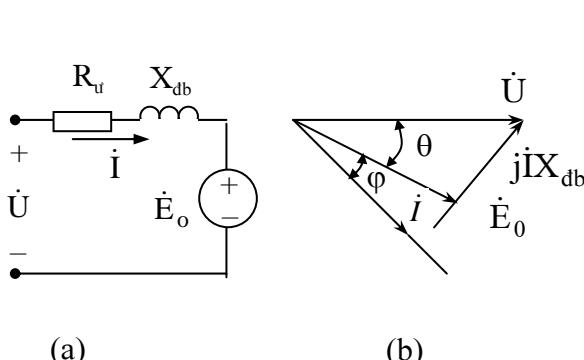
Gọi \dot{U} là điện áp pha của nguồn; \dot{E}_0 là sđđ trong một pha stator; R_u là điện trở một pha stator; X_{db} là điện kháng đồng bộ. Ta có phương trình cân bằng điện áp ở stator là:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + R_u \dot{I} + jX_{db} \dot{I} \quad (8.15)$$

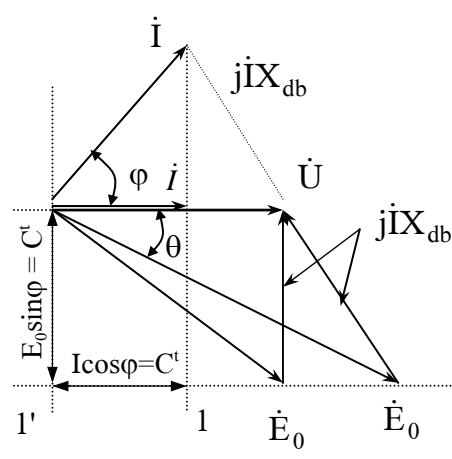
Khi bỏ qua điện trở dây quấn stator ($R_u = 0$), ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + jX_{db} \dot{I} \quad (8.16)$$

Mạch điện tương đương và đồ thị vectơ được trình bày trên hình 8.12.



Hình 8.12. a) Mạch điện tương đương;
b) Đồ thị vectơ.



Hình 8.13. Đồ thị vectơ khi $\cos\varphi = 1$
và khi $\cos\varphi = 0,8$ (vượt trước)

8.9.4. Điều chỉnh hệ số công suất $\cos\varphi$ của động cơ điện đồng bộ

Trên hình 8.12b vẽ đồ thị vectơ ứng với trường hợp thiếu kích từ, dòng điện I chậm pha sau điện áp U . Khi sử dụng người ta không để động cơ làm việc ở chế độ này, vì động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện, làm cho hệ số công suất của lưới điện thấp. Trong công nghiệp thường động cơ đồng bộ làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện I vượt trước pha điện áp U , động cơ vừa tạo ra cở năng, đồng thời phát ra công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện. Đây là ưu điểm lớn nhất của động cơ đồng bộ.

Để thấy rõ sự thay đổi hệ số công suất của động cơ đồng bộ, vẽ thêm hình 8.13 là đồ thị vectơ của hai trường hợp :

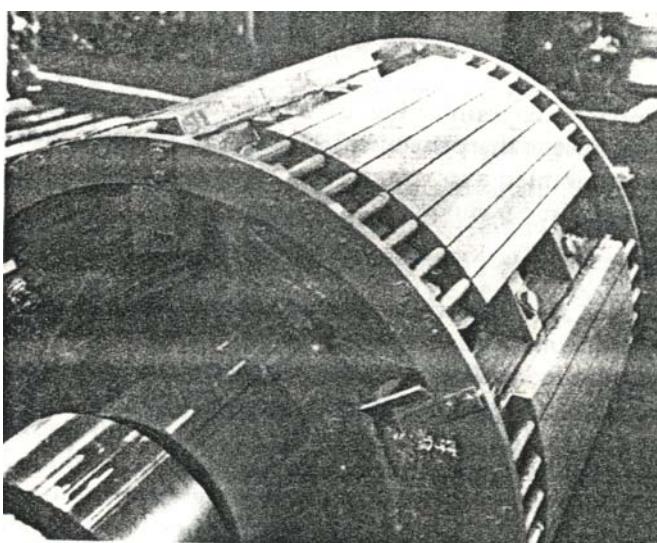
- + Khi $\cos\varphi = 1$ ứng với U và I trùng pha nhau;
- + Khi $\cos\varphi = 0,8$ ứng với chế độ quá kích từ, I vượt trước U một góc là φ .

Do U, f, P không đổi, nên $I_{\text{cos}\varphi} = \text{const}$, $E_0 \sin \varphi = \text{const}$, nên khi vẽ cần lưu ý mút của vectơ I chạy trên đường 1 vuông góc với U và E_0 đường 1'.

8.9.5. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Động cơ đồng bộ không tự mở máy được. Từ trường quay stato quét qua các cực từ rôto với tốc độ đồng bộ, nên lực tác dụng lên rôto luân phiên kéo và đẩy, do rôto có quán tính lớn, nên momen trung bình bằng không. Vì vậy rôto phải được quay đến bằng hoặc gần bằng tốc độ đồng bộ để giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều trước khi động cơ có thể làm việc.

Trong vài trường hợp, dùng động cơ một chiều gắn vào trực rôto để kéo rôto đến tốc độ đồng bộ. Trong động cơ nhỏ, người ta dùng mômen từ trở. Với động cơ công suất lớn, để tạo mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôto người ta đặt các thanh dẫn được nối ngắn mạch như kiểu rôto lồng sóc ở động cơ không đồng bộ, gọi là dây quán mở máy hình 8.14.



Hình 8.14. Rotor cực lồi của động cơ đồng bộ và dây quán khởi động.

Khi mở máy, nhở có dây quấn mở máy ở rôto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc. Khi rôto đã quay gần bằng tốc độ đồng bộ, ta cho dòng kích từ I_t chạy vào dây quấn rôto và rôto sẽ được kéo vào đồng bộ.

Chú ý trong quá trình mở máy ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng sđđ rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng $6 \div 10$ lần điện trở dây quấn kích từ.



BÀI TẬP

Bài 4.1 Một máy phát đồng bộ ba pha 1000kVA, 2200V, 60Hz, đấu Y.

- Tính dòng điện dây định mức ?
- Tính dòng điện dây khi máy phát công suất 720kW cho tải có $\cos\varphi = 0,8$?

Bài 4.2 Một máy phát đồng bộ ba pha 1000kVA, 2200V, 60Hz, đấu Y.

- Tính dòng điện dây định mức ?
- Tính dòng điện dây khi máy phát công suất 720kW cho tải có $\cos\varphi = 0,8$?

Bài 4.3 Một tải ba pha có điện trở 10Ω / pha được cấp điện từ một máy phát đồng bộ ba pha 220V. Tải nối Δ , sau đó nối Y. Tính dòng điện dây và công suất tải tiêu thụ trong hai trường hợp trên ?.

Bài 4.4 Một máy phát đồng bộ ba pha 250kVA, 1260V, 60Hz, đấu Y có cuộn dây phản ứng đấu lại thành Δ .. Tính dòng điện dây, áp dây và công suất biểu kiến mới của máy?

Bài 4.5 Điện áp hở mạch của một máy phát đồng bộ ba pha 4600V, 60Hz, đấu Y khi dòng kích từ bằng 8A.

- Tính điện áp hở mạch ở 50Hz nếu dòng kích từ bằng 6A. Máy chưa bão hòa.?.
- Nếu máy được dùng để phát điện tần số 50Hz, tìm điện áp dây nếu dòng kích từ bằng 8A ?

Bài 4.7 Một máy phát đồng bộ ba pha đang làm việc với lưới có điện áp 13,80kV, Điện kháng đồng bộ là 5Ω / pha và máy đang phát 12MW và 6MVAR cho lưới. Tính :

- Góc công suất θ ?
- Góc pha φ ?
- Sđđ E ?

Bài 4.8 Một máy phát đồng bộ cực ẩn ba pha 2500kVA, 660V, 60Hz, đấu Y. Có điện trở phần ứng $0,2 \Omega/\text{pha}$ và điện kháng đồng bộ $1,4 \Omega/\text{pha}$. Tính độ thay đổi điện áp phần trăm khi máy phát dòng định mức cho tải có :

- a. $\cos\varphi = 1$?
- b. $\cos\varphi = 0,866$ (tải có tính cảm) ?
- c. $\cos\varphi = 0,707$ (tải có tính dung) ?

Bài 4.9 Một máy phát đồng bộ cực ẩn ba pha 1000kVA, 4600V, 60Hz, đấu Y có điện áp không tải 8350V khi dòng kích thích định mức. Bây giờ cho máy làm việc với công suất biểu kiến và điện áp định mức; $\cos\varphi = 0,75$ (R-L). Giả sử $R_u = 0$. Tính :

- a. Điện kháng đồng bộ ?
- b. Độ thay đổi điện áp phần trăm ?
- c. Góc công suất θ ?
- d. Công suất cơ tổng ?
- e. S_{dm} và U_{dm} mới nếu máy được đấu Δ ?

Bài 4.10 Một máy phát đồng bộ ba pha 1600kVA, 13000V, 60Hz, đấu Y. Có điện trở phần ứng $1,5 \Omega/\text{pha}$ và điện kháng đồng bộ $30 \Omega/\text{pha}$. Tính độ thay đổi điện áp phần trăm và góc công suất θ khi tải máy phát 1280kW có hệ số công suất : $\cos\varphi = 1$?; $\cos\varphi = 0,8$ (tải có tính cảm) ? và $\cos\varphi = 0,8$ (tải có tính dung) ?

Bài 4.11 Hai máy phát điện đồng bộ ba pha hoàn toàn giống nhau làm việc song song, nối Y có điện trở phần ứng không đáng kể và điện kháng đồng bộ $X_{db} = 4,5 \Omega/\text{pha}$. Hai máy cùng cung cấp điện đều cho một phụ tải 26000 kW với $\cos\varphi = 0,866$ (chậm sau) và điện áp trên tải là 13,2 kV. Nếu thay đổi dòng điện kích từ để phân phối lại công suất phản kháng của hai máy sao cho một máy có $\cos\varphi_1 = 1$ thì lúc đó hệ số công suất $\cos\varphi_2$ của máy kia bằng bao nhiêu ? Tính E_o và θ của mỗi máy trong trường hợp đó ?

Đáp số : $\cos\varphi_2 = 0,655$

$$\begin{aligned} E_{o1} &= 8,04 \text{ kV} & \text{và } \theta_1 &= 18,56^\circ. \\ E_{o2} &= 10,88 \text{ kV} & \text{và } \theta_2 &= 13,63^\circ. \end{aligned}$$

Bài 4.12 Một máy phát đồng bộ ba pha $S_{dm} = 35 \text{ kVA}$, $U_{dm} = 400/230V$, 50Hz, đấu Y có $X_{db} = 1,2$. Máy làm việc trong hệ thống điện với tải cảm định mức có $\cos\varphi_{dm} = 0,8$, dòng điện kích từ $I_{kt dm} = 25 \text{ A}$. Giả sử $R_u = 0$. Tính :

- a. Sđđ E_o và góc Ψ ?
- b. Dòng điện kích từ để có $\cos\varphi = 0,9$ khi $P = \text{const}$?
- c. $\cos\varphi$ và công suất phản kháng Q khi dòng điện kích từ $I_{kt} = 30 \text{ A}$?

Đáp số : $E_o = 453 \text{ V}$ và $\Psi = 66^\circ$.

$$I_1 = 22,2 \text{ A} \quad \cos\varphi = 0,435. \text{ và } Q = 33,6 \text{ kVAR}$$