

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Chương 7: MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

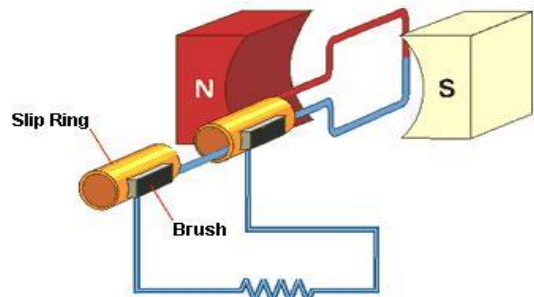
• Máy điện đồng bộ 3 pha

- ♦ Cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- ♦ Phân tích máy điện 1-2-3 pha
- ♦ Mạch điện thay thế - Giản đồ vector
- ♦ Động cơ điện đồng bộ
- ♦ Máy phát điện đồng bộ



BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh: edited 2016)

Nguyên lý hoạt động – Máy điện đồng bộ 1 pha

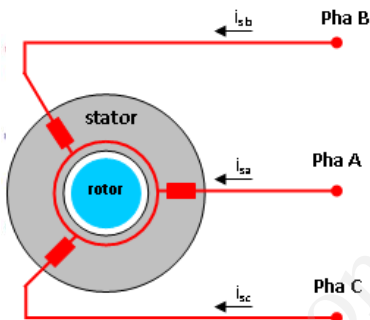


BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh: edited 2016)

2

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Nguyên lý hoạt động – Máy điện đồng bộ 3 pha

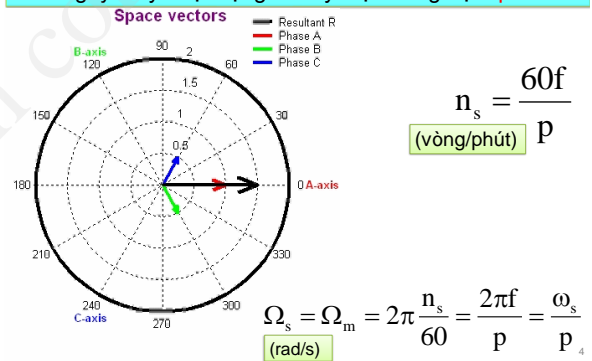


BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh: edited 2016)

3

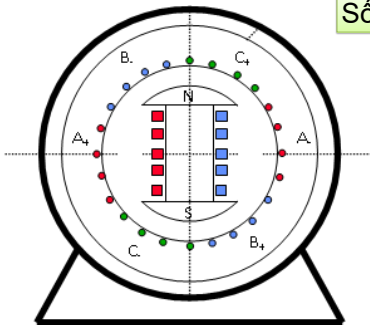
Chương 7: Máy điện đồng bộ

Nguyên lý hoạt động – Máy điện đồng bộ 3 pha



Chương 7: Máy điện đồng bộ

Nguyên lý hoạt động – Máy điện đồng bộ 3 pha

Số cặp cực: **p = 1**

BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh: edited 2016)

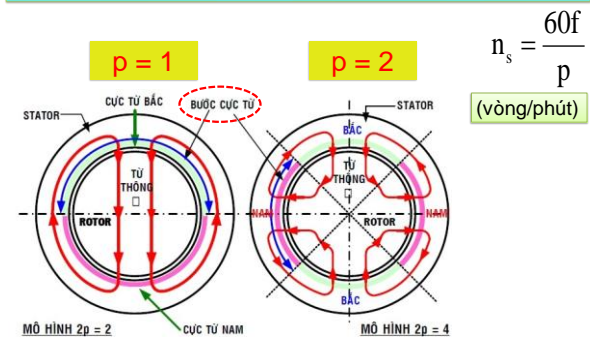
5

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

(vòng/phút)

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Nguyên lý hoạt động – Máy điện đồng bộ 3 pha

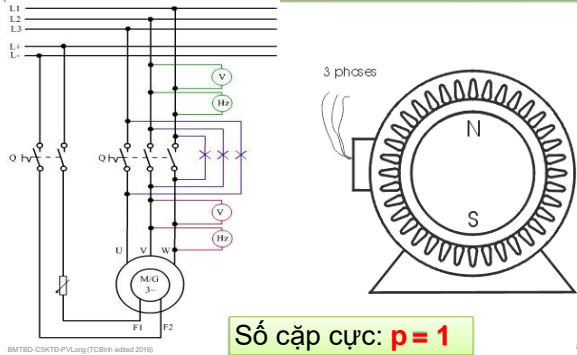


BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh: edited 2016)

6

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Nguyên lý hoạt động – Máy điện đồng bộ 3 pha

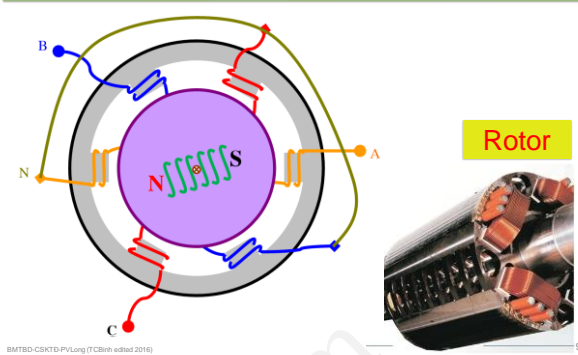


BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

8

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Cấu tạo máy điện đồng bộ 3 pha

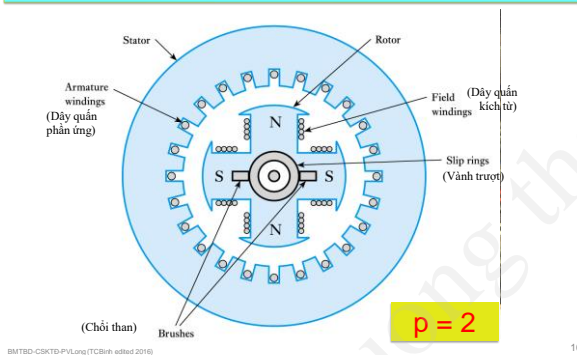


BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

9

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Cấu tạo máy điện đồng bộ 3 pha

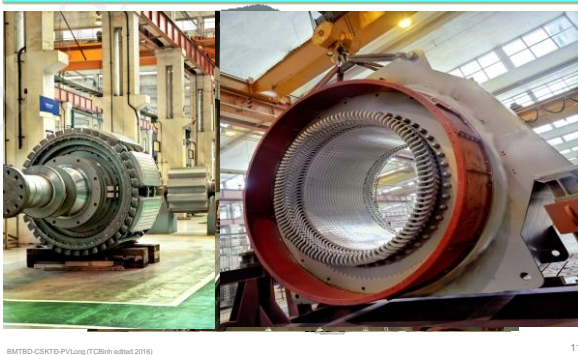


BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

10

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Cấu tạo máy điện đồng bộ 3 pha

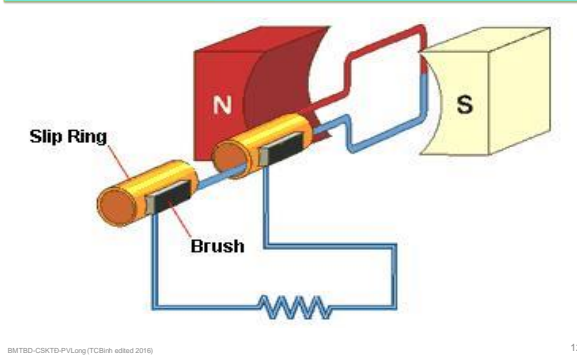


BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

11

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 1 pha

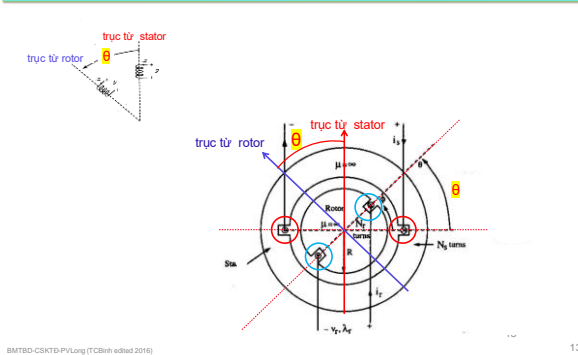


BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

12

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 1 pha



BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

13

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 1 pha

$$v_s = i_s R_s + \frac{d\lambda_s}{dt}$$

$$v_r = i_r R_r + \frac{d\lambda_r}{dt}$$

• Phương trình cơ:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + K\theta = T^e + T_m$$

Với: - T^e : moment cơ kéo. T_m : cơ cản từ bên ngoài.

- θ góc tính từ điểm cân bằng

- J là moment quán tính cơ

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

14

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 1 pha

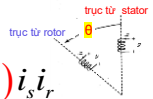
- Từ thông móc vòng dây quấn stato và roto $[\lambda] = [L][i]$

$$\lambda_s = N_s^2 L_0 i_s + N_s N_r L_0 (1 - 2\theta/\pi) i_r = L_s i_s + L_{sr}(\theta) i_r$$

$$\lambda_r = N_s N_r L_0 (1 - 2\theta/\pi) i_s + N_r^2 L_0 i_r = L_{sr}(\theta) i_s + L_r i_r$$

- Đồng năng lượng:

$$W_m' = \frac{1}{2} L_s i_s^2 + \frac{1}{2} L_r i_r^2 + L_{sr}(\theta) i_s i_r$$



Chỉ có hồ cảm L_{sr} phụ thuộc vào θ
 $L_{sr}(\theta) = M \cos \theta$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

15

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 1 pha

- Đồng năng lượng:

$$W_m' = \frac{1}{2} L_s i_s^2 + \frac{1}{2} L_r i_r^2 + L_{sr}(\theta) i_s i_r$$

- Moment điện từ:

$$T^e = \frac{\partial W_m'}{\partial \theta} = i_s i_r \frac{dL_{sr}(\theta)}{d\theta} = -i_s i_r M \sin \theta$$

- Công suất cơ:

$$P_m = T^e \Omega_m = -\Omega_m I_s I_r M \cos(\omega_s t) \cos(\omega_r t) \sin(\theta)$$

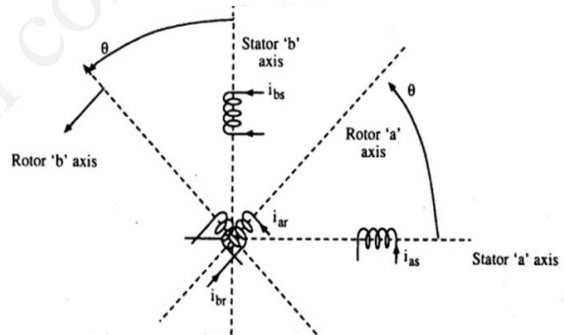
- Công suất trung bình: $\bar{P}_m = -\Omega_m I_s I_r M \sin(\gamma)/4$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

16

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 2 pha



BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

19

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 2 pha

- Moment điện từ:

$$T^e = \frac{\partial W_m'}{\partial \theta} = M [(i_{ar} i_{bs} - i_{as} i_{br}) \cos(\theta) - (i_{as} i_{ar} + i_{br} i_{bs}) \sin(\theta)]$$

- Công suất cơ:

$$P_m = T^e \Omega_m = -\Omega_m I_s I_r M \sin[(\Omega_m - \omega_s + \omega_r)t + \gamma]$$

- Công suất trung bình: $\bar{P}_m = -\Omega_m I_s I_r M \sin(\gamma)$

γ : là một hằng số sao cho $\theta = \Omega_m t + \gamma$

(γ : góc lệch ban đầu giữa 2 trục dây quấn stato và roto)

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

20

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 2 pha

Từ thông móc vòng các
dây quấn stato và roto:

$$\lambda_{as} = L_s i_{as} + M i_{ar} \cos \theta + M i_{br} \cos \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$= L_s i_{as} + M i_{ar} \cos \theta - M i_{br} \sin \theta$$

$$\lambda_{bs} = L_s i_{bs} + M i_{ar} \cos \left[-\left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \right] + M i_{br} \cos \theta$$

$$= L_s i_{bs} + M i_{ar} \sin \theta + M i_{br} \cos \theta$$

$$\lambda_{ar} = L_r i_{ar} + M i_{as} \cos(-\theta) + M i_{bs} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)$$

$$= L_r i_{ar} + M i_{as} \cos \theta + M i_{bs} \sin \theta$$

$$\lambda_{br} = L_r i_{br} + M i_{as} \cos \left[-\left(\frac{\pi}{2} + \theta \right) \right] + M i_{bs} \cos(-\theta)$$

$$= L_r i_{br} - M i_{as} \sin \theta + M i_{bs} \cos \theta$$

Hoặc viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \lambda_{as} \\ \lambda_{bs} \\ \lambda_{ar} \\ \lambda_{br} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M \cos \theta & -M \sin \theta \\ 0 & L_s & M \sin \theta & M \cos \theta \\ M \cos \theta & M \sin \theta & L_r & 0 \\ -M \sin \theta & M \cos \theta & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{ar} \\ i_{br} \end{bmatrix}$$

(Ma trận tự cảm đối xứng)

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

22

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 2 pha

- Đồng năng lượng: $W_m = \frac{1}{2} L_s i_{as}^2 + \frac{1}{2} L_s i_{bs}^2 + \frac{1}{2} L_s i_{ar}^2 + \frac{1}{2} L_s i_{br}^2 + M i_{as} i_{ar} \cos \theta + M i_{bs} i_{br} \sin \theta - M i_{as} i_{br} \sin \theta + M i_{bs} i_{ar} \cos \theta$

⇒ Moment điện từ: $T^e = \frac{\partial W_m}{\partial \theta} = M [(i_{ar} i_{bs} - i_{as} i_{br}) \cos \theta - (i_{as} i_{ar} + i_{br} i_{bs}) \sin \theta]$

- Xét chế độ xác lập điều hòa: $\begin{cases} i_{as} = I_s \cos \omega_s t & i_{ar} = I_r \cos \omega_s t \\ i_{bs} = I_s \sin \omega_s t & i_{br} = I_r \sin \omega_s t \end{cases}$

- Đặt góc quay: $\theta = \Omega_m t + \gamma$ (γ : góc lệch ban đầu giữa 2 trục dây quấn stato và roto)

- Công suất cơ ở chế độ xác lập: $p_m = T^e \Omega_m = -\Omega_m I_s I_r M \sin[(\Omega_m - \omega_s + \omega_r) t + \gamma]$ (**)

Để giá trị trung bình của $p_m \neq 0$, i.e. năng lượng được thực sự biến đổi, thì cần thỏa điều kiện về tần số: $\Omega_m = \omega_s = \omega_r$

⇒ Công suất trung bình: $P_m(\text{Trung Bình}) = -\Omega_m I_s I_r M \sin(\gamma)$

Nhận xét: - Không còn thành phần moment điều hòa nào trong biểu thức (**)
→ moment không còn dạng đập mạch như trong trường hợp máy điện 1 pha.
- Công suất tức thời p_m không thay đổi theo thời gian t và bằng công suất trung bình $P_m(\text{Trung Bình})$

BMTBD-CSKTD-PVLong(TC Binh, edited 2016)

23

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 2 pha

♦ Từ trường quay (của stator)

- Hình vẽ mô tả hình ảnh từ trường quay theo khe hở không khí của dây quấn stato ở 5 thời điểm đặc biệt

- Từ trường tổng B_t do 2 dòng điện chạy trong 2 dây quấn stato tạo nên tại thời điểm t , ứng với góc ψ được mô tả bởi:

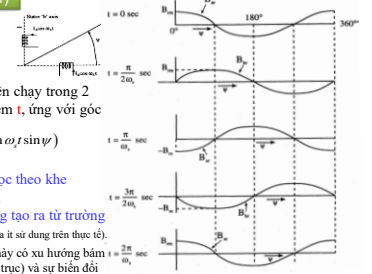
$$B_t(i, \psi) = B_m (\cos \omega_s t \cos \psi + \sin \omega_s t \sin \psi) = B_m \cos(\omega_s t - \psi)$$

→ Vậy từ trường tổng B_t quay dọc theo khe hở không khí với vận tốc góc ω_s

→ Tương tự 2 cuộn dây roto cũng tạo ra từ trường quay với vận tốc ω_r (máy điện hai pha ít sử dụng trên thực tế).

Theo kiến thức nam châm, 2 từ trường này có xu hướng bám lấy nhau có xu hướng thẳng hàng (cùng trục) và sự biến đổi năng lượng xảy ra khi 2 từ trường này đã có định trong không gian tương đối so với stato roto.

♦ Roto sẽ quay với vận tốc góc không đổi $\Omega_m = \omega_s = \omega_r$, moment và công suất trung bình là hàm của hằng góc quay ban đầu γ .

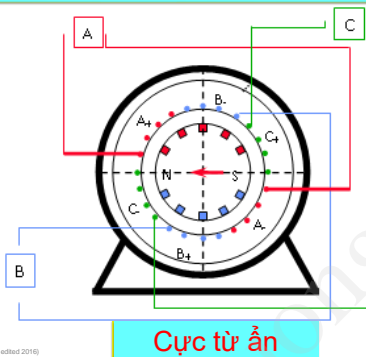


♦ Với máy điện đồng bộ $\omega_s = 2\pi f$; $\omega_r = 0 \rightarrow \Omega_m = \omega_s$

24

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha



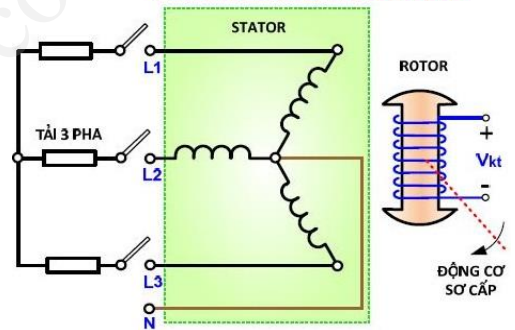
Cực từ ẩn

BMTBD-CSKTD-PVLong(TC Binh, edited 2016)

25

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha



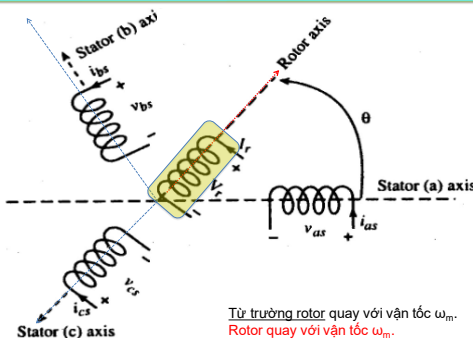
ĐỘNG CƠ SƠ CẤP

BMTBD-CSKTD-PVLong(TC Binh, edited 2016)

26

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha



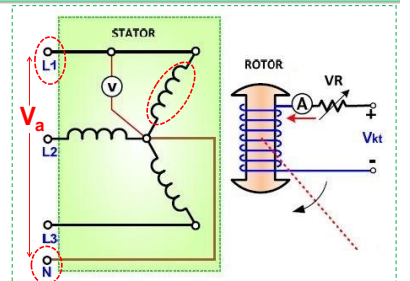
Từ trường roto quay với vận tốc ω_m .
Roto quay với vận tốc ω_m .

BMTBD-CSKTD-PVLong(TC Binh, edited 2016)

27

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha

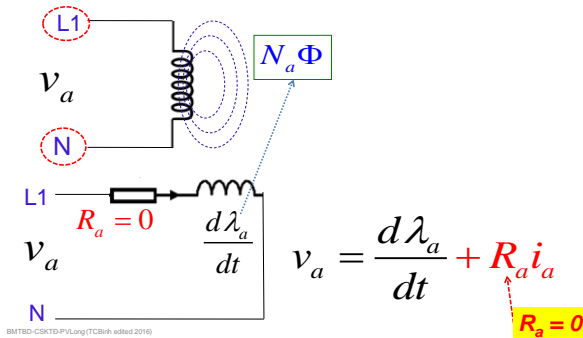
(Bỏ qua $R_a = 0$)

$$v_a = \frac{d\lambda_a}{dt} = L_a \frac{di_a}{dt} + L_{ab} \frac{di_b}{dt} + L_{ac} \frac{di_c}{dt} + I_r \frac{dL_{ar}}{dt}$$

BMTBD-CSKTD-PVLong(TC Binh, edited 2016)

30

Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha



Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha

$$\bar{V}_a = j \frac{M}{\sqrt{2}} I_r \omega_s e^{j\gamma} + j \frac{3}{2} L_0 \omega_s \bar{I}_a$$

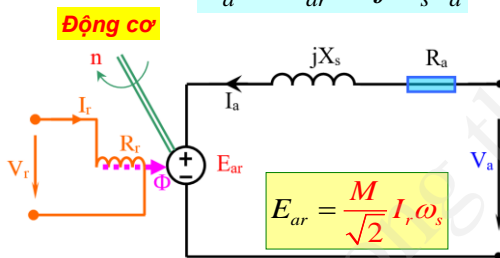
$$\bar{V}_a = \bar{E}_{ar} + jX_s \bar{I}_a$$

$$\rightarrow x_s = \frac{3}{2} L_0 \omega_s$$

$$\rightarrow \bar{E}_{ar} = j \frac{M}{\sqrt{2}} I_r \omega_s e^{j\gamma} = \frac{M}{\sqrt{2}} I_r \omega_s \angle \left(\frac{\pi}{2} + \gamma \right)$$

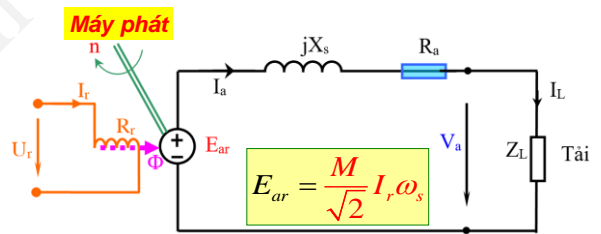
Mạch thay thế máy điện đồng bộ 3 pha

$$\bar{V}_a = \bar{E}_{ar} + jX_s \bar{I}_a$$



Mạch thay thế máy điện đồng bộ 3 pha

$$\bar{V}_a = \bar{E}_{ar} - jX_s \bar{I}_a$$



Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha

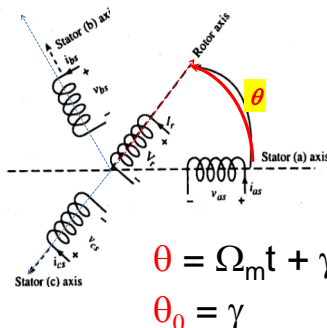
$$[\lambda] = [L][i]$$

$$W_m'$$

$$T^e$$

$$P_m = T^e . \Omega_m$$

$$P_{tb} \neq 0$$



$$\theta = \Omega_m t + \gamma$$

$$\theta_0 = \gamma$$

Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha

- Moment điện từ tức thời:

$$T^e = \frac{\partial W'_m}{\partial \theta} = i_a i_r \frac{dM_{ar}}{d\theta} + i_b i_r \frac{dM_{br}}{d\theta} + i_c i_r \frac{dM_{cr}}{d\theta}$$

$$= -i_a i_r M \sin(\theta) - i_b i_r M \sin(\theta - 120^\circ) - i_c i_r M \sin(\theta + 120^\circ)$$

với góc giữa rotor so với stator: $\theta = \Omega_m t + \gamma$

$$T^e = \frac{-I_m I_r M 3 \sin(\theta - \Omega_s t)}{2} = \frac{-I_m I_r M 3 \sin(\Omega_m t + \gamma - \Omega_s t)}{2}$$

- Moment điện trung bình:

$$T^e = -\frac{3}{2} I_m I_r M \sin(\gamma) = -\frac{3}{\sqrt{2}} I_a I_r M \sin(\gamma)$$

Chương 7: Máy điện đồng bộ

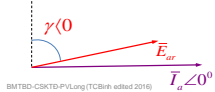
Phân tích máy điện đồng bộ 3 pha

- Moment điện từ: $T^e = -\frac{3}{\sqrt{2}} I_a I_r M \sin(\gamma)$

- Công suất cơ: $P_T = 3P_a = -\frac{3}{\sqrt{2}} \Omega_m M I_a I_r \sin \gamma$

$P_T > 0 \rightarrow \gamma < 0$

Với $\bar{I}_a = I_a \angle 0^\circ$ thì $\bar{E}_{ar} = \frac{\omega_s M I_r}{\sqrt{2}} \angle \left(\frac{\pi}{2} + \gamma \right)$

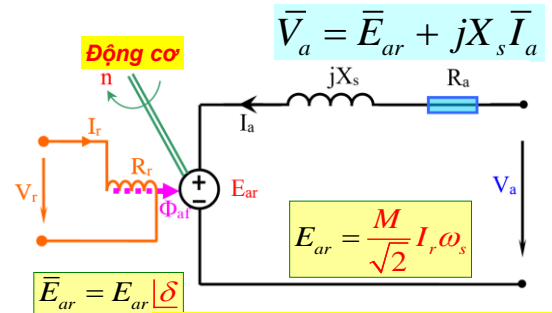


BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

37

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ 3 pha



BMTBD-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

 δ : góc tải, góc công suất, góc moment

38

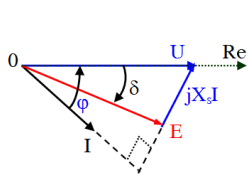
Chương 7: Máy điện đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Dòng điện **TRỄ**:

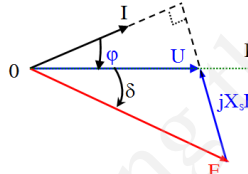
$\theta = \varphi > 0$

Tải RL

Dòng điện **SỚM**:

$\theta = \varphi < 0$

Tải RC



39

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Biểu thức công suất - mômen

➤ Biểu thức công suất

$$P_T = -\left(\frac{3E_{ar} V_a}{X_s} \right) \sin(\delta)$$

$$P_{T,MAX} = \left(\frac{3E_{ar} V_a}{X_s} \right)$$

➤ Biểu thức của mômen

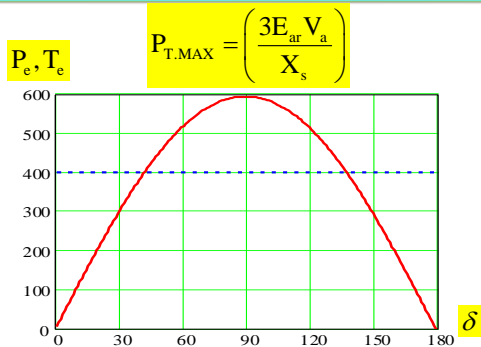
$$T^e = \frac{P_T}{\Omega_m} = \frac{P_T}{\Omega_s} = -\frac{1}{\Omega_s} \frac{3E_{ar} V_a}{X_s} \sin(\delta)$$

➤ Ở chế độ động cơ, $P_T > 0$, tương ứng $\delta < 0$.

41

Chương 7: Máy điện đồng bộ

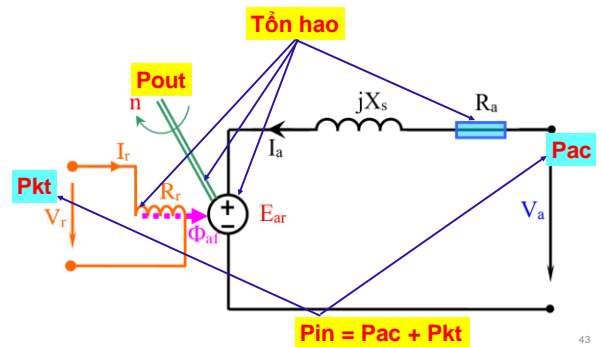
Động cơ điện đồng bộ 3 pha



42

Chương 7: Máy điện đồng bộ

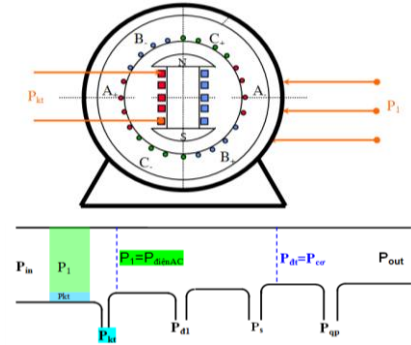
Động cơ điện đồng bộ 3 pha



43

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

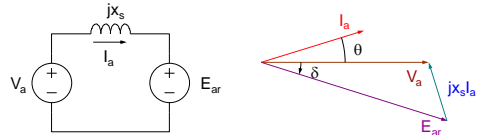


44

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.1

♦ Một máy đồng bộ 3 pha nối Y 60 Hz có 2 cực với điện kháng đồng bộ $x_s = 5 \Omega/\text{pha}$. Khi vận hành ở chế độ động cơ, máy tiêu thụ dòng điện 30 A và điện áp pha là 254 V ở hệ số công suất 0,8 **SỐM**. Tìm E_{ar} và T^e . Nếu máy có tổng tổn hao do quạt gió, ma sát, và lõi thép là 400 W, mômen hữu ích đầu trục là bao nhiêu? Hiệu suất là bao nhiêu?



45

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.1 (tt)

➤ Chọn V_a làm vector pha tham chiếu, dòng điện sẽ là

$$\vec{I}_a = 30 \angle \cos^{-1}(0,8) = 30 \angle 36,87^\circ \text{ A}$$

➤ Điện áp E_{ar} sẽ là

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a - jx_s \vec{I}_a = 254 \angle 0^\circ - j(5)(30 \angle 36,87^\circ) = 364,3 \angle -19,23^\circ \text{ V}$$

➤ Công suất điện từ

$$P_T = -3 \frac{V_a E_{ar} \sin(\delta)}{x_s} = 3 \frac{(254)(364,3) \sin(19,23^\circ)}{5} = 18286 \text{ W}$$

➤ Công suất cơ hữu ích

$$P_{out} = 18286 - 400 = 17886 \text{ W}$$

Máy điện đồng bộ

46

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.1 (tt)

➤ Mômen điện từ của động cơ

$$T^e = \frac{P_T}{\Omega_m} = \frac{18286}{120\pi} = 48,5 \text{ N.m}$$

➤ Mômen hữu ích của động cơ

$$T_{out} = \frac{P_{out}}{\Omega_m} = \frac{17886}{120\pi} = 47,44 \text{ N.m}$$

➤ Công suất điện ngõ vào

$$P_{in(ac)} = 3V_a I_a (\text{PF}) = 3(254)(30)(0,8) = 18288 \text{ W}$$

➤ Hiệu suất

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{17886}{18288} = 0,978$$

Máy điện đồng bộ

47

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 1

(R_a = 0)

Cho máy điện đồng bộ ba pha **đầu sao**, 50Hz, có hai cực, và điện kháng đồng bộ $x_s = 5 \Omega/\text{pha}$. Máy điện hoạt động ở chế độ **động cơ**, **điện áp pha** 254V, dòng điện 30A và hệ số công suất 0,8 **sớm** pha. Cho tổng các tổn hao trên dây quấn (**kích từ**), lõi thép và tổn hao cơ (ma sát) là 2 kW

1- Tìm điện áp (sdd) cảm ứng E_{ar} , góc tải, moment điện từ, công suất và moment hữu ích trên đầu trục của động cơ, hiệu suất của động cơ. **Tính công suất và moment cực đại mà động cơ có thể kéo tải trong ngắn hạn?**

2- Nếu hệ số công suất 0,8 **chậm** pha. Tính lại câu 1? Nhận xét?
3- Điều chỉnh dòng điện kích từ để hệ số công suất bằng 1 nhưng vẫn giữ công suất điện từ không thay đổi. Tính dòng điện và điện áp cảm ứng trên dây quấn stato

BMTBD-CBKTD-PVLong (TCBinh editd 2016)

49

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 1 (tt)

1-

Mạch điện thay thế ĐCDB

Giải đồ vector ĐCDB
Dòng điện **sớm** pha

- Điện áp cảm ứng: $\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a - jx_s \vec{I}_a = 254 \angle 0^\circ - j5 \times 30 \angle +36,86^\circ = 364,33 \angle -19,23^\circ \text{ V}$

- Công suất điện từ của động cơ: $P_T = -3 \frac{E_{ar} V_a \sin(\delta)}{x_s} = \frac{-3(364,3)(254) \sin(-19,23^\circ)}{5} = 18286 \text{ W}$

- Moment (điện từ) của động cơ: $T^e = \frac{P_T}{\Omega_m} = \frac{P_T}{2\pi f} = \frac{18286}{100\pi} = 58,21 \text{ N.m}$

- Công suất và moment hữu ích trên trục của động cơ: (công suất và moment định mức)

BMTBD-CBKTD-PVLong (TCBinh editd 2016)

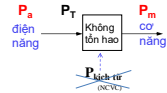
50

Chương 7: Máy điện đồng bộ

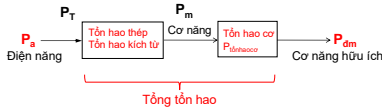
Ví dụ 1 (tt)

- Công suất hữu ích trên trục của động cơ: $P_{\text{dinh muc}} = P_T - P_{\text{Tong hao}} = 17886 \text{ W}$
(công suất định mức)

Theo lý thuyết khi bỏ qua các tổn hao: ➔



(Công suất điện từ P_T bằng công suất nhận từ nguồn điện P_a vì đã xem điện trở dây quấn stator $R_s = 0$)
➔ $P_a = P_T$



- Moment hữu ích trên trục của động cơ: (moment định mức):

$$T_{\text{dm}} = \frac{P_{\text{dm}}}{\Omega_m} = \frac{P_T - P_{\text{tổng hao}}}{2\pi f} = \frac{17886}{100\pi} = 56,93 \text{ N.m}$$

- Hiệu suất: $\eta = \left(\frac{P_{\text{dm}}}{P_a} \right) 100 = \left(\frac{P_T - P_{\text{tổng hao}}}{P_a} \right) 100 = \left(\frac{P_T - P_{\text{tổng hao}}}{P_T} \right) 100 = 97,8\%$

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Luog (TCBinh edited 2016)

51

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy điện thực tế ngoài tổn hao trên dây quấn phản ứng còn

- Tổn hao trong sắt từ,
- Tổn hao cơ và tổn hao cơ phụ (ma sát, quạt gió...),
- Tổn hao trên dây quấn kích từ.

★ Hiệu suất.

$$\eta = \frac{P_{\text{dm}}}{P_a} = \frac{P_T - (P_{\text{Cu}} + P_{\text{Fe}} + P_{\text{KT}} + P_{\text{Tổn hao cơ}})}{P_T}$$

- Tổn hao trong dây quấn stator: $P_{\text{Cu}} = R_s I_a^2$

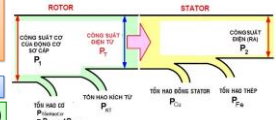
- Tổn hao trong dây quấn kích từ: $P_{\text{KT}} = R_{\text{KT}} I_{\text{KT}}^2$

- Tổn hao trong mạch từ không thay đổi theo tải:

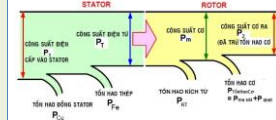
$$P_{\text{Fe}} = (p_{\text{nh}} \cdot f + p_{\text{xoay}} \cdot f^2) B_m^2 M_{\text{Fe}}$$

- Tổn hao cơ học, không thay đổi theo tải:

$$P_{\text{Tổn hao cơ}} = k\omega^2 \quad (\text{Vì } P = T\omega \text{ và } T = k\omega)$$



Giản đồ năng lượng Máy phát đồng bộ (tự kích từ)



Giản đồ năng lượng Động cơ đồng bộ

52

Chương 7: Máy điện đồng bộ

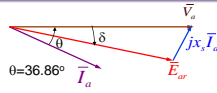
Ví dụ 1 (tt)

- 2- Nếu hệ số công suất 0,8 chậm pha. Tính lại câu 1?

- 2- Trường hợp $\cos\theta = 0,8$ chậm pha

Giản đồ vector ĐCDB

Dòng điện chậm pha ➔



$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a - jX_s \vec{I}_a = 254 \angle 0^\circ - j5 \times 30 \angle -36,86^\circ = 203,2 \angle -36,19^\circ \text{ V}$$

$$\text{Công suất điện từ: } P_T = \frac{3E_{ar} V_a \sin(\delta)}{X_s} = \frac{-3(203,2)(254) \sin(-36,19^\circ)}{5} = 18286 \text{ W}$$

(hoặc có thể lý luận: công suất nhận từ nguồn $P_a = 3 V_a I_a \cos\theta = P_T$ ở câu 2 hoàn toàn như câu 1)

➔ Các thông số còn lại như câu 1.

Tuy nhiên động cơ **nhận công suất phản kháng** từ lưới

Nhận xét: Ở câu 1 động cơ đồng bộ nói với lưới điện nhận công suất tác dụng 18.286W từ lưới để kéo tải có 17.886W nhưng lại có hệ số công suất sớm pha nghĩa là động cơ có tính chất dung đối với lưới. Vậy động cơ đã phát công suất phản kháng Q về lưới. ➔ Máy điện vừa làm việc ở chế độ động cơ vừa làm việc ở chế độ **máy bù đồng bộ** (Động cơ quá kích từ)

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Luog (TCBinh edited 2016)

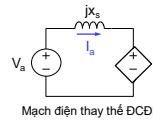
53

Chương 7: Máy điện đồng bộ

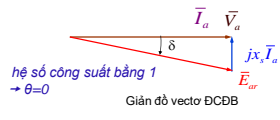
Ví dụ 1 (tt)

- 3- Điều chỉnh dòng điện kích từ để hệ số công suất bằng 1 nhưng vẫn giữ công suất điện từ không thay đổi. Tính **dòng điện** và **điện áp cảm ứng** trên dây quấn stato

3-



Mạch điện thay thế ĐCDB



Giản đồ vector ĐCDB

Công suất nhận từ nguồn điện P_a bằng công suất điện từ P_T vì đã bỏ qua điện trở dây quấn stator $R_s = 0$ (theo mạch điện thay thế):

$$P_a = 3V_a I_a \cos\theta = 3V_a I_a = P_T$$

➔ Dòng điện nhận từ nguồn (trên dây quấn stato): $I_a = \frac{P_a}{3V_a} = \frac{P_T}{3V_a} = \frac{18286}{3 \times 254} = 24 \text{ A}$

➔ Điện áp pha (sđd pha) cảm ứng trên dây quấn stato

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a - jX_s \vec{I}_a = 254 \angle 0^\circ - j5 \times 24 \angle 0^\circ = 280,92 \angle -25,29^\circ \text{ V}$$

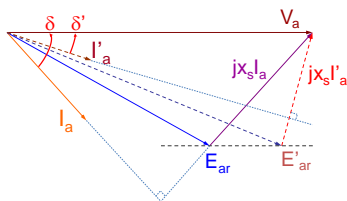
BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Luog (TCBinh edited 2016)

54

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Cải thiện hệ số công suất của động cơ đồng bộ



➤ Thay đổi hệ số công suất thông qua

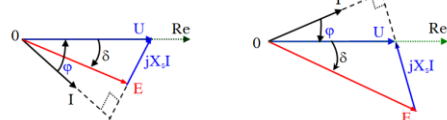
điều chỉnh thay đổi dòng kích từ.

55

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Cải thiện hệ số công suất của động cơ đồng bộ



$$\vec{U} = \vec{E}_{ar} + jX_s \vec{I}_a, \quad U \angle 0^\circ = E_{ar} \angle \delta + jX_s I_a \angle (-\varphi)$$

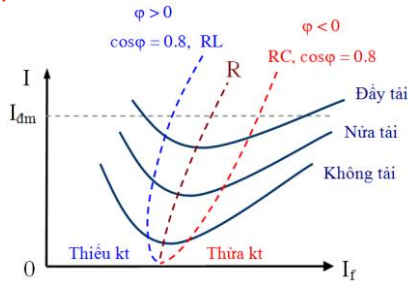
Thiếu kích từ, E nhỏ
I chậm pha hơn U, $\varphi > 0$
Động cơ đóng vai trò tải RL
Động cơ tiêu thụ P và Q

Thừa kích từ, E lớn
I nhanh pha hơn U, $\varphi < 0$
Động cơ đóng vai trò tải RC
Động cơ tiêu thụ P, phát Q
(Tụ bù công suất phản kháng)

56

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Đặc tính hình V



59

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Ví dụ 6.6

Đ/cơ đồng bộ 3 pha, 6 cực, 50Hz, 380V, Y. Điện kháng đồng bộ là 2Ω , bỏ qua điện trở phản ứng. Dòng điện kích từ là 5A. Khi dòng điện phản ứng là 40A:

- Với hệ số công suất 0,85 sớm, tính tốc độ động cơ, sức điện động, góc công suất, công suất tiêu thụ AC, moment điện từ, công suất cơ cực đại, moment cơ cực đại? Tính công suất, moment ngõ ra (đầu trục) và hiệu suất, biết tổn hao cơ là 1kW. Điện áp kích từ 300 Vdc.
- Để hệ số công suất là đơn vị (PF=1); tính dòng điện kích từ cần điều chỉnh?
- Tính dòng kích từ để hệ số công suất là 0,85 trễ? Tính dung lượng tụ bù cần gắn thêm để PF=0,95 trễ? Nhận xét việc lắp thêm tụ bù có cần thiết không?

63

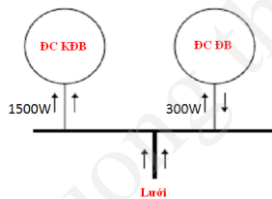
Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Ví dụ 6.7

♦ Một động cơ không đồng bộ 3 pha nối Y, 1500W ở hệ số công suất 0,8 trễ được nối vào một nguồn 3 pha với điện áp (dây) là 380V. Một động cơ đồng bộ 3 pha không mang tải được nối song song với tải để nâng hệ số công suất thành đơn vị. Tìm dòng điện tiêu thụ bởi động cơ đồng bộ.

Ví dụ 6.8

♦ Tính lại câu 6.7 trên nếu động cơ đồng bộ kéo tải 300W?



54

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Ví dụ 6.7

♦ Một tải 3 pha nối Y 1500 kW ở hệ số công suất 0,8 trễ được nối vào một nguồn 3 pha với điện áp dây là 1732 V. Một động cơ đồng bộ không mang tải được nối song song với tải để nâng hệ số công suất thành đơn vị. Tìm dòng điện tiêu thụ bởi động cơ đồng bộ.

➤ Chọn điện áp pha A làm vector tham chiếu, vector pha dòng điện pha A của tải sẽ là

$$\bar{I}_{aL} = \frac{1500000}{\sqrt{3}(1732)(0,8)} \angle -\cos^{-1}(0,8) = 625 \angle -36,87^\circ \text{ A}$$

65

Động cơ điện đồng bộ 3 pha

Ví dụ 6.7 (tt)

➤ Vector pha dòng điện pha của tổ hợp tải và động cơ là:

$$\bar{I}_{aT} = \frac{1500000}{\sqrt{3}(1732)} \angle 0 = 500 \angle 0 \text{ A}$$

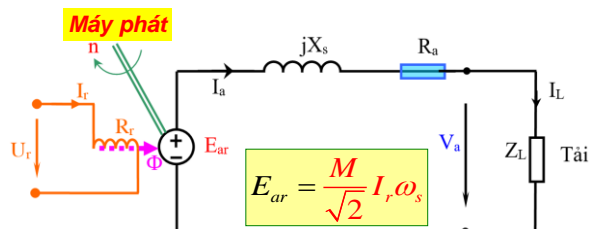
➤ Vector pha dòng điện pha A của động cơ, tính theo giản đồ vector pha:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{aM} &= \bar{I}_{aT} - \bar{I}_{aL} = 500 - 625 \angle -36,87^\circ \\ &= 375 \angle 90^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

66

Máy phát điện đồng bộ 3 pha

$$\bar{V}_a = \bar{E}_{ar} - jX_s \bar{I}_a$$



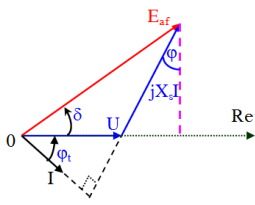
BMTBD-CBKTD-PV/Long (TCBinh editd 2016)

67

Chương 7: Máy điện đồng bộ

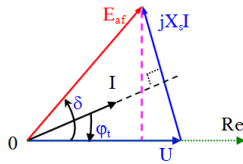
Máy phát điện đồng bộ 3 pha

Tải RL
 $\theta = \varphi > 0$



Tải RL, $\varphi_i > 0$

Tải RC
 $\theta = \varphi < 0$



Tải RC, $\varphi_i < 0$

68
R

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy phát điện đồng bộ 3 pha

Biểu thức công suất - mômen

➤ Biểu thức công suất

$$P_T = \left(\frac{3E_{ar} V_a}{X_s} \right) \sin(\delta)$$

$$P_{T,MAX} = \frac{3V_a E_{ar}}{X_s}$$

➤ Biểu thức của mômen

$$T^e = \frac{P_T}{\Omega_m} = \frac{P_T}{\Omega_s} = \frac{1}{\Omega_s} \frac{3E_{ar} V_a \sin(\delta)}{X_s}$$

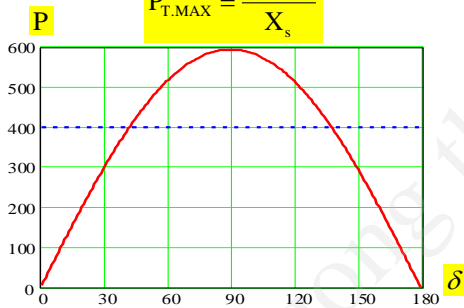
➤ Ở chế độ máy phát, $P_T > 0$, tương ứng $\delta > 0$.

70

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy phát điện đồng bộ 3 pha

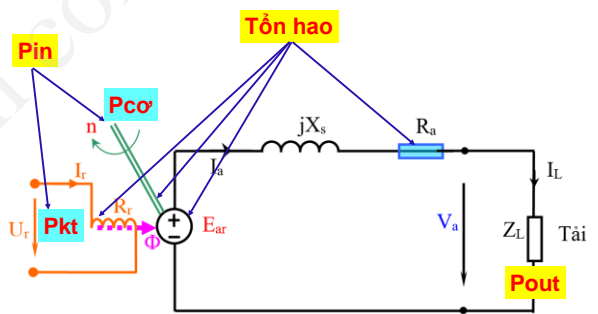
$$P_{T,MAX} = \frac{3E_{ar} V_a}{X_s}$$



71

Chương 7: Máy điện đồng bộ

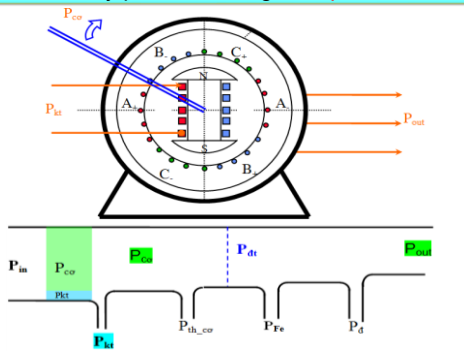
Máy phát điện đồng bộ 3 pha



72

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy phát điện đồng bộ 3 pha



73

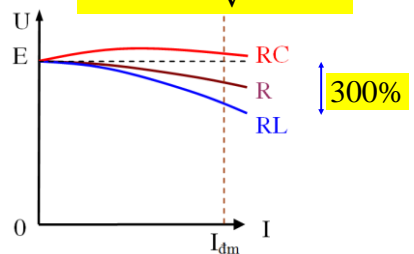
Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy phát điện đồng bộ 3 pha

Đặc tính vận hành

➤ Độ thay đổi điện áp:

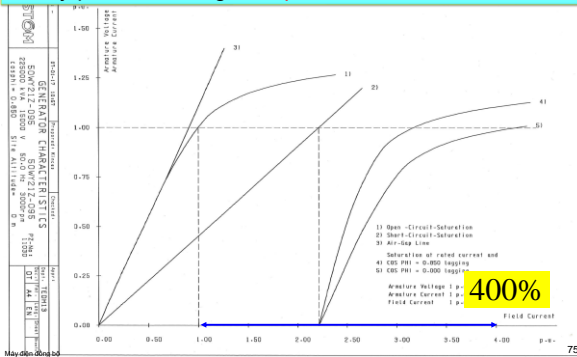
$$\Delta V\% = \frac{E_{ar} - V}{V} \times 100$$



74

Chương 7: Máy điện đồng bộ

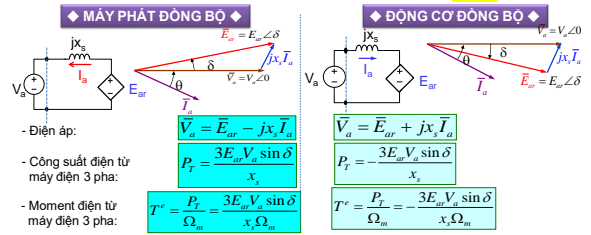
• Máy phát điện đồng bộ 3 pha



Máy điện đồng bộ

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy điện đồng bộ

TÓM TẮT 2 CHẾ ĐỘ HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN ($R_a=0$)

♦ Chiều dòng điện lấy theo chiều truyền công suất thực

♦ Liên hệ giữa tần số biến thiên của dòng điện f [Hz], tần số (góc) biến thiên dòng điện ω_e [rad/giây], vận tốc (góc) quay roto ω_m [rad/giây] và tốc độ quay roto (hoặc tốc độ đồng bộ) n_s [vòng/phút].

$$2\pi f = \omega_e = p\Omega_m = p \frac{2\pi}{60} n_s$$

BMTD-C&KTC&P&VLing(TC&Binh, edition 2016)

77

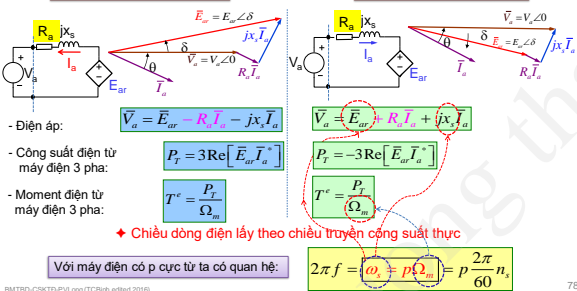
Chương 7: Máy điện đồng bộ

Máy điện đồng bộ

Nếu tính đến điện trở dây quấn phản ứng $R_a \neq 0$, ta dễ dàng có được phương trình cân bằng áp, mạch điện thay thế, giản đồ vector của máy điện đồng bộ có p cực từ.

* MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ *

* ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ *



♦ Chiều dòng điện lấy theo chiều truyền công suất thực

Với máy điện có p cực từ ta có quan hệ:

$$2\pi f = \omega_e = p\Omega_m = p \frac{2\pi}{60} n_s$$

BMTD-C&KTC&P&VLing(TC&Binh, edition 2016)

78

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Bài tập máy phát đồng bộ

Một máy phát đồng bộ ba pha cực từ ẩn, 2 cực, kích từ độc lập, dòng kích từ 1A, điện áp kính từ 300 V. Điện áp định mức 380V, 50Hz, nối Y, 12A. Bỏ qua điện trở phản ứng, điện kháng đồng bộ pha là 10Ω . **Biết tổn hao cơ là 500W**, bỏ qua tổn hao sắt.

- Khi máy phát cấp nguồn cho tải với điện áp và dòng điện định mức, tải có hệ số công suất $\cos\varphi=0,8$, chậm pha. Vẽ giản đồ vector, tính sức điện động cảm ứng pha, góc công suất, độ thay đổi điện áp, momen cơ kéo máy phát, công suất điện từ cực đại và hiệu suất của máy phát?
- Khi máy phát cấp nguồn cho tải có dòng điện định mức 12A, tải có hệ số công suất $\cos\varphi=1$. Vẽ giản đồ vector, tính điện áp dây cấp cho tải $V_{dây}$, góc công suất, độ thay đổi điện áp? Biết sức điện động của máy phát vẫn không đổi như ở câu a?
- Với tải (có dòng điện, $\cos\varphi$ như) ở câu b, tính dòng kích từ điều chỉnh để điện áp dây vẫn là 380V? Biết mạch từ còn tuyến tính.

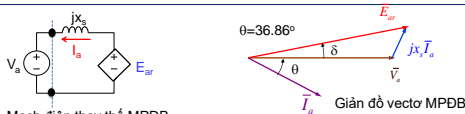
Máy điện đồng bộ

79

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 2

Cho máy điện đồng bộ ba pha đấu sao, 50 Hz có hai cực và điện kháng đồng bộ $x_s=2 \Omega$ /pha. Máy điện hoạt động ở chế độ **máy phát điện** với điện áp pha trên đầu cực stato 1905 V, dòng điện 350 A và hệ số công suất 0,8 **chậm** pha. Tìm sức điện động cảm ứng E_{ar} , góc moment δ , công suất điện từ và moment điện từ?



Mạch điện thay thế MPDB

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a = 1905 \angle 0^\circ + j2 \times 350 \angle -36,86^\circ = 2391,5 \angle 13,54^\circ \text{ V}$$

$$\text{Moment điện từ } T^e = \frac{3E_{ar}V_a \sin(\delta)}{x_s \Omega_m} = \frac{3 \times 2391,5 \times 1905 \times \sin 13,54^\circ}{2 \times 100\pi} = 5093 \text{ N.m}$$

$$\text{Công suất điện từ } P_T = T^e \Omega_m = 1.600.000 \text{ W} \quad (\approx P_{\text{định mức}} = 3V_a I_a \cos\theta)$$

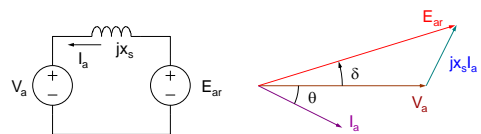
BMTD-C&KTC&P&VLing(TC&Binh, edition 2016)

80

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.4

♦ Một máy đồng bộ 2 cực, 3 pha, nối Y có điện kháng đồng bộ $x_s = 2 \Omega$ trên mỗi pha. Máy vận hành ở chế độ **máy phát** cung cấp công suất ở điện áp 50Hz, 1905 V trên mỗi pha. Dòng điện là 350 A và hệ số công suất của tải là 0,8 trễ. Tìm E_{ar} , δ , và momen điện từ sinh ra.



Máy điện đồng bộ

81

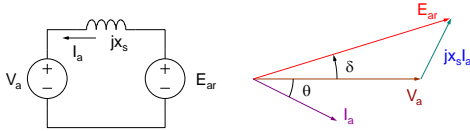
Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.4 (tt)

➤ Từ giản đồ vector pha

$$\bar{E}_{ar} = 1905 + j2(350\angle -36,87^\circ) = 2391\angle 13,54^\circ \text{ V}$$

$$T^e = \frac{3E_{ar} V_a \sin(\delta)}{x_s \Omega_s} = \frac{3 \times 2391 \times 1905 \times 0,23416}{2 \times 377} = 42440 \text{ N.m}$$



Máy điện đồng bộ

82

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Bài tập máy phát đồng bộ**Bài tập 2013.**

Một máy phát điện đồng bộ 3 pha, **50 kVA**, nối **Y**, **50 Hz**, **440 V**, **4** cực, có điện kháng đồng bộ là **1,2 Ω/pha**. Bỏ qua điện trở dây quấn phần ứng. Dòng điện kích từ được điều chỉnh sao cho điện áp đầu cực của máy khi không tải là **480 V**. Hãy xác định:

- Tốc độ quay của máy phát (tính bằng vòng/phút)?
- Điện áp đầu cực của máy phát, nếu máy cung cấp dòng điện định mức cho tải có hệ số công suất là **0,8** trễ?
- Độ thay đổi điện áp của máy phát nếu một bộ tụ điện 3 pha có công suất là **60 kVar** (không đổi) được mắc song song với tải ở câu b)?

Máy điện đồng bộ

83

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.5

♦ Một máy phát đồng bộ 3 pha, 60 Hz, **6** cực, nối Y được kéo bởi một tuabin cung cấp **16910 W** ở đầu trục. Tổng tổn hao ma sát và quạt gió là **500 W**. Dòng điện kích từ cũng được điều chỉnh sao cho điện áp E_{ar} (tỷ lệ với dòng kích từ) có giá trị pha $E_{ar} = 355 \text{ V}$. Máy phát cung cấp cho tải ở **440 V** (giá trị dây). Tìm tốc độ, các vector pha E_{ar} , I_a và công suất thực và phản kháng do máy phát sinh ra. Điện kháng đồng bộ là $x_s = 5 \Omega$.

♦ Tính moment cơ kéo máy phát, và moment điện từ?

Máy điện đồng bộ

84

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.5 (tt)

➤ Tốc độ của máy

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60(60)}{3} = 1200 \text{ vòng/phút}$$

➤ Công suất điện từ

$$P_T = 16910 - 500 = 16410 \text{ W}$$

➤ Rút ra giá trị của góc công suất δ

$$\delta = \sin^{-1} \left(\frac{16410 \times 5}{3(440/\sqrt{3})(355)} \right) = 17,65^\circ$$

Máy điện đồng bộ

85

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 6.5 (tt)

➤ Vector pha dòng điện pha A

$$\bar{I}_a = \frac{355\angle 17,65^\circ - (440/\sqrt{3})\angle 0}{j5} = 27,34\angle -38,04^\circ \text{ A}$$

➤ Công suất phức

$$\bar{S}_T = 3(440/\sqrt{3})(27,34\angle 38,04^\circ) = 16410 + j12841 \text{ VA}$$

➤ Do đó:

$$P = 16410 \text{ W} \quad Q = j12841 \text{ VAr}$$

Máy điện đồng bộ

86

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 3

Cho máy phát điện đồng bộ ba pha đầu sao, 50Hz, có **sáu cực**, được kéo bởi tua bin có công suất kéo **16.910 W**. Cho tổng các tổn hao trên dây quấn (**kích từ**), mạch từ và tổn hao cơ (do ma sát) là **500W**. Điều chỉnh dòng điện kích từ sao cho E_{ar} có giá trị pha là **355V**. Điện áp của máy phát là **440V**. Cho điện kháng đồng bộ $x_s=5\Omega/\text{pha}$. Tìm tốc độ roto, vector điện áp cảm ứng và dòng điện phần ứng (stato), công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát.

BMTBD-CBKTD-PP/Long (TCBinh edited 2016)

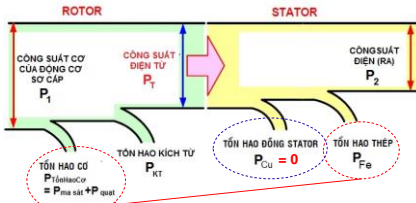
87

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 3

Cho máy phát điện đồng bộ ba pha đầu sao, 50Hz, có **sấu cực**, được kéo bởi tua bin có công suất kéo 16.910 W. Cho tổng các tổn hao trên dây quấn (**kích từ**), **mạch từ** và **tổn hao cơ** (do ma sát) là 500W. Điều chỉnh dòng điện kích từ sao cho E_{ar} có giá trị pha là 355V. Điện áp của máy phát là 440V. Cho điện kháng đồng bộ $x_s=5\Omega$ /pha. Tìm tốc độ roto, vector điện áp cảm ứng và dòng điện phản ứng (stato), công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát.

Trong máy điện tổn hao cơ không thay đổi theo tải, thường nhập chung với tổn hao thép gọi là **tổn hao quay**.



BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

88

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 3

Cho máy phát điện đồng bộ ba pha đầu sao, 50Hz, có **sấu cực**, được kéo bởi tua bin có công suất kéo 16.910 W. Cho tổng các tổn hao trên dây quấn (**kích từ**), **mạch từ** và **tổn hao cơ** (do ma sát) là 500W. Điều chỉnh dòng điện kích từ sao cho E_{ar} có giá trị pha là 355V. Điện áp của máy phát là 440V. Cho điện kháng đồng bộ $x_s=5\Omega$ /pha. Tìm tốc độ roto, vector điện áp cảm ứng và dòng điện phản ứng (stato), công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát.

Trong máy điện tổn hao cơ không thay đổi theo tải, thường nhập chung với tổn hao thép gọi là **tổn hao quay**.

Tốc độ roto: $n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000$ vòng/phút

Công suất điện từ: $P_T = P_m = P_{\text{Truân}} - P_{\text{thao}} = 16910 - 500 = 16410$ W

Góc moment: $\sin \delta = \frac{P_T x_s}{3 E_{ar} V_{\phi}} = \frac{16410 \times 5}{3 \times 355 \times 440 / \sqrt{3}} = 0,303 \rightarrow \delta = 17,66^\circ$

Vector điện áp cảm ứng: $\vec{E}_{ar} = 355 \angle 17,66^\circ$

Dòng điện phản ứng: $\vec{I}_a = \frac{\vec{E}_{ar} - \vec{V}}{j x_s} = \frac{355 \angle 17,66^\circ - 254,03 \angle 0^\circ}{j 5} = 27,32 \angle -37,95^\circ$ A

Công suất phức:

$$S_a = 3 \vec{V} \vec{I}_a^* = 3 \times 254,03 \angle 0^\circ \times 27,32 \angle 37,95^\circ = 16416 + j12802 = P_T + jQ_T \text{ VA}$$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

89

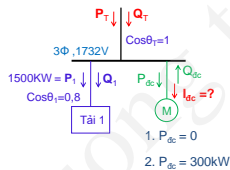
Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 4

Tải ba pha đầu sao, 1500 kW, $\text{pf}=0,8$ chậm pha, được đấu vào nguồn điện ba pha 1732V (điện áp dây)

1- Một động cơ đồng bộ hoạt động không tải được đấu song song với tải để nâng pf lên bằng 1. Xác định dòng điện của động cơ I_M .

2- Động cơ kéo tải công suất 300 kW. Xác định dòng điện của động cơ I_M ?



BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

90

Chương 7: Máy điện đồng bộ

Ví dụ 4 (tt)

$$P_1 = 1500 \text{ kW}, \cos \theta_1 = 0,8$$

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \theta_1} = \frac{1500}{0,8} = 1875 \text{ KVA}$$

$$Q_1 = S_1 \sin \theta_1 = 1875 (0,6) = 1125 \text{ KVAR}$$

1. Động cơ không tải $P_{dc} = 0$, $P_T = P_1 = 1500 \text{ KW}$

$$\text{Để } \cos \theta_T = 1 \rightarrow Q_T = 0 \rightarrow Q_{dc} = -Q_1 = -1125 \text{ KVAR}$$

$$\text{Dòng điện động cơ: } I_{dc} = \frac{S_{dc}}{\sqrt{3}V} = \frac{Q_{dc}}{\sqrt{3}V} = \frac{1125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1732} = 375 \text{ A}$$

2. Động cơ kéo tải $P_{dc} = 300 \text{ KW}$, $P_T = 1800 \text{ KW}$

$$\text{Để } \cos \theta_T = 1 \rightarrow Q_T = 0 \rightarrow Q_{dc} = -Q_1 = -1125 \text{ KVAR}$$

$$S_{dc} = \sqrt{P_{dc}^2 + Q_{dc}^2} = \sqrt{300^2 + 1125^2} = 1164,313 \text{ KVA}$$

$$I_{dc} = \frac{S_{dc}}{\sqrt{3}V} = \frac{1164313}{\sqrt{3} \cdot 1732} = 388,1 \text{ A}$$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

91

Chương 7: Máy điện đồng bộ

1 Bài tập

Một nhà máy tiêu thụ công suất điện 700KW với $\cos \theta = 0,7$. Nhà máy có thêm 1 phụ tải cơ công suất 100KW, để kéo tải cơ này và kết hợp nâng cao hệ số c/s người ta dùng 1 máy điện đồng bộ có **hiệu suất** 0,88.

Xác định công suất toàn phần cần thiết của máy điện đồng bộ để nâng cao hệ số c/s lên 0,8.

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

94

Chương 7: Máy điện đồng bộ

1 Bài tập

Một nhà máy tiêu thụ công suất điện 700KW với $\cos \theta = 0,7$. Nhà máy có thêm 1 phụ tải cơ công suất 100KW, để kéo tải cơ này và kết hợp nâng cao hệ số c/s người ta dùng 1 máy điện đồng bộ có hiệu suất 0,88. Xác định công suất toàn phần cần thiết của máy điện đồng bộ để nâng cao hệ số c/s lên 0,8.

Máy điện đồng bộ hoạt động ở **chế độ động cơ** để kéo tải cơ 100kW và quá kích từ để bù (phát) công suất phản kháng

$$\text{Công suất điện động cơ tiêu thụ } P_{dc} = \frac{P_{\text{cơ}}}{\eta} = \frac{100}{0,88} = 113,6 \text{ KW}$$

Công suất tác dụng của nhà máy khi có thêm ĐCDB

$$P_T = P_1 + P_{dc} = 700 + 113,6 = 813,6 \text{ KW}$$

• Trước khi thêm ĐCDB thì $\cos \theta_1 = 0,7$ ($\rightarrow \text{tg} \theta_1 = 1,02$)

$$\rightarrow \text{Công suất phản kháng nhà máy nhận từ lưới: } Q_1 = P_1 \cdot \text{tg} \theta_1 = 700 \cdot 1,02 = 714 \text{ KVAR}$$

• Sau khi thêm ĐCDB thì $\cos \theta = 0,8$ ($\rightarrow \text{tg} \theta = 0,75$)

$$\rightarrow \text{Công suất phản kháng nhà máy nhận từ lưới: } Q_T = P_T \cdot \text{tg} \theta = 813,6 \cdot 0,75 = 610 \text{ KVAR}$$

$$\text{Công suất phản kháng ĐCDB phát ra: } Q_{dc} = Q_T - Q_1 = 610 - 714 = -104 \text{ KVAR}$$

Dấu (-) chứng tỏ ĐCDB phát công suất phản kháng

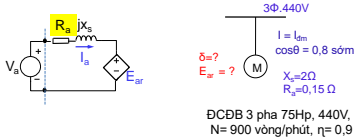
$$\text{Công suất toàn phần của ĐCDB: } S_{dc} = \sqrt{P_{dc}^2 + Q_{dc}^2} = \sqrt{113,6^2 + 104^2} = 154 \text{ KVA}$$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

95

2 Bài tập

ĐCĐB 3 pha nối Y có các thông số định mức: 75Hp, 440V, 900 vòng/phút, hiệu suất 0,9. Có **điện trở dây quấn stator 0,15Ω/phá**, điện kháng đồng bộ 2Ω/phá. Động cơ mang tải định mức với hệ số c/s 0,8 sớm pha. Vẽ giản đồ vector, tính điện áp cảm ứng và góc tải.



2 Bài tập

ĐCĐB 3 pha nối Y có các thông số định mức: 75Hp, 440V, 900 vòng/phút, hiệu suất 0,9. Có **điện trở dây quấn stator 0,15Ω/phá**, điện kháng đồng bộ 2Ω/phá. Động cơ mang tải định mức với hệ số c/s 0,8 sớm pha. Vẽ giản đồ vector, tính điện áp cảm ứng và góc tải.

Giản đồ vector được vẽ với giá trị pha.

Điện áp pha: $V_a = 440/\sqrt{3} = 254V$

$$I_a = \frac{P_{\text{đm}}}{\sqrt{3} V_{\text{đây}} \cos \theta} = \frac{75,746}{0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0,8} = 102A$$

$$\text{Phương trình cân bằng áp: } \vec{V}_a = \vec{E}_{ar} + R_s \vec{I}_a + jX_s \vec{I}_a$$

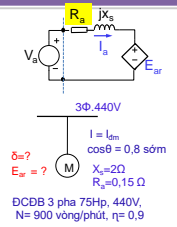
$$\text{Chọn } V_a \text{ làm gốc: } \vec{V}_a = 254 \angle 0^\circ V \rightarrow \vec{I} = 102(0,8 + j0,6) A$$

$$\begin{aligned} \vec{E}_{ar} &= \vec{V}_a - \vec{I}_a (R_s + jX_s) = 254 - 102(0,8 + j0,6)(0,15 + j2) \\ &= 364 - j172 = 403 \angle -25,3^\circ V \end{aligned}$$

Điện áp cảm ứng có giá trị pha (giữa dây và trung tính) là 403V chậm pha so với V_a một góc tải 25,3°

$$E_{ar} \cos \delta > V_a$$

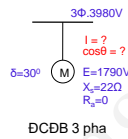
$$364 V > 254V$$



$\delta = ?$
 $E_{ar} = ?$
 $\cos \theta = 0,8 \rightarrow \sin \theta = 0,6$
ĐCĐB quá kích từ ???

3 Bài tập

ĐCĐB 3 pha có điện kháng đồng bộ 22Ω. Nối với nguồn 3 pha 3980V thì điện áp cảm ứng giữa dây và trung tính là 1790V và góc tải có giá trị là 30°. Vẽ giản đồ vector. Xác định dòng điện và hệ số c/s khi ĐCĐB hoạt động ở trạng thái thiếu kích từ



3 Bài tập

ĐCĐB 3 pha có điện kháng đồng bộ 22Ω. Nối với nguồn 3 pha 3980V thì điện áp cảm ứng giữa dây và trung tính là 1790V và góc tải có giá trị là 30°. Vẽ giản đồ vector. Xác định dòng điện và hệ số c/s khi ĐCĐB hoạt động ở trạng thái thiếu kích từ

Trong phần lý thuyết giản đồ vector được vẽ với giá trị pha.

Đầu tiên vẽ điện áp pha V

→ Vẽ điện áp cảm ứng pha E chậm sau góc δ (ví là động cơ)

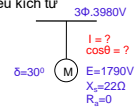
→ $E \cos \delta < V$ ($1790 \cos 30^\circ < 2300$)

→ Thiếu kích từ → dòng điện chậm pha

→ Vẽ I vuông góc với $jX_s I$, I sẽ phải chậm pha so với áp góc θ

$$\vec{V} = \vec{E} + jX_s \vec{I}$$

$$\vec{I} = \frac{\vec{V} - \vec{E}}{jX_s} = \frac{2300 - 1790 \angle -30^\circ}{22 \angle 90^\circ} = 53,07 \angle -39,963A$$



ĐCĐB 3 pha

4 Bài tập

Một MPĐB 3 pha có: $S_{\text{đm}} = 10000\text{KVA}$, $V_{\text{đm}} = 6,3\text{KV}$, $f = 50\text{Hz}$, $\cos \theta_{\text{đm}} = 0,8$; 4 cực, dây quấn stator đầu Y, điện trở dây quấn stator 0,04Ω/phá, điện kháng đồng bộ 1Ω/phá, tổn hao kích từ bằng 2% $P_{\text{đm}}$, tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, tổn hao cơ và tổn hao phụ) bằng 2,4% $P_{\text{đm}}$.

1. Tính tốc độ quay của máy.

2. Tính dòng điện, công suất tác dụng, công suất phản kháng máy phát ra, công suất động cơ sơ cấp kéo máy phát và hiệu suất của máy phát ở chế độ định mức.

3. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

4. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

4 Bài tập

Một MPĐB 3 pha có: $S_{\text{đm}} = 10000\text{KVA}$, $V_{\text{đm}} = 6,3\text{KV}$, $f = 50\text{Hz}$, $\cos \theta_{\text{đm}} = 0,8$; 4 cực, dây quấn stator đầu Y, điện trở dây quấn stator 0,04Ω/phá, điện kháng đồng bộ 1Ω/phá, tổn hao kích từ bằng 2% $P_{\text{đm}}$, tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, tổn hao cơ và tổn hao phụ) bằng 2,4% $P_{\text{đm}}$.

1. Tính tốc độ quay của máy.

2. Tính dòng điện, công suất tác dụng, công suất phản kháng máy phát ra, công suất động cơ sơ cấp kéo máy phát và hiệu suất của máy phát ở chế độ định mức.

3. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

4. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

5. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

6. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

7. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

8. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

9. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

10. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

11. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

12. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

13. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

14. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

15. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

16. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

17. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

18. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

19. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

20. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

21. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

22. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

23. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

24. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

25. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

26. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

27. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

28. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

29. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

30. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

31. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

32. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

33. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

34. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

35. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

36. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

37. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

38. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

39. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

40. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

41. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

42. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

43. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

44. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

45. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

46. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

47. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

48. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

49. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

50. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

51. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

52. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

53. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

54. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

55. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

56. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

57. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

58. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

59. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

60. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

61. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

62. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

63. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

64. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

65. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

66. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

67. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

68. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

69. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

70. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

71. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

72. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

73. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

74. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

75. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

76. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

77. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

78. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

79. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

80. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

81. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

82. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

83. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

84. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

85. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

86. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

87. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

88. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

89. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

90. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

91. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

92. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

93. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

94. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

95. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

96. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

97. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

98. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

99. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

100. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

101. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

102. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

103. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

104. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

105. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

106. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

107. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

108. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

109. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

110. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

111. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

112. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

113. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

114. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

115. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

116. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

117. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

118. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

119. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

120. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

121. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

122. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

123. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

124. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

125. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

126. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

127. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

128. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

129. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

130. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

131. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

132. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

133. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

134. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

135. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

136. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

137. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

138. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

139. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

140. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

141. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

142. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

143. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

144. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

145. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

146. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

147. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

148. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

149. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

150. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

151. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

152. Tính tổn hao không tải (tổn hao sắt từ, cơ, phụ).

153. Tính tổn hao trên dây quấn phản ứng.

Chương 7: Máy điện đồng bộ

5 Bài tập

Một máy phát đồng bộ 3 pha, 6 cực, 50 Hz, nối Y có điện áp đầu cực (giữa hai pha bất kỳ) là 460 V và dòng điện 150 A trên dây dẫn từ máy phát đến tải, ở hệ số công suất 0,92 trễ. Dòng điện kích từ trong điều kiện này là 50 A. Điện kháng đồng bộ của máy là 1,6 Ω. Giả sử bỏ qua điện trở phần ứng (điện trở của dây quấn stato). Hãy tính:

1. Tốc độ của rôto, tính bằng vòng/phút
2. Góc moment (góc công suất, góc tải)
3. Độ lớn của hồ cảm giữa dây quấn kích từ và dây quấn phần ứng
4. Công suất cơ ngõ vào của máy phát và moment đặt vào trục máy

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

103

Chương 7: Máy điện đồng bộ

5 Bài tập (tt)

1. Tốc độ máy: $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{6} = 1000 \text{ vòng/phút}$
2. Vector điện áp pha: $\vec{V}_a = \frac{460}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 265,6 \angle 0^\circ \text{ V}$
- Vector dòng điện pha: $\vec{I}_a = 150 \angle -\cos^{-1}(0,92) = 150 \angle -23,07^\circ \text{ A}$
- Điện áp cảm ứng: $\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a = 265,6 \angle 0^\circ + 1,6 \times 150 \angle (90^\circ - 23,07^\circ) = 359,6 + j220,8 = 422 \angle 31,55^\circ \text{ V}$
- Góc tải (góc moment): $\delta = 31,55^\circ$
3. Theo định nghĩa ta có: $E_{ar} = \frac{\omega_r M_{f-r}}{\sqrt{2}}$
Độ lớn của hồ cảm giữa dây quấn kích từ và dây quấn phần ứng
 $M = \sqrt{2} \frac{E_{ar}}{\omega_r I_r} = \sqrt{2} \frac{422}{2\pi \times 50 \times 50} = 38 \text{ mH}$
4. Công suất cơ ngõ vào của máy phát (bỏ qua các tổn hao quay):
 $P_m = P_r = 3 \times V_a \times I_a \times PF = 3 \times 265,6 \times 150 \times 0,92 = 110$
Moment đặt vào trục máy
 $T^e = \frac{P_m}{\Omega_r} = p \frac{P_r}{\omega_r} = 3 \times \frac{110 \times 10^3}{2\pi \times 50} = 1050 \text{ Nm}$

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

104

Chương 7: Máy điện đồng bộ

6 Bài tập

Một máy điện đồng bộ 3 pha : 5 KVA, 208V, 60Hz, nối Y, 4 cực, điện kháng đồng bộ $x_s=8\Omega/\text{pha}$ (bỏ qua điện trở dây quấn stator). **Máy điện hoạt động ở chế độ máy phát** được nối song song vào lưới điện 3 pha 208V, 60Hz.

1. Tính điện áp (sdd) cảm ứng và góc moment ở khi máy điện phát công suất định mức với hệ số công suất 0,8 trễ. Vẽ giản đồ vector (sơ đồ pha).
2. Với dòng điện kích từ như câu 1, công suất động cơ sơ cấp tăng từ từ. Nếu máy phát công suất cực đại hãy xác định dòng điện, hệ số công suất, công suất cực đại của máy phát trong điều kiện đó
▪ **Máy điện trên chuyển sang hoạt động ở chế độ động cơ.** Dòng điện kích từ được điều chỉnh để hệ số công suất bằng 1 và nhận công suất 3 KW từ lưới điện.
3. Tính điện áp (sdd) cảm ứng và góc moment δ . Vẽ sơ đồ pha.
4. Nếu dòng điện kích từ được giữ không thay đổi (như câu 3). Moment trên trục động cơ tăng từ từ, xác định moment điện từ cực đại của máy.

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

105

Chương 7: Máy điện đồng bộ

6 Bài tập (tt)

1. Điện áp (sdd) cảm ứng:

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a$$

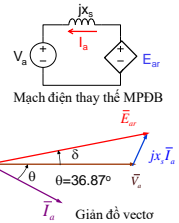
$$\vec{V}_a = \frac{208}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 120 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\vec{I}_a = \frac{S}{\sqrt{3} V_a} \angle \theta = \frac{5000}{\sqrt{3} (208)} \angle -36,87^\circ = 13,88 \angle -36,87^\circ \text{ A}$$

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a = 120 \angle 0^\circ + (8 \angle 90^\circ) (13,88 \angle -36,87^\circ)$$

$$= 120 \angle 0^\circ + 111 \angle 53,13^\circ = 206,7 \angle 25,45^\circ \text{ V}$$

$$E_{ar} = 206,7 \text{ V}; \quad \delta = 25,45^\circ$$



1. Tính điện áp (sdd) cảm ứng và góc moment khi máy điện phát công suất định mức với hệ số công suất 0,8 trễ. Vẽ giản đồ vector (sơ đồ pha).

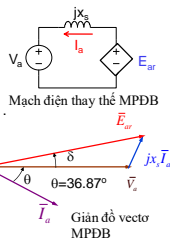
BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

106

Chương 7: Máy điện đồng bộ

6 Bài tập (tt)

2. MPDB nối song song với lưới điện nên V_a không thay đổi. Dòng điện kích từ không đổi nên E_{ar} không thay đổi. Theo giản đồ vector \rightarrow góc moment δ , I_a thay đổi.
Ta có: Công suất $P_r = \frac{3E_{ar}V_a \sin(\delta)}{x_s}$ cực đại khi $\delta = 90^\circ$.
Mạch điện thay thế MPDB
 $\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a$
 $\vec{I}_a = \frac{\vec{E}_{ar} - \vec{V}_a}{jx_s} = \frac{206,7 \angle 90^\circ - 120 \angle 0^\circ}{8 \angle 90^\circ} = 29,88 \angle 30,14^\circ \text{ A}$
 $\rightarrow PF = \cos 30,14^\circ = 0,865$ sớm pha
 $P_{r \max} = \frac{3E_{ar}V_a}{x_s} = \frac{3(206,7)(208)}{8} = 9301 \text{ W}$



2. Với dòng điện kích từ như câu 1, công suất động cơ sơ cấp tăng từ từ. Xác định dòng điện, hệ số công suất, công suất tác dụng ở điều kiện máy phát công suất cực đại.

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

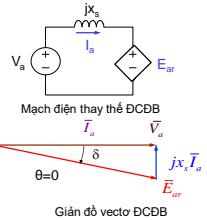
107

Chương 7: Máy điện đồng bộ

6 Bài tập (tt)

- **Chế độ động cơ.**

3. Điện áp (sdd) cảm ứng: $\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a - jx_s \vec{I}_a$
 $\vec{V}_a = \frac{208}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 120 \angle 0^\circ \text{ V}$
 $\vec{I}_a = \frac{P}{\sqrt{3} V_a \cos \theta} \angle \theta = \frac{3000}{\sqrt{3} (208)} \angle 0^\circ = 8,33 \angle 0^\circ \text{ A}$
 $\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a - jx_s \vec{I}_a = 120 \angle 0^\circ - (8 \angle 90^\circ) (8,33 \angle 0^\circ)$
 $= 120 \angle 0^\circ - 66,67 \angle 90^\circ = 137,28 \angle -29,06^\circ \text{ V}$
 $E_{ar} = 137,28 \text{ V}; \quad \delta = -29,06^\circ$



- **Máy điện trên chuyển sang hoạt động ở chế độ động cơ.** Dòng điện kích từ được điều chỉnh để hệ số công suất bằng 1 và nhận công suất 3 KW từ lưới điện.

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

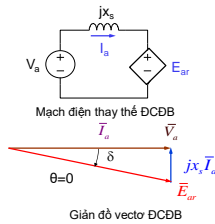
108

Chương 7: Máy điện đồng bộ

6 Bài tập (tt)

3. Điện áp (sdd) cảm ứng:

$$\begin{aligned} \vec{V}_a &= \frac{208}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 120 \angle 0^\circ \text{ V} \\ \vec{I}_a &= \frac{P}{\sqrt{3}(208) \cos \theta} \angle \theta^\circ = \frac{3000}{\sqrt{3}(208)} \angle 0^\circ = 8,33 \angle 0^\circ \text{ A} \\ \vec{E}_{ar} &= \vec{V}_a - jx_s \vec{I}_a = 120 \angle 0^\circ - (8,33 \angle 0^\circ)(8,33 \angle 0^\circ) \\ &= 120 \angle 0^\circ - 66,67 \angle 90^\circ = 137,28 \angle -29,06^\circ \text{ V} \\ E_{ar} &= 137,28 \text{ V}; \quad \delta = -29,06^\circ \end{aligned}$$

4. V_a , E_{ar} không thay đổi, góc moment δ thay đổi

$$\text{Moment điện từ } T^e = \frac{P}{\omega_m} = -\frac{3E_{ar}V_a \sin(\delta)}{x_s \omega_m} \text{ cực đại khi } \delta = -90^\circ.$$

$$P_{\max} = \frac{3E_{ar}V_a}{x_s} = \frac{3(120)(137,28)}{8} = 6178 \text{ W} \Rightarrow T_{\max}^e = \frac{P_{\max}}{\Omega_m} = \frac{6178}{188,5} = 32,8 \text{ Nm}$$

4. Nếu dòng điện kích từ được giữ không thay đổi (như câu a). Moment trên trục động cơ tăng từ từ, xác định moment điện từ cực đại của máy điện.

BMTĐB-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

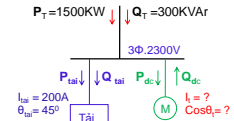
110

Chương 7: Máy điện đồng bộ

7 Bài tập

Một ĐCDB 3 pha 60Hz, 6 cực, nối Y, điện kháng đồng bộ 2Ω và một tải 3 pha đầu Y được nối song song vào nguồn điện xoay chiều 3 pha 2300V. Nếu chọn vector điện áp pha làm gốc thì vector dòng điện tải là $200\angle -45^\circ$ A. Tổng công suất của nguồn cấp cho động cơ và tải 3 pha là 1500KW và 300KVA. Xác định:

- Tốc độ động cơ.
- Dòng điện động cơ tiêu thụ
- Hệ số c/s của động cơ, hệ số công suất sớm hay trễ?
- Điện áp cảm ứng của động cơ và góc tải



BMTĐB-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

111

Chương 7: Máy điện đồng bộ

7 Bài tập (tt)

- Tốc độ quay của động cơ.

$$n = n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{3} = 1200 \text{ vòng/phút}$$

- Tổng công suất cung cấp của nguồn trên 1 pha:

$$S_{T1} = \frac{1500 + j300}{3} = 500 + j100 \text{ KVA}$$

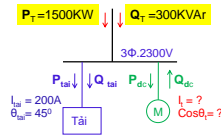
$$\text{Với: } V_a = \frac{2300}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ, I_w = 200 \angle -45^\circ \text{ A}$$

$$\text{Công suất 1 pha của tải: } \vec{S}_{w1} = \vec{V}_a \cdot \vec{I}_w^* = \left(\frac{2300}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \right) (200 \angle +45^\circ) = 187,79 + j187,79 \text{ KVA}$$

$$\text{Công suất 1 pha của động cơ: } \vec{S}_{d1} = \vec{S}_{T1} - \vec{S}_{w1} = (500 + j100) - (187,79 + j187,79) = 312,21 - j87,79 = 324,32 \angle -15,71^\circ \text{ KVA}$$

$$\text{Dòng điện của động cơ: } \vec{I}_{dc} = \frac{\vec{S}_{d1}}{\vec{V}_a} = \frac{324320 \angle -15,71^\circ}{2300 / \sqrt{3} \angle 0^\circ} = 244,23 \angle -15,71^\circ \text{ A}$$

$$\rightarrow \vec{I}_{dc} = 244,23 \angle +15,71^\circ \text{ A}$$



BMTĐB-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

112

Chương 7: Máy điện đồng bộ

7 Bài tập (tt)

$$\text{Dòng điện của động cơ: } \vec{I}_{dc} = \frac{\vec{S}_{d1}}{\vec{V}_a} = \frac{324320 \angle -15,71^\circ}{2300 / \sqrt{3} \angle 0^\circ} = 244,23 \angle -15,71^\circ \text{ A}$$

$$\rightarrow \vec{I}_{dc} = 244,23 \angle +15,71^\circ \text{ A}$$

Hệ số công suất của động cơ: $\cos \theta = \cos(-15,71^\circ) = 0,9627$ sớm pha

Điện áp cảm ứng của động cơ:

$$\begin{aligned} \vec{E}_{ar} &= \vec{V}_a - jx_s \vec{I}_{dc} \\ &= \left(\frac{2300}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \right) - j(2)(244,23 \angle +15,71^\circ) \\ &= 1460,2 - j470,2 = 1534 \angle -17,85^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Góc tải (góc moment): $\delta = -17,85^\circ$

BMTĐB-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

113

Chương 7: Máy điện đồng bộ

8 Bài tập

Một máy phát điện đồng bộ 3 pha 11000KVA, 3400 V, 60Hz, nối Y có 24 cực. Điện kháng đồng bộ 1Ω /pha, giả sử bỏ qua các tổn hao của máy phát.

Máy phát nối với lưới điện 3 pha điện áp 3400V phát công suất 8000KW hệ số công suất bằng 1

1. Tính tốc độ vòng/phút và moment điện từ của máy.

Vẽ mạch điện thay thế giản đồ vector của máy phát khi vận hành trong trường hợp trên. Tính điện áp cảm ứng trên dây quấn stator và góc moment (góc tải).

2. Với công suất động cơ sơ cấp kéo máy phát không đổi như trường hợp trên, tần số và điện áp phát ra ở đầu cực máy phát không thay đổi. Dòng điện kích từ ở dây quấn rotor tăng thêm 20%. Tìm góc moment, dòng điện stator và công suất phản kháng của máy phát trong trường hợp này.

2. MPDB được nối với lưới để giữ điện áp và tần số không đổi khi điều chỉnh kích từ \rightarrow thay đổi công suất phản kháng phát ra

BMTĐB-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

114

Chương 7: Máy điện đồng bộ

8 Bài tập (tt)

1- Tốc độ quay của MPDB.

$$n = n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{12} = 300 \text{ vòng/phút}$$

- Moment điện từ của MPDB (máy có nhiều cực từ)

$$T^e = \frac{P}{\Omega_m} = \frac{P_T}{\left(\frac{\omega_s}{p} \right)} = \frac{8000 \cdot 10^3}{\frac{2\pi \cdot 60}{12}} = 254648 \text{ Nm}$$

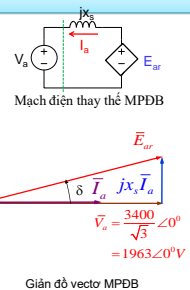
- Điện áp cảm ứng và góc moment. $\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a$

Dòng điện của MPDB (bằng dòng điện tải).

$$I_a = I_{w1} = \frac{P_{w1}}{(\cos \theta_{w1}) \sqrt{3} V} = \frac{8000 \cdot 10^3}{(1) \sqrt{3} (3400)} = 1358,5 \text{ A}$$

$$\rightarrow \vec{I}_a = 1358,5 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + jx_s \vec{I}_a = 1963 \angle 0^\circ + j(1)(1358,5 \angle 0^\circ) = 2387,2 \angle 34,69^\circ$$

- Góc moment $\delta = 34,69^\circ$ 

BMTĐB-CSKTD-PVLong (TCBinh edited 2016)

115

Chương 7: Máy điện đồng bộ

8 Bài tập (tt)

2. Nếu mạch từ chưa bão hòa thì điện áp cảm ứng tỉ lệ thuận với dòng điện kích từ ở rotor
Dòng điện kích từ ở rotor tăng 20%
Điện áp cảm ứng tương ứng là:

$$\bar{E}_{af-new} = 1,2 \bar{E}_{af} = 1,2 (2387,2) = 2864,7V$$

Vì công suất tác dụng không đổi nên góc moment mới phải thỏa điều kiện:

$$\bar{E}_{af} \sin \delta = \bar{E}_{af-new} \sin \delta_{new}$$

$$\sin \delta_{new} = \frac{\bar{E}_{af}}{\bar{E}_{af-new}} \sin \delta = \frac{1}{1,2} \sin (34,69^\circ) = 0,4743$$

- Góc moment tương ứng: $\delta_{new} = 28,31^\circ$

- Dòng điện stator tương ứng:

$$\bar{I}_{a-new} = \frac{\bar{E}_{af-new} - \bar{V}_a}{jX_s} = \frac{2864,7 \angle 28,31^\circ - 1963 \angle 0^\circ}{j1} = 1469,1 \angle -22,37^\circ$$

- Công suất phản kháng của máy phát ra: $Q = 3VI \sin \theta = 3(1963)(1469,1)(0,3806) = 3293,4 \text{ kVA}$
2. Với công suất tác dụng và tần số cấp kéo máy phát không đổi như trường hợp trên, tần số và điện áp phát ra ở đầu cực máy phát không thay đổi. Dòng điện kích từ ở dây quấn rotor tăng thêm 20%. Tìm điện áp cảm ứng trên mỗi pha dây quấn stator để hệ số công suất bằng 0,8 trễ và góc moment tương ứng.

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

116

Chương 7: Máy điện đồng bộ

9 Bài tập

Một MPDB 3 pha 60Hz, 550V, nối Y, điện kháng đồng bộ $1,2\Omega$, bỏ qua điện trở dây quấn phản ứng. Máy phát cung cấp 250KW ở giá trị điện áp định mức thì **điện áp cảm ứng** trên mỗi dây quấn stator là 460V (giá trị pha)

1. Xác định góc moment

Xác định dòng điện, hệ số công suất, công suất phản kháng của máy.

2. Với điện áp, tần số và công suất tác dụng của máy không đổi. Xác định điện áp cảm ứng trên mỗi pha dây quấn stator để hệ số công suất bằng 0,8 trễ và góc moment tương ứng.

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

120

Chương 7: Máy điện đồng bộ

9 Bài tập (tt)

1. Ta có công suất điện từ $P_T = \frac{3E_{af} V_a \sin(\delta)}{X_s}$
(= công suất tác dụng của máy)

$$\left[\begin{array}{l} \text{Điện áp pha: } V_a = \frac{550}{\sqrt{3}} = 317,5V \\ \text{Điện áp cảm ứng trên 1 pha: } E_{af} = 460V \end{array} \right]$$

$$\rightarrow \sin(\delta) = \frac{P_T X_s}{3E_{af} V_a} = \frac{(250000)(1,2)}{3(460)(317,5)} = 0,6847$$

- Góc moment: $\delta = 43,21^\circ$

- Dòng điện máy phát ra

$$\bar{I}_a = \frac{\bar{E}_{af} - \bar{V}_a}{jX_s} = \frac{460 \angle 43,21^\circ - 317,5 \angle 0^\circ}{j1,2} = 262,88 \angle -3,23^\circ \text{ A}$$

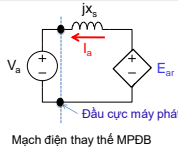
- Hệ số công suất của máy $\cos \theta = \cos(3,23^\circ) = 0,9984$ trễ

- Công suất phản kháng của máy phát ra:

$$Q = 3VI \sin \theta = 3(317,5)(262,88)(0,05633) = 14,105 \text{ KVAR}$$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

122



Chương 7: Máy điện đồng bộ

9 Bài tập (tt)

2.

- Dòng điện máy phát ra

$$\bar{I}_{a-new} = \frac{P_T}{3V_a \cos \theta} = \frac{250000}{3(317,5)(0,8)} = 328,08 \text{ A}$$

- Điện áp máy cảm ứng trên mỗi pha dây quấn stator

$$\bar{E}_{af-new} = \bar{V}_a + jX_s \bar{I}_{a-new}$$

$$= 317,5 \angle 0^\circ + j(1,2)(328,08 \angle -\cos^{-1}(0,8)) = 637,01 \angle 29,63^\circ$$

- Góc moment: $\delta_{new} = 29,63^\circ$

2. Với điện áp, tần số và công suất tác dụng của máy không đổi. Xác định điện áp cảm ứng trên mỗi pha dây quấn stator để hệ số công suất bằng 0,8 trễ và góc moment tương ứng.

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

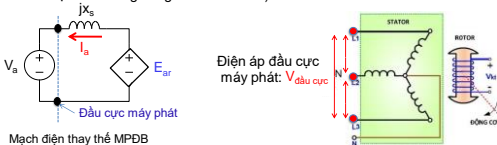
123

Chương 7: Máy điện đồng bộ

10 Bài tập

Một máy phát điện đồng bộ 3 pha, 50 kVA, nối Y, 50 Hz, 440 V, 4 cực, có điện kháng đồng bộ là $1,2 \Omega/\text{pha}$. Dòng điện kích từ được điều chỉnh sao cho điện áp đầu cực của máy khi không tải là 480 V (thường theo qui ước máy 3 pha là giá trị dây). Bỏ qua điện trở dây quấn phản ứng. Hãy xác định:

- a) Tốc độ quay của máy phát (tính bằng vòng/phút).
b) Điện áp đầu cực của máy phát nếu máy cung cấp dòng điện định mức cho tải có hệ số công suất là 0,8 trễ.
c) Độ thay đổi điện áp của máy phát nếu một bộ tụ điện 3 pha có công suất là 60 kVAR được mắc song song với tải ở cầu b).



BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

124

Chương 7: Máy điện đồng bộ

10 Bài tập (tt)

a. Tốc độ quay của máy phát:

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{(60)(50)}{2} = 1500 \text{ vòng/phút}$$

b. Dòng điện định mức của máy phát

$$I_{a-dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}V_{dm}} = \frac{50000}{\sqrt{3}(440)} = 65,61 \text{ A}$$

Dựa vào giản đồ vector, có thể suy ra công thức tính **điện áp pha ở đầu cực máy phát** dưới đây

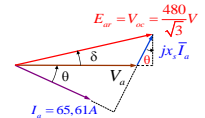
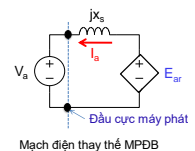
$$V_a = \sqrt{E_{af}^2 - (x_s I_{a-dm} \cos(\theta))^2} - x_s I_{a-dm} \sin(\theta)$$

$$= \sqrt{480^2 - (62,99)^2} - 47,24 = 222,6V$$

b) Điện áp đầu cực của máy phát tương ứng là: $\sqrt{3} \cdot 222,6 = 385,6V$
phát nếu máy cung cấp dòng điện định mức cho tải có hệ số công suất là 0,8 trễ
công suất là 0,8 trễ $385,6 \times 100\% = 24,5\%$

BMTBD-CSKTD-PV/Long (TCBinh edited 2016)

125



Máy phát Q ???
Dòng chậm pha
Quá kích từ

Chương 7: Máy điện đồng bộ

10 Bài tập (tt)

- c. Công suất của tải trước khi mắc bộ tụ là $50\text{KVA} \cos\theta = 0,8$ trể: $S = 40 + j30 \text{ kVA}$
 Sau khi mắc thêm bộ tụ 60KVAR , tổng công suất của tải sẽ là: $40 + j30 - j60 = 40 - j30 \text{ kVA}$ (Tải có hệ số công suất thay đổi từ tính cảm sang tính dung).
 → Có thể thấy, công suất biểu kiến của tải vẫn không đổi (50KVA), suy ra **dòng điện phản ứng của máy phát vẫn có giá trị như ở câu b).**

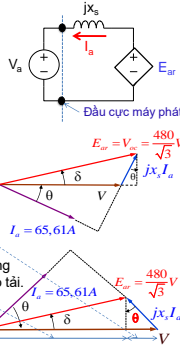
Về lại giản đồ vectơ cho trường hợp hệ số công suất 0,8 sớm, có thể suy ra công thức tính điện áp pha

$$V_a = \sqrt{E_{ar}^2 - (x_s I_{a-dm} \cos(\theta))^2} + x_s I_{a-dm} \sin(\theta)$$

$$= \sqrt{480^2 / 3 - (62,99)^2} + 47,24 = 317,1\text{V}$$

Điện áp dây tương ứng là $549,3 \text{ V}$. Có thể thấy việc bù công suất phản kháng quá mức có khả năng gây nguy hiểm cho tải.

Độ thay đổi điện áp: (tăng áp) Máy nhận Q ???
Dòng sớm pha, thiếu kích từ
 $\Delta V\% = \frac{480 - 549,3}{549,3} \times 100\% = -12,62\%$



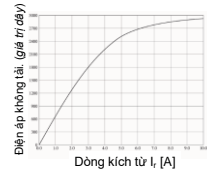
126

Chương 7: Máy điện đồng bộ

11 Bài tập

Máy phát đồng bộ 3 pha 2300 V , 60 Hz , 1000 kVA , $\cos\theta = 0,8$ trể, 2 cực, stato nối Y có điện kháng đồng bộ $X_s = 1,1 \Omega$ và điện trở dây quấn phản ứng $R_a = 0,15 \Omega$.
 Tổn hao cơ và tổn hao phụ (do ma sát và quạt gió) là 24 kW , tổn hao sắt là 18 kW khi máy làm việc ở tải điều kiện định mức. Đường cong không tải (quan hệ giữa **điện áp dây** ở đầu cực máy phát theo dòng kích từ ở rotor I_f , khi máy phát làm việc hở mạch- không tải) được cho trên hình. Tính:

- a/ Dòng kích từ I_f cần thiết để có điện áp đầu cực (**giá trị dây**) là 2300 V , khi máy phát làm việc không tải.
 b/ Sức điện động cảm ứng (**giá trị dây**) khi máy phát làm việc ở điều kiện tải định mức
 c/ Dòng kích từ I_f cần thiết để có điện áp đầu cực (**giá trị dây**) là 2300 V , khi máy phát làm việc ở điều kiện tải định mức
 d/ Công suất và moment của động cơ sơ cấp (kéo máy phát) ở điều kiện tải định mức (Nguồn kích từ độc lập)



127

Chương 7: Máy điện đồng bộ

11 Bài tập (tt)

- a/. Dòng kích từ I_f cần thiết để có điện áp đầu cực (**giá trị dây**) là 2300 V , khi máy phát làm việc không tải. Tra trên đặc tính không tải được $I_f = 4,25\text{A}$
 b/ Sức điện động cảm ứng (**giá trị dây**) khi máy phát làm việc ở điều kiện tải định mức

$$I_a = I_{Load} = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(2300)} = 251\text{A}$$

$$\cos\theta = 0,8 \rightarrow \theta = 36,87^\circ \rightarrow I_a = 251 \angle -36,87^\circ$$

Sức điện động cảm ứng giá trị pha

$$\vec{E}_{ar} = \vec{V}_a + R_a \vec{I}_a + jx_s \vec{I}_a \quad \text{Với: } \vec{V}_a = 2300 / \sqrt{3} \angle 0^\circ = 1328 \angle 0^\circ \text{ V}$$

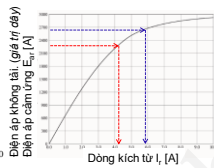
$$\vec{E}_{ar} = 1328 \angle 0^\circ + (0,15)(251 \angle -36,87^\circ) + j(1,1)(251 \angle -36,87^\circ) = 1537 \angle 7,4^\circ$$

giá trị dây sức điện động cảm ứng $E_{ady} = \sqrt{3} \cdot 1537 = 2662\text{V}$

- c/ Dòng kích từ I_f cần thiết để có điện áp đầu cực (**giá trị dây**) là 2300 V , khi máy phát làm việc ở điều kiện tải định mức

Sức điện động tương ứng đã được tính ở câu b là 2662V

Tra trên đặc tính không tải được $I_f = 5,9\text{A}$



128

Chương 7: Máy điện đồng bộ

11 Bài tập (tt)

- d/ Công suất và moment của động cơ sơ cấp (kéo máy phát) ở điều kiện tải định mức (Nguồn kích từ độc lập)

$$P_{out} = S_{out} \cos\theta = (1000)(0,8) = 800\text{KW}$$

$$P_{Cu} = 3R_a I_a^2 = 3(0,15)(251)^2 = 28,4\text{KW}$$

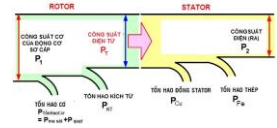
$$P_{masat+quạt} = 24\text{KW}$$

$$P_{thép} = 18\text{KW}$$

Công suất của động cơ sơ cấp:

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{masat+quạt} + P_{thép} = 870,4\text{KW}$$

$$\text{Moment của động cơ sơ cấp: } T_m = \frac{P_{in}}{\Omega_m} = \frac{P_{in}}{\left(\frac{\omega}{p}\right)} = \frac{870,4}{2\pi 60} = 2309\text{Nm}$$



129