

Chương 6:

Máy điện đồng bộ

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

Máy điện đồng bộ có thể hoạt động như máy phát điện hoặc động cơ

- **máy phát điện**: biến cơ năng \rightarrow điện năng
 - + rô to khi đó được kéo bởi động cơ sơ cấp (động cơ xăng, diesel, tuabin khí hoặc nước),
 - + cuộn dây stato trở thành nguồn điện áp có công suất biểu kiến S_{dm} cung cấp điện năng cho phụ tải.



□ Máy phát điện là ứng dụng chính của máy điện đồng bộ với công suất từ vài phần kVA đến cả ngàn MVA (1500MVA).

3

Máy điện đồng bộ có thể hoạt động như máy phát điện hoặc động cơ

- **động cơ**: biến điện năng \rightarrow cơ năng
 - + stato khi đó được đấu vào nguồn điện,
 - + từ trường quay stato kéo rô to quay biến công suất điện nhận được từ nguồn thành công suất cơ có ích trên trục động cơ P_{dm} .

công suất cơ có
ích trên đầu trục
động cơ P_{dm}

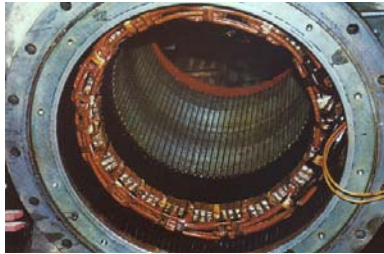


Reliance Synchronous
Motor: 1/8-2 HP, 230 V,
4 pole, 3 phases

4

Cấu tạo

Máy điện đồng bộ bao gồm stato và rô to



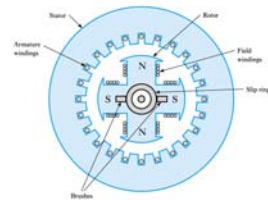
stato

dây quấn stato



rô to

dây quấn rô to

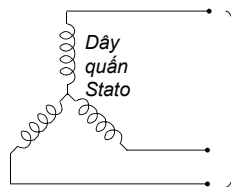


5

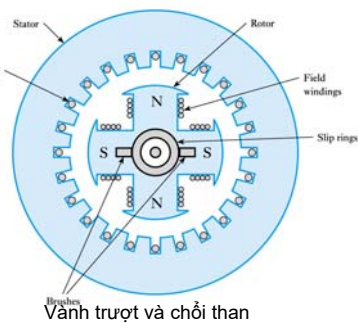
Cấu tạo

Dây quấn máy điện đồng bộ

• **Dây quấn stato** (phần ứng) đấu vào nguồn điện/tải có tần số f không đổi.

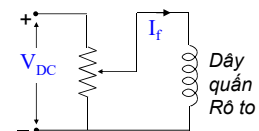


Nguồn điện/tải



Vành trượt và chổi than

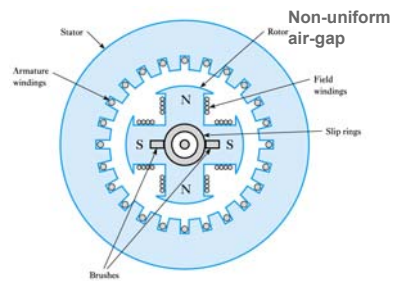
• **Dây quấn rô to** (phần cảm) được đấu vào nguồn điện một chiều.



6

Phân loại máy phát điện

Máy phát điện đồng bộ cực lồi, tốc độ thấp (50-300 vòng/phút), có động cơ sơ cấp là các tuabin nước (thủy điện).

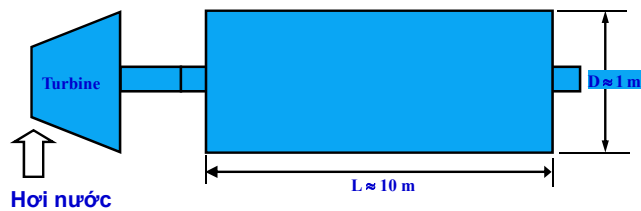


Salient-pole synchronous machine

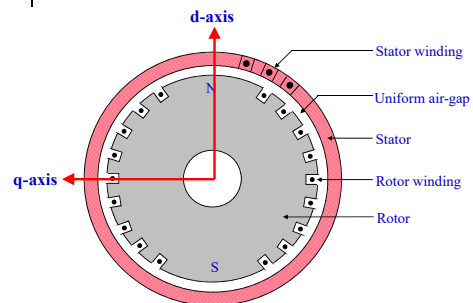
7

Phân loại máy phát điện

Máy điện đồng bộ cực ẩn, tốc độ cao (vài ngàn vòng/phút), có động cơ sơ cấp là các tuabin hơi hoặc khí.



Cylindrical or round-rotor synchronous machine

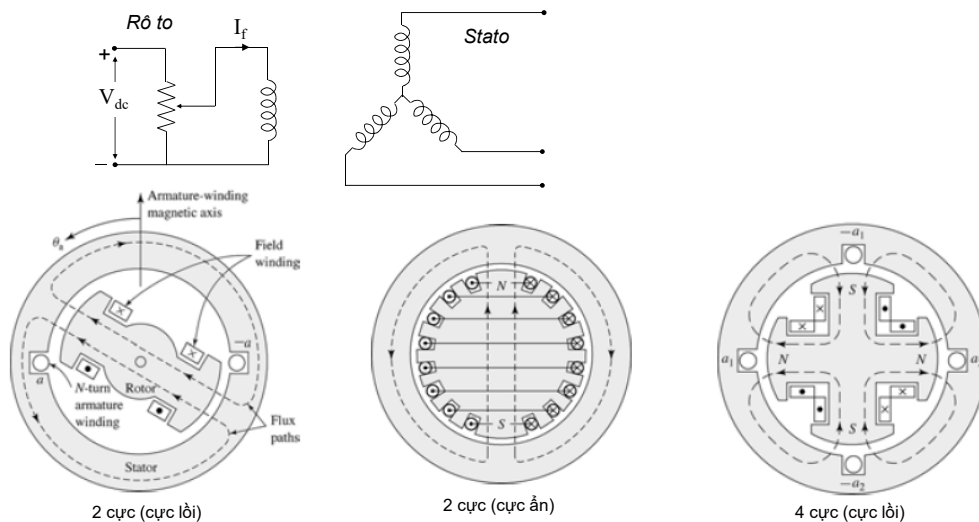


8

6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, Nguyên lý máy phát điện

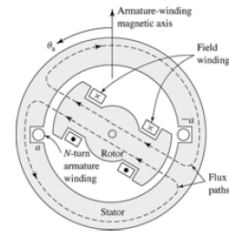
- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện**
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

Từ trường dây quấn rô to



Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato

- Dòng điện trong dây quấn rô to \rightarrow từ trường \rightarrow móc vòng dây quấn stato (có N_c vòng dây).



- Nếu rô to có 2 cực, tần số sđđ cảm ứng trong dây quấn stato bằng với tần số quay của rô to.

$$f = \frac{N_s}{60}$$

11

Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato

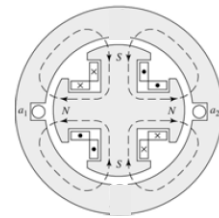
- Xét rô to có 4 cực.

Khi rô to quay được một vòng, sđđ hay điện áp cảm ứng trong dây quấn stato biến thiên 4/2 chu kỳ.

\rightarrow điện áp cảm ứng có tần số $f = \frac{4}{2} \frac{N_s}{60}$

- Nếu rô to có p cực, khi rô to quay được một vòng, sđđ hay điện áp cảm ứng trong dây quấn stato biến thiên $p/2$ chu kỳ.

\rightarrow điện áp cảm ứng có tần số $f = \frac{p}{2} \frac{N_s}{60} = \frac{p N_s}{120}$

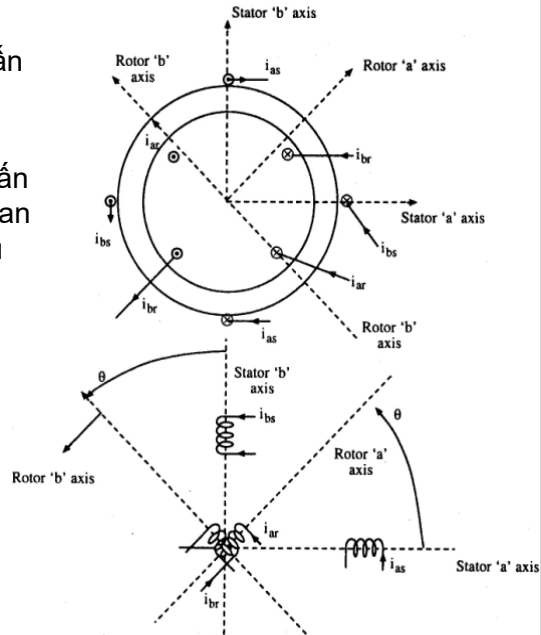


12

Máy phát điện 2 pha có 2 cực

- **Máy điện 2 pha** → stato có 2 dây quấn

□ Khi máy có 2 cực, bố trí hai dây quấn stato có trục lệch nhau trong không gian một góc 90° → sđđ các pha lệch nhau góc pha 90° điện.

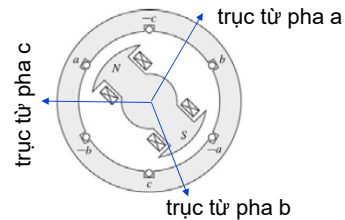


Máy phát điện 3 pha có 2 cực

- **Máy điện 3 pha** → có 3 dây quấn stato

□ Khi máy có 2 cực, bố trí ba dây quấn stato có trục lệch nhau trong không gian một góc 120° cơ.

Điện áp cảm ứng các pha lệch nhau góc pha 120° điện.



6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ**
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

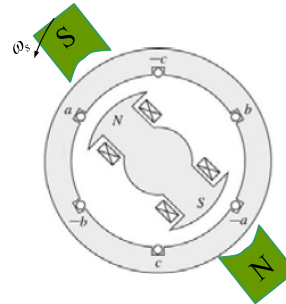
Động cơ đồng bộ

- Động cơ đồng bộ sử dụng trong các truyền động công suất lớn đến vài chục MW có tốc độ không đổi: máy bơm, nén khí, ...
Động cơ đồng bộ cũng được sử dụng như máy bù đồng bộ, dùng để bù công suất phản kháng.

- Động cơ đồng bộ công suất rất nhỏ với rô to là nam châm vĩnh cửu được sử dụng trong các thiết bị như rô le thời gian, dụng cụ tự ghi, ...

Nguyên lý hoạt động động cơ đồng bộ

- Khi **đầu dây quấn stato** với **nguồn điện ba pha**
→ dòng điện ba pha chạy trong ba dây quấn stato
tạo ra từ trường quay với tốc độ N_s (vòng/phút).
- Từ trường này tương tác với từ trường của rô to
→ kéo rô to quay với tốc độ N_s .
Gọi là động cơ đồng bộ.



Trường hợp $p=2$

17

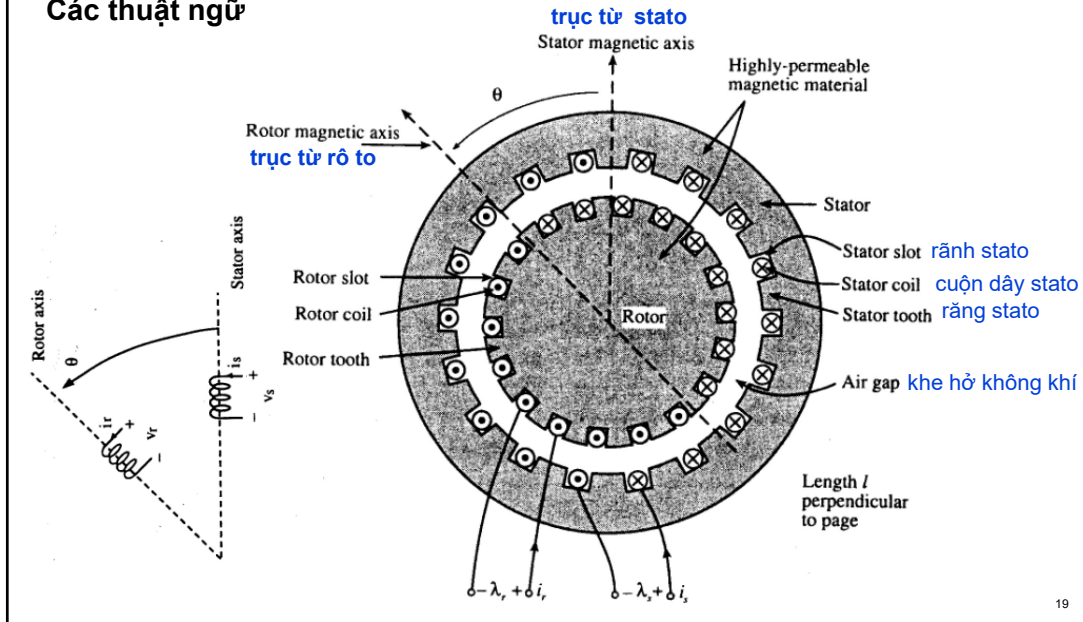
6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha**
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

18

Khảo sát máy điện một pha

Các thuật ngữ



19

10

Khảo sát máy điện một pha

Tính mô men điện từ

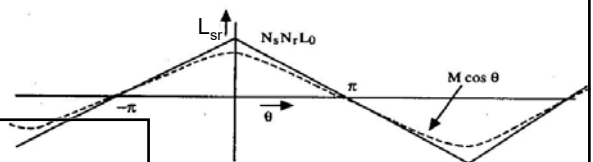
- Từ thông móc vòng dây quấn stato và rô to (kết quả từ ví dụ 4.2)

$$\lambda_s = L_s i_s + M_{sr}(\theta) i_r$$

$$\lambda_r = M_{sr}(\theta) i_s + L_r i_r$$

- Đồng năng lượng

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



Khảo sát máy điện một pha

Tính mô men điện từ

- Từ thông móc vòng dây quấn stato và rô to (kết quả từ ví dụ 4.2)

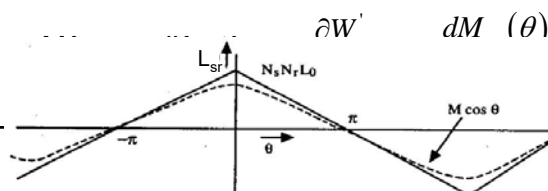
$$\lambda_s = L_s i_s + M_{sr}(\theta) i_r$$

$$\lambda_r = M_{sr}(\theta) i_s + L_r i_r$$

- 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 L_{sr} phụ thuộc vào θ
Bỏ trí dây quấn trên rãnh sao cho sức từ động (std) và do đó hõ cảm M_{sr} có dạng gần sin, ta có:



$$i_s i_r M \sin(\theta)$$

20



Khảo sát máy điện một pha

Các phương trình điện - cơ

Các phương trình cân bằng điện dây quấn stato và rô to:

$$v_s = i_s R_s + \frac{d\lambda_s}{dt} \quad v_r = i_r R_r + \frac{d\lambda_r}{dt}$$

Các phương trình cân bằng cơ:

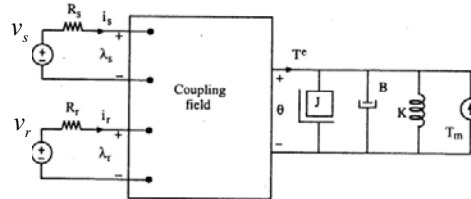
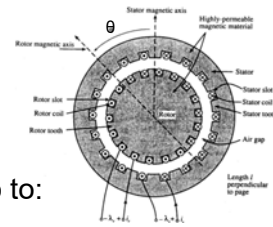
$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + K\theta + B \frac{d\theta}{dt} = T^e + T^m$$

Với

T^m : mô men tải tác động lên trục rô to theo chiều dương góc θ

θ : tính từ điểm cân bằng

J : mô men quán tính cơ



21



Khảo sát máy điện một pha

Tính công cơ học

Xét chế độ xác lập điều hòa: $i_s = I_s \cos \omega_s t$ $i_r = I_r \cos \omega_r t$

Công cơ học

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

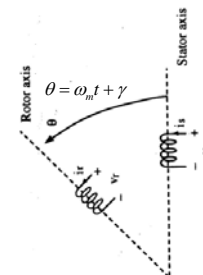
Với:

$$\theta = \omega_m t + \gamma$$

ω_m : tần số góc quay của rô to,

ω_s, ω_r : tần số góc của dòng điện stato và rô to

γ : hằng số ban đầu bất kỳ



22

Khảo sát máy điện một pha

Tính công cơ học

$$T^e = -I_s I_r M \cos(\omega_s t) \cos(\omega_r t) \sin(\omega_m t + \gamma)$$

$$p_m = T^e \omega_m = -\omega_m I_s I_r M \cos(\omega_s t) \cos(\omega_r t) \sin(\omega_m t + \gamma)$$

$$p_m = -\omega_m I_s I_r M \left\{ \begin{aligned} &\sin[(\omega_m - (\omega_s - \omega_r))t + \gamma] + \sin[(\omega_m + \omega_s - \omega_r)t + \gamma] \\ &+ \sin[(\omega_m + \omega_s + \omega_r)t + \gamma] + \sin[(\omega_m - \omega_s - \omega_r)t + \gamma] \end{aligned} \right\}$$

→ để giá trị trung bình của mô men hoặc công cơ học $p_m \neq 0$ ($P_{m(\text{tb})} \neq 0$), nghĩa là diễn ra sự biến đổi năng lượng điện → cơ (hoặc ngược lại) thì cần thỏa điều kiện về tần số:

$$\omega_m = \omega_s - \omega_r$$

Khi đó

$$P_{m(\text{tb})} = -\omega_m I_s I_r \sin(\gamma) / 4$$

$$T_{\text{tb}}^e = -\omega_m I_s I_r \sin(\gamma) / 4$$

Tuy vậy mô men vẫn có dạng đập mạch (qua trị số 0) do vẫn còn tồn tại các hàm điều hòa khác trong biểu thức T^e hoặc p_m .

→ Khắc phục bằng cách dùng máy điện hai pha để tạo ra từ trường quay.

23

6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

Khảo sát máy điện hai pha

Máy điện hai pha:

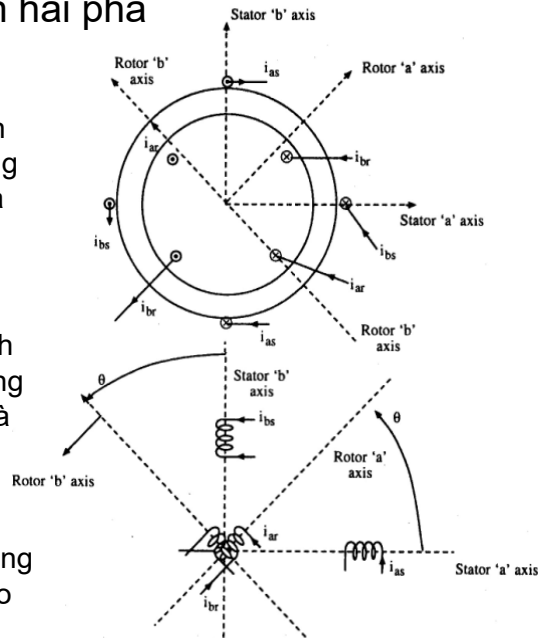
- Stato gồm hai cuộn dây a và b đặt lệch nhau một góc 90° trong không gian, dòng điện 2 pha cân bằng trong 2 cuộn dây là i_{as} và i_{bs} lệch pha nhau góc pha 90° .

$$i_{as} = I_s \cos \omega_s t \quad i_{bs} = I_s \sin \omega_s t$$

- Rô to gồm hai cuộn dây a và b đặt lệch nhau một góc 90° trong không gian, dòng điện 2 pha cân bằng trong 2 cuộn dây là i_{ar} và i_{br} lệch pha nhau góc pha 90° .

$$i_{ar} = I_r \cos \omega_r t \quad i_{br} = I_r \sin \omega_r t$$

Cuộn dây stato (hay rô to) tạo ra từ thông chỉ móc vòng với hai cuộn dây của rô to (hay stato).



25

Khảo sát máy điện hai pha

Tính mô men điện từ (xem (6.3) [1])

- Viết biểu thức từ thông móc vòng cho từng cuộn dây
- Tính đồng năng lượng W'_m
- Tính mô men điện từ T^e và công suất p_m :

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

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

➤ Để giá trị trung bình của p_m khác 0 ($P_{m(t\text{bình})} \neq 0$), ie năng lượng được biến đổi (từ điện năng \leftrightarrow cơ năng), thì cần thỏa điều kiện về tần số:

$$\omega_m = \omega_s - \omega_r$$

Khi đó, công suất $p_m = -\omega_m I_r I_s M \sin(\gamma) = \text{const}$

và mô men điện từ $T^e = -I_r I_s M \sin(\gamma) = \text{const}$

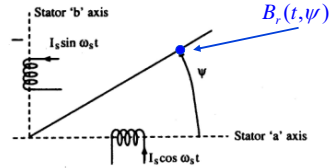
Nhận xét: không còn thành phần mô men điều hòa nào trong p_m và T^e
 → mô men không còn dạng đập mạch như trong trường hợp máy điện một pha.

26

Từ trường quay máy điện 2 pha

□ Xét máy điện 2 pha có hai cực

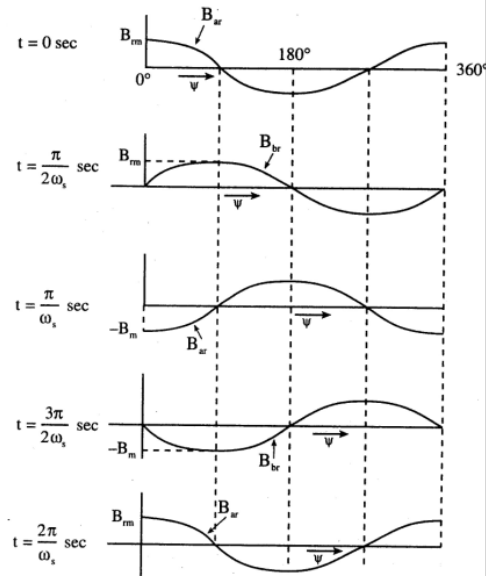
Minh họa từ trường trong khe hở không khí máy điện hai pha là từ trường quay



Tại thời điểm t bất kỳ, ở góc Ψ tùy ý trong khe hở không khí, từ trường B do dòng điện chạy trong dây quấn stato sinh ra:

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

Chụp hình hình ảnh từ trường theo từng thời điểm $t=0$, $t=\pi/(2\omega_s)$, $t=\pi/\omega_s$, $t=3\pi/(2\omega_s)$, $t=2\pi/\omega_s$, quan sát sự di chuyển của giá trị cực đại
→ từ trường quay dọc theo khe hở không khí với vận tốc góc ω_s .



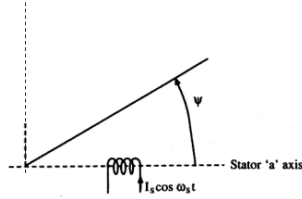
27

6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha**
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

Lưu ý máy điện 1 pha chỉ tạo ra từ trường đập mạch

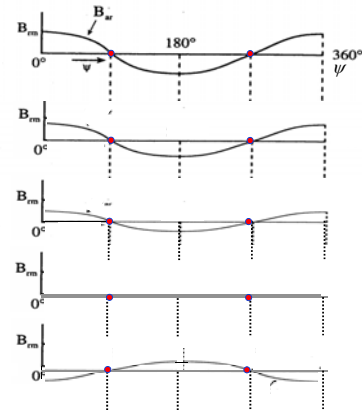
- Từ trường B do dòng điện chạy trong dây quấn stator tạo nên trong khe hở không khí tại thời điểm t bất kỳ:



$$B_r(t, \psi) = B_{rm} \cos \omega_s t \cos \psi$$

- Dòng điện trong dây quấn stator máy điện 1 pha tạo ra từ trường đập mạch trong khe hở không khí.
- Từ trường đập mạch này có thể được phân tích thành hai từ trường quay theo chiều thuận và ngược chiều kim đồng hồ với cùng tốc độ.

$$B_r(t, \psi) = \frac{1}{2} B_{rm} \cos(\omega_s t - \psi) + \frac{1}{2} B_{rm} \cos(\omega_s t + \psi)$$

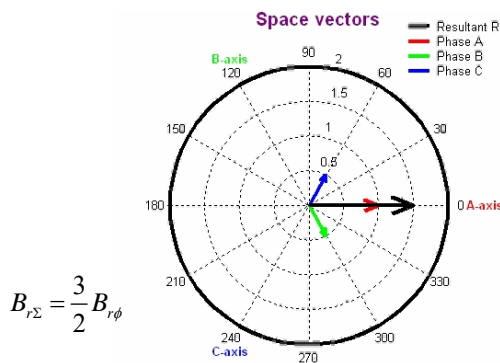


29

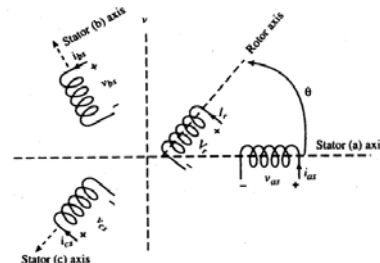
Từ trường quay máy điện 3 pha

- Xét máy điện có hai cực

Dòng điện ba pha cân bằng chạy trong dây quấn stator → từ trường tổng trong khe hở không khí có biên độ không đổi, nhưng góc pha thay đổi theo thời gian → từ trường quay.



$$B_{r\Sigma} = \frac{3}{2} B_{r\phi}$$



Nhận xét: Từ trường từng pha là từ trường đập mạch.
Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện.

30

Tính mô men điện từ khi dòng điện rô to không đổi

□ Xét máy điện có 2 cực

Trong trường hợp dòng điện ba pha cân bằng ở dây quấn stato và dòng điện kích từ không đổi ở dây quấn rô to:

$$i_a = \sqrt{2}I_a \cos \omega_s t \quad i_b = \sqrt{2}I_a \cos(\omega_s t - 120^\circ) \quad i_c = \sqrt{2}I_a \cos(\omega_s t + 120^\circ)$$

$$i_r = I_r = \text{const}$$

- Tính từ thông móc vòng của ba cuộn dây stato và cuộn dây kích từ rô to.
- Tính đồng năng lượng W'_m
- Tính mô men điện từ (của máy điện cực ẩn):

$$T^e = \frac{\partial W'_m}{\partial \theta} = -\sqrt{2} \frac{I_a I_r}{2} 3M \sin[(\omega_m - \omega_s)t + \gamma]$$

(xem (6.4) [1])

31

Tính mô men điện từ khi dòng điện rô to không đổi

□ Xét máy điện có 2 cực

$$T^e = -\sqrt{2} \frac{I_a I_r}{2} 3M \sin[(\omega_m - \omega_s)t + \gamma]$$

Để giá trị trung bình của T^e khác 0, thì cần thỏa điều kiện về tần số:

$\omega_m = \omega_s$ gọi là tốc độ góc đồng bộ

$$\text{Khi đó } T^e = -\frac{3}{\sqrt{2}} I_a I_r M \sin \gamma = \text{const}$$

32



Tốc độ góc quay và tốc độ góc đồng bộ

□ Khi máy điện có hai cực: $f = \frac{N_s}{60}$

Tốc độ quay của rô to: $N_s = 60f$ vòng/phút

Tốc độ góc quay cơ: $\omega_m = \omega_s$

Tốc độ góc đồng bộ $\omega_s = 2\pi f$

□ Khi máy điện có p cực: $f = \frac{p}{2} \frac{N_s}{60} = \frac{p N_s}{120}$

Tốc độ quay của rô to: $N_s = \frac{120f}{p}$

Tốc độ góc quay cơ $\omega_m = (2/p)\omega_s$

Tốc độ góc đồng bộ $\omega_s = 2\pi f$

Tốc độ góc quay cơ lớn nhất khi máy có 2 cực:

$N_s = 3600$ vòng/phút (rpm) nếu $f=60\text{Hz}$

$N_s = 3000$ vòng/phút (rpm) nếu $f=50\text{Hz}$

rpm: revolutions per minute

33

6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato

6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động

6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện

6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ

6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha

6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha

6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha

6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato

6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ

6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát

6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng

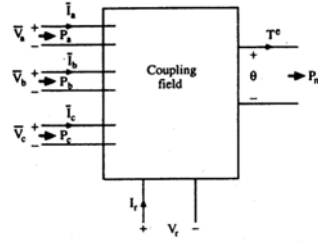
6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ



Tính điện áp cảm ứng ở hai đầu cực

Tính điện áp ở chế độ xác lập của máy điện cực ẩn

Xét máy điện đồng bộ 3 pha cân bằng hoạt động với nguồn điện ba pha cân bằng → đưa về mạch tương đương một pha, ví dụ pha a:



Điện áp cảm ứng ở hai đầu cực pha a:

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

Điện áp cảm ứng do tự cảm cuộn dây a

Điện áp cảm ứng do hỗ cảm với cuộn dây pha b và c

Điện áp cảm ứng do hỗ cảm với cuộn dây rô to



Tính được

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

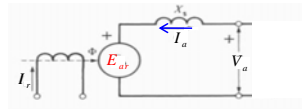
35



Phương trình cân bằng điện áp stato

Phương trình cân bằng điện áp stato:

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



$$\left\{ \begin{array}{l} x_s = \frac{3}{2}L_0\omega_s \quad \text{điện kháng đồng bộ} \\ \bar{E}_{ar} = j\frac{MI_r}{\sqrt{2}}\omega_s e^{j\gamma} = \frac{\omega_s MI_r}{\sqrt{2}} \angle \left(\frac{\pi}{2} + \gamma \right) \quad \text{điện áp cảm ứng hay sức điện động cảm ứng phản ứng (trong dây quấn stato).} \end{array} \right.$$

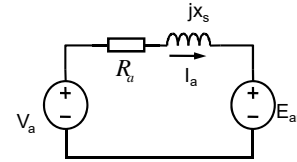
V_a điện áp ở hai đầu cực pha a khi có dòng điện I_a trong dây quấn stato.

36

Phương trình cân bằng điện áp stato

Nếu không bỏ qua điện trở dây quấn stato R_a ,

$$\bar{V}_a = (R_a + jx_s)\bar{I}_a + \bar{E}_{ar}$$

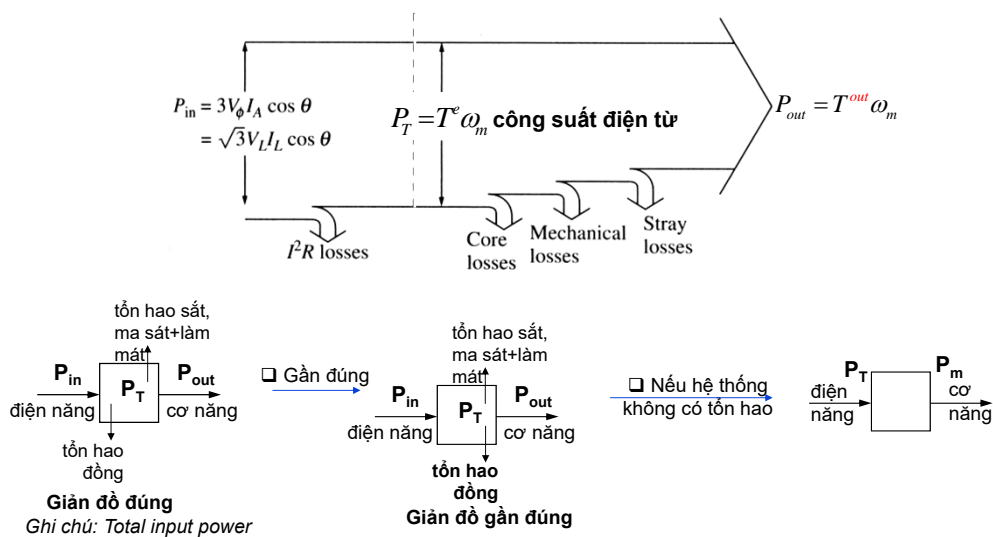


37

6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ**
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

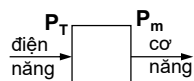
Giản đồ dòng chảy công suất máy điện hoạt động ở chế độ động cơ



39

Sơ đồ thay thế - Giản đồ véc tơ

Máy điện hoạt động ở chế độ động cơ

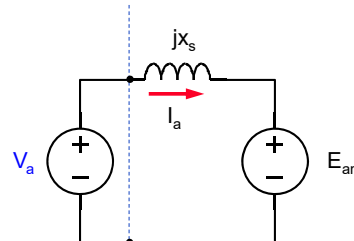
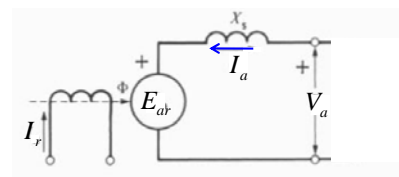


$$\vec{V}_a = jx_s \vec{I}_a + \vec{E}_{ar} \quad \text{Với} \quad \begin{cases} x_s = \frac{3}{2} L_0 \omega_s \\ E_{ar} = \frac{\omega_s M I_r}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

E_{ar} : điện áp (sức điện động) cảm ứng phản ứng (stato)

V_a : điện áp pha của nguồn điện lưới

→ Mạch thay thế tương đương



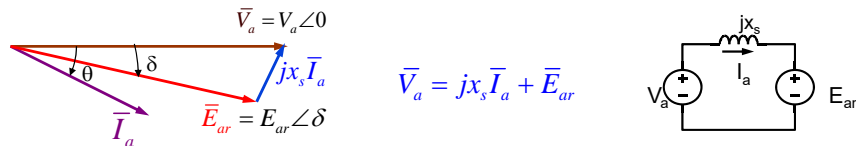
nguồn điện có điện áp V_a → động cơ đồng bộ

40

Sơ đồ thay thế - Giải đồ véc tơ

Máy điện hoạt động ở chế độ động cơ

Chọn véc tơ V_a làm gốc, ta có giản đồ véc tơ



δ : góc mô men ($\delta < 0$)

41

Công suất và mô men điện từ

Máy điện hoạt động ở chế độ động cơ

Khi nguồn điện ba pha cân bằng, ta có công suất điện từ của hệ thống:

$$P_T = 3P_a = 3 \operatorname{Re}(\bar{E}_{ar} \bar{I}_a^*)$$

Suy ra

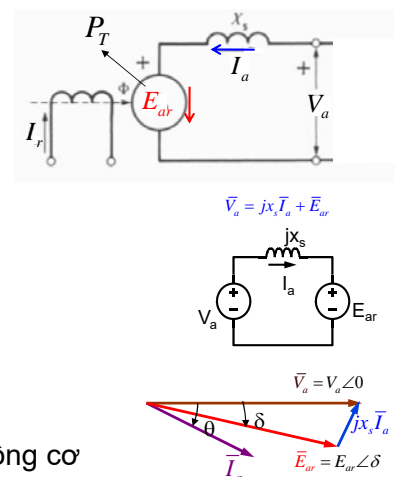
$$P_T = -\frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s} > 0$$

□ Tính gần đúng $P_T \cong P_m = 3V_a I_a \cos \theta$

Mô men điện từ của máy điện:

$$T^e = \frac{P_T}{\omega_m} = -\frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s \omega_m}$$

Nhận xét: máy điện hoạt động ở chế độ động cơ
 $\Leftrightarrow P_T > 0 \Leftrightarrow$ góc mô men $\delta < 0$ như trên đồ thị véc tơ.

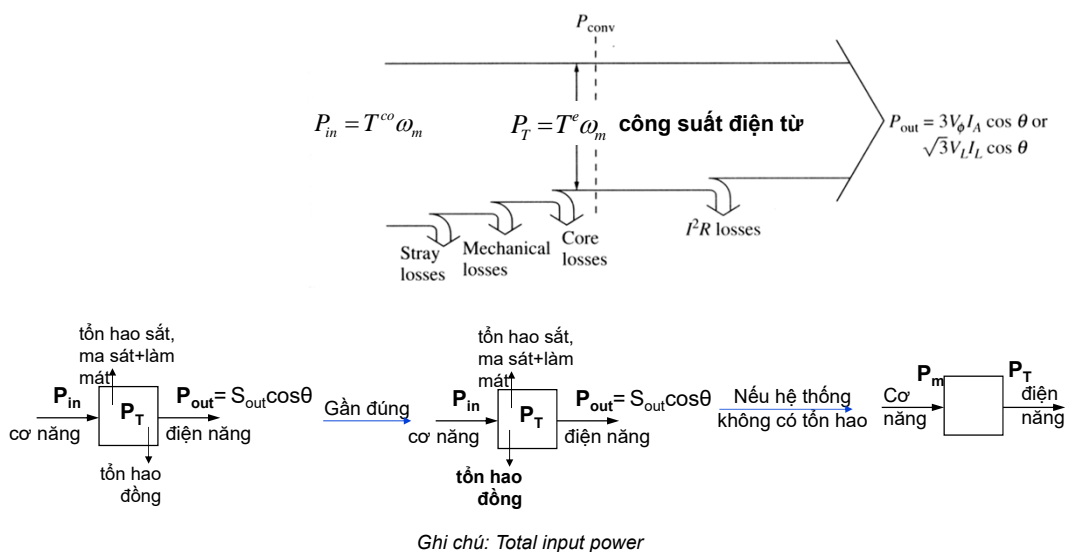


42

6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát**
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

Giản đồ dòng chảy công suất máy điện hoạt động ở chế độ máy phát điện



Sơ đồ thay thế

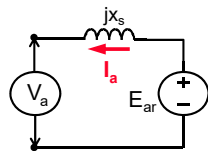
Chế độ máy phát điện

$I_a < 0 \rightarrow$ khó vẽ giản đồ véc tơ.

Để thuận lợi hơn, nên **đổi chiều dòng điện**.

Khi đó, cần quy ước $P_T > 0$ ở chế độ máy phát điện.

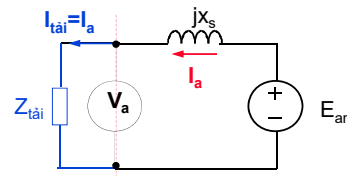
Ta có sơ đồ tương đương



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

V_a : điện áp pha của máy phát cung cấp cho tải

E_{ar} : điện áp/sức điện động cảm ứng trong dây quấn stato



Máy phát điện là nguồn điện E_{ar} có tổng trở x_s

45

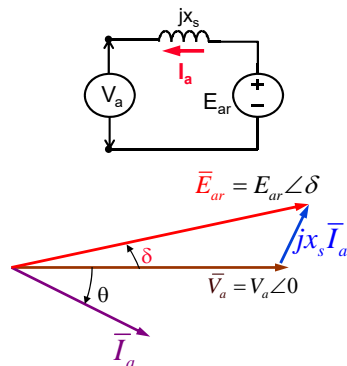
Giản đồ véc tơ, công suất và mô men điện từ

Chế độ máy phát điện

Các quan hệ

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

\rightarrow giản đồ véc tơ



góc mô men $\delta > 0$

Công suất điện từ

$$P_T = \frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s}$$

Mô men điện từ

$$T^e = \frac{P_T}{\omega_m} = \frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s \omega_m}$$

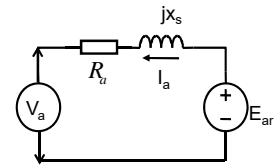
Lưu ý: $\omega_m = \frac{2}{p} \omega_s$

46

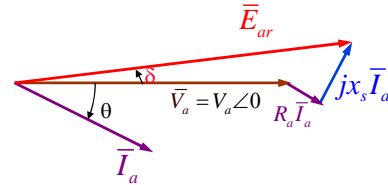
Sơ đồ thay thế - Giảm đồ véc tơ

Chế độ máy phát điện

Nếu không bỏ qua điện trở dây quấn stato R_a ,



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



47

Ví dụ 6.1

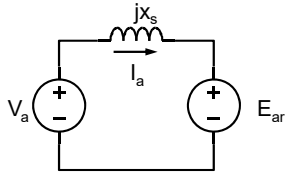
Cho máy điện đồng bộ ba pha đấu sao, 60Hz, có hai cực, và điện kháng đồng bộ $x_s = 5\Omega/\text{pha}$. Máy điện hoạt động ở chế độ động cơ, dòng điện 30A, điện áp pha 254V và hệ số công suất 0,8 sớm pha.

Tìm điện áp (sđđ) phản ứng E_{ar} và mô men điện từ. Cho tổn hao trên dây quấn, tổn hao do ma sát và tổn hao trên lõi thép là 400W, tính công suất hữu ích trên trục của động cơ và tính hiệu suất của động cơ.

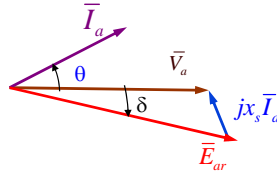
48

Ví dụ 6.1 (tt)

Sơ đồ tương đương



Giải đồ véc tơ



$$\bar{E}_{ar} = \bar{V}_a - jx_s \bar{I}_a = 254 \angle 0^\circ - j5.30 \angle +36.86^\circ = 364.33 \angle -19.23^\circ \text{ V}$$

49

Ví dụ 6.1 (tt)

Công suất hữu ích trên trục của động cơ:

Hiệu suất

Mô men hữu ích trên trục của động cơ:

50

Ví dụ 6.2

Cho máy điện đồng bộ ba pha đầu sao, 60Hz, có hai cực, và điện kháng đồng bộ $x_s = 5\Omega/\text{pha}$. Máy điện hoạt động ở chế độ động cơ, dòng điện 30A, điện áp pha 254V và hệ số công suất 0,8 chậm pha. Tìm điện áp (sđđ) cảm ứng phản ứng E_{ar} và mô men điện từ. Cho tổn hao trên dây quấn, tổn hao do ma sát và tổn hao trên lõi thép là 400W, tính công suất hữu ích trên trục của động cơ và tính hiệu suất của động cơ.

Hệ số công suất 0,8 chậm pha suy ra $\theta = -36.86^\circ$.

$$\bar{E}_{ar} = \bar{V}_a - jx_s \bar{I}_a = 254\angle 0^\circ - j5 \times 30\angle -36,86^\circ = 203,21\angle -39,16^\circ \text{ V}$$

51

Ví dụ 6.3

Động cơ đồng bộ như ví dụ 6.1, nhưng chỉnh dòng kích từ I_r sao cho hệ số công suất bằng một với cùng công suất điện từ (công suất tổng). Tính dòng và điện áp (sđđ) cảm ứng phản ứng I_a và E_{ar} .

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

52

Ví dụ 6.4

Cho máy điện đồng bộ ba pha đấu sao, 60Hz, có hai cực, và điện kháng đồng bộ $x_s=2\Omega/\text{pha}$. Máy điện hoạt động ở chế độ máy phát điện với điện áp pha ở dây quấn stato 1905V, dòng điện 350A, và hệ số công suất 0,8 chậm pha.

Tìm sđđ (điện áp) phản ứng E_{ar} , góc mô men ð và mô men điện từ.

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

53

Ví dụ 6.4

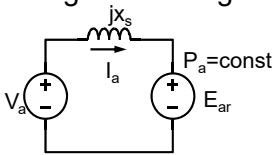
54

6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng**
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

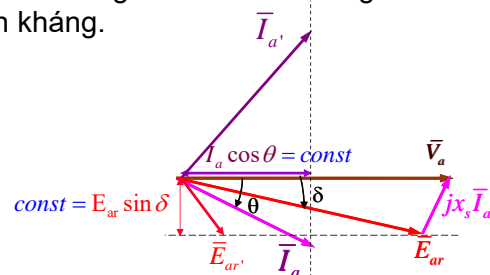
Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng

Trường hợp tổng quát: động cơ đồng bộ vừa dùng để kéo tải có công suất P_a , vừa được dùng để bù công suất phản kháng.



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

$$E_{ar} = \frac{\omega_s M I_r}{\sqrt{2}}$$



Thay đổi $I_r \rightarrow$ thay đổi E_{ar} (và cả δ) \rightarrow thay đổi I_a và θ (làm cho I_a chậm pha hay sớm pha) \rightarrow nghĩa là, động cơ có thể nhận hay phát ra công suất phản kháng vào nguồn điện \rightarrow dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng cho lưới cung cấp điện.

$$const = P_a = P_r = 3V_a I_a \cos \theta \quad const = P_a = P_r = -\frac{3V_a E_{ar} \sin \delta}{x_s}$$

$$P_a = const \text{ và } V_a = const \rightarrow I_a \cos \theta = const \text{ và } E_{ar} \sin \delta = const$$

Ví dụ 6.7

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

Một động cơ đồng bộ hoạt động không tải dùng để bù công suất phản kháng được đấu song song với tải nhằm nâng pf lên 1. Tìm dòng điện của động cơ.

57

Ví dụ 6.7

58

Ví dụ 6.8

Dùng động cơ đồng bộ này để kéo tải công suất 300 kW, tìm I_M ?

59

6.11 Tóm tắt công thức máy điện có p cực từ

- 6.1 Giới thiệu chung, cấu tạo và nguyên lý hoạt động
- 6.2 Điện áp cảm ứng trong dây quấn stato, nguyên lý của máy phát điện
- 6.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ đồng bộ
- 6.4 Khảo sát máy điện đồng bộ 1 pha
- 6.5 Khảo sát máy điện đồng bộ 2 pha
- 6.6 Khảo sát máy điện đồng bộ 3 pha
- 6.7 Phương trình cân bằng điện áp stato
- 6.8 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ động cơ
- 6.9 Sơ đồ thay thế, giản đồ véc tơ chế độ máy phát
- 6.10 Dùng động cơ đồng bộ bù công suất phản kháng
- 6.11 Tóm tắt công thức máy điện đồng bộ có p cực từ

BMTBĐD_CSKTD_nxuong_V5

60

Máy điện có p cực từ

Khi rô to có p cực quay được một vòng, điện áp cảm ứng phần ứng biến thiên $p/2$ chu kỳ.

- Trong trường hợp máy phát điện:

Tần số góc điện đồng bộ ω_s của điện áp cảm ứng bằng với $p/2$ lần tần số góc quay (cơ) ω_m của rô to.

$$\omega_s = 2\pi f = \frac{p}{2} \omega_m$$

- Trong trường hợp động cơ điện:

Tần số góc quay (cơ) ω_m của rô to bằng với $2/p$ lần tần số góc điện đồng bộ ω_s của nguồn điện.

$$\omega_m = \frac{2}{p} \omega_s = 2\pi \frac{N_s}{60}$$

61

Máy điện có p cực từ

Các quan hệ về tần số và tần số góc

- Tốc độ quay đồng bộ (cơ) của rô to, vòng/phút $N_s = \frac{120f}{p}$
- Tần số góc quay (cơ) của rô to, rad/giây $\omega_m = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{4\pi f}{p}$
- Tần số f của điện áp cảm ứng, Hz: $f = \frac{p}{2} \frac{N_s}{60} = \frac{p N_s}{120}$
- Tần số góc của điện áp cảm ứng, rad/giây $\omega_s = 2\pi f = \frac{p}{2} \omega_m$

62

Máy điện có p cực từ

Tóm tắt công thức

Chế độ động cơ

Phương trình cân bằng áp

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

Công suất điện từ

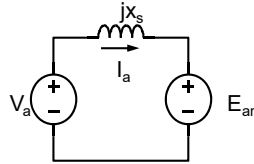
$$P_T = -\frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s}$$

$$P_T = P_{in} - P_{\text{tổn hao đồng}} \cong P_{in}$$

Công suất cơ ở đầu trục động cơ:

$$P_{out} = P_T - P_{\text{tổn hao sắt + ma sát + làm mát}} - P_{\text{tổn hao đồng}}$$

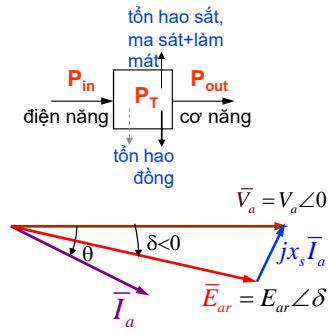
Liên hệ giữa tần số f, vận tốc góc đồng bộ (hay tần số góc điện áp cảm ứng) ω_s , vận tốc góc quay rô to ω_m và tốc độ quay rô to N_s đồng bộ:



Mạch thay thế tương đương

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

$$E_{ar} = \frac{\omega_s M I_r}{\sqrt{2}}$$



Giải đồ véc tơ

Mô men điện từ

$$T^e = \frac{P_T}{\omega_m} = -\frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s \omega_m}$$

$$\omega_s = 2\pi f \quad N_s = \frac{120f}{p}$$

$$\omega_m = \frac{2}{p} \omega_s \quad \omega_m = \frac{2\pi N_s}{60}$$

63

Máy điện có p cực từ

Tóm tắt công thức

Chế độ máy phát điện

Phương trình cân bằng áp

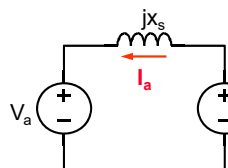
$$\vec{V}_a = -jx_s \vec{I}_a + \vec{E}_{ar}$$

Công suất điện từ

$$P_T = \frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s}$$

Công suất máy phát

$$S_{out} = \sqrt{3} U_{out} I_{out}$$



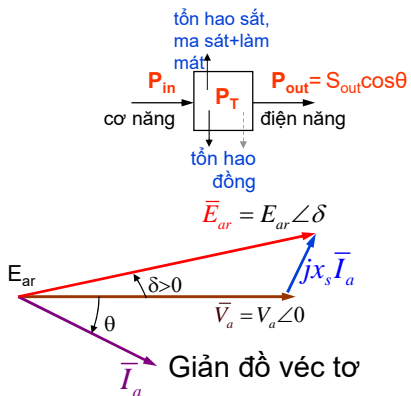
Mạch thay thế tương đương

Mô men điện từ

$$T^e = \frac{P_T}{\omega_m} = \frac{3E_{ar}V_a \sin \delta}{x_s \omega_m}$$

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

$$E_{ar} = \frac{\omega_s M I_r}{\sqrt{2}}$$



Giải đồ véc tơ

- Quy ước trong hệ thống ba pha: V, I là các đại lượng dây; S, P, Q cho trên cả ba pha.
- Trong sơ đồ thay thế 1 pha: V_a, E_{ar}, I_a là các đại lượng pha (vd: ứng với cuộn dây pha a).

Liên hệ giữa tần số f, vận tốc góc đồng bộ (hay tần số góc điện áp cảm ứng) ω_s , vận tốc góc quay rô to ω_m và tốc độ quay rô to N_s đồng bộ:

$$\omega_s = 2\pi f \quad N_s = \frac{120f}{p} \quad \omega_m = \frac{2\pi N_s}{60}$$

$$\omega_s = \frac{p}{2} \omega_m \quad \omega_s = \frac{p\pi N_s}{60}$$

64

Ví dụ 6.5

Cho máy phát điện đồng bộ ba pha đầu sao, 60Hz, có sáu cực, được kéo bởi tua bin có công suất kéo trên trục 16.910 W. Cho tổn hao trên dây quấn và tổn hao do ma sát là 500W. Chỉnh dòng điện kích từ sao cho E_{ar} (tỷ lệ với dòng điện này) 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 vận tốc rô to, véc tơ điện áp cảm ứng và dòng điện phản ứng, công suất thực và công suất phản kháng của máy phát.

65

Ví dụ 6.5

Vận tốc rô to

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{ vòng/phút}$$

Vận tốc góc rô to

$$\omega_m = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{2\pi 1200}{60} = 40\pi \text{ rad/s}$$

Vận tốc góc đồng bộ của điện áp cảm ứng:

$$\omega_s = \frac{p}{2} \omega_m = \frac{6}{2} 40\pi = 120\pi \text{ rad/s}$$

Công suất điện từ:

$$P_T = P_{Tuabin} - P_{tổn hao} = 16910 - 500 = 16410 \text{ W}$$

Tính góc mô men

$$\sin \delta = \frac{P_T x_s}{3 E_{ar} V_a} = \frac{16410 \times 5}{3 \times 355 \times 440 / \sqrt{3}} = 0,303$$

$$\rightarrow \delta = 17,66^\circ$$

Điện áp cảm ứng

$$\bar{E}_a = 355 \angle 17,66^\circ$$

66

Ví dụ 6.5

Điện áp pha stato (nối Y) $\bar{V}_a = \frac{440}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 254,03 \angle 0^\circ$

Dòng điện phản ứng

$$\bar{I}_a = \frac{\bar{E}_{ar} - \bar{V}_a}{jx_s} = \frac{355 \angle 17,66^\circ - 254,03 \angle 0^\circ}{j5} = 27,32 \angle -37,95^\circ \text{ A}$$

Công suất phức

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