



Biến đổi năng lượng điện cơ

-Máy điện đồng bộ



Máy điện đồng bộ - Giới thiệu

- Máy điện đồng bộ chủ yếu được dùng làm máy phát ba pha trong hệ thống điện. Công suất có thể từ vài kVA tới 1100 MVA.
- Cuộn dây ba pha được quấn ở stator (phần đứng yên) và cuộn kích từ DC quấn ở rotor (phần quay). Các máy công suất nhỏ có thể dùng nam châm vĩnh cửu để tạo ra từ trường rotor.
- Tốc độ rotor tỉ lệ thuận với tần số của điện áp (dòng điện) stator, và độc lập với tải.
- Nội dung này sẽ giới hạn ở khái niệm cơ bản về moment tạo ra và hoạt động ở xác lập dòng mạch điện tương đương. Máy điện quay một pha và hai pha sẽ được giới thiệu sơ lược nhằm giúp phân tích hoạt động của máy ba pha.



Máy điện quay một pha

- Xét máy điện như hình Fig. 6.1, với các cuộn stator và rotor quấn phân bố. Từ thông móc vòng như sau:

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

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

- Hai cuộn dây có 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 lực từ có thể được tính bởi

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



Máy điện quay một pha (tt)

- Mô hình động của máy (Fig. 6.3)

$$v_s = i_s R_s + \frac{d\lambda_s}{dt} \quad v_r = i_r R_r + \frac{d\lambda_r}{dt} \quad J \frac{d^2\theta}{dt^2} + K\theta + B \frac{d\theta}{dt} = T^e + T^m$$

Trong đó T^m là moment ngoài tác động theo chiều quay θ .

- Ở trạng thái xác lập, công suất cơ là

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

- Giả sử điều kiện về tần số đã thỏa, công suất trung bình là

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

- γ là hằng số sao cho $\theta = \omega_m t + \gamma$. Moment tạo ra là dạng đập mạch, với giá trị từ 0 tới giá trị đỉnh. Có thể triệt tiêu bằng cách thêm một cuộn dây ở cả stator và rotor, cho ra máy điện hai pha.



Máy điện quay hai pha

- Xét máy điện 2 pha với các cuộn stator và rotor đơn giản như ở hình Fig. 6.4. Hai cuộn stator không có hồ cảm, 2 cuộn rotor cũng tương tự. Đồng năng lượng có thể được tính từ các từ thông móc vòng (xem sách). Moment được tính như sau

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

- Khi dòng 2 pha cân bằng được đưa vào cuộn hai pha cân bằng, một công suất không đổi được tạo ra

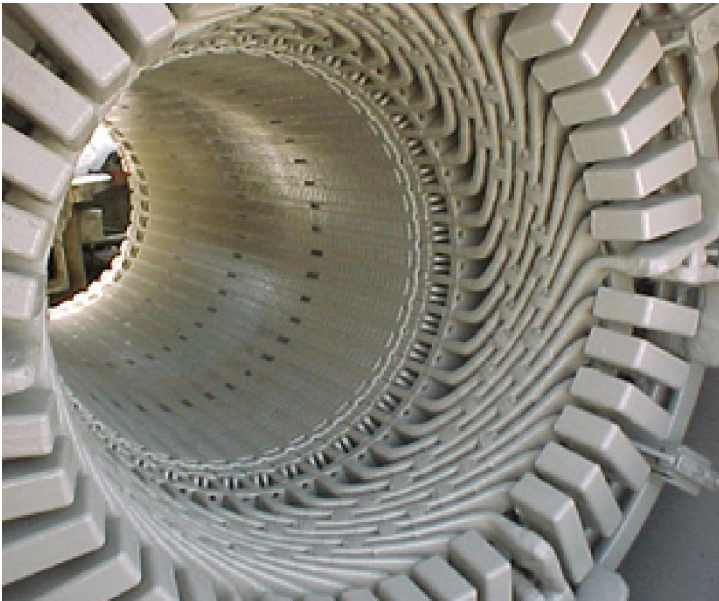
$$p_m = T^e \omega_m = -\omega_m I_r I_s M \sin[(\omega_m - \omega_s + \omega_r)t + \gamma]$$

- Do 2 cuộn dây quấn lệch nhau 90° và các dòng điện pha cũng lệch nhau 90° (điện), một tần số quay được tạo ra và có $p_m = -\omega_m I_r I_s M \sin(\gamma)$

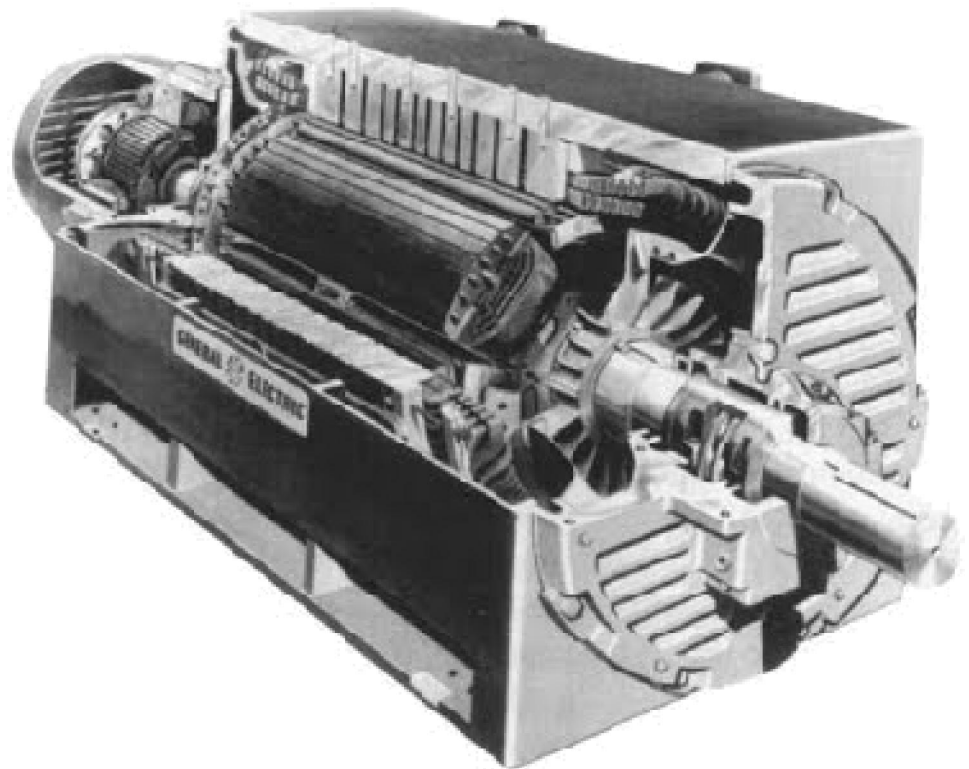


Máy điện đồng bộ ba pha

➤ Xét một máy điện 3 pha cực từ lõi có 2 cực (Fig. 6.7). Máy cực lõi được dùng ở các máy phát thủy lực có tốc độ thấp và ở các động cơ đồng bộ một pha công suất nhỏ. Dây quấn stator phân bố được dùng để tạo ra mmf dạng sin quanh bề mặt.



Biến đổi năng lượng điện cơ

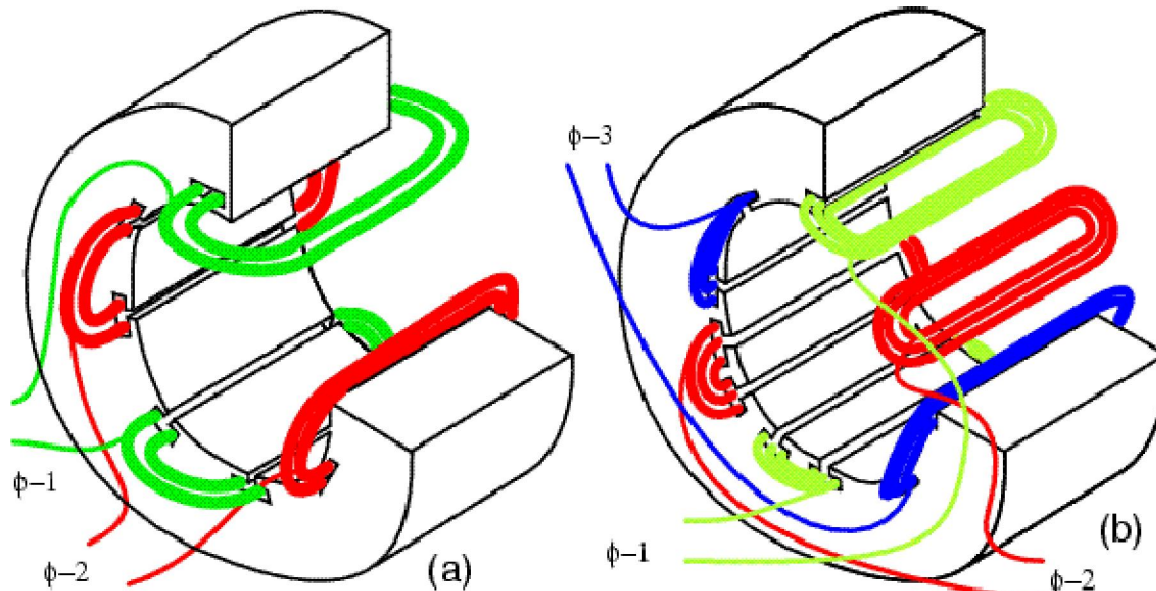


Bộ môn Thiết bị điện



Khái niệm từ trường quay

- Các cuộn stator ba pha được bố trí lệch pha trong không gian 120° . Khi cấp cho chúng các dòng điện ba pha, các cuộn này sẽ tạo ra một từ trường quay với độ lớn không đổi, khi giả thiết rằng lõi thép không bão hòa. Tương tự, một stator với cuộn dây 2 pha lệch nhau 90° cũng sẽ tạo ra một từ trường quay khi được cấp vào dòng điện 2 pha.



Biến đổi năng lượng điện cơ

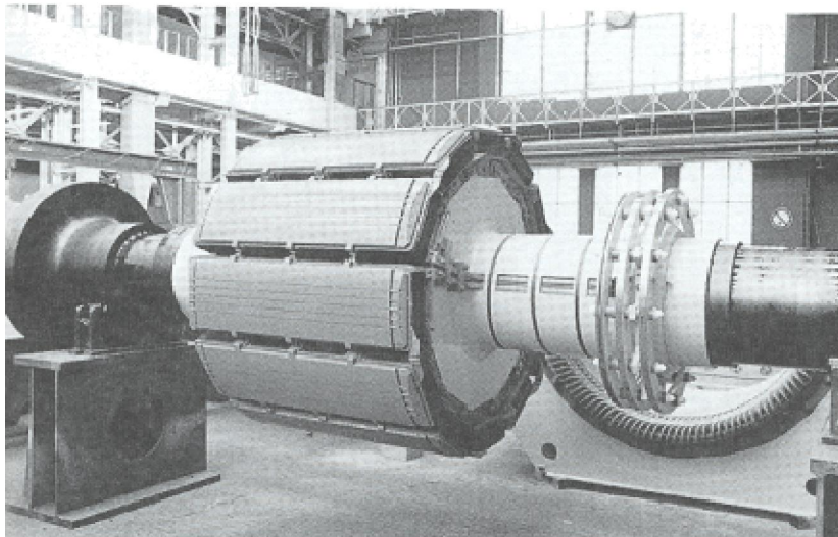
Bộ môn Thiết bị điện



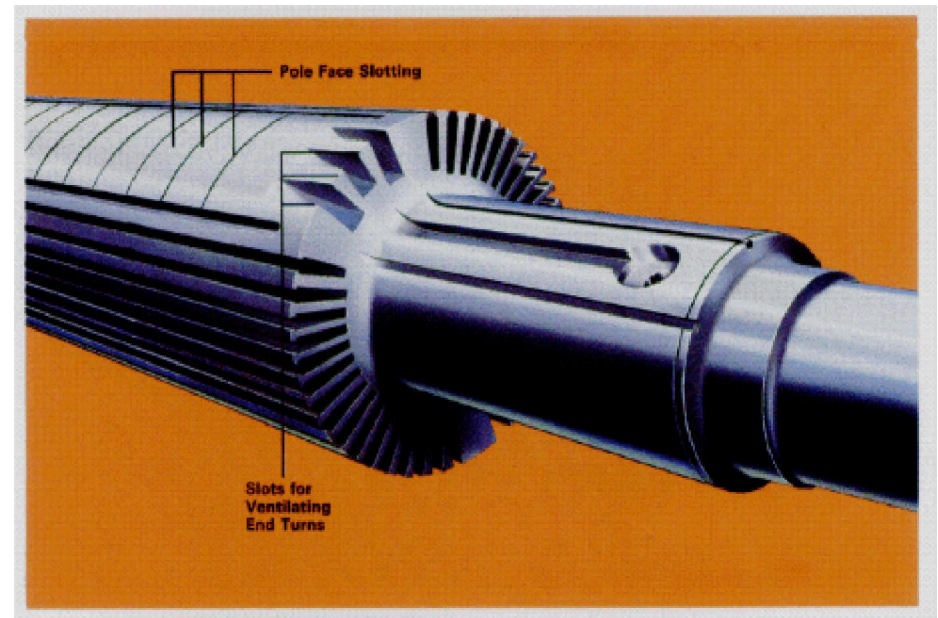
Rotor cực lồi và Rotor cực ẩn

➤ Rotor cực lồi không được khảo sát trong nội dung này. Với rotor cực ẩn, moment được tính bởi

$$T^e = \frac{\partial W'_m}{\partial \theta} = i_a i_r \frac{dM_{ar}}{d\theta} + i_b i_r \frac{dM_{br}}{d\theta} + i_c i_r \frac{dM_{cr}}{d\theta}$$
$$= -i_a i_r M \sin(\theta) - i_b i_r M \sin(\theta - 120^\circ) - i_c i_r M \sin(\theta + 120^\circ)$$



Điện đại năng tương điện cơ



Điện cơ năng tương điện cơ



Máy điện đồng bộ - Trường hợp rotor cực ẩn

- Khi bị kích thích bởi dòng điện ba pha cân bằng, với dòng rotor không đổi, moment có thể viết dưới dạng

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

Trong đó $\theta = \omega_m t + \gamma$. Moment sẽ có giá trị trung bình sau, khi $\omega_m = \omega_s$ (tốc độ đồng bộ)

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

- Vì tốc độ đồng bộ ω_m bằng với tốc độ điện ω_s (rad/s)

$$\omega_m = \frac{2\pi n_s}{60} = 2\pi f$$

Trong đó n_s là tốc độ đồng bộ tính bằng vòng/phút (rpm).

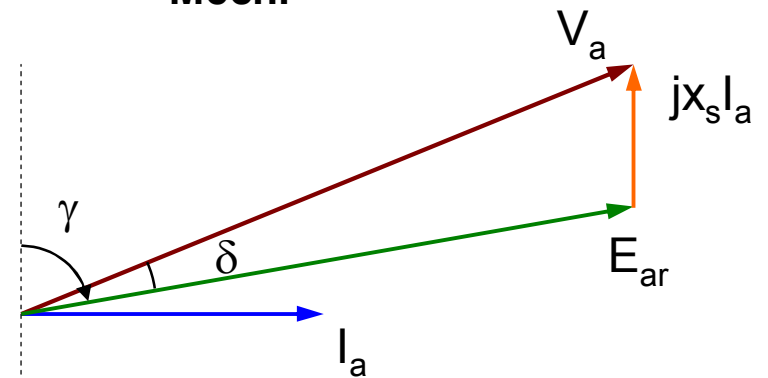
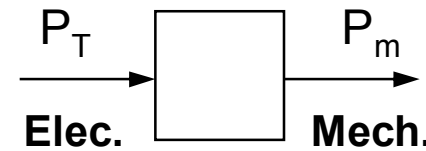
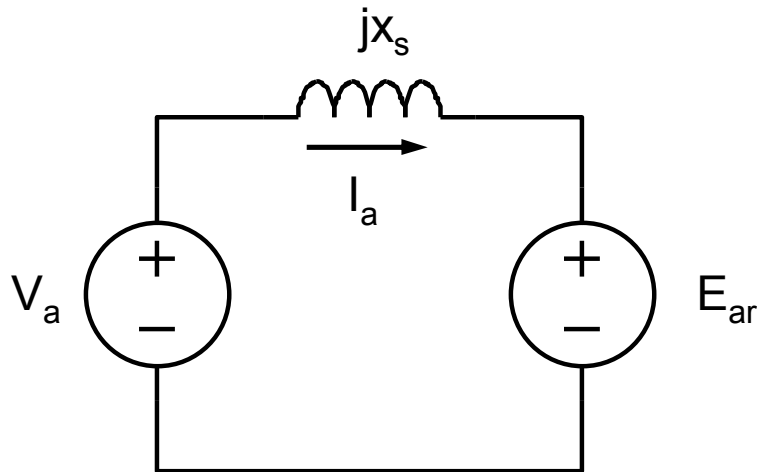


Điện áp ở xác lập

- Điện áp pha khi xác lập

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

- Mạch điện tương đương với giản đồ pha tương ứng ở chế độ động cơ được biểu diễn ở dưới. δ được gọi là góc moment, tính từ V_a tới E_{ar} .



- Tương tự cho pha b và pha c.

Biến đổi năng lượng điện cơ

Bộ môn Thiết bị điện



Công suất tính bằng điện áp

- Dòng điện có dạng

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

- Ở điều kiện cân bằng, công suất tổng

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

- Lấy V_a làm chuẩn, $\bar{E}_{ar} = E_{ar} \angle \delta$

$$P_T = \frac{3}{x_s} \operatorname{Re}(jE_{ar} \angle \delta \times V_a \angle 0^\circ) = \frac{3E_{ar} V_a \angle(\pi/2 + \delta)}{x_s} = -\frac{3E_{ar} V_a \sin(\delta)}{x_s}$$

- Biểu thức moment

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

- Ở chế độ động cơ, $P_T > 0$, góc $\delta < 0$.



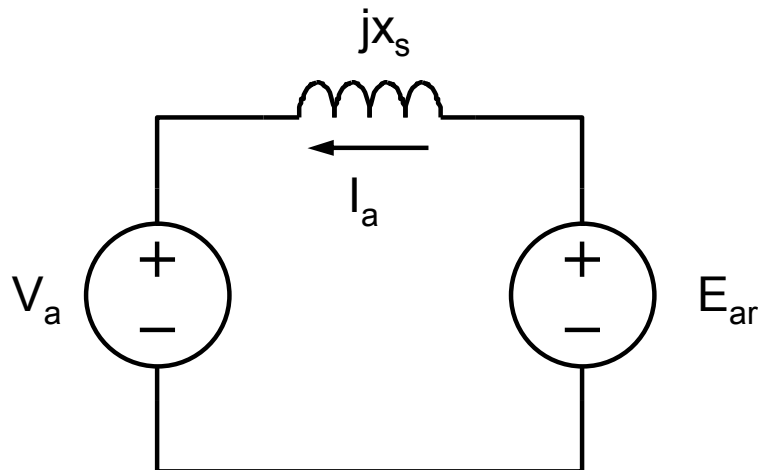
Máy phát đồng bộ

- Phương trình cân bằng điện áp của mạch tương đương

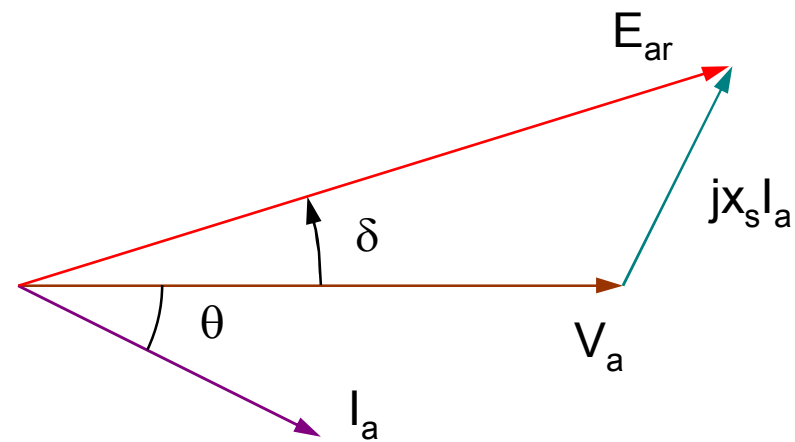
$$\bar{V}_a = -jx_s \bar{I}_a + \bar{E}_{ar} \quad \text{or} \quad \bar{E}_{ar} = \bar{V}_a + jx_s \bar{I}_a$$

- Dòng điện và công suất

$$\bar{I}_a = \frac{\bar{E}_{ar} - \bar{V}_a}{jx_s} \quad P_T = 3 \operatorname{Re} \left(\frac{V_a \angle 0^\circ \times E_{ar} \angle (-\delta)}{-jx_s} \right) = \frac{3V_a E_{ar} \sin(\delta)}{x_s}$$



Biến đổi năng lượng điện cơ

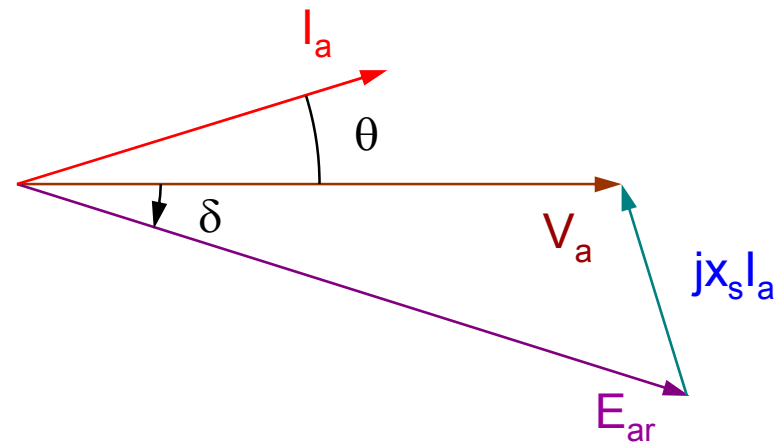
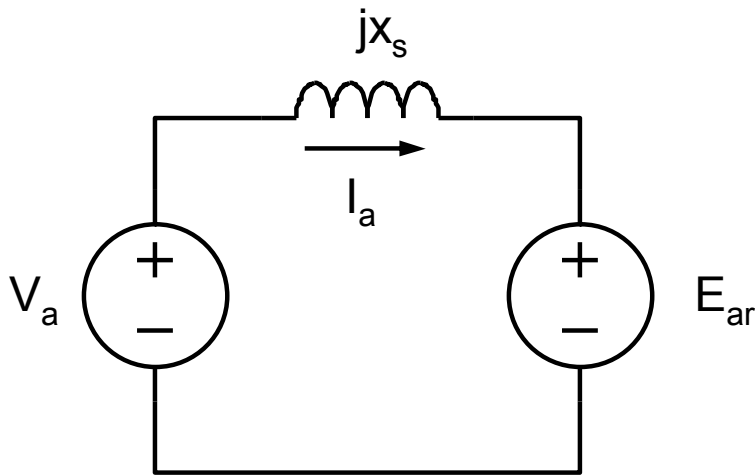


Bộ môn Thiết bị điện



Ví dụ 6.1

- Một máy điện đồng bộ ba pha, nối Y, 60 Hz, 2 cực, có điện kháng đồng bộ $x_s = 5 \Omega/\text{pha}$. Khi hoạt động ở chế độ động cơ, máy tiêu thụ 30 A tại điện áp pha 254 V và PF là 0.8 sớm pha. Tìm E_{ar} và T^e . Nếu máy có tổng tổn hao cơ và tổn hao sắt là 400 W, tính moment ra đầu trục? Hiệu suất?

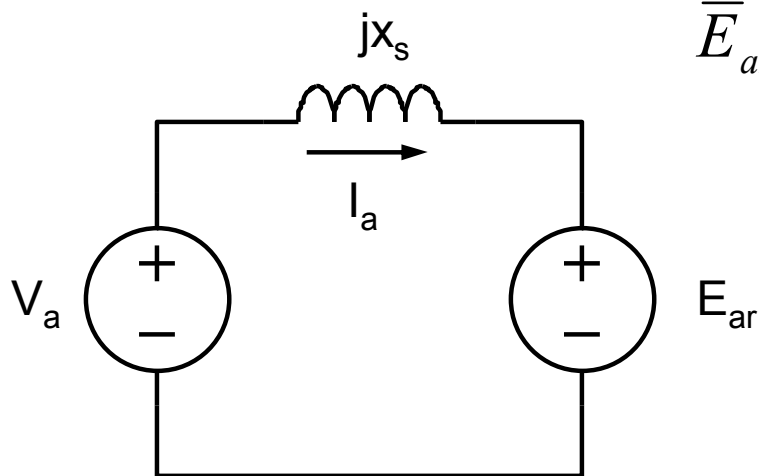




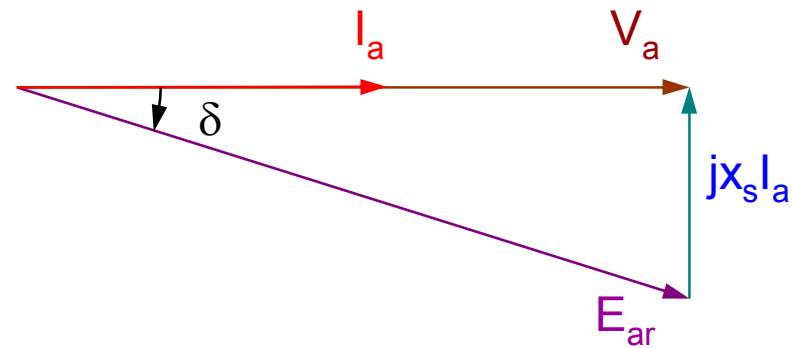
Ví dụ 6.3

- Điều chỉnh dòng kích từ I_f để công suất giống như ở vd 6.2 và PF là 1. Tính dòng stator mới và E_{ar} .

$$I_a = \frac{P_T \cos(0^\circ)}{3V_a} = \frac{18286}{3 \times 254} = 24 \text{ A}$$



$$\bar{E}_{ar} = 254 - j120 = 280.9 \angle -25.8^\circ \text{ V}$$



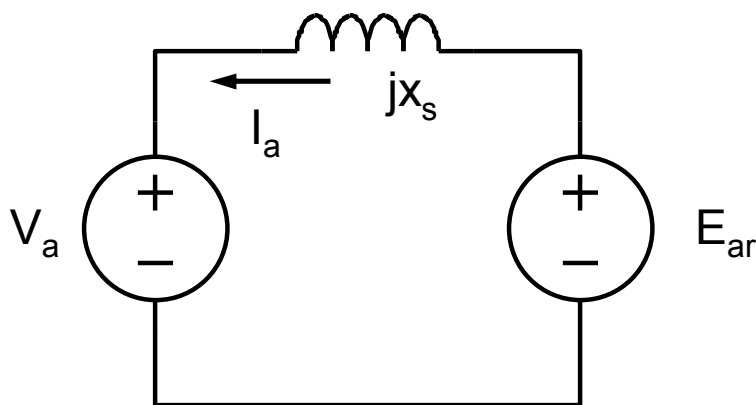


Ví dụ 6.4

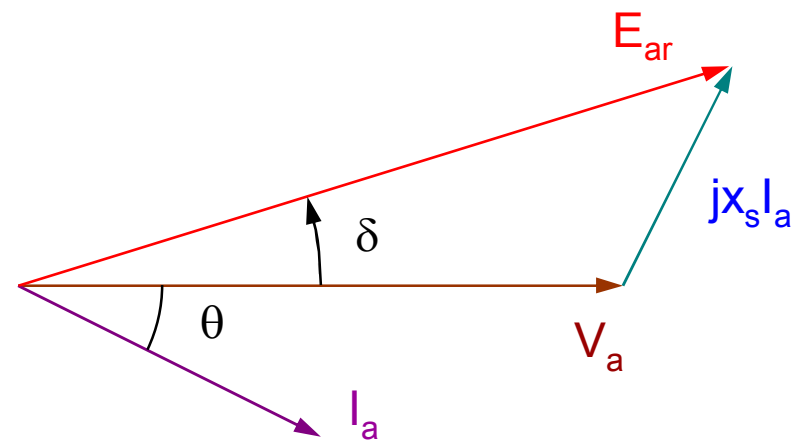
- Máy đồng bộ ba pha, 2 cực, nối Y, có điện kháng đồng bộ mỗi pha $x_s = 2 \Omega$. Máy đang vận hành ở chế độ máy phát, phát công suất với điện áp pha 1905 V. Dòng điện là 350 A và PF của tải là 0.8 trễ pha. Tính E_{ar} , δ , và moment điện từ.

$$\bar{E}_{ar} = 1905 + j2(350 \angle -36.87^\circ) = 2391 \angle 13.54^\circ \text{ V}$$

$$T^e = \frac{3E_{ar}V_a \sin(\delta)}{x_s \omega_s} = \frac{3 \times 2391 \times 1905 \times 0.23416}{2 \times 377} = 42440 \text{ N.m}$$



Biến đổi năng lượng điện cơ



Bộ môn Thiết bị điện



Máy điện đồng bộ nhiều cực

- Số cực trong máy điện được định nghĩa bởi kết cấu của dạng từ trường. Xét rotor ở hình Fig. 6.24(a). Với 1 cuộn dây, có hai cực khi đi quanh bề mặt.
- Với rotor trong hình Fig. 6.24(b), quanh bề mặt có 4 cực. Từ trường quay sẽ có 2 chu kỳ (720°) trong một vòng quay cơ 360° . Điều này có nghĩa là

$$\omega_{elec} = 2\omega_{mech}$$

- Tổng quát, với máy có p cặp cực, $\omega_{elec} = \omega_s = p\omega_{mech}$

Trong đó ω_s là tần số góc động bộ điện rad/s. Quan hệ giữa tần số đồng bộ f (Hz) và tốc độ cơ đồng bộ n_s là

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



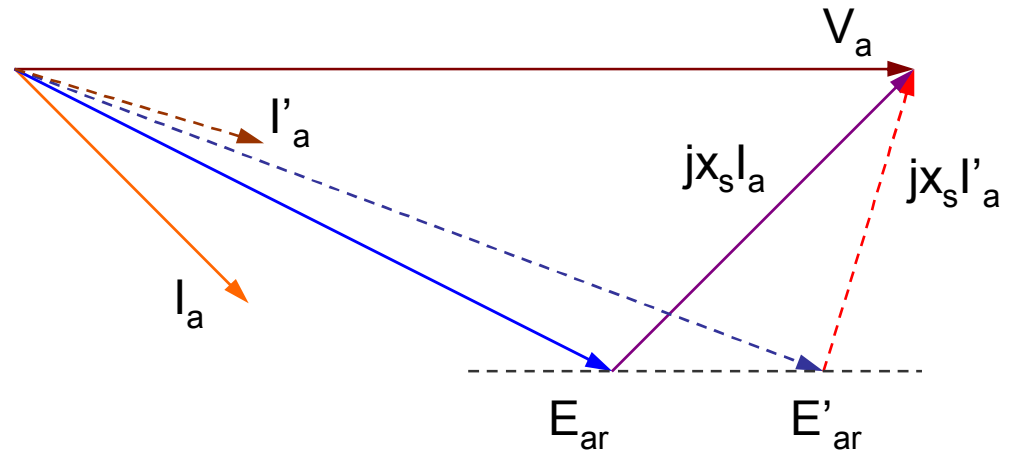
Ví dụ 6.5

➤ Máy phát đồng bộ 3 pha, 60 Hz, 6 cực, nối Y, được kéo bởi một tuabin cấp 16910 W tới trục máy phát. Tổn hao cơ là 500 W. Dòng kích từ được điều chỉnh để sđđ E_{ar} tỉ lệ với dòng kích từ mỗi, $E_{ar} = 355$ V. Máy phát cấp cho tải 440 V (line-to-line). Tìm tốc độ, các vector pha E_{ar} , I_a , công suất tác dụng và phản kháng của máy phát. Điện kháng đồng bộ mỗi pha là $x_s = 5 \Omega$.



Cải thiện hệ số công suất

- Động cơ đồng bộ có thể nhận công suất điện tại PF sớm hay trễ pha. Đặc tính này có thể được dùng để cải thiện PF tổng của lưới điện.
- Trong thực tế, máy bù đồng bộ là một động cơ chạy không tải, và có kích từ thay đổi. Ở điều kiện này, từ biểu thức công suất, $E_{ar} \sin \delta$ phải là hằng số (do công suất tác dụng nhận từ nguồn không đổi), đưa tới giản đồ pha như sau.
- Vì thế, khi tăng kích từ, biên độ dòng và góc lệch giữa V_a and I_a giảm (hay là PF tăng).





Ví dụ 6.7

- Một tải ba pha nối Y 1500 kW tại 0.8 PF trễ pha được nối với nguồn 3 pha có điện áp dây 1732 V. Một động cơ đồng bộ không tải được nối song song với tải để cải thiện hệ số công suất lên 1. Tìm dòng tiêu thụ của động cơ đồng bộ.