



# Biến đổi năng lượng điện cơ

-Máy điện không đồng bộ



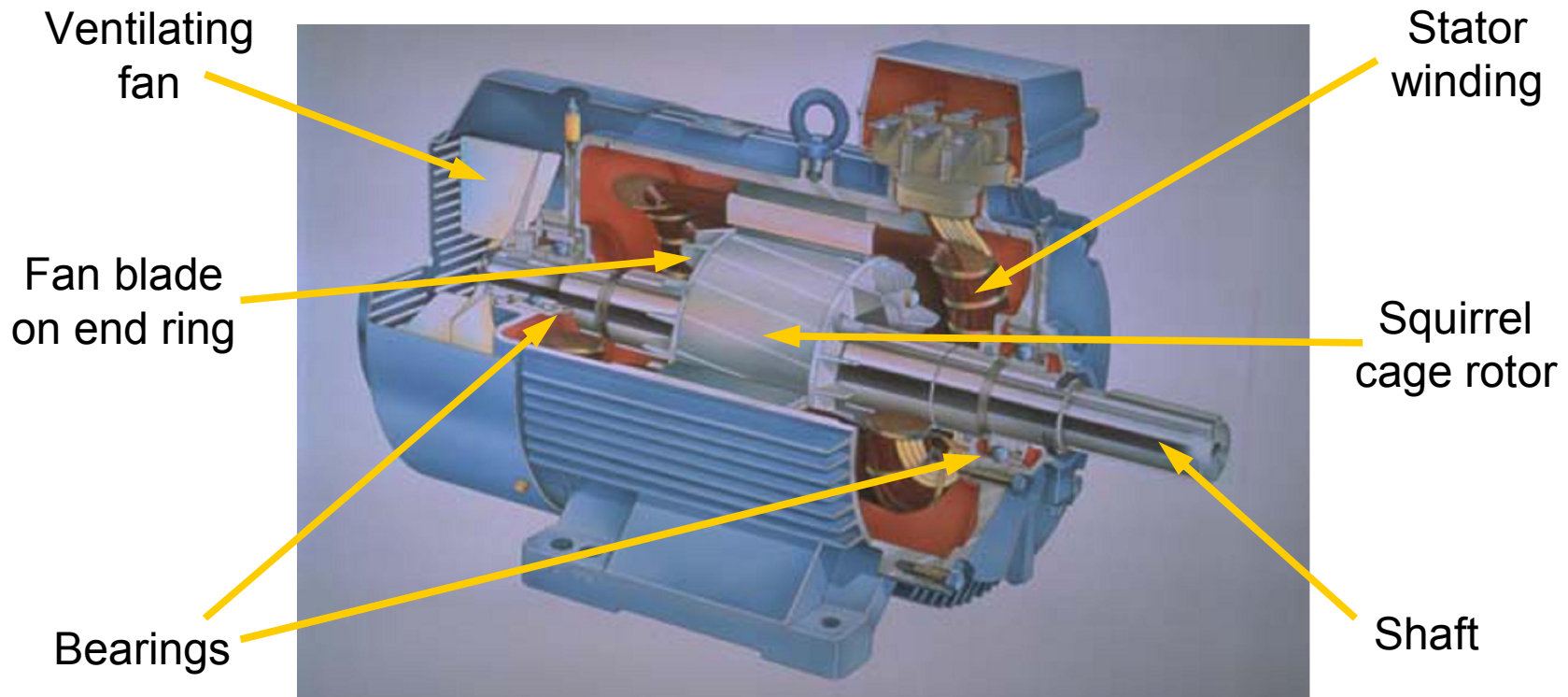
## Giới thiệu

- Được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, chủ yếu dưới dạng động cơ. Cả stator và rotor đều có dòng điện AC. Có thể sử dụng các bộ biến đổi công suất để đạt được đặc tính cơ tốt.
- Stator có cấu tạo giống như trong máy điện đồng bộ, với dây quấn 3 pha tạo thành từ trường quay ở tốc độ đồng bộ  $\omega_s = p\omega_m$ , trong đó  $p$  là số cặp cực và  $\omega_m$  là tốc độ cơ tính bằng rad/s.
- Rotor cũng có dây quấn 3 pha với cùng số cực như stator, có dòng điện cảm ứng. Rotor được ngắn mạch ở bên trong (rotor lồng sóc *squirrel cage rotor*) hoặc ở bên ngoài thông qua vành trượt ( rotor dây quấn *wound rotor*).



## Cấu tạo

- Cả stator và rotor được ghép từ các lá thép mỏng có rãnh. Rotor có các cánh quạt ở cả hai đầu để tạo đối lưu không khí trong máy. Quạt tản nhiệt được gắn ở đầu trục không gắn với tải.



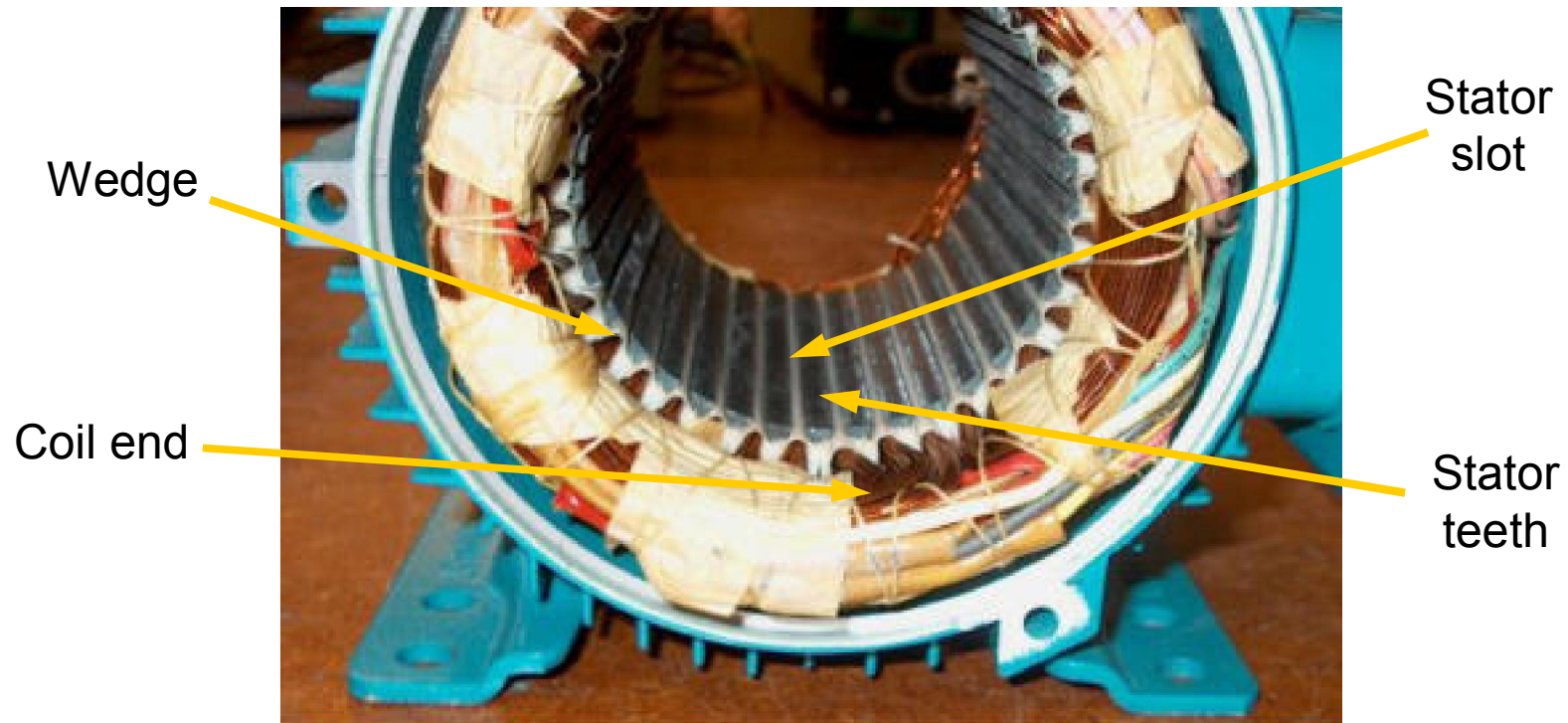
Biến đổi năng lượng điện cơ

Bộ môn Thiết bị điện



## Cấu tạo stator

- Tạo bởi các lá thép có rãnh để đặt dây quấn 3 pha. Nêm được dùng để giữ dây quấn trong rãnh. Dây quấn 3 pha sẽ tạo ra từ trường quay khi được cấp nguồn 3 pha.



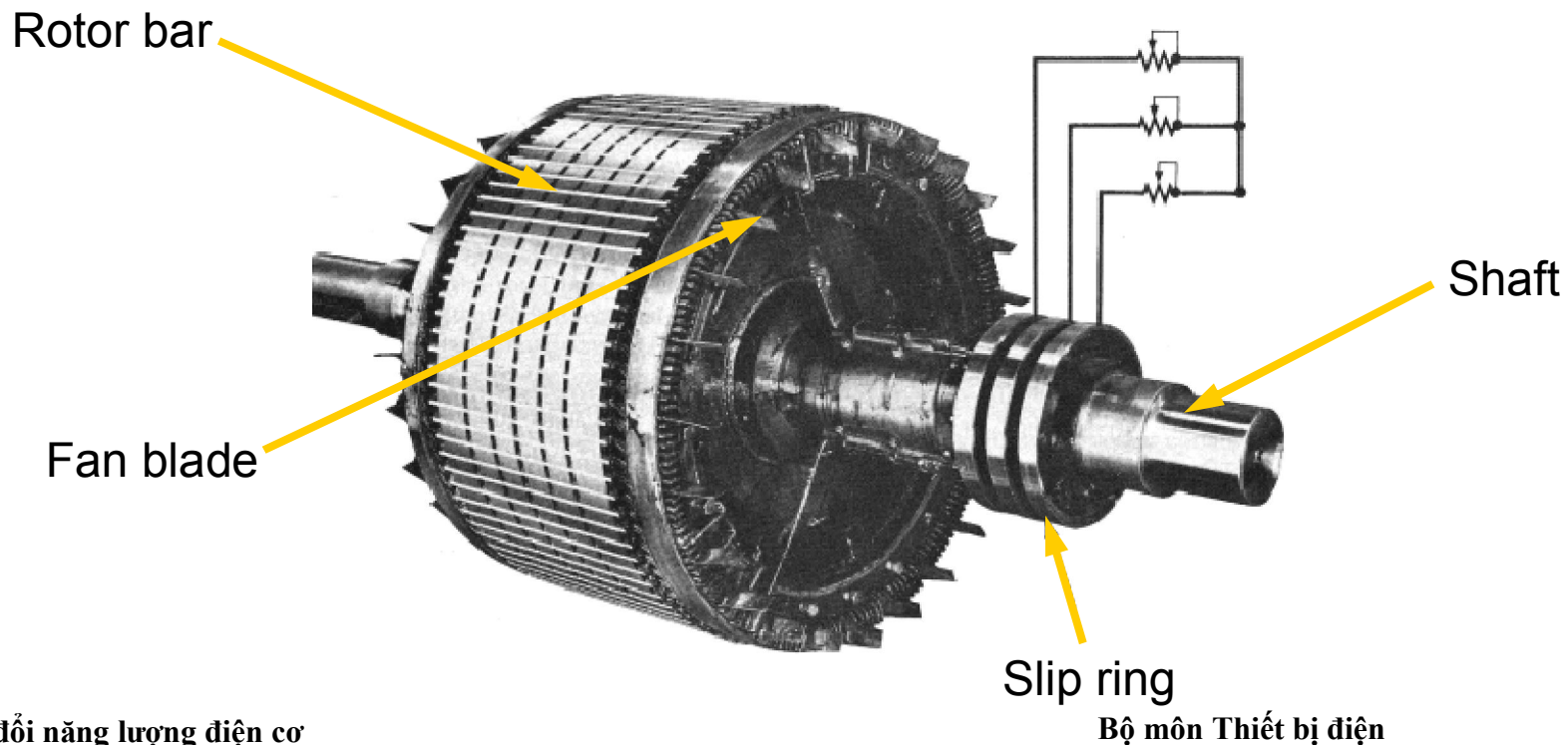
Biến đổi năng lượng điện cơ

Bộ môn Thiết bị điện



## Cấu tạo rotor dây quấn

- Ghép bằng các lá thép, có rãnh để đặt các thanh rotor, các thanh này được sắp xếp thành dây quấn 3 pha. Dây quấn 3 pha được nối với điện trở ngoài hoặc nguồn điện riêng thông qua các vành trượt để đạt được đặc tính cơ mong muốn.



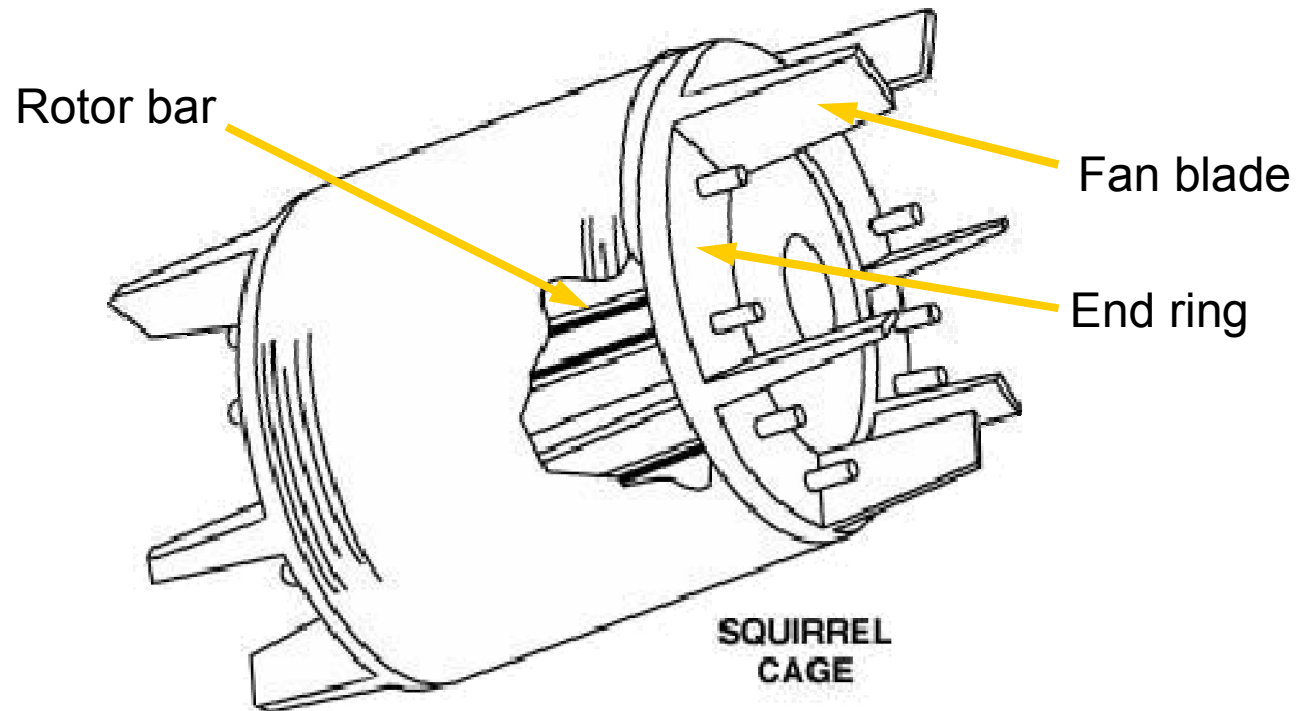
Biến đổi năng lượng điện cơ

Bộ môn Thiết bị điện



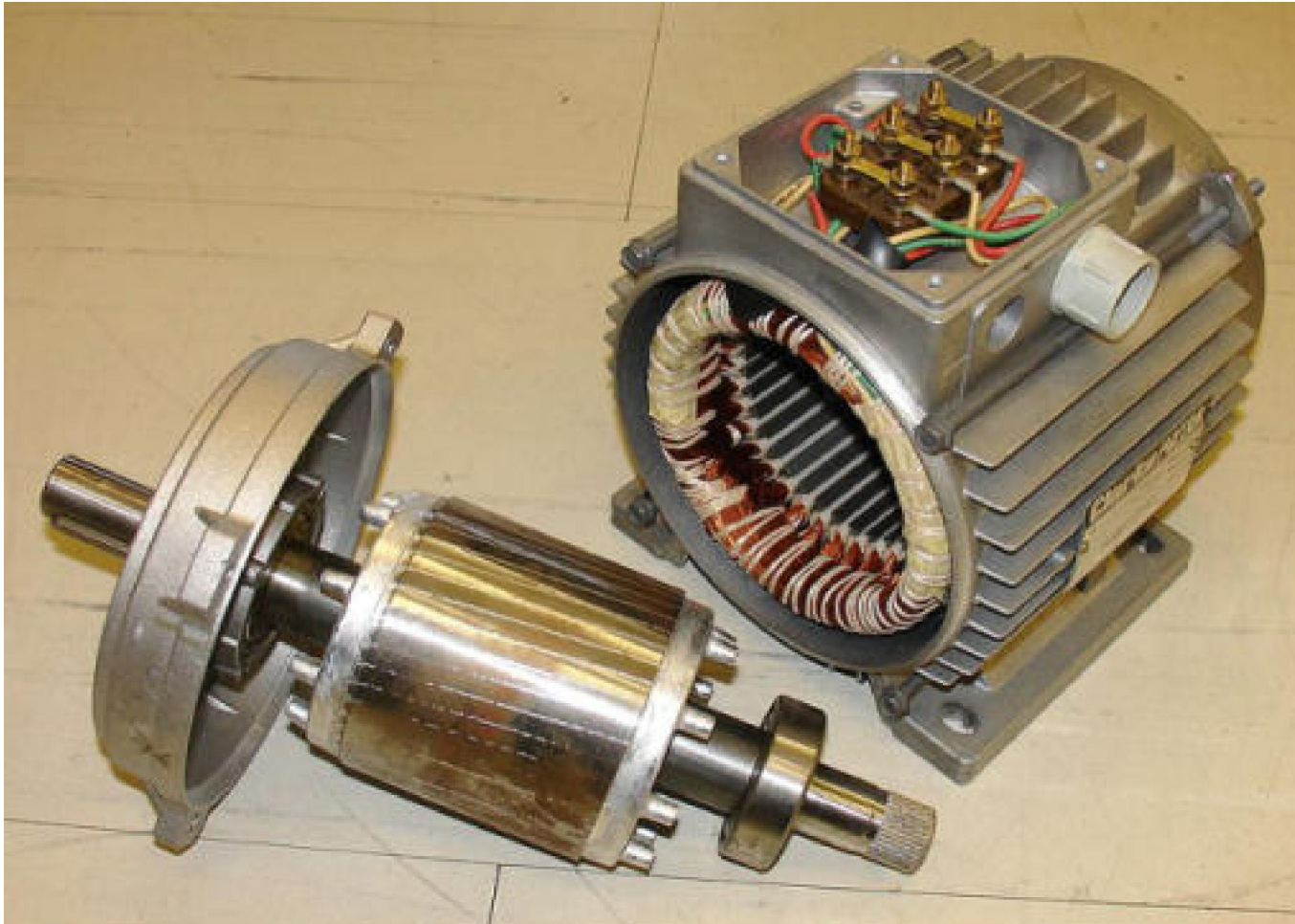
## Cấu tạo rotor lồng sóc

➤ Tạo bởi các lá thép mỏng, có rãnh để đặt các thanh rotor. Các thanh rotor được ngắn mạch bởi hai vành ngắn mạch ở hai đầu. Các cánh quạt ở vành ngắn mạch mỗi đầu để góp phần làm nguội trong máy. Các thanh rotor ở động cơ công suất nhỏ được nằm nghiêng để giảm ồn và nâng cao hiệu suất máy.





## Hình ảnh động cơ không đồng bộ



Biến đổi năng lượng điện cơ

Bộ môn Thiết bị điện



## Hoạt động của động cơ không đồng bộ

- Dòng điện 3 pha được cấp cho dây quấn stator, tạo thành từ trường quay với tốc độ đồng bộ. Nếu tốc độ rotor khác với tốc độ đồng bộ, trong dây quấn rotor có dòng điện cảm ứng, với cùng số cực như trong dây quấn stator.
- Dòng điện cảm ứng trong dây quấn rotor cũng tạo ra một từ trường quay, tương tác với từ trường stator tạo thành moment quay rotor.
- Nói một cách lý tưởng, moment tạo ra (bởi dòng cảm ứng) sẽ làm tăng tốc độ của rotor cho tới khi bằng với tốc độ đồng bộ, lúc này moment tạo ra sẽ bằng 0. Thực tế, do tổn hao cơ (quạt gió, ma sát, ..) rotor sẽ không đạt tới tốc độ đồng bộ, mà chậm hơn từ trường quay để tạo ra đủ moment chống lại moment ngược (trong điều kiện không tải hay có tải).





## Hoạt động của động cơ không đồng bộ (tt)

- Nếu động cơ có  $p$  cặp cực, tốc độ cơ  $\omega_m$  (rad/s) thỏa mãn

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

Trong đó  $\omega_s$  và  $\omega_r$  là tốc độ từ trường stator và rotor tính bằng rad/s.

- Độ lớn của dòng cảm ứng phụ thuộc vào chênh lệch tốc độ giữa từ trường quay stator và rotor. Sự chênh lệch tốc độ được đặc trưng bởi độ trượt  $s$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\omega_s - p\omega_m}{\omega_s}$$

- Ta có

$$\omega_r = \omega_s - p\omega_m = s\omega_s$$

- Các trường hợp đặc biệt:  $s = 0$  tại tốc độ đồng bộ, và  $s = 1$  khi đứng yên (khởi động).



## Phân tích động cơ không đồng bộ hai cực

- Dùng phương pháp năng lượng, moment được tính bởi

$$T^e = -\frac{9}{4} I_{ms} I_{mr} M \sin(\beta + \gamma)$$

Trong đó  $I_{ms}$  và  $I_{mr}$  là các giá trị đỉnh của dòng stator và rotor.

- Sẽ đơn giản hơn nếu moment được tính qua các thông số điện của máy. Điều này được thực hiện với mạch điện tương đương, tương tự như của máy biến áp. Thực tế, động cơ không đồng bộ có thể được xem như một máy biến áp có cuộn thứ cấp quay.

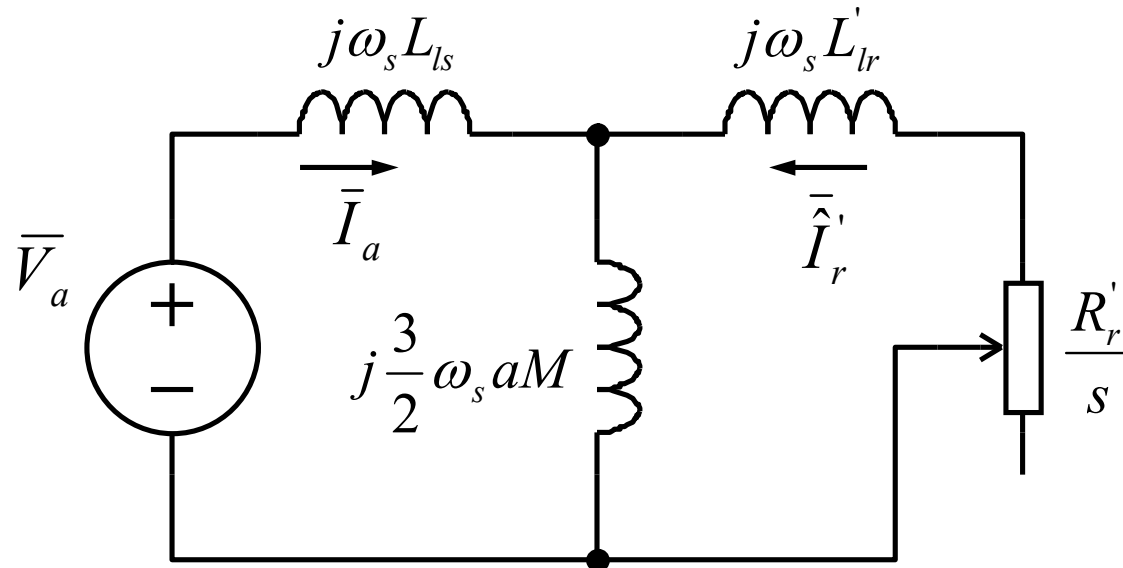
- Giả sử số vòng dây tác dụng của stator gấp  $a$  lần rotor, các đại lượng phái rotor được qui đổi về phía stator

$$a v_{ar} = v'_{ar} \quad \hat{i}_{ar} / a = \hat{i}'_{ar} \quad a^2 R_r = R'_r \quad a^2 L_r = L'_r \quad a^2 L_{mr} = L'_{mr}$$



## Mạch tương đương pha

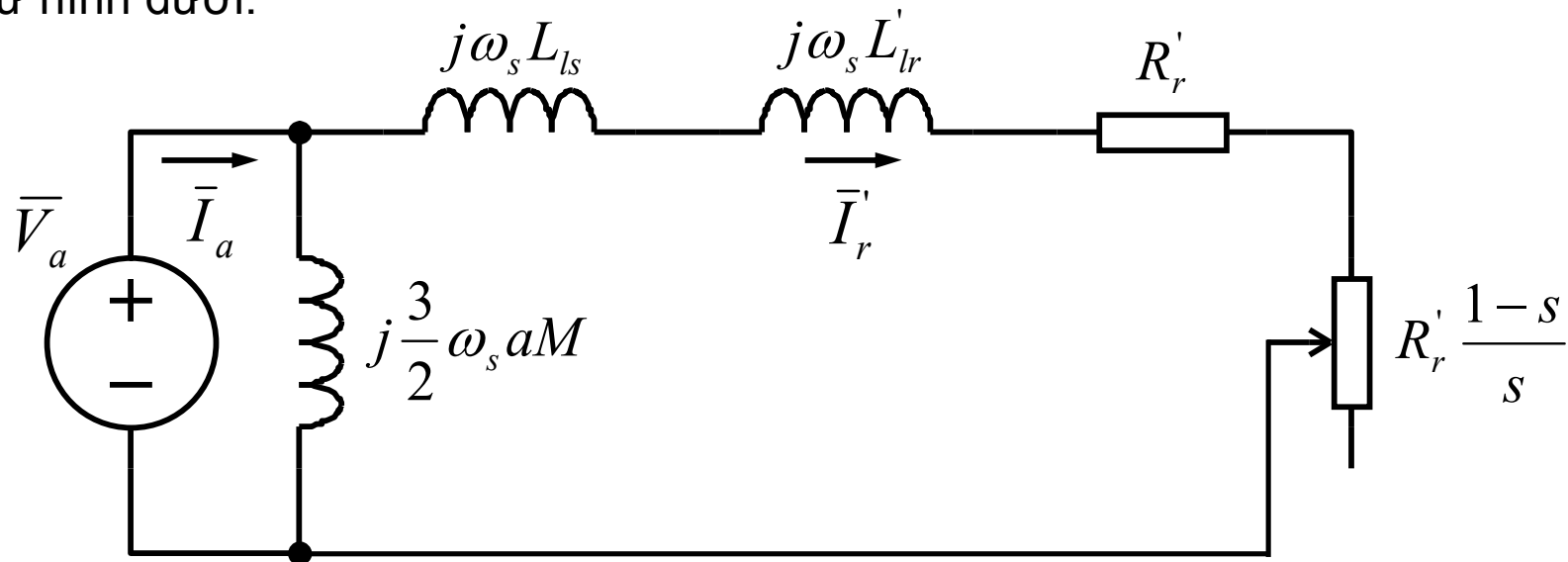
- Để liên kết mạch stator và rotor, cả hai đều phải có cùng mức điện áp và tần số. Nếu bỏ qua điện trở stator, mạch tương đương pha với trở kháng qui về phía stator được vẽ bên dưới.
- $L_{ls}$  là điện cảm rò stator và  $L'_{lr}$  là điện cảm rò rotor qui đổi về phía stator.  $R'_r$  là điện trở rotor qui về phía stator.





## Mạch tương đương gần đúng

- Điện trở rotor được tách thành 2 phần  $R'_r$  và  $R'_r(1 - s)/s$ . Thành phần thứ nhất đặc trưng cho tổn hao đồng rotor, trong khi thành phần sau đặc trưng cho công suất cơ tạo bởi động cơ.
- Mạch gần đúng nhận được bằng cách chuyển nhánh từ hóa  $aM$  về phía trái, như hình dưới.



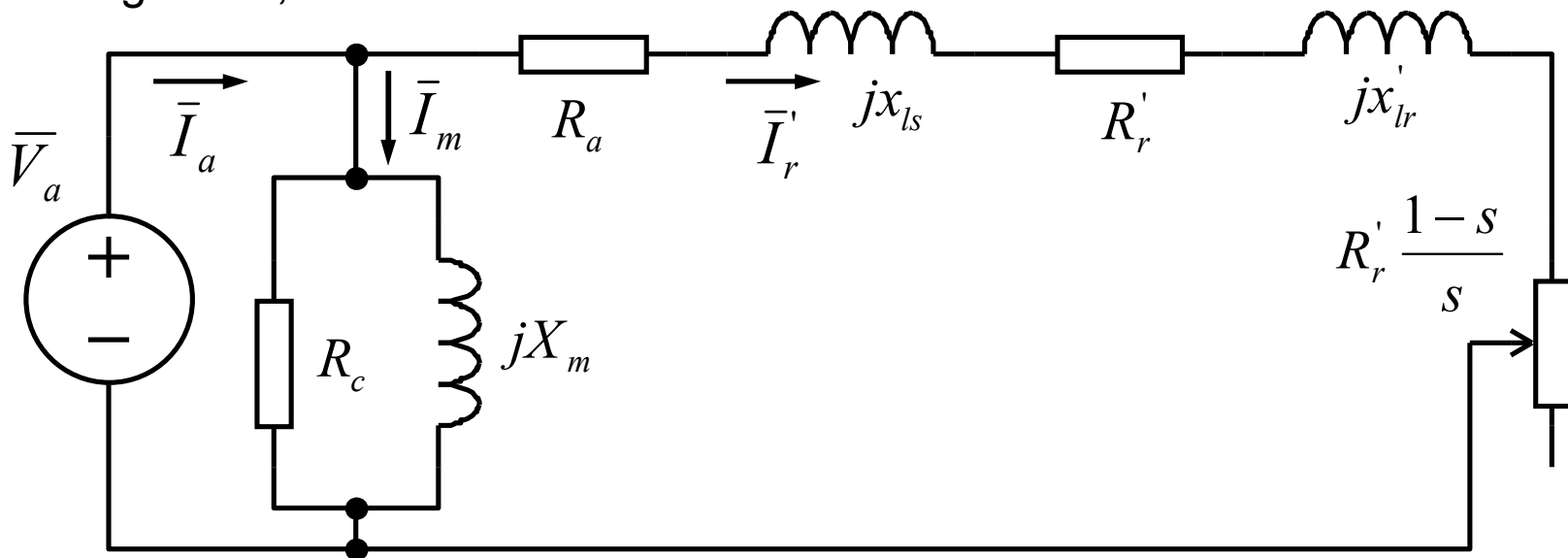


## Các quan hệ công suất

➤ Tổn hao sắt và tổn hao đồng stator có thể được tính từ  $R_c$  và  $R_a$  trong mạch tương đương gần đúng. Tổng công suất vào là

$$P_T = 3V_a I_a \cos(\phi) = 3I_r'^2 \frac{R_r'}{s} + 3(I_r')^2 R_a + 3 \frac{V_a^2}{R_c} = P_{ag} + P_{scl} + P_c$$

Trong đó  $P_{ag}$ ,  $P_{scl}$ , và  $P_c$  là công suất truyền qua khe hở (công suất điện từ), tổn hao đồng stator, tổn hao sắt.



Biến đổi năng lượng điện cơ

Bộ môn Thiết bị điện



## Các quan hệ công suất (tt)

- $P_{ag}$  bao gồm tổn hao đồng rotor  $P_r$  và công suất cơ lý tưởng  $P_m$ . Có thể thấy rằng

$$P_m = 3I_r'^2 R_r' \frac{1-s}{s} = P_{ag} (1-s)$$

- Ngược lại, tổn hao đồng rotor  $P_r$  cũng có thể được viết dưới dạng  $P_{ag}$

$$P_r = 3I_r'^2 R_r' = sP_{ag}$$

- Hiệu suất của máy

$$\eta = \frac{P_m}{P_T} = \frac{P_T - (P_{scl} + P_c + P_r)}{P_T}$$

- Nếu tổn hao quay (tổn hao cơ)  $P_{rot}$  được xét đến, hiệu suất được tính bởi

$$\eta = \frac{P_{shaft}}{P_T} = \frac{P_T - (P_{scl} + P_c + P_r + P_{rot})}{P_T}$$



## Biểu thức moment

- Dùng mạch tương đương gần đúng, dòng rotor qui đổi về phía stator được tính bởi

$$\bar{I}'_r = \frac{\bar{V}_a}{(R_a + R'_r/s) + j(x_{ls} + x'_{lr})}$$

- Công suất cơ lý tưởng là

$$P_m = 3(I'_r)^2 R'_r \frac{1-s}{s} = \frac{3V_a^2 R'_r (1-s)/s}{(R_a + R'_r/s)^2 + (x_{ls} + x'_{lr})^2}$$

- Với máy 2 cực  $\omega_m = \omega_s(1-s)$ , moment được tính bởi

$$T^e = \frac{1}{\omega_s} \frac{3V_a^2 R'_r/s}{(R_a + R'_r/s)^2 + (x_{ls} + x'_{lr})^2}$$



## Ví dụ 7.2 và 7.3

- VD. 7.2: Động cơ không đồng bộ 3 pha, 2 cực, 866 V, nối Y, 60 Hz, có  $\omega_s L_{ls} = 0.5 \Omega$ ,  $3\omega_s aM/2 = 5 \Omega$ ,  $\omega_s L'_{lr} = 0.5 \Omega$ , và  $R'_r = 0.1 \Omega$ . Tìm moment tại  $s = 0.05$  và công suất vào ba pha dạng phức. Bỏ qua  $R_a$  và  $R_c$ . Dùng mạch gần đúng và mạch tương đương chính xác.
- Sai số giữa dùng mạch gần đúng và mạch chính xác là khoảng 1.8% trong ví dụ này.
- VD. 7.3: Dùng mạch gần đúng cho ví dụ 7.2, tính  $I'_r$ ,  $P_{ag}$ ,  $P_m$ ,  $P_r$  và moment.





## Đặc tính moment – tốc độ (đặc tính cơ)

➤ Biểu thức moment

$$T^e = \frac{1}{\omega_s} \frac{3V_a^2 R_r' / s}{(R_a + R_r' / s)^2 + (x_{ls} + x_{lr}')^2}$$

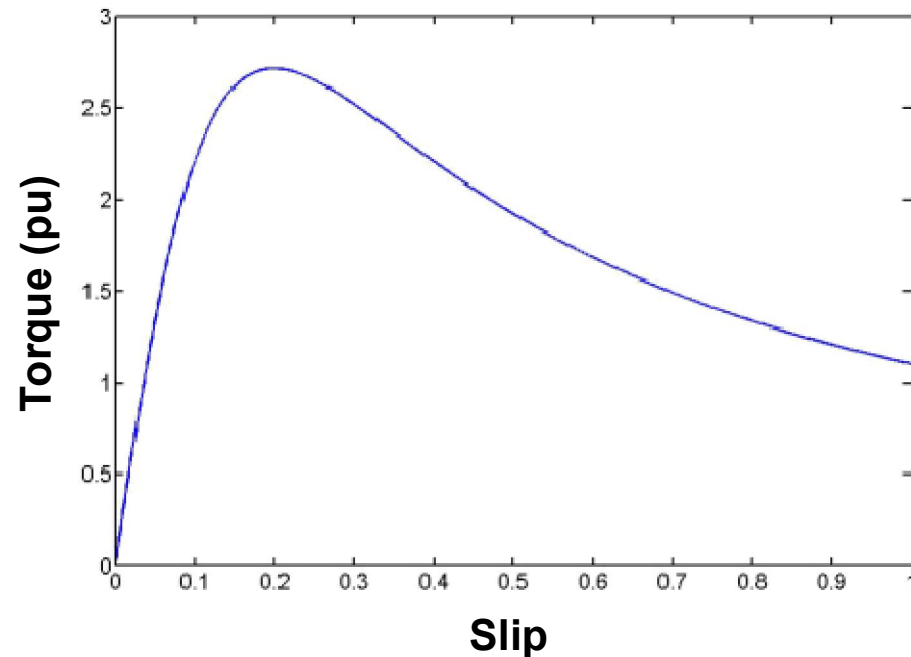
➤ Với điện áp cung cấp và tần số là hằng số, khi s nhỏ

$$T^e \approx \frac{3V_a^2}{\omega_s} \frac{s}{R_r'} \quad \text{hay} \quad T^e \propto s$$

➤ Khi s lớn (gần 1)

$$T^e \approx \frac{3V_a^2}{\omega_s (x_{ls} + x_{lr}')^2} \frac{R_r'}{s}$$

$$\text{hay} \quad T^e \propto \frac{1}{s}$$





## Biểu thức moment cực đại

- Từ đường đặc tính cơ, có một giá trị của độ trượt  $s$  mà ở đó moment đạt cực đại. Độ trượt này có thể được tìm bằng cách cho  $dT^e/ds = 0$ , ta được

$$\frac{R_r'}{s} = \sqrt{R_a^2 + (x_{ls} + x_{lr}')^2}$$

- Vì vậy, độ trượt tại moment cực đại là (độ trượt tới hạn)

$$s_{mT} = \frac{R_r'}{\sqrt{R_a^2 + (x_{ls} + x_{lr}')^2}}$$

- Moment cực đại (khi  $R_a = 0$ ) là

$$T_{\max}^e = \frac{3V_a^2}{2\omega_s (x_{ls} + x_{lr}')}$$

- Các công thức này giải thích việc thay đổi đặc tính cơ của động cơ rotor dây quấn.



## Máy điện không đồng bộ nhiều cực

➤ Xét máy có  $p$  cặp cực, việc phân tích có thể được lặp lại với việc thay góc quay cơ  $\theta$  bằng  $p\theta$ . Mạch tương đương pha không đổi.

➤ Công suất cơ lý tưởng

$$P_m = T^e \omega_m = T^e \frac{\omega_s (1-s)}{p}$$

➤ Moment

$$T^e = \frac{p}{\omega_s} \frac{3V_a^2 R'_r / s}{(R_a + R'_r / s)^2 + (x_{ls} + x'_{lr})^2}$$

➤ Độ trượt tại moment cực đại không đổi, với moment cực đại là

$$T_{\max}^e = p \times \frac{3V_a^2}{2\omega_s (x_{ls} + x'_{lr})}$$



## Ví dụ 7.5 và 7.6

- VD. 7.5: Cho một động cơ không đồng bộ 4 cực, cho các thông số, tìm moment tại tốc độ đã cho, moment cực đại và độ trượt tương ứng. Bỏ qua điện trở stator, tổn hao sắt và tổn hao đồng stator.
- VD. 7.6: Cho một động cơ không đồng bộ 6 cực với các thông số, tìm độ trượt, tốc độ rotor, tần số và dòng rotor, moment cực đại và moment mở máy, dùng mạch tương đương gần đúng và chính xác.



## Bài tập

- Bài 7.5
- Bài 7.16 (dùng mạch tương đương chính xác)
- Bài 7.17
- Bài 7.22 (dùng mạch tương đương chính xác)
- Bài 7.25