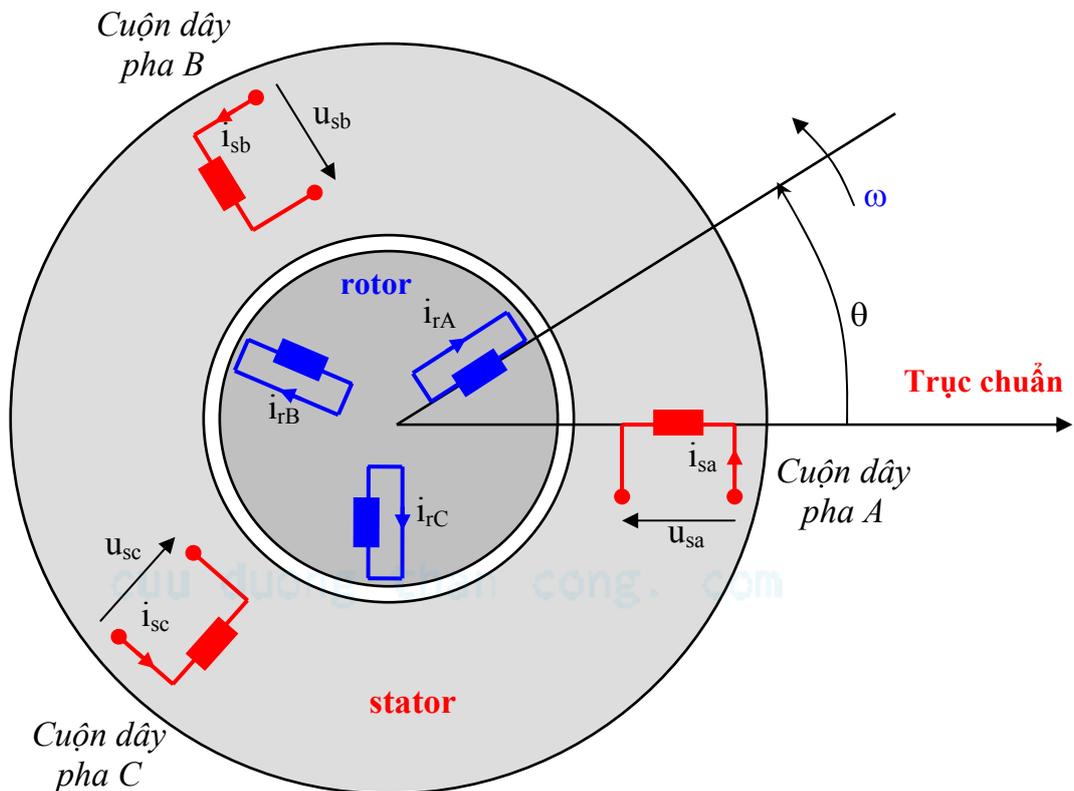


Chương 3: MÔ HÌNH ĐCKĐB TRONG HỆ QUI CHIỀU QUAY

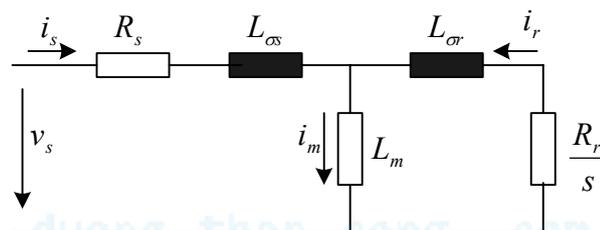
❖ I. Một số khái niệm cơ bản của động cơ không đồng bộ ba pha

I.1. Một số qui ước ký hiệu dùng cho điều khiển ĐCKĐB ba pha

Để xây dựng mô hình mô tả động cơ KĐB ba pha, ta thống nhất một số qui ước cho các ký hiệu cho các đại lượng và các thông số của động cơ.



Hình 2.1: Mô hình đơn giản của động cơ KĐB ba pha



Hình 2.2: Mạch tương đương của động cơ KĐB ba pha

Trục chuẩn của mọi quan sát được qui ước là trục của cuộn dây pha A như hình 2.1. Mọi công thức được xây dựng sau này đều tuân theo qui ước này. Sau đây là một số các qui ước cho các ký hiệu:

- **Hình thức và vị trí các chỉ số:**

- *Chỉ số nhỏ góc phải trên:*
 - s đại lượng quan sát trên hệ qui chiếu stator (hệ tọa độ $\alpha\beta$).
 - f đại lượng quan sát trên hệ qui chiếu từ thông rotor (hệ tọa độ dq).
 - r đại lượng quan sát trên hệ tọa độ rotor với trục thực là trục của rotor (hình 1.6).
 - *, ref, giá trị đặt /lệnh (reference)
 - e giá trị ước lượng
- *Chỉ số nhỏ góc phải dưới:*
 - *Chữ cái đầu tiên:*
 - s đại lượng của mạch stator.
 - r đại lượng của mạch rotor.
 - *Chữ cái thứ hai:*
 - d, q phần tử thuộc hệ tọa độ dq.
 - α, β phần tử thuộc hệ tọa độ $\alpha\beta$.
 - a, b, c đại lượng ba pha của stator.
 - A, B, C đại lượng ba pha của rotor, lưới.
- *Hình mũi tên ($\vec{\quad}$) trên đầu:* ký hiệu vector (2 chiều).
- *Gạch chân ($\underline{\quad}$) ở dưới:* ký hiệu vector, ma trận.
- *Độ lớn (modul) của đại lượng:* ký hiệu giữa hai dấu gạch đứng ($|\quad|$).
- **Các đại lượng của ĐCKĐB ba pha:**
 - u điện áp (V).
 - i dòng điện (A).
 - Φ từ thông (Wb).
 - ψ từ thông móc vòng (A.vòng).
 - T_e momen điện từ (N.m).
 - T_L momen tải (momen cản - torque) (hay còn ký hiệu là M_T) (Nm).
 - ω tốc độ góc của rotor so với stator (rad/s).
 - ω_a tốc độ góc của một hệ tọa độ bất kỳ (*arbitrary*) (rad/s).
 - ω_s tốc độ góc của từ thông stator so với stator ($\omega_s = \omega + \omega_{sl}$) (rad/s).
 - ω_r tốc độ góc của từ thông rotor so với stator ($\omega_r \approx \omega_s$) (rad/s).
 - ω_{sl} tốc độ góc của từ thông rotor so với rotor (tốc độ trượt) (rad/s).
 - θ góc của trục rotor (cuộn dây pha A) trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ (rad).
 - θ_s góc của trục d (hệ tọa độ quay bất kỳ) trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ (rad).
 - θ_r góc của trục d (hệ tọa độ quay bất kỳ) so với trục rotor (rad).
 - ϕ_s góc của từ thông stator trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ (rad).
 - ϕ_r góc của từ thông rotor trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ (rad).
 - ϕ_r^e góc của từ thông rotor ước lượng (*estimated*) trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ (rad).
 - φ góc pha giữa điện áp so với dòng điện.
- **Các thông số của ĐCKĐB ba pha:**
 - R_s điện trở cuộn dây pha của stator (Ω).
 - R_r điện trở rotor đã qui đổi về stator (Ω).
 - L_m hồ cảm giữa stator và rotor (H).
 - $L_{\sigma s}$ điện kháng tản của cuộn dây stator (H).
 - $L_{\sigma r}$ điện kháng tản của cuộn dây rotor đã qui đổi về stator (H).
 - P số đôi cực của động cơ.

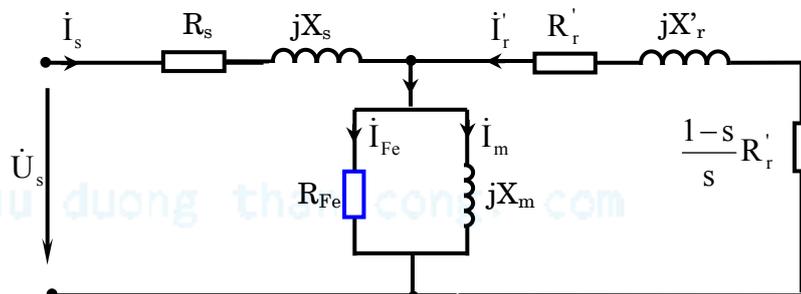
- J momen quán tính cơ (Kg.m²).
- **Các thông số định nghĩa thêm:**
 - $L_s = L_m + L_{\sigma s}$ điện cảm stator.
 - $L_r = L_m + L_{\sigma r}$ điện cảm rotor.
 - $T_s = \frac{L_s}{R_s}$ hằng số thời gian stator.
 - $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ hằng số thời gian rotor.
 - $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$ hệ số từ tản tổng.
 - T_{samp} chu kỳ lấy mẫu.
- **Cc đại lượng viết bằng chữ thường – chữ hoa:**
 - Chữ thường: Đại lượng tức thời, biến thín theo thời gian.
Đại lượng là các thành phần của các vector.
 - Chữ hoa: Đại lượng vector, module của vector, độ lớn.

I.2. Các phương trình cơ bản của ĐCKĐB ba pha

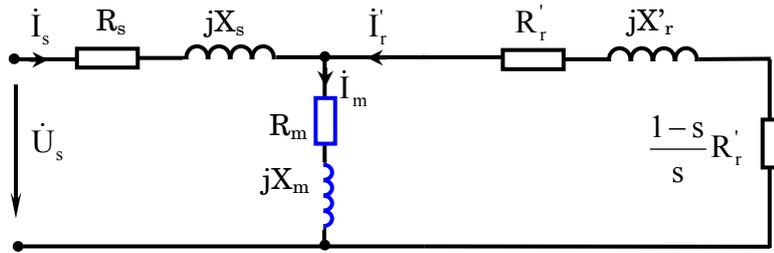
Các phương trình toán học của động cơ cần phải thể hiện rõ các đặc tính thời gian của đối tượng. Việc xây dựng mô hình ở đây không nhằm mục đích mô phỏng chính xác về mặt toán học đối tượng động cơ. Việc xây dựng mô hình ở đây chỉ nhằm mục đích phục vụ cho việc xây dựng các thuật toán điều chỉnh. Điều đó cho phép chấp nhận một số điều kiện giả định trong quá trình thiết lập mô hình, tất nhiên sẽ tạo ra một số sai lệch nhất định giữa đối tượng và mô hình trong phạm vi cho phép. Các sai lệch này phải được loại trừ bằng kỹ thuật điều chỉnh.

Đặc tính động của động cơ không đồng bộ được mô tả với một hệ phương trình vi phân. Để xây dựng phương trình cho động cơ, giả định lý tưởng hóa kết cấu dây quấn và mạch từ với các giả thuyết sau:

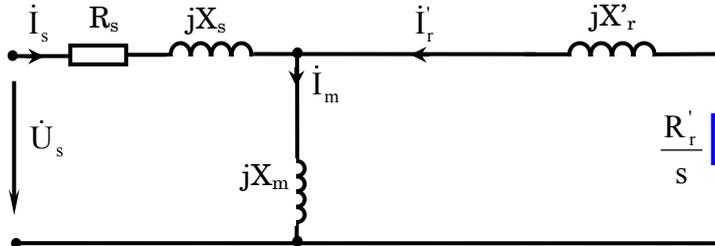
- Các cuộn dây stator được bố trí đối xứng trong không gian.
- Bỏ qua các tổn hao sắt từ và sự bão hòa của mạch từ.
- Dòng từ hóa và từ trường phân bố hình sin trong khe hở không khí.
- Các giá trị điện trở và điện kháng xem như không đổi.



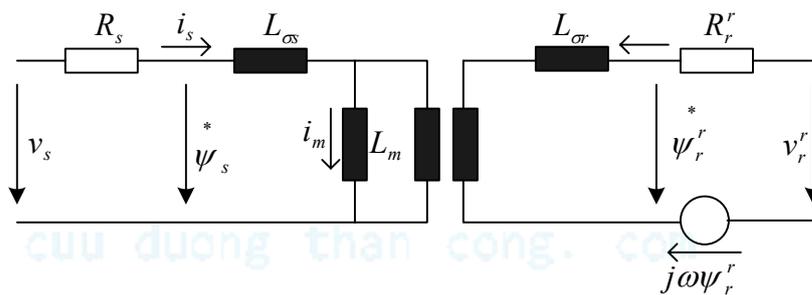
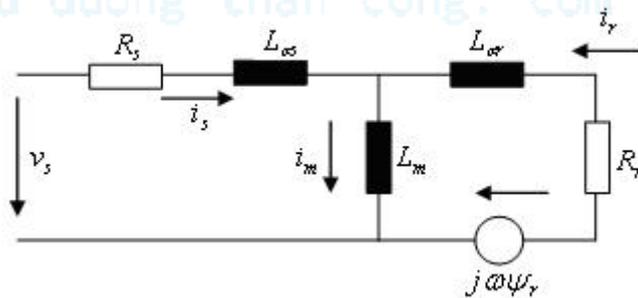
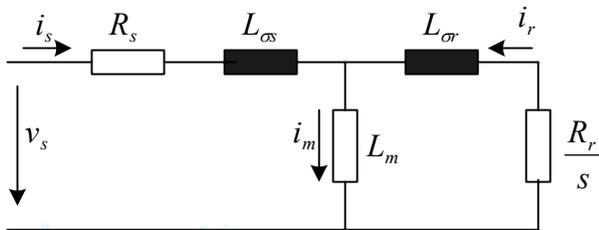
Mạch tương đương động cơ KĐB với tổn hao sắt từ



Mạch tương đương của động cơ KĐB



Mạch tương đương động cơ KĐB với dòng từ hoá



$$\underline{v}_{abc} = R_s \underline{i}_{abc} + \frac{d \underline{\psi}_{abc}}{dt}$$

$$\underline{v}_{ABC} = R_r' \underline{i}_{ABC} + \frac{d \underline{\psi}_{ABC}}{dt}$$

$$\underline{\psi}_{abc} = \underline{L}_s \underline{i}_{abc} + \underline{L}_{sr} \underline{i}_{ABC}$$

$$\underline{\psi}_{ABC} = \underline{L}_r \underline{i}_{ABC} + \underline{L}_{sr}' \underline{i}_{abc}$$

$$\underline{v}_{abc} = [v_a \ v_b \ v_c]^t$$

$$\underline{i}_{abc} = [i_a \ i_b \ i_c]^t$$

$$\underline{v}_{ABC} = [v_A \ v_B \ v_C]^t$$

$$\underline{i}_{ABC} = [i_A \ i_B \ i_C]^t$$

$$\underline{L}_{sr} = L_{aA} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\underline{L}_s = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \quad \underline{L}_r = \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} \end{bmatrix}$$

Phương trình điện áp trên 3 cuộn dây stator:

$$\underline{u}_{sa}(t) = R_s \underline{i}_{sa}(t) + \frac{d\Psi_{sa}(t)}{dt} \tag{2.1a}$$

$$\underline{u}_{sb}(t) = R_s \underline{i}_{sb}(t) + \frac{d\Psi_{sb}(t)}{dt} \tag{2.1b}$$

$$\underline{u}_{sc}(t) = R_s \underline{i}_{sc}(t) + \frac{d\Psi_{sc}(t)}{dt} \tag{2.1c}$$

Biểu diễn điện áp theo dạng vector:

$$\underline{\bar{u}}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[\underline{u}_{sa}(t) + \underline{u}_{sb}(t)e^{j120^\circ} + \underline{u}_{sc}(t)e^{j240^\circ} \right] \tag{2.2}$$

Thay các phương trình điện áp pha (2.1a),(2.1b),(2.1c) vào (2.2), ta được:

Ví dụ 3.1: Chứng minh:

$$\underline{\bar{u}}_s^s(t) = R_s \cdot \underline{\bar{i}}_s^s(t) + \frac{d\bar{\Psi}_s^s(t)}{dt} \tag{2.3}$$

Trong đó, tương tự như đối với điện áp:

$$\underline{\bar{i}}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[\underline{i}_{sa}(t) + \underline{i}_{sb}(t)e^{j120^\circ} + \underline{i}_{sc}(t)e^{j240^\circ} \right] \tag{2.4}$$

$$\underline{\bar{\Psi}}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[\Psi_{sa}(t) + \Psi_{sb}(t)e^{j120^\circ} + \Psi_{sc}(t)e^{j240^\circ} \right] \tag{2.5}$$

Tương tự, ta có phương trình điện áp của mạch stator. Khi quan sát trên hệ qui chiếu rotor (rotor ngắn mạch):

$$\underline{\bar{u}}_r^r(t) = \underline{\bar{0}} = R_r \underline{\bar{i}}_r^r(t) + \frac{d\bar{\Psi}_r^r(t)}{dt} \tag{2.6}$$

Các vector từ thông stator và rotor quan hệ với các dòng stator và rotor:

Ví dụ 3.2: Chứng minh:

$$\underline{\bar{\Psi}}_s = L_s \underline{\bar{i}}_s + L_m \underline{\bar{i}}_r \tag{2.7a}$$

$$\underline{\bar{\Psi}}_r = L_m \underline{\bar{i}}_s + L_r \underline{\bar{i}}_r \tag{2.7b}$$

$$\underline{\bar{\Psi}}_m = L_m \underline{\bar{i}}_m = L_m (\underline{\bar{i}}_s + \underline{\bar{i}}_r) \tag{2.7b}$$

Ví dụ 3.3: Chứng minh: $L_m = 3/2 L_{aA}$?

ĐCKĐB là một hệ điện cơ, có phương trình momen:

$$t_e = \frac{1}{2} \underline{\bar{i}}^T \frac{d\underline{L}}{d\theta} \underline{\bar{i}}$$

$$T_e = -L_{\alpha A} \left\{ \sin \theta (i_a i_A + i_b i_B + i_c i_C) + \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) (i_a i_C + i_b i_A + i_c i_B) + \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) (i_a i_B + i_b i_C + i_c i_A) \right\}$$

$$T_e = \frac{3}{2} P(\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s) = -\frac{3}{2} P(\vec{\psi}_r \times \vec{i}_r) \quad (2.8)$$

Ví dụ 3.4: Chứng minh:

$$T_e = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} (\vec{\psi}_r \times \vec{i}_s) = \frac{3}{2} P (\vec{\psi}_m \times \vec{i}_s) = \frac{3}{2} P L_m (\vec{i}_r \times \vec{i}_s)$$

và phương trình chuyển động:

$$T_e = T_L + \frac{J}{P} \frac{d\omega}{dt} \quad (2.9)$$

❖ Việc xây dựng các mô hình cho ĐCKĐB ba pha trong các phần sau đều phải dựa trên các phương trình cơ bản trên đây của động cơ.

❖ II. Mô hình liên tục của ĐCKĐB trên hệ tọa độ stator (tọa độ $\alpha\beta$)

Tương tự như (1.13), từ hệ quy chiếu rotor quy về hệ quy chiếu stator theo các phương trình:

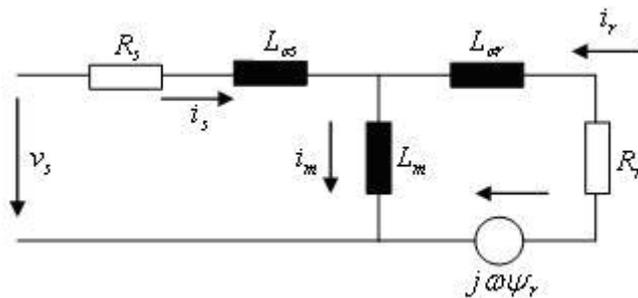
Ví dụ 3.5: Chứng minh: $\vec{i}_r = \vec{i}_s e^{-j\theta}$ (2.10)

Và $\vec{\psi}_r = \vec{\psi}_s e^{-j\theta}$ (2.11)

với $\frac{d\theta}{dt} = \omega$, trong đó ω là tốc độ quay của rotor (theo hình 2.3).

Thay pt (2.10) và pt (2.11) vào pt (2.6), qui pt (2.6) về hệ quy chiếu stator:

Ví dụ 3.6: Chứng minh: $0 = R_r \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} - j\omega \vec{\psi}_r$ (2.12)



Sơ đồ mạch điện tương đương của mô hình động của ĐCKĐB trong HTĐ stator

Vậy từ các pt (2.3), (2.7), (2.8), (2.9) và (2.12) ta có hệ phương trình:

$$\vec{u}_s = R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} \quad (2.13a)$$

$$0 = R_r \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} - j\omega \vec{\psi}_r \quad (2.13b)$$

$$\vec{\psi}_s = L_s \vec{i}_s + L_m \vec{i}_r \quad (2.13c)$$

$$\vec{\psi}_r = L_m \vec{i}_s + L_r \vec{i}_r \quad (2.13d)$$

$$\boxed{T_e = \frac{3}{2} p(\bar{\psi}_s \times \bar{i}_s) = -\frac{3}{2} p(\bar{\psi}_r \times \bar{i}_r)} \quad (2.13e)$$

$$\boxed{T_e = T_L + \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt}} \quad (2.13f)$$

Để xác định **dòng điện stator** và **từ thông rotor**, từ pt (2.13d) và pt (2.13c) có:

$$\bar{i}_r^s = \frac{1}{L_r} (\bar{\psi}_r^s - L_m \bar{i}_s^s) \quad (2.14)$$

$$\bar{\Psi}_s^s = L_s \bar{i}_s^s + \frac{L_m}{L_r} (\bar{\Psi}_r^s - L_m \bar{i}_s^s) \quad (2.15)$$

Thay (2.14) và (2.15) vào (2.13a) và (2.13b), với các định nghĩa sau:

- $T_s = \frac{L_s}{R_s}$: hằng số thời gian stator.
- $T_r = \frac{L_r}{R_r}$: hằng số thời gian rotor.
- $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$: hệ số từ tản tổng.

Phương trình (2.13a) và (2.13b) trở thành:

$$\bar{u}_s^s = R_s \bar{i}_s^s + \sigma L_s \frac{d\bar{i}_s^s}{dt} + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\bar{\psi}_r^s}{dt} \quad (2.16)$$

$$0 = -\frac{L_m}{T_r} \bar{i}_s^s + \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\psi}_r^s + \frac{d\bar{\psi}_r^s}{dt} \quad (2.17)$$

suy ra:

$$\frac{d\bar{\psi}_r^s}{dt} = \frac{L_m}{T_r} \bar{i}_s^s - \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\psi}_r^s \quad (2.19)$$

Thay (2.19) vào (2.16):

$$\frac{d\bar{i}_s^s}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) \bar{i}_s^s + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\psi}_r^s + \frac{1}{\sigma L_s} \bar{u}_s^s \quad (2.20)$$

$$\frac{d\bar{\psi}_r^s}{dt} = \frac{L_m}{T_r} \bar{i}_s^s - \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \bar{\psi}_r^s \quad (2.21)$$

Chuyển sang dạng các thành phần của vector trên hai trục toạ độ:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{s\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \psi_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\alpha} \quad (2.22a)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{s\beta} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \psi_{r\beta} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \psi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\beta} \quad (2.22b)$$

$$\frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \psi_{r\alpha} - \omega \psi_{r\beta} \quad (2.22c)$$

$$\frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} - \frac{1}{T_r} \psi_{r\beta} + \omega \psi_{r\alpha} \quad (2.22d)$$

Thay pt (2.14) $\bar{i}_r^s = \frac{1}{L_r} (\bar{\psi}_r^s - L_m \bar{i}_s^s)$

vào pt (2.13e), có:

$$T_e = -\frac{3}{2}p \left[\vec{\psi}_r^s \times (\vec{\psi}_r^s - L_m \vec{i}_s^s) \frac{1}{L_r} \right] = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} (\vec{\psi}_r^s \times \vec{i}_s^s)$$

Thay các thành phần của vector từ thông rotor và dòng stator, được:

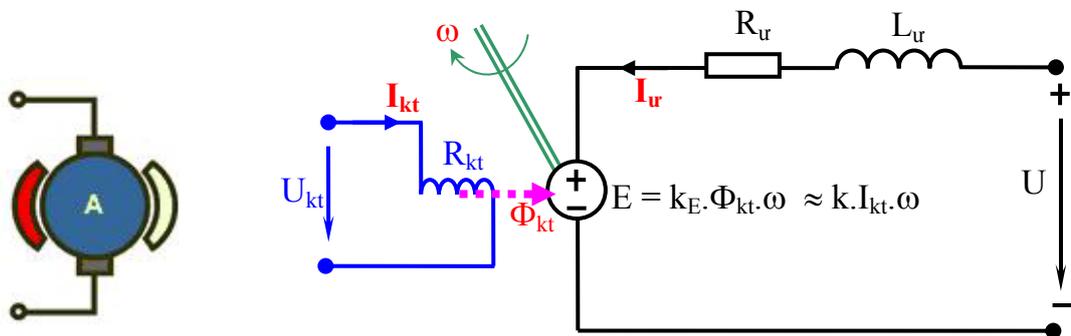
Ví dụ 3.7: Chứng minh:

$$T_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} i_{s\alpha}) \tag{2.24}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{p}{J} [T_e - T_L]$$

❖ Mô hình toán động cơ DC

Mạch tương đương của động cơ DC :



cuuduongthancong.com

Phương trình mạch vòng điện áp cho phần ứng của động cơ.

$$U = E + R_u i_u + L_u \frac{di_u}{dt}$$

Trong đó : $E = K \phi \omega$

$$\phi_{kt} \approx k_{kt} \cdot i_{kt}$$

Phương trình cân bằng moment trên trục động cơ :

$$T_e = T_L + J \frac{d\omega}{dt} + B \omega$$

Trong đó : $T_e = k \cdot \phi \cdot i_u$

J - Moment quán tính của hệ thống quy đổi về trục động cơ.

B - Hệ số ma sát

T_L - Moment cản quy đổi về trục động cơ.

cuuduongthancong.com

Ap dụng biến đổi laplace, từ các phương trình trên, có **mô hình động cơ DC**:

$$V(s) = E(s) + R_u I_u(s) + L_u s I_u(s)$$

$$E(s) = K \phi \omega(s)$$

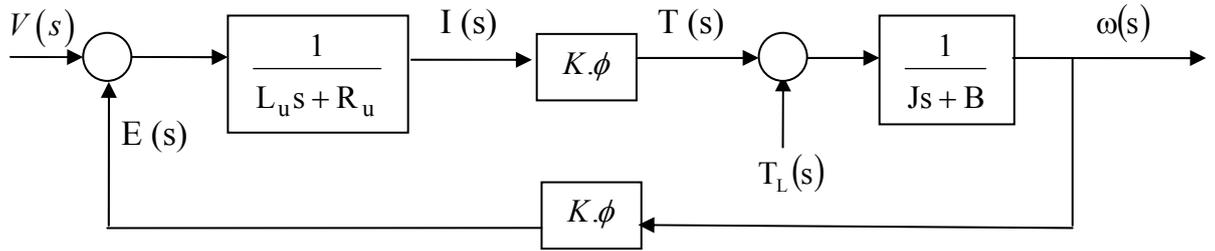
$$T(s) = T_L(s) + B \omega(s) + J s \omega(s)$$

$$T(s) = k \phi i_u(s)$$

$$\Rightarrow I_u(s) = \frac{V(s) - E(s)}{L_u s + R_u}$$

$$\Rightarrow \omega(s) = \frac{T(s) - T_L(s)}{J s + B}$$

Sơ đồ khối mô hình động cơ DC:



❖ III. Mô hình của ĐCKĐB trên hệ tọa độ từ thông rotor (tọa độ dq)

Theo hệ pt (1.17), biểu diễn pt (2.3) và pt (2.6) lên hệ trục tọa độ từ thông rotor (hệ trục dq):

$$\vec{u}_s^s(t) = R_s \cdot \vec{i}_s^s(t) + \frac{d\vec{\Psi}_s^s(t)}{dt} \tag{2.3}$$

$$\vec{u}_r^r(t) = \vec{0} = R_r \cdot \vec{i}_r^r(t) + \frac{d\vec{\Psi}_r^r(t)}{dt} \tag{2.6}$$

Với

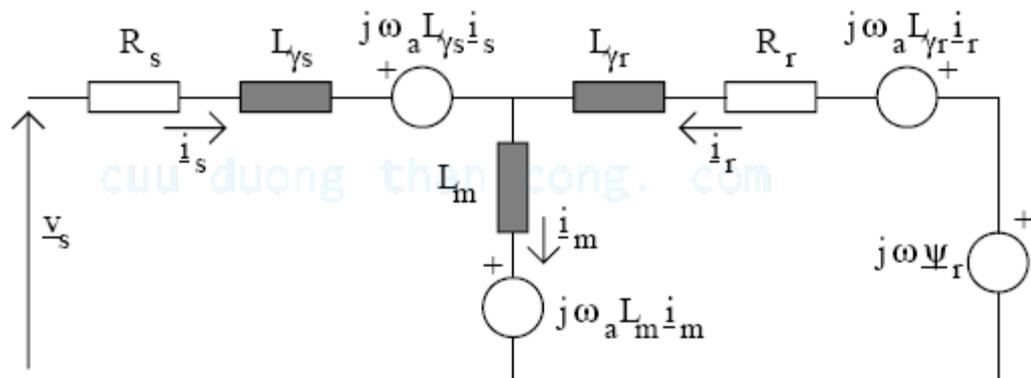
$$\vec{i}_s^s = \vec{i}_r^f e^{j\omega_r t} = \vec{i}_r^f e^{j\phi_r}$$

$$\vec{i}_r^r = \vec{i}_r^f e^{j(\omega_s - \omega)t} = \vec{i}_r^f e^{j(\omega_s - \omega)t}$$

Ví dụ 3.8: Chứng minh:

$$\vec{u}_s^f = R_s \vec{i}_s^f + j\omega_s \vec{\Psi}_s^f + \frac{d\vec{\Psi}_s^f}{dt} \tag{2.29a}$$

$$0 = R_r \vec{i}_r^f + j\omega_{sl} \vec{\Psi}_r^f + \frac{d\vec{\Psi}_r^f}{dt} \tag{2.29b}$$



Sơ đồ mạch điện tương đương của mô hình động của ĐCKĐB trong HTĐ dq

Kết hợp với hai pt trên với hệ phương trình (2.7), có hệ phương trình:

$$\vec{u}_s^f = R_s \vec{i}_s^f + j\omega_s \vec{\Psi}_s^f + \frac{d\vec{\Psi}_s^f}{dt} \quad (2.30a)$$

$$0 = R_r \vec{i}_r^f + j(\omega_s - \omega) \vec{\Psi}_r^f + \frac{d\vec{\Psi}_r^f}{dt} \quad (2.30b)$$

$$\vec{\Psi}_s^f = L_s \vec{i}_s^f + L_m \vec{i}_r^f \quad (2.30c)$$

$$\vec{\Psi}_r^f = L_m \vec{i}_s^f + L_r \vec{i}_r^f \quad (2.30d)$$

Suy ra

$$\vec{i}_r^f = \frac{1}{L_r} (\Psi_r^f - L_m \vec{i}_s^f)$$

$$\Psi_s^f = \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \right) \vec{i}_s^f + \frac{L_m}{L_r} \Psi_r^f$$

Thực hiện tương tự đối với việc xây dựng mô hình động cơ trên hệ tọa độ $\alpha\beta$, khử các biến \vec{i}_r^f và $\vec{\Psi}_s^f$, được hệ sau:

$$\frac{d\vec{i}_s^f}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) \vec{i}_s^f - j\omega_s \vec{i}_s^f + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \vec{\Psi}_r^f + \frac{1}{\sigma L_s} \vec{u}_s^f$$

$$\frac{d\vec{\Psi}_r^f}{dt} = \frac{L_m}{T_r} \vec{i}_s^f - \left(\frac{1}{T_r} + j\omega_{sl} \right) \vec{\Psi}_r^f$$

Chuyển sang dạng các thành phần của vector trên hai trục tọa độ:

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \Psi_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sd} \quad (2.31a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{sq} - \omega_s i_{sd} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \Psi_{rq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \quad (2.31b)$$

$$\frac{d\Psi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rd} + \omega_{sl} \Psi_{rq} \quad (2.31c)$$

$$\frac{d\Psi_{rq}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sq} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rq} - \omega_{sl} \Psi_{rd} \quad (2.31d)$$

Trong hệ tọa độ dq, $\Psi_{rq}=0$ do vuông góc với vector $\vec{\Psi}_r^f$ nên $|\vec{\Psi}_r^f| = \Psi_{rd}$.

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \Psi_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sd} \quad (2.32a)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{sq} - \omega_s i_{sd} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \quad (2.32b)$$

$$\frac{d\Psi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rd} \quad (2.32c)$$

$$\boxed{\frac{d\Psi_{rq}}{dt} = 0} \quad (2.32d)$$

và $\frac{L_m}{T_r} i_{sq} = \omega_{sl} \Psi_{rd}$

Ví dụ 3.9: Chứng minh: $\psi_r = \psi_{rd} = \frac{L_m}{1+T_r S} i_{sd}$

Ví dụ 3.10: Chứng minh: $\omega_{sl} = \frac{L_m}{T_r} \frac{i_{sq}}{\psi_r}$

Phương trình moment:

Thay $\Psi_s^f = \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \right) \vec{i}_s^f + \frac{L_m}{L_r} \Psi_r^f$ (2.33)

Vào: $T_e = \frac{3}{2} p (\vec{\Psi}_s^f \times \vec{i}_s^f) = \frac{3}{2} p \left(\frac{L_m}{L_r} \vec{\Psi}_r^f \times \vec{i}_s^f \right) = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{rd} i_{sq} - \Psi_{rq} i_{sd})$ (2.34)

có $T_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{rd} i_{sq} - \Psi_{rq} i_{sd})$ (2.35)

với tốc độ trượt: $\boxed{\omega_{sl} = \omega_r - \omega} = \frac{L_m}{T_r} \frac{i_{sq}}{\Psi_{rd}}$ (2.36)

Ví dụ 3.11: Chứng minh: $T_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd})$

Ví dụ 3.12:

$$T_e = \frac{3}{2} P (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} (\psi_{dr} i_{qs} - \psi_{qr} i_{ds})$$

$$T_e = \frac{3}{2} P (\psi_{dm} i_{qs} - \psi_{qm} i_{ds}) = \frac{3}{2} P L_m (i_{dr} i_{qs} - i_{qr} i_{ds})$$

$$\boxed{T_e = T_L + \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt} = \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt}} \quad (2.37)$$

Trong hệ tọa độ từ thông rotor (hệ tọa độ dq), các vector dòng stator \vec{i}_s^f và vector từ thông rotor $\vec{\psi}_r^f$, cùng với hệ tọa độ dq quanh (gần) đồng bộ với nhau với tốc độ ω_s quanh điểm gốc, do đó các phần tử của vector \vec{i}_s^f (i_{sd} và i_{sq}) là các đại lượng một chiều. Trong chế độ xác lập, các giá trị này gần như không đổi; trong quá trình quá độ, các giá trị này có thể biến theo một thuật toán điều khiển đã được định trước.

Hơn nữa, trong hệ tọa độ dq, $\psi_{rq}=0$ do vuông góc với vector $\vec{\psi}_r^f$ nên $|\vec{\psi}_r^f| = \psi_{rd}$.

Đối với ĐCKĐB 3 pha, trong hệ tọa độ dq, **từ thông** và **mômen quay** được biểu diễn theo các phần tử của vector dòng stator:

$$\begin{cases} \psi_r = \psi_{rd} = \frac{L_m}{1 + T_r s} i_{sd} \\ T_e = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} p \psi_{rd} i_{sq} = T_L + \frac{J}{P} \frac{d\omega}{dt} \end{cases}$$

(Hai phương trình trên được trình bày tựa theo phương trình (2.34c) và phương trình (2.34d) trong chương II).

Phương trình trên cho thấy có thể điều khiển từ thông rotor $\psi_{rd} = |\bar{\psi}_r|$ thông qua điều khiển dòng stator i_{sd} . Đặc biệt mối quan hệ giữa hai đại lượng này là mối quan hệ trễ bậc nhất với thời hằng T_r .

Nếu thành công trong việc áp đặt nhanh và chính xác dòng i_{sd} để điều khiển ổn định từ thông ψ_{rd} tại mọi điểm làm việc của động cơ. Và thành công trong việc áp đặt nhanh và chính xác dòng i_{sq} , và theo pt (1.20b) thì có thể coi i_{sq} là đại lượng điều khiển của momen T_e của động cơ.

Bằng việc mô tả ĐCKĐB ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor, không còn quan tâm đến từng dòng điện pha riêng lẻ nữa, mà là toàn bộ vector không gian dòng stator của động cơ. Khi đó vector \vec{i}_s sẽ cung cấp hai thành phần: i_{sd} để điều khiển từ thông rotor $|\bar{\psi}_r|$, i_{sq} để điều khiển momen quay T_e , từ đó có thể điều khiển tốc độ của động cơ.

$$\begin{cases} i_{sd} \rightarrow |\bar{\psi}_r| \\ i_{sq} \rightarrow T_e \rightarrow \omega \end{cases} \quad \begin{matrix} () \\ () \end{matrix}$$

Khi đó, phương pháp mô tả ĐCKĐB ba pha tương quan giống như đối với động cơ một chiều. Cho phép xây dựng hệ thống điều chỉnh truyền động ĐCKĐB ba pha tương tự như trường hợp sử dụng động cơ điện một chiều. Điều khiển tốc độ ĐCKĐB ba pha ω thông qua điều khiển hai phần tử của dòng điện \vec{i}_s là i_{sd} và i_{sq} .

Ưu điểm khi của mô hình toán của ĐCKĐB trong HTĐ dq so với HTĐ $\alpha\beta$:

1. Các đại lượng không biến thiên dạng sin theo thời gian.
2. Hệ phương trình đơn giản hơn ($\psi_{rq}=0$).
3. Phân ly điều khiển từ thông rotor $|\bar{\psi}_r|$ và momen T_e (tốc độ ω).
4. Gần giống với điều khiển động cơ một chiều.

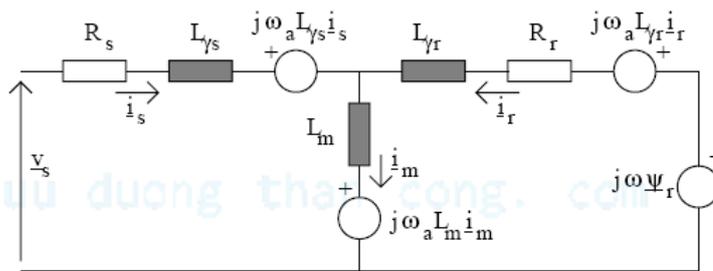
$$T_e = \frac{3}{2} P \left(\Psi_{ds} i_{qs} - \Psi_{qs} i_{ds} \right) = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} \left(\Psi_{dr} i_{qs} - \Psi_{qr} i_{ds} \right)$$

$$T_e = \frac{3}{2} P \left(\Psi_{dm} i_{qs} - \Psi_{qm} i_{ds} \right) = \frac{3}{2} P L_m \left(i_{dr} i_{qs} - i_{qr} i_{ds} \right)$$

$$T_e = \frac{3}{2} P(\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s) = -\frac{3}{2} P(\vec{\psi}_r \times \vec{i}_r) = \frac{3}{2} P(\vec{\psi}_m \times \vec{i}_s) \quad ??? \quad (2.8)$$

Bài tập 1.1. Từ pt:
$$\vec{u}_r^i(t) = \vec{0} = R_r \vec{i}_r^i(t) + \frac{d\vec{\Psi}_r^i(t)}{dt}$$

CM:



cuu duong than cong. com