

3. MÔ HÌNH ĐỘNG CƠ CẢM ỨNG

3.1. Các phương trình của động cơ cảm ứng

- Dòng điện AC chạy trong cuộn dây stator và rotor
- Dòng điện AC chạy trong cuộn dây stator sinh ra từ trường quay có tốc độ đồng bộ, n_s :

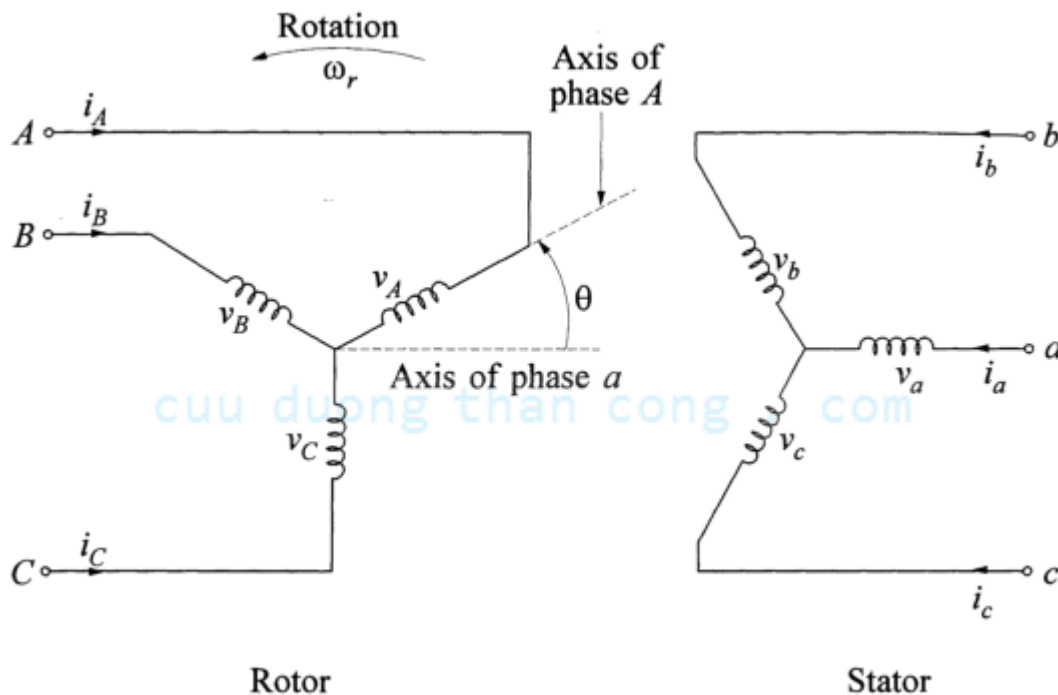
$$n_s = \frac{120f_s}{p_f} \quad (1)$$

f_s là tần số của dòng điện stator; p_f là số cực

- Khi có chuyển động tương đối giữa từ trường quay stator và rotor, điện áp cảm ứng trong cuộn dây rotor có tần số $f_r = sf_s$, phụ thuộc vào độ trượt s :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2)$$

- Mạch điện tương đương của ĐC cảm ứng



Hình 1: Mạch stator và rotor của ĐC cảm ứng

$$\theta = \omega_r t \quad (3)$$

$$\theta = (1-s)\omega_s t \quad (4)$$

- Phương trình điện áp stator

$$\begin{aligned} v_a &= p\psi_a + R_s i_a \\ v_b &= p\psi_b + R_s i_b \\ v_c &= p\psi_c + R_s i_c \end{aligned} \quad (5)$$

- Phương trình điện áp rotor

$$\begin{aligned} v_A &= p\psi_A + R_r i_A \\ v_B &= p\psi_B + R_r i_B \\ v_C &= p\psi_C + R_r i_C \end{aligned} \quad (6)$$

- Từ thông móc vòng cuộn dây stator pha “a”

$$\psi_a = L_{aa} i_a + L_{ab}(i_b + i_c) + L_{aA}[i_A \cos\theta + i_B \cos(\theta + 120^\circ) + i_C \cos(\theta - 120^\circ)] \quad (7)$$

L_{aa} : Điện cảm tự thân của cuộn dây stator

L_{ab} : Điện cảm tương hỗ giữa các cuộn dây stator

L_{aA} : Giá trị cực đại của điện cảm tương hỗ giữa các cuộn dây stator và rotor

- Từ thông móc vòng cuộn dây rotor pha “A”

$$\psi_A = L_{AA} i_A + L_{AB}(i_B + i_C) + L_{aA}[i_a \cos\theta + i_b \cos(\theta - 120^\circ) + i_c \cos(\theta + 120^\circ)] \quad (8)$$

L_{AA} : Điện cảm tự thân của cuộn dây rotor

L_{AB} : Điện cảm tương hỗ giữa các cuộn dây rotor

L_{aA} : Giá trị cực đại của điện cảm tương hỗ giữa các cuộn dây stator và rotor

- Do không có dây trung tính nên

$$\begin{aligned}i_a + i_b + i_c &= 0 \\i_A + i_B + i_C &= 0\end{aligned}\quad (9)$$

Đặt:

$$\begin{aligned}L_{ss} &= L_{aa} - L_{ab} \\L_{rr} &= L_{AA} - L_{AB}\end{aligned}\quad (10)$$

Biểu thức từ thông móc vòng trở thành:

$$\begin{aligned}\psi_a &= L_{ss} i_a + L_{aA} [i_A \cos \theta + i_B \cos(\theta + 120^\circ) + i_C \cos(\theta - 120^\circ)] \\ \psi_A &= L_{rr} i_A + L_{aA} [i_a \cos \theta + i_b \cos(\theta - 120^\circ) + i_c \cos(\theta + 120^\circ)]\end{aligned}\quad (11)$$

- Biến đổi d-q

Các phương trình trên có thể được đơn giản bằng các biến đổi các biến pha thành các thành phần dọc theo các trục quay với tốc độ đồng bộ d-q, với trục q vượt trước trục d 90° theo chiều quay của rotor. Nếu trục d được chọn sao cho tại thời điểm $t = 0$ trục d trùng với trục của pha a, thì tại thời điểm bất kỳ góc hợp bởi trục d và trục pha a là $\omega_s t$.

Dòng điện stator dọc trục và ngang trục:

$$\begin{aligned}i_{ds} &= \frac{2}{3} [i_a \cos \omega_s t + i_b \cos(\omega_s t - 120^\circ) + i_c \cos(\omega_s t + 120^\circ)] \\ i_{qs} &= -\frac{2}{3} [i_a \sin \omega_s t + i_b \sin(\omega_s t - 120^\circ) + i_c \sin(\omega_s t + 120^\circ)]\end{aligned}\quad (12)$$

Biến đổi ngược:

$$\begin{aligned}i_a &= i_{ds} \cos \omega_s t - i_{qs} \sin \omega_s t \\i_b &= i_{ds} \cos(\omega_s t - 120^\circ) - i_{qs} \sin(\omega_s t - 120^\circ) \\i_c &= i_{ds} \cos(\omega_s t + 120^\circ) - i_{qs} \sin(\omega_s t + 120^\circ)\end{aligned}\quad (13)$$

Phép biến đổi từ đại lượng pha sang đại lượng dq cũng được áp dụng cho từ thông móc vòng và điện áp stator

Gọi θ_r là góc trục d vượt trước trục pha A của rotor, trục d vượt trước rotor với tốc độ:

$$\frac{d\theta_r}{dt} = p\theta_r = s\omega_s \quad (14)$$

Phép biến đổi đại lượng pha thành đại lượng dq và ngược lại:

$$\begin{aligned}i_{dr} &= \frac{2}{3}[i_A \cos \theta_r + i_B \cos(\theta_r - 120^\circ) + i_C \cos(\theta_r + 120^\circ)] \\i_{qr} &= -\frac{2}{3}[i_A \sin \theta_r + i_B \sin(\theta_r - 120^\circ) + i_C \sin(\theta_r + 120^\circ)]\end{aligned}\quad (15)$$

$$\begin{aligned}i_A &= i_{dr} \cos \theta_r - i_{qr} \sin \theta_r \\i_B &= i_{dr} \cos(\theta_r - 120^\circ) - i_{qr} \sin(\theta_r - 120^\circ) \\i_C &= i_{dr} \cos(\theta_r + 120^\circ) - i_{qr} \sin(\theta_r + 120^\circ)\end{aligned}\quad (16)$$

- Các phương trình cơ bản trong hệ quy chiếu dq:

Từ (4) và (14), ta có:

$$\theta = \omega_s t - \theta_r \quad (17)$$

Từ thông móc vòng stator:

$$\begin{aligned}\psi_{ds} &= L_{ss}i_{ds} + L_m i_{dr} \\ \psi_{qs} &= L_{ss}i_{qs} + L_m i_{qr}\end{aligned}\quad (18)$$

Từ thông móc vòng rotor:

$$\begin{aligned}\psi_{dr} &= L_{rr}i_{dr} + L_m i_{ds} \\ \psi_{qr} &= L_{rr}i_{qr} + L_m i_{qs}\end{aligned}\quad (19)$$

Với $L_m = (3/2)L_{aA}$.

Điện áp stator:

$$\begin{aligned}v_{ds} &= R_s i_{ds} - \omega_s \psi_{qs} + p \psi_{ds} \\ v_{qs} &= R_s i_{qs} + \omega_s \psi_{ds} + p \psi_{qs}\end{aligned}\quad (20)$$

Điện áp rotor:

$$\begin{aligned}v_{dr} &= R_r i_{dr} - (p\theta_r) \psi_{qr} + p \psi_{dr} \\ v_{qr} &= R_r i_{qr} + (p\theta_r) \psi_{dr} + p \psi_{qr}\end{aligned}\quad (21)$$

Với

$$p\theta_r = s\omega_s \quad (22)$$

Công suất tức thời đầu vào stator:

$$p_s = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (23)$$

$$p_s = \frac{3}{2}(v_{ds} i_{ds} + v_{qs} i_{qs}) \quad (24)$$

Công suất tức thời đầu vào rotor:

$$p_r = \frac{3}{2}(v_{dr} i_{dr} + v_{qr} i_{qr}) \quad (25)$$

Mô men:

$$T_e = \frac{3}{2}(\psi_{qr}i_{dr} - \psi_{dr}i_{qr})\frac{p_f}{2} \quad (26)$$

- Phương trình chuyển động:

$$T_e - T_m = J \frac{d\omega_m}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (27)$$

Trong đó T_m là mô men tải:

$$T_m = T_0(\bar{\omega}_r)^m \quad (28)$$

Hoặc

$$T_m = T_0[A\bar{\omega}_r^2 + B\bar{\omega}_r + C] \quad (29)$$

3.2. Các đặc tính ở chế độ xác lập

- Ở chế độ xác lập cân bằng, dòng điện stator:

$$\begin{aligned} i_a &= I_m \cos(\omega_s t + \alpha) \\ i_b &= I_m \cos(\omega_s t + \alpha - 120^\circ) \\ i_c &= I_m \cos(\omega_s t + \alpha + 120^\circ) \end{aligned} \quad (30)$$

Với α là góc pha của i_a .

$$i_{ds} = I_m \cos \alpha$$

$$i_{qs} = I_m \sin \alpha \quad (31)$$

Dòng điện stator có thể được viết lại:

$$\begin{aligned} i_s &= i_a = i_{ds} \cos \omega_s t - i_{qs} \sin \omega_s t \\ &= i_{ds} \cos \omega_s t + i_{qs} \cos(\omega_s t + 90^\circ) \end{aligned} \quad (32)$$

Hoặc

$$\tilde{I}_s = I_{ds} + jI_{qs} \quad (33)$$

Với I_s là giá trị hiệu dụng của dòng điện stator trong hệ đvtd.

$$I_{ds} = i_{ds}/\sqrt{2}$$

$$I_{qs} = i_{qs}/\sqrt{2}$$

- Tương tự, điện áp stator và dòng điện rotor:

$$\tilde{V}_s = (v_{ds} + jv_{qs})/\sqrt{2}$$

$$\tilde{I}_r = (i_{dr} + ji_{qr})/\sqrt{2} \quad (34)$$

- Ở chế độ xác lập thành phần $p\psi$ trong phương trình (20) và (21) bằng 0, nên

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_s L_{ss} i_{qs} - \omega_s L_m i_{qr}$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_s L_{ss} i_{ds} + \omega_s L_m i_{dr} \quad (35)$$

$$\tilde{V}_s = R_s \tilde{I}_s + j\omega_s L_{ss} \tilde{I}_s + j\omega_s L_m \tilde{I}_r$$

$$= R_s \tilde{I}_s + j\omega_s (L_{ss} - L_m) \tilde{I}_s + j\omega_s L_m (\tilde{I}_s + \tilde{I}_r)$$

$$= R_s \tilde{I}_s + jX_s \tilde{I}_s + jX_m (\tilde{I}_s + \tilde{I}_r) \quad (36)$$

Trong đó

$$X_s = \omega_s (L_{ss} - L_m)$$

được gọi là điện kháng rò stator, và

$$X_m = \omega_s L_m$$

được gọi là điện kháng từ hóa.

- Với mạch rotor ngắn mạch, $v_{dr} = v_{qr} = 0$:

$$\begin{aligned}
v_{dr} &= 0 = R_r i_{dr} - s\omega_s (L_{rr} i_{qr} + L_m i_{qs}) \\
v_{qr} &= 0 = R_r i_{qr} + s\omega_s (L_{rr} i_{dr} + L_m i_{ds})
\end{aligned}
\tag{37}$$

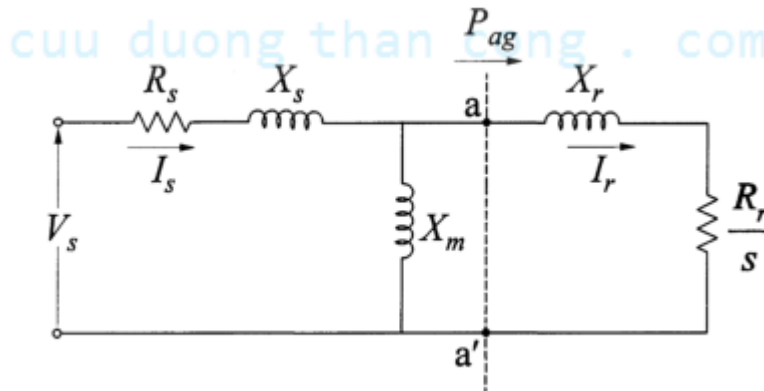
$$\begin{aligned}
\tilde{V}_r &= 0 = \frac{R_r}{s} \tilde{I}_r + j\omega_s L_{rr} \tilde{I}_r + j\omega_s L_m \tilde{I}_s \\
&= \frac{R_r}{s} \tilde{I}_r + jX_r \tilde{I}_r + jX_m (\tilde{I}_s + \tilde{I}_r)
\end{aligned}
\tag{38}$$

với

$$X_r = \omega_s (L_{rr} - L_m)$$

được gọi là điện kháng rò rotor.

- Mạch tương đương



Công suất truyền thông qua khe hở không khí

$$P_{ag} = \frac{R_r}{s} I_r^2 \tag{39}$$

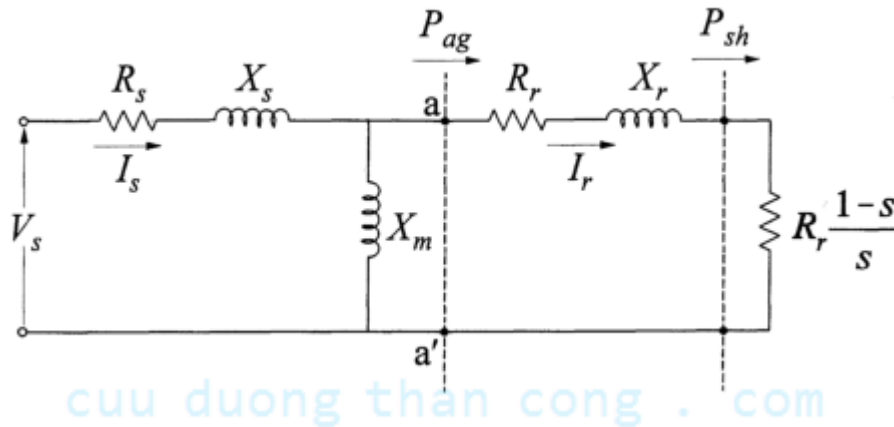
Công suất tổn thất trên điện trở rotor

$$P_{lr} = R_r I_r^2 \tag{40}$$

Công suất truyền đến trục rotor

$$\begin{aligned}
 P_{sh} &= P_{ag} - P_{lr} \\
 &= \frac{R_r}{s} I_r^2 - R_r I_r^2 \\
 &= R_r \frac{1-s}{s} I_r^2
 \end{aligned}
 \tag{41}$$

Mạch thay thế:



Mô men:

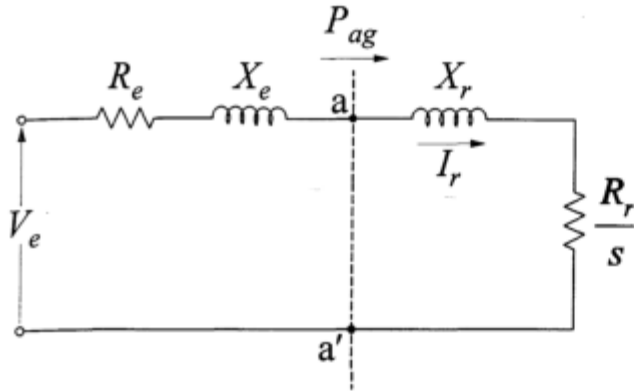
$$T_e = \frac{3P_{sh}}{\omega_m} \tag{42}$$

$$\begin{aligned}
 \omega_m &= \omega_r \frac{2}{p_f} \\
 &= \omega_s (1-s) \frac{2}{p_f}
 \end{aligned}$$

$$T_e = 3 \frac{p_f}{2} \frac{R_r}{s \omega_s} I_r^2 \tag{43}$$

- Đặc tính mô men – độ trượt

Mô hình thay thế:

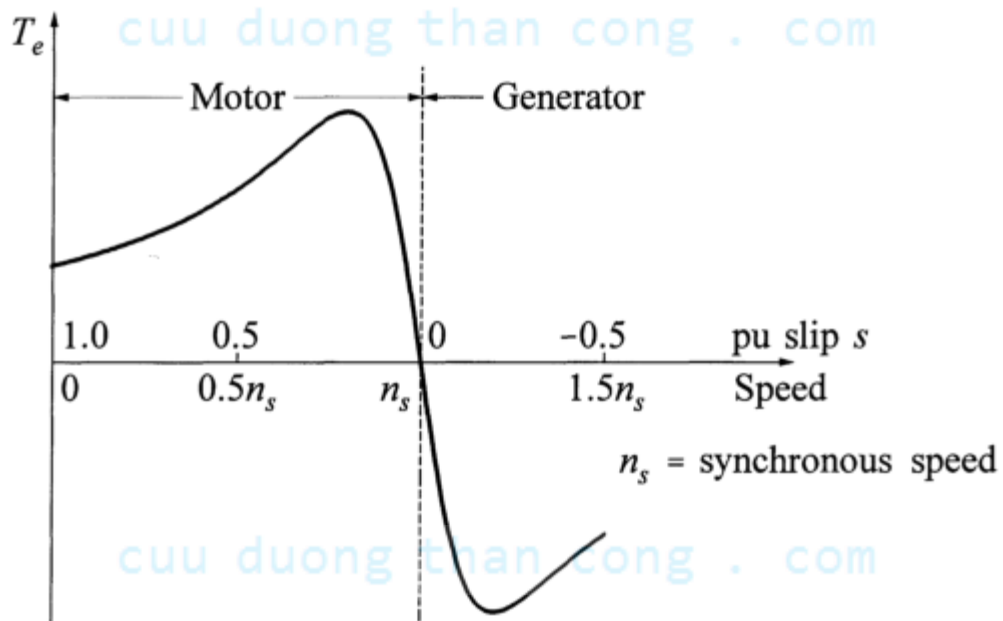


$$V_e = \frac{jX_m V_s}{R_s + j(X_s + X_m)}$$

$$R_e + jX_e = \frac{jX_m(R_s + jX_s)}{R_s + j(X_s + X_m)}$$

$$\tilde{I}_r = \frac{\tilde{V}_e}{(R_e + R_r/s) + j(X_e + X_r)} \quad (44)$$

$$T_e = 3 \frac{p_f}{2} \left(\frac{R_r}{s\omega_s} \right) \frac{V_e^2}{(R_e + R_r/s)^2 + (X_e + X_r)^2} \quad (45)$$



3.3. Biểu diễn các đại lượng trong hệ đơn vị tương đối

- Đại lượng cơ bản cho mạch stator

$$\begin{aligned} v_{s\text{ base}} &= \text{peak value of rated phase voltage, V} \\ i_{s\text{ base}} &= \text{peak value of rated phase current, A} \\ f_{\text{base}} &= \text{rated frequency, Hz} \end{aligned}$$

Giá trị cơ bản của các đại lượng khác:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{base}} &= 2\pi f_{\text{base}}, \text{ elec. rad/s} \\ \omega_{m\text{ base}} &= \omega_{\text{base}}(2/p_f), \text{ mech. rad/s} \\ Z_{s\text{ base}} &= v_{s\text{ base}}/i_{s\text{ base}}, \Omega \\ L_{s\text{ base}} &= v_{s\text{ base}}/(i_{s\text{ base}}\omega_{\text{base}}), \text{ H} \\ \psi_{s\text{ base}} &= v_{s\text{ base}}/\omega_{\text{base}}, \text{ Wb}\cdot\text{turns} \\ \text{3-phase VA}_{\text{base}} &= 3/2 (v_{s\text{ base}} i_{s\text{ base}}), \text{ VA} \\ \text{Torque base} &= 3/2 (p_f/2) \psi_{s\text{ base}} i_{s\text{ base}}, \text{ N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

- Phương trình điện áp stator trong hệ đvtd

$$\begin{aligned} v_{ds} &= R_s i_{ds} - \omega_s \psi_{qs} + p \psi_{ds} \\ \frac{v_{ds}}{v_{s\text{ base}}} &= \frac{R_s}{Z_{s\text{ base}}} \frac{i_{ds}}{i_{s\text{ base}}} - \frac{\omega_s}{\omega_{\text{base}}} \frac{\psi_{qs}}{\psi_{s\text{ base}}} + p \left(\frac{1}{\omega_{\text{base}}} \frac{\psi_{ds}}{\psi_{s\text{ base}}} \right) \\ \bar{v}_{ds} &= \bar{R}_s \bar{i}_{ds} - \bar{\omega}_s \bar{\psi}_{qs} + \bar{p} \bar{\psi}_{ds} \end{aligned} \tag{46}$$

Tương tự:

$$\bar{v}_{qs} = \bar{R}_s \bar{i}_{qs} + \bar{\omega}_s \bar{\psi}_{ds} + \bar{p} \bar{\psi}_{qs} \tag{47}$$

Với

$$\bar{p} \theta_r = \frac{1}{\omega_{\text{base}}} (p \theta_r) = s \bar{\omega}_s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \tag{48}$$

- Phương trình điện áp rotor trong hệ đvtd

$$\begin{aligned}
\bar{v}_{dr} &= \bar{R}_r \bar{i}_{dr} - (\bar{p} \theta_r) \bar{\psi}_{qr} + \bar{p} \bar{\psi}_{dr} \\
\bar{v}_{qr} &= \bar{R}_r \bar{i}_{qr} + (\bar{p} \theta_r) \bar{\psi}_{dr} + \bar{p} \bar{\psi}_{qr}
\end{aligned} \tag{49}$$

- Từ thông móc vòng

$$\begin{aligned}
\bar{\psi}_{ds} &= \bar{L}_{ss} \bar{i}_{ds} + \bar{L}_m \bar{i}_{dr} \\
\bar{\psi}_{qs} &= \bar{L}_{ss} \bar{i}_{qs} + \bar{L}_m \bar{i}_{qr} \\
\bar{\psi}_{dr} &= \bar{L}_{rr} \bar{i}_{dr} + \bar{L}_m \bar{i}_{ds} \\
\bar{\psi}_{qr} &= \bar{L}_{rr} \bar{i}_{qr} + \bar{L}_m \bar{i}_{qs}
\end{aligned} \tag{50}$$

- Mô men

$$\frac{T_e}{T_{base}} = \frac{3/2 (\psi_{qr} i_{dr} - \psi_{dr} i_{qr}) (p_f/2)}{3/2 (\psi_{sbase} i_{sbase}) (p_f/2)} \tag{51}$$

$$\bar{T}_e = \bar{\psi}_{qr} \bar{i}_{dr} - \bar{\psi}_{dr} \bar{i}_{qr} \tag{52}$$

- Phương trình chuyển động

$$\frac{T_e}{T_{base}} - \frac{T_m}{T_{base}} = J \left(\frac{\omega_{mbase}}{VA_{base}} \right) \omega_{mbase} P \left(\frac{\omega_m}{\omega_{mbase}} \right) \tag{53}$$

$$p(\bar{\omega}_r) = \frac{1}{2H} (\bar{T}_e - \bar{T}_m) \tag{54}$$

$$\bar{p}(\omega_r) = \frac{1}{2H\omega_{base}} (\bar{T}_e - \bar{T}_m) \tag{55}$$

Với

$$H = \frac{1}{2} \frac{J \omega_{m base}^2}{VA_{base}}$$

$$\bar{\omega}_r = \frac{\omega_m}{\omega_{m base}} = \frac{\omega_r / p_f}{\omega_{base} / p_f} = \frac{\omega_r}{\omega_{base}} \quad (56)$$

3.4. Biểu diễn động cơ điện trong nghiên cứu ổn định

- Trong nghiên cứu ổn định, các thành phần $p\psi_{ds}$ và $p\psi_{qs}$ trong phương trình điện áp stator được bỏ qua
- Phương trình điện áp stator

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_s \psi_{qs}$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_s \psi_{ds} \quad (57)$$

- Phương trình điện áp rotor

$$v_{dr} = 0 = R_r i_{dr} - p\theta_r \psi_{qr} + p\psi_{dr}$$

$$v_{qr} = 0 = R_r i_{qr} + p\theta_r \psi_{dr} + p\psi_{qr} \quad (58)$$

- Từ thông móc vòng

$$\psi_{ds} = L_{ss} i_{ds} + L_m i_{dr}$$

$$\psi_{qs} = L_{ss} i_{qs} + L_m i_{qr}$$

$$\psi_{dr} = L_m i_{ds} + L_{rr} i_{dr}$$

$$\psi_{qr} = L_m i_{qs} + L_{rr} i_{qr} \quad (59)$$

Với

$$L_{ss} = L_s + L_m \quad L_{rr} = L_r + L_m$$

- Khử dòng điện rotor:

$$i_{dr} = \frac{\psi_{dr} - L_m i_{ds}}{L_{rr}} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} \psi_{ds} &= L_{ss} i_{ds} + \frac{L_m (\psi_{dr} - L_m i_{ds})}{L_{rr}} \\ &= \frac{L_m}{L_{rr}} \psi_{dr} + \left(L_{ss} - \frac{L_m^2}{L_{rr}} \right) i_{ds} \end{aligned} \quad (70)$$

$$\psi_{qs} = \frac{L_m}{L_{rr}} \psi_{qr} + \left(L_{ss} - \frac{L_m^2}{L_{rr}} \right) i_{qs} \quad (71)$$

Thay vào phương trình điện áp:

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - X'_s i_{qs} + v'_d \quad (72)$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + X'_s i_{ds} + v'_q \quad (73)$$

Với

$$\begin{aligned} v'_d &= -\frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} \psi_{qr} \\ v'_q &= \frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} \psi_{dr} \end{aligned} \quad (74)$$

Và

$$X'_s = \omega_s \left(L_{ss} - \frac{L_m^2}{L_{rr}} \right) \quad (75)$$

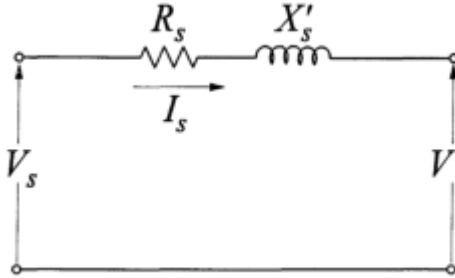
X'_s được gọi là điện kháng quá độ của động cơ cảm ứng.

- Phương trình điện áp stator

$$v_{ds} + jv_{qs} = (R_s + jX'_s)(i_{ds} + ji_{qs}) + (v'_d + jv'_q)$$

$$\tilde{V}_s = (R_s + jX'_s)\tilde{I}_s + \tilde{V}' \quad (76)$$

- Mạch điện tương đương:



V_s là điện áp đầu cực stator

V' là điện áp phía sau điện kháng quá độ

- Phương trình mô tả quá trình quá độ mạch rotor (điện áp sau điện kháng quá độ)

$$p(v'_d) = -\frac{1}{T'_0} [v'_d + (X_s - X'_s)i_{qs}] + p\theta_r v'_q$$

$$p(v'_q) = -\frac{1}{T'_0} [v'_q - (X_s - X'_s)i_{ds}] - p\theta_r v'_d$$

(77)

Với

$$T'_0 = \frac{L_r + L_m}{R_r} = \frac{L_{rr}}{R_r}$$

$$X_s = \omega_s(L_s + L_m) = \omega_s L_{ss}$$

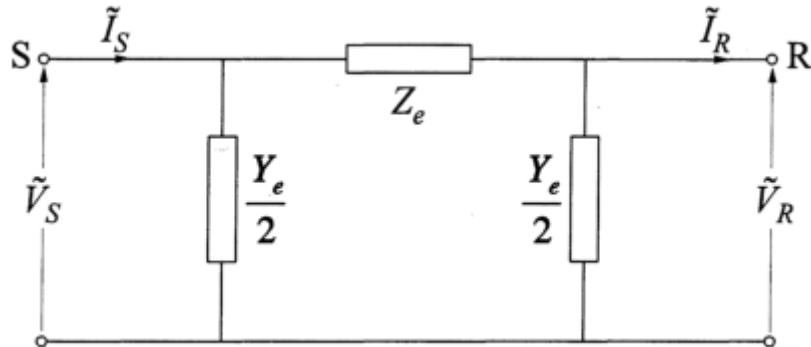
$$p\theta_r = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$$

(78)

T'_0 gọi là hằng số thời gian hờ mạch quá độ (đo bằng rad) của động cơ cảm ứng.

4. MÔ HÌNH ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI

- Mạch tương đương



$$Z_e = Z_C \sinh(\gamma l) \quad (79)$$

$$\begin{aligned} \frac{Y_e}{2} &= \frac{1}{Z_C} \frac{\cosh(\gamma l) - 1}{\sinh(\gamma l)} \\ &= \frac{1}{Z_C} \tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right) \end{aligned} \quad (80)$$

Với

$$\begin{aligned} Z_C &= \sqrt{z/y} \\ \gamma &= \sqrt{yz} = \alpha + j\beta \end{aligned} \quad (81)$$

- Nếu $\gamma l \ll 1$, Z_e và Y_e có thể xấp xỉ như sau:

$$\begin{aligned} Z_e &= Z_C \sinh(\gamma l) \\ &\approx Z_C(\gamma l) \\ &\approx zl = Z \end{aligned} \quad (82)$$

$$\begin{aligned}
\frac{Y_e}{2} &= \frac{1}{Z_c} \tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right) \\
&\approx \frac{1}{Z_c} \frac{\gamma l}{2} \\
&\approx \frac{y l}{2} = \frac{Y}{2}
\end{aligned}
\tag{83}$$

Mạch tương đương trong trường hợp này được gọi là mạch tương đương hình π định mức.

- Mô hình đường dây với chiều dài đường dây khác nhau:

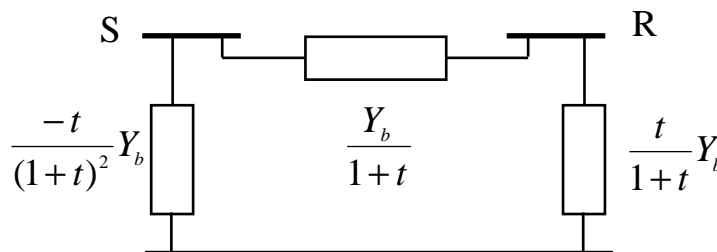
Đường dây ngắn: 80 km, bỏ qua nhánh song song

Đường dây trung bình: từ 80 km đến khoảng 200 km, dùng mô hình π định mức.

Đường dây dài: Dài hơn khoảng 200 km, dùng mô hình hình π tương đương

5. MÔ HÌNH MÁY BIẾN ÁP

- Mạch thay thế hình π :

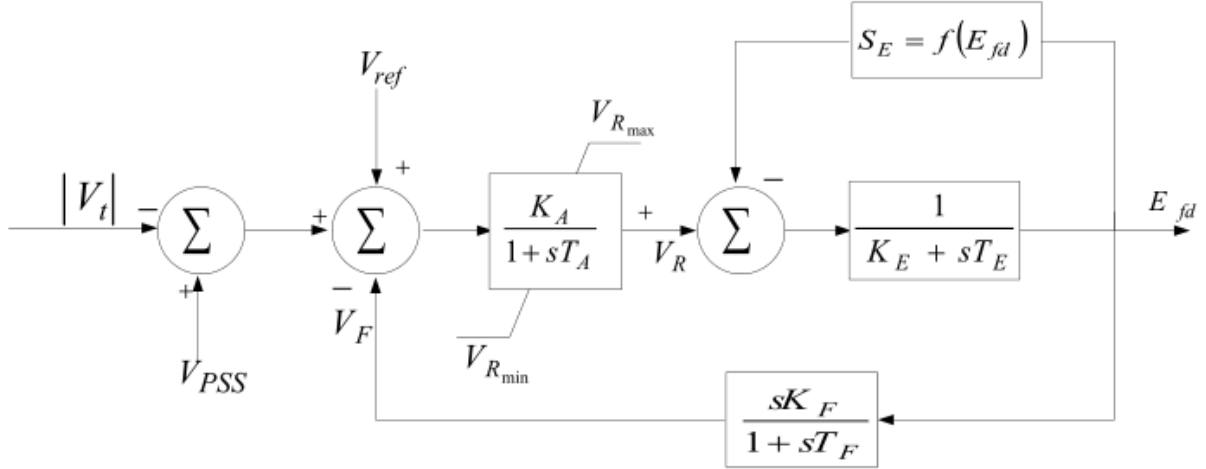


Trong mô hình trên, Y_b là tổng dẫn của máy biến áp; t là nấc phân áp; S và R là nút đầu gửi và nút đầu nhận của máy biến áp.

6. MÔ HÌNH HỆ THỐNG KÍCH THÍCH

6.1. Sơ đồ hệ thống kích thích IEEE loại I

- Có nhiều hệ thống được sử dụng, tuy nhiên trong nghiên cứu ổn định hệ thống kích thích IEEE loại I được sử dụng phổ biến.
- Sơ đồ khối của hệ thống kích thích IEEE loại I như sau:



- Các phương trình mô tả hệ thống kích thích:

$$T_E \frac{dE_{fd}}{dt} = -(K_E + S_E(E_{fd}))E_{fd} + V_R \quad (6.1)$$

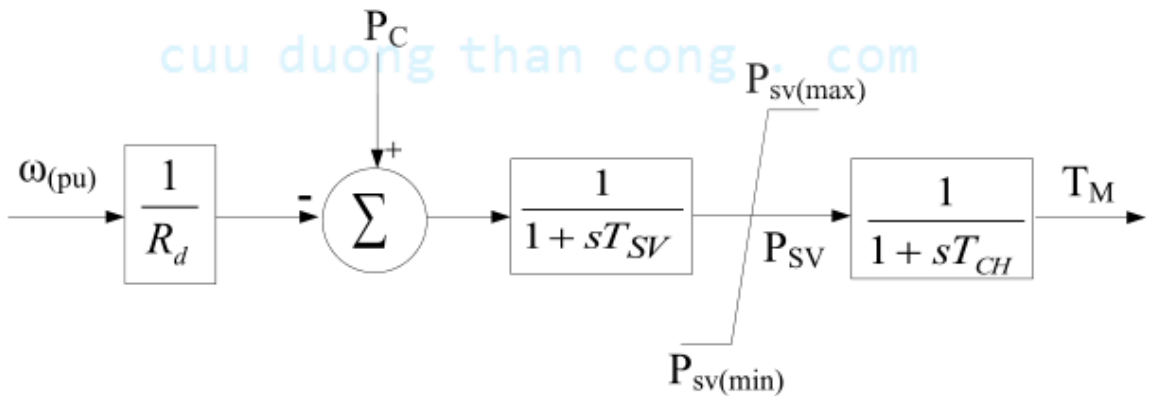
$$T_F \frac{dR_f}{dt} = -R_f + \frac{K_F}{T_F} E_{fd} \quad (6.2)$$

$$T_A \frac{dV_R}{dt} = -V_R + K_A R_f - \frac{K_A K_F}{T_F} E_{fd} + K_A (V_{ref} - |V_t| + V_{PSS}) \quad (6.3)$$

$$V_{Rmin} \leq V_R \leq V_{Rmax} \quad (6.4)$$

7. HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ VÀ TUA BIN

7.1. Sơ đồ khối



7.2. Phương trình mô tả

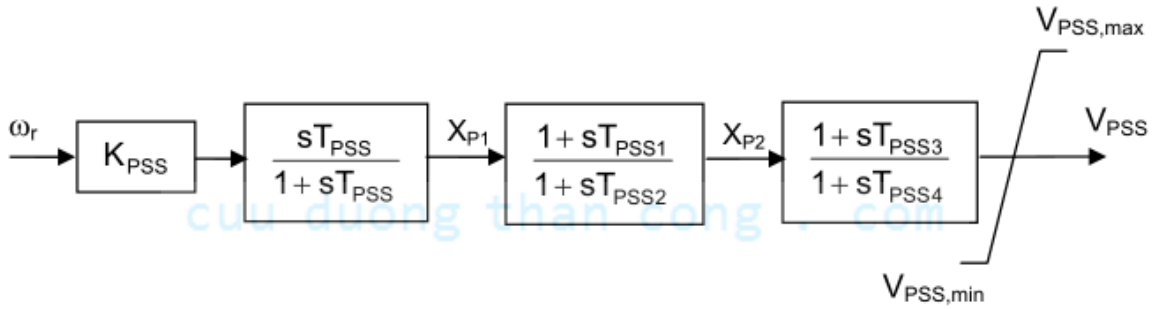
$$T_{CH} \frac{dT_M}{dt} = -T_M + P_{SV} \quad (7.1)$$

$$T_{SV} \frac{dP_{SV}}{dt} = -P_{SV} + P_C - \frac{1}{R_D} \left(\frac{\omega}{\omega_s} - 1 \right) \quad (7.2)$$

$$0 \leq P_{SV} \leq P_{SV \max} \quad (7.3)$$

8. Bộ ổn định hệ thống điện (PSS)

8.1. Sơ đồ



8.2. Hệ phương trình mô tả

$$\dot{X}_{p1} = -\frac{1}{T_{PSS}} X_{p1} + K_{PSS} \dot{\omega}_r$$

$$\dot{X}_{p2} = \frac{T_{PSS} - T_{PSS1}}{T_{PSS} T_{PSS2}} X_{p1} - \frac{1}{T_{PSS2}} X_{p2} + \frac{K_{PSS} T_{PSS1}}{T_{PSS2}} \dot{\omega}_r$$

$$\dot{V}_{PSS} = \frac{T_{PSS3}}{T_{PSS4}} \left(\frac{T_{PSS} - T_{PSS1}}{T_{PSS} T_{PSS2}} \right) X_{p1} + \frac{T_{PSS2} - T_{PSS3}}{T_{PSS2} T_{PSS4}} X_{p2} - \frac{1}{T_{PSS4}} V_{PSS} + \frac{K_{PSS} T_{PSS1} T_{PSS3}}{T_{PSS2} T_{PSS4}} \dot{\omega}_r$$