

THÍ NGHIỆM MÁY ĐIỆN

BÀI 2: MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

I. Giới thiệu

Động cơ không đồng bộ được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng. Mô phỏng quá trình hoạt động của động cơ không đồng bộ cũng được dùng phổ biến trong quá trình thiết kế các bộ truyền động công nghiệp, các hệ thống tự động hóa hiện đại. Do đó, bài thí nghiệm được xây dựng nhằm mục đích hướng dẫn sinh viên thực hiện mô phỏng động cơ không đồng bộ 3 pha, rotor lồng sóc bằng phần mềm Matlab/Simulink.

II. Mô hình động của động cơ không đồng bộ 3 pha

Mô hình động của động cơ không đồng bộ bao gồm hệ phương trình vi phân bậc nhất cho phép xác định trạng thái tức thời của động cơ, từ đó có thể khảo sát vận tốc rotor, dòng stator trên mỗi pha, moment điện từ, từ thông stator và rotor trong quá trình khởi động, chuyển tiếp hay ổn định.

Hệ phương trình vi phân biểu diễn mô hình động của máy điện không đồng bộ được trình bày trong các phương trình sau:

$$[\underline{v}_{abc}] = [\underline{R}_s][\underline{i}_{abc}] + d[\underline{\psi}_{abc}]/dt \quad (1)$$

$$\begin{aligned} [\underline{v}_{ABC}] &= [\underline{R}_r][\underline{i}_{ABC}] + d[\underline{\psi}_{ABC}]/dt \\ [\underline{\psi}_{abc}] &= [\underline{L}_s][\underline{i}_{abc}] + [\underline{L}_{sr}][\underline{i}_{ABC}] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} [\underline{\psi}_{ABC}] &= [\underline{L}_r][\underline{i}_{ABC}] + [\underline{L}_{sr}^t][\underline{i}_{abc}] \\ T_e - T_L &= \frac{J}{P} \frac{d\omega_r}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó, các ma trận được định nghĩa như sau:

$$[\underline{v}_{abc}] = \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad [\underline{i}_{abc}] = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad [\underline{v}_{ABC}] = \begin{bmatrix} v_A \\ v_B \\ v_C \end{bmatrix} \quad [\underline{i}_{ABC}] = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[\underline{L}_{sr}] = L_{aA} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta + 4\pi/3) \\ \cos(\theta + 4\pi/3) & \cos \theta & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta + 4\pi/3) & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\underline{[L_s]} = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \quad \underline{[L_r]} = \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} \end{bmatrix} \quad (6)$$

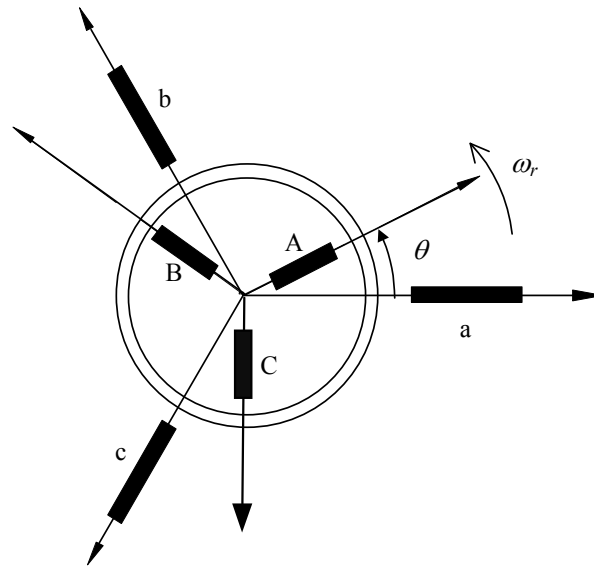
$$\underline{[R_s]} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad \underline{[R_r]} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \quad (7)$$

Phương trình moment điện từ của máy có được từ mô hình của các phương trình (1) – (7) như sau:

$$T_e = -L_{aA}[\sin \theta(i_a i_A + i_b i_B + i_c i_C) + \sin(\theta + 4\pi/3)(i_a i_C + i_b i_A + i_c i_B) + \sin(\theta + 2\pi/3)(i_a i_B + i_b i_C + i_c i_A)] \quad (8)$$

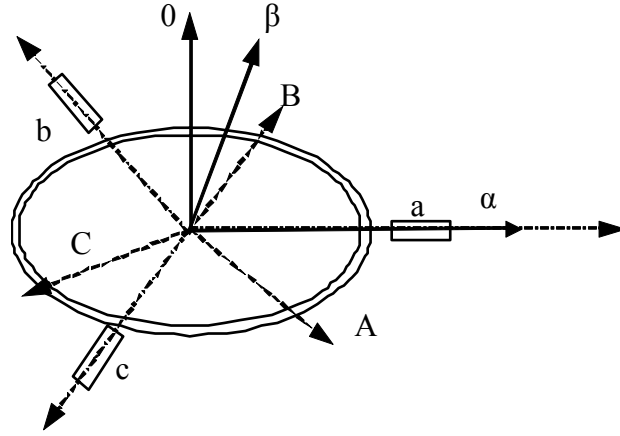
Các ký tự v, i, ψ tượng trưng cho điện áp, dòng điện, và từ thông. Các ký hiệu a, b, c tượng trưng cho các đại lượng pha trên stator. Các ký tự A, B, C tượng trưng cho các đại lượng pha trên rotor. Các ký tự s và r ám chỉ các đại lượng thuộc stator và rotor. T_e và T_L ký hiệu moment điện từ và moment tải. J và P là moment quán tính và số đôi cực. ω_r là vận tốc điện tức thời của rotor. L và R tượng trưng cho điện cảm và điện trở. θ là vị trí tức thời của rotor. $[\underline{L}_{sr}^t]$ là ma trận chuyển vị của ma trận $[\underline{L}_{sr}]$.

Hệ phương trình động trên được triển khai trong hệ quy chiếu trình bày trong hình 1 bên dưới.



Hình 1: Các trụ trên mỗi pha của stator và rotor trong máy điện không đồng bộ.

Hệ phương trình với các trục trên không thuận lợi cho việc triển khai mô phỏng quá trình động của động cơ không đồng bộ 3 pha. Do đó, mô hình toán trên được chuyển sang hệ quy chiếu gồm hai trục cố định và vuông góc α - β , như trình bày trong hình 2.



Hình 2: Hệ trục tọa độ hai trục vuông góc α - β .

Các phương trình biến đổi cho các đại lượng trên stator được trình bày trong phương trình (9).

$$f_{\alpha s} = \frac{2}{3} \left[f_a - \frac{1}{2} f_b - \frac{1}{2} f_c \right] \quad (9)$$

$$f_{\beta s} = -\frac{2}{3} \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} f_b + \frac{\sqrt{3}}{2} f_c \right]$$

Các phương trình biến đổi cho các đại lượng trên stator được trình bày trong phương trình (10).

$$f_{\alpha r} = \frac{2}{3} [f_A \cos \theta + f_B \cos(\theta + 2\pi/3) + f_C \cos(\theta - 2\pi/3)] \quad (10)$$

$$f_{\beta r} = \frac{2}{3} [f_A \sin \theta + f_B \sin(\theta + 2\pi/3) + f_C \sin(\theta - 2\pi/3)]$$

Hệ phương trình động trong hệ quy chiếu α - β được trình bày trong các phương trình sau đây:

$$v_{\alpha s} = R_s i_{\alpha s} + \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} \quad (11)$$

$$v_{\beta s} = R_s i_{\beta s} + \frac{d\psi_{\beta s}}{dt}$$

$$v_{\alpha r} = R_r i_{\alpha r} + \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} + \omega_r \psi_{\beta r} \quad (12)$$

$$v_{\beta r} = R_r i_{\beta r} + \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} - \omega_r \psi_{\alpha r}$$

$$\psi_{\alpha s} = L_s i_{\alpha s} + L_m i_{\alpha r} \quad (13)$$

$$\psi_{\beta s} = L_s i_{\beta s} + L_m i_{\beta r}$$

$$\psi_{\alpha r} = L_r i_{\alpha r} + L_m i_{\alpha s} \quad (14)$$

$$\psi_{\beta r} = L_r i_{\beta r} + L_m i_{\beta s}$$

$$T_e - T_L = \frac{J}{P} \frac{d\omega_r}{dt} \quad (3)$$

Hệ phương trình động bao gồm phương trình (11), (12), (13), (14), và (3) trên được dùng để mô phỏng các quá trình động cũng như ổn định của động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc.

III. Mô phỏng động cơ không đồng bộ 3 pha trong hệ quy chiếu α - β

Các phương trình (11), (12), (13), (14), và (3) được biểu diễn lại như sau:

$$v_{\alpha s} = R_s i_{\alpha s} + L_s \frac{di_{\alpha s}}{dt} + L_m \frac{di_{\alpha r}}{dt} \quad (15)$$

$$v_{\beta s} = R_s i_{\beta s} + L_s \frac{di_{\beta s}}{dt} + L_m \frac{di_{\beta r}}{dt}$$

$$0 = L_m \frac{di_{\alpha s}}{dt} + \omega_r L_m i_{\beta s} + R_r i_{\alpha r} + L_r \frac{di_{\alpha r}}{dt} + \omega_r L_r i_{\beta r} \quad (16)$$

$$0 = -\omega_r L_m i_{\alpha s} + L_m \frac{di_{\beta s}}{dt} - \omega_r L_r i_{\alpha r} + R_r i_{\beta r} + L_r \frac{di_{\beta r}}{dt}$$

$$\frac{J}{P} \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{3}{2} P \left[i_{\beta s} (L_s i_{\alpha s} + L_m i_{\alpha r}) - i_{\alpha s} (L_s i_{\beta s} + L_m i_{\beta r}) \right] - T_L \quad (17)$$

Các phương trình trên được triển khai để thực hiện mô phỏng máy điện không đồng bộ trong Matlab/Simulink với các biến sau: $\frac{di_{\alpha s}}{dt}$, $\frac{di_{\beta s}}{dt}$, $\frac{di_{\alpha r}}{dt}$, $\frac{di_{\beta r}}{dt}$, $\frac{d\omega_r}{dt}$.

Bài tập chuẩn bị:

Triển khai các phương trình (15), (16), và (17) theo dạng sau:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{\alpha s}}{dt} \\ \frac{di_{\beta s}}{dt} \\ \frac{di_{\alpha r}}{dt} \\ \frac{di_{\beta r}}{dt} \end{bmatrix} = [A] \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \\ i_{\alpha r} \\ i_{\beta r} \end{bmatrix} + [B]$$

Bài tập mô phỏng 1:

Từ các file ảnh về mô phỏng mẫu động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc trên máy tính của phòng thí nghiệm, sinh viên tự xây dựng file matlab/simulink của nhóm mình. Sau khi

vận hành mô phỏng, sinh viên vẽ đồ thị của vận tốc, dòng stator trên mỗi pha, moment điện từ, từ thông stator, từ thông rotor.

Mỗi nhóm sẽ được giao nhiệm vụ mô phỏng một trong các máy điện không đồng bộ 3 pha sau:

ĐC KĐB 1:

Stator resistance (R_s): 1.37 Ω

Stator inductance (L_s): 0.1459 H

Magnetising inductance (L_m): 0.1410 H

Inertia (J): 0.1 kg.m².

Rated power: 4.0 kW

Rated frequency: 50 Hz

Rotor resistance (R_r): 1.10 Ω

Rotor inductance (L_r): 0.1490 H

Number of pole pairs (P): 2

Rated speed: 1440 rpm

Rated voltage: 380 V

ĐC KĐB 2:

Stator resistance (R_s): 0.15 Ω

Stator inductance (L_s): 0.035 H

Magnetising inductance (L_m): 0.0338 H

Inertia (J): 0.14 kg.m².

Rated power: 7.5 kW

Rated frequency: 60 Hz

Rotor resistance (R_r): 0.17 Ω

Rotor inductance (L_r): 0.035 H

Number of pole pairs (P): 2

Rated speed: 1750 rpm

Rated voltage: 380 V

ĐC KĐB 3:

Stator resistance (R_s): 0.371 Ω

Stator inductance (L_s): 0.08705 H

Magnetising inductance (L_m): 0.08433 H

Inertia (J): 0.16 kg.m².

Rated power: 11.0 kW

Rated frequency: 50 Hz

Rotor resistance (R_r): 0.415 Ω

Rotor inductance (L_r): 0.08763 H

Number of pole pairs (P): 2

Rated speed: 1430 rpm

Rated voltage: 380 V

ĐC KĐB 4:

Stator resistance (R_s): 0.19 Ω

Stator inductance (L_s): 0.03851 H

Magnetising inductance (L_m): 0.0369 H

Inertia (J): 0.18 kg.m².

Rated power: 15.0 kW

Rated frequency: 50 Hz

Rotor resistance (R_r): 0.125 Ω

Rotor inductance (L_r): 0.03756 H

Number of pole pairs (P): 2

Rated speed: 1460 rpm

Rated voltage: 380 V

Bài tập mô phỏng 2:

Từ các file ảnh về mô phỏng mẫu động cơ không đồng bộ 5 pha rotor lồng sóc trên máy tính của phòng thí nghiệm, sinh viên tự xây dựng file matlab/simulink của nhóm mình. Sau khi vận hành mô phỏng, sinh viên vẽ đồ thị của vận tốc, dòng stator trên mỗi pha, moment điện từ, từ thông stator, từ thông rotor.

Lưu ý:

Sinh viên phải tự xây dựng file mô phỏng theo hướng dẫn của các file ảnh. Các file mô phỏng suu tầm sẽ không được chấp nhận.

Báo cáo nộp trễ nhất 01 tuần sau buổi TN, báo cáo ghi rõ Họ tên, MSSV, Nhóm, Tổ, ngày thực hiện bài TN.

Báo cáo phải trình bày đồ thị của các đại lượng quan sát được trong quá trình mô phỏng. Các báo cáo giống nhau sẽ cùng bị điểm 0.