

BÀI 2: MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ (KĐB) 3 PHA

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

Phương trình điện áp trên 3 dây quấn stator:

$$u_{su}(t) = R_s i_{su}(t) + \frac{d\Psi_{su}(t)}{dt} \quad (2.1a)$$

$$u_{sv}(t) = R_s i_{sv}(t) + \frac{d\Psi_{sv}(t)}{dt} \quad (2.1b)$$

$$u_{sw}(t) = R_s i_{sw}(t) + \frac{d\Psi_{sw}(t)}{dt} \quad (2.1c)$$

Với $u_{su}(t), u_{sv}(t), u_{sw}(t)$: Điện áp trên 3 cuộn dây pha của stator.

$\Psi_{su}(t), \Psi_{sv}(t), \Psi_{sw}(t)$: Từ thông móc vòng trên 3 dây quấn stator.

R_s : Điện trở dây quấn pha của stator.

$$\text{Biểu diễn theo dạng vector : } \bar{u}_s^p(t) = \frac{2}{3} \left[u_{su}(t) + u_{sv}(t).e^{j120^\circ} + u_{sw}(t).e^{j240^\circ} \right] \quad (2.2)$$

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

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

Trong đó:

$$\bar{i}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[i_{su}(t) + i_{sv}(t).e^{j120^\circ} + i_{sw}(t).e^{j240^\circ} \right] \quad (2.4)$$

$$\bar{\Psi}_s^s(t) = \frac{2}{3} \left[\Psi_{su}(t) + \Psi_{sv}(t).e^{j120^\circ} + \Psi_{sw}(t).e^{j240^\circ} \right] \quad (2.5)$$

Với:

* $\bar{i}_s^s(t)$: Vector dòng stator. * $\bar{\Psi}_s^s(t)$: Vector từ thông stator.

* Chỉ số “s” ở trên chỉ hệ quy chiếu stator.

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

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

Với:

* \bar{u}_r^r : Vector điện áp rotor. * $\bar{i}_r^r(t)$: Vector dòng rotor.

* $\bar{\Psi}_r^r(t)$: Vector từ thông rotor.

* R_r : Điện trở rotor đã tính quy đổi qua hệ stator.

* $\bar{0}$: Vector không (modul bằng không).

Các cuộn dây của động cơ có giá trị điện cảm :

* L_m : Hồ cảm giữa rotor và stator.

* $L_{\sigma s}$: Điện kháng tản của dây quấn stator.

* $L_{\sigma r}$: Điện kháng tản của dây quấn rotor.

Từ các giá trị điện cảm trên ta có:

* $L_s = L_m + L_{\sigma s}$: Điện cảm stator. * $L_r = L_m + L_{\sigma r}$: Điện cảm rotor.

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

$$\bar{\Psi}_s = L_s \cdot \bar{i}_s + L_m \cdot \bar{i}_r \quad (2.7a)$$

$$\bar{\Psi}_r = L_m \cdot \bar{i}_s + L_r \cdot \bar{i}_r \quad (2.7b)$$

Đối với động cơ không đồng bộ là một hệ điện cơ nên ta có phương trình cơ:

$$M_e = M_T + \frac{J}{P} * \frac{d\omega}{dt} \quad (2.8)$$

Với:

* J : Moment quán tính cơ. * P : Là số đôi cực của động cơ.

* ω : Là tốc độ của động cơ.

* M_T : Moment tải. * M_e : Moment điện từ.

$$M_e = \frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s) = -\frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_r \times \bar{i}_r) \quad (2.9)$$

Mô hình trạng thái động cơ trên hệ tọa độ stator.

Từ phương trình (2.6), quy về hệ quy chiếu stator :

$$\begin{aligned} \bar{i}_r^r &= \bar{i}_r^s e^{-j\omega_s} & \bar{\Psi}_r^r &= \bar{\Psi}_r^s e^{-j\omega_s} \\ 0 &= R_r \bar{i}_r^s + \frac{d\bar{\Psi}_r^s(t)}{dt} - j\omega \bar{\Psi}_r^s \end{aligned} \quad (2.10)$$

Vậy từ các phương trình : (2.3), (2.7), (2.8) và (2.10) ta có hệ phương trình:

$$\bar{u}_s^s = R_s \bar{i}_s^s + \frac{d\bar{\Psi}_s^s}{dt} \quad (2.11a)$$

$$0 = R_r \bar{i}_r^s + \frac{d\bar{\Psi}_r^s(t)}{dt} - j\omega \bar{\Psi}_r^s \quad (2.11b)$$

$$\bar{\Psi}_s^s = L_s \bar{i}_s^s + L_m \bar{i}_r^s \quad (2.11c)$$

$$\bar{\Psi}_r^s = L_m \bar{i}_s^s + L_r \bar{i}_r^s \quad (2.11d)$$

$$M_e = \frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s) = -\frac{3}{2} p(\bar{\Psi}_r \times \bar{i}_r) \quad (2.11e)$$

$$M_e = M_T + \frac{J}{P} * \frac{d\omega}{dt} \quad (2.11f)$$

Để đưa về hệ phương trình với biến: Dòng điện stator và từ thông rotor, từ phương trình (2.11d) và (2.11c):

$$\vec{i}_r^s = \frac{1}{L_r} \left(\overline{\Psi}_r^s - L_m \vec{i}_s^s \right) \quad (2.12)$$

$$\overline{\Psi}_s^s = L_s \cdot \vec{i}_s^s + \frac{L_m}{L_r} \left(\overline{\Psi}_r^s - L_m \vec{i}_s^s \right) \quad (2.13)$$

Thay (2.12) &(2.13) vào (2.11a) &(2.11b) và chú ý thêm các định nghĩa sau:

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} : \text{Hằng số thời gian stator.}$$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} : \text{Hằng số thời gian rotor.}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \text{ là hệ số từ tản tổng.}$$

$$\overline{U}_s^s = R_s \vec{i}_s^s + \sigma L_m \frac{d\vec{i}_s^s}{dt} + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\overline{\Psi}_r^s}{dt} \quad (2.24)$$

$$0 = -\frac{L_m}{F_r} \vec{i}_s^s + \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \overline{\Psi}_r^s + \frac{d\overline{\Psi}_r^s}{dt} \quad (2.25)$$

$$d\vec{i}_s^s = -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1}{\sigma L_s} \frac{L_m^2}{L_r T_r} \right) \vec{i}_s^s + \frac{1}{\sigma L_s} \frac{L_m}{L_r} \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \overline{\Psi}_r^s + \frac{1}{\sigma L_s} \overline{U}_s^s \quad (2.16)$$

$$\frac{d\overline{\Psi}_r^s}{dt} = \frac{L_m}{T_r} \vec{i}_s^s - \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \overline{\Psi}_r^s \quad (2.17)$$

Hay:

$$\frac{d\vec{i}_s^s}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) \vec{i}_s^s + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \left(\frac{1}{T_r} - j\omega \right) \overline{\Psi}_r^s + \frac{1}{\sigma L_s} \overline{U}_s^s \quad (2.18)$$

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

Chuyển sang dạng các thành phần của vector trên 2 trục toạ độ ta được:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m}\Psi_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\omega\Psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s}u_{s\alpha} \quad (2.20a)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{s\beta} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m}\Psi_{r\beta} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\omega\Psi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma L_s}u_{s\beta} \quad (2.20b)$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r}i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r}\Psi_{r\alpha} - \omega\Psi_{r\beta} \quad (2.20c)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r}i_{s\beta} - \frac{1}{T_r}\Psi_{r\beta} + \omega\Psi_{r\alpha} \quad (2.20d)$$

Thay phương trình (2.12) vào phương trình (2.11):

$$M_e = -\frac{3}{2}P\left[\overline{\Psi}_r^s\left(\overline{\Psi}_r^s - L_m\overline{i}_s^s\right)\frac{1}{L_r}\right] = \frac{3}{2}P\frac{L_m}{L_r}\left(\overline{\Psi}_r^s\overline{i}_s^s\right)$$

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

$$M_e = \frac{3}{2}P\frac{L_m}{L_r}(\Psi_{r\alpha}i_{s\beta} - \Psi_{r\beta}i_{s\alpha}) \quad (2.22)$$

$$\text{Đặt } a_1 = \frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \quad a_2 = \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \quad a_3 = \frac{1-\sigma}{\sigma L_m}$$

$$a_4 = \frac{1}{\sigma L_s} \quad a_5 = \frac{L_m}{T_r} \quad a_6 = \frac{3}{2}P\frac{L_m}{L_r}$$

Hệ phương trình (2.20) và (2.22) trở thành:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = -a_1 i_{s\alpha} + a_2 \Psi_{r\alpha} + a_3 \omega \Psi_{r\beta} + a_4 u_{s\alpha} \quad (2.24a)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -a_1 i_{s\beta} - a_3 \omega \Psi_{r\alpha} + a_2 \Psi_{r\beta} + a_4 u_{s\beta} \quad (2.24b)$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = a_5 i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \Psi_{r\alpha} - \omega \Psi_{r\beta} \quad (2.24c)$$

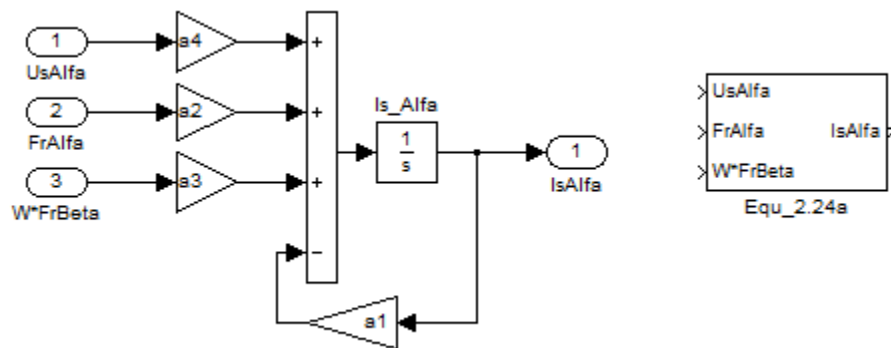
$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = a_5 i_{s\beta} + \omega \Psi_{r\alpha} - \frac{1}{T_r} \Psi_{r\beta} \quad (2.24d)$$

$$M_e = a_6 (\Psi_{ra} i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} i_{sa}) \quad (2.24e)$$

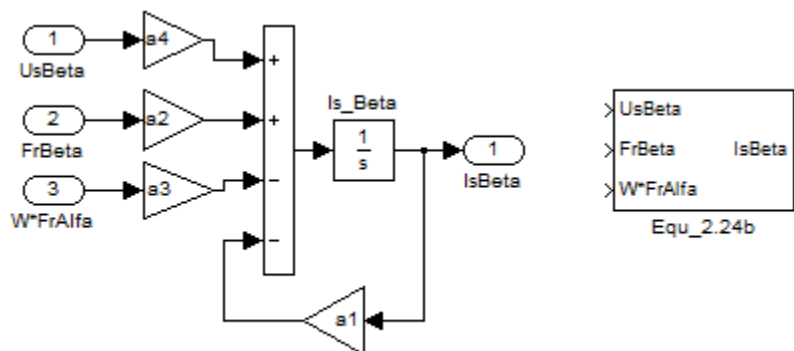
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} [M_e - M_T] \quad (2.24f)$$

III. Xây dựng mô hình mô phỏng trên MATLAB/ Simulink

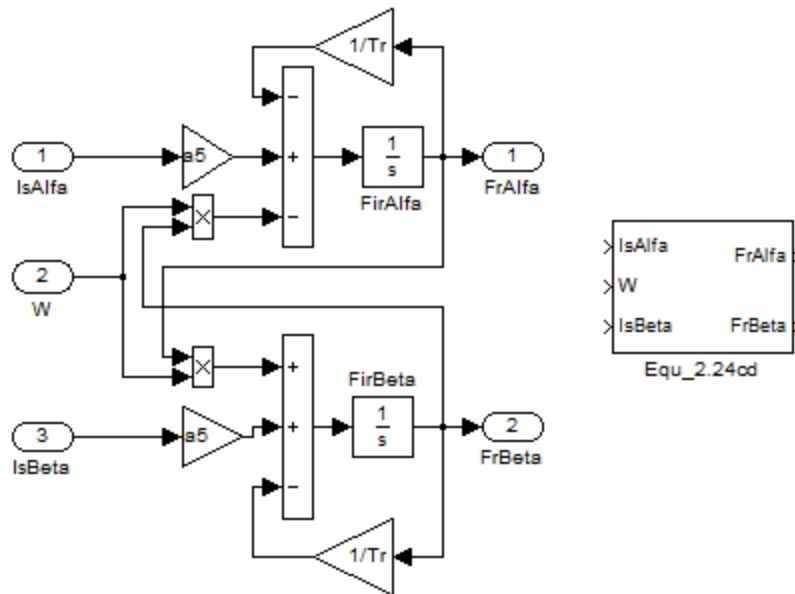
Khối mô phỏng dòng điện i_{sa} dựa vào phương trình (2.24a).



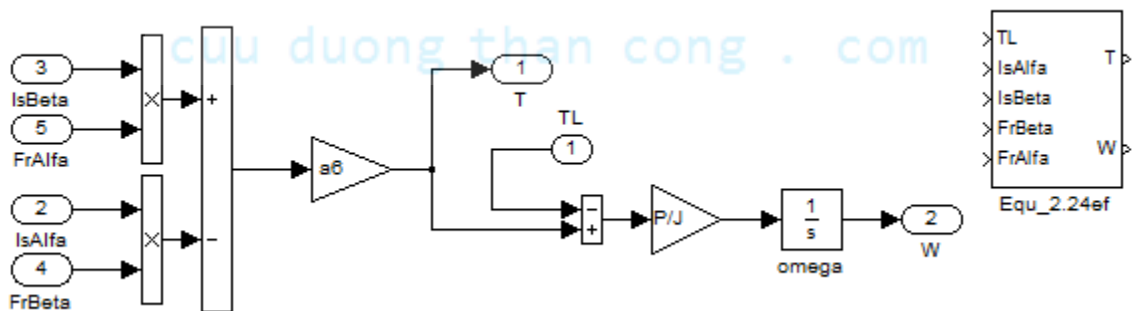
Khối mô phỏng dòng điện $i_{s\beta}$ dựa vào phương trình (2.24b).



Khối mô phỏng từ thông Ψ_{ra} ; $\Psi_{r\beta}$ dựa vào phương trình (2.24cd).

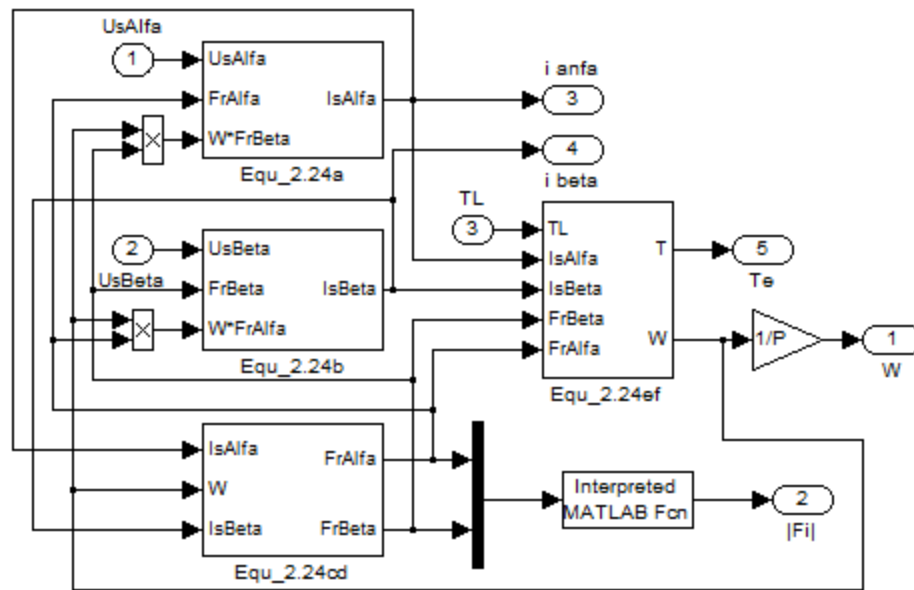


Khối mô phỏng để tính moment (T) và tốc độ (W) dựa vào phương trình (2.24ef)

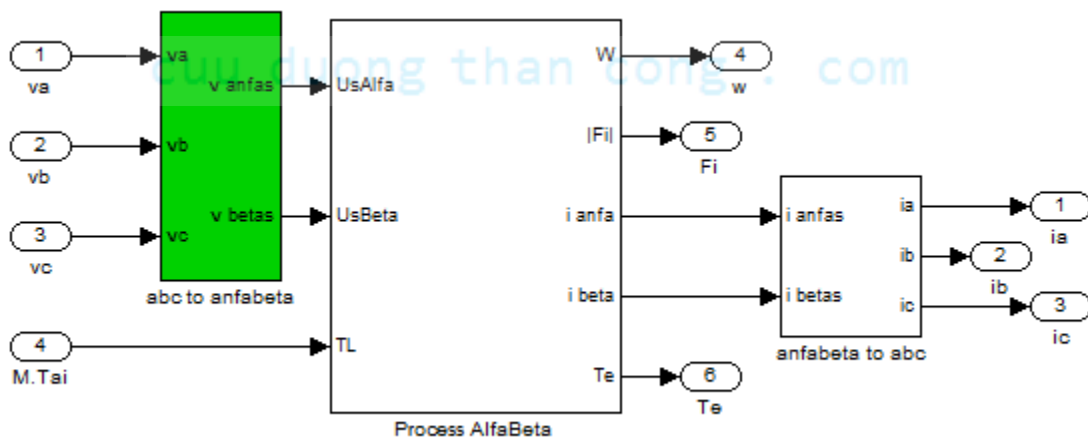


Mô hình động cơ không đồng bộ hoàn chỉnh:

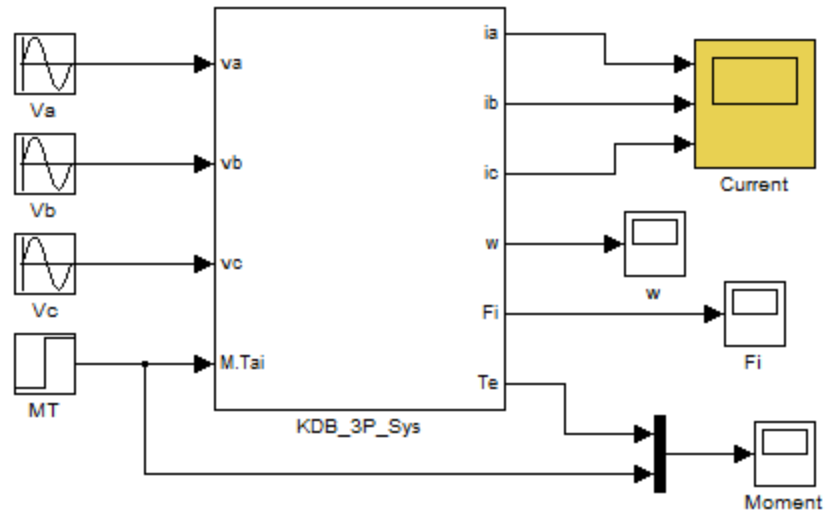
Khối Process AlfaBeta:



Khởi động cơ hoàn chỉnh:



Mô hình mô phỏng động cơ không đồng bộ 3 pha trên hệ stator:



Khối nguồn trên một pha:

Parameters

Sine type: Time based

Time (t): Use simulation time

Amplitude: $V_{rms} \cdot \sqrt{2}$

Bias: 0

Frequency (rad/sec): $2 \cdot \pi \cdot f$

Phase (rad): 0

Sample time: 0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

Các phương trình biến đổi cho các đại lượng trên stator:

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

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

Các phương trình biến đổi cho các đại lượng trên rotor:

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

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

Xây dựng M_File chứa các thông số động cơ:

```
% Mo phong dong co KDB 3P
clear all;
clc;
% -----
Tsim = 3;           % thoi gian mo phong
Vrms = 220;
f = 50;
TL = 5.1;           % momen tai (Nm)
% Thong so dong co
Rs = 9.5;           % dien tro stator
Rr = 9.49;          % dien tro rotor
Ls = 0.505;         % dien cam stator
Lr = 0.496;         % dien cam rotor
Lm = 0.478;         % ho cam
P = 2;             % so doi cuc
J = 0.0006;        % momen quan tinh (kg.m^2)
%
Tr = Lr/Rr;
Ts = Ls/Rs;
SS = 1 - Lm*Lm/(Ls*Lr);
a1 = 1/(SS*Ts) + (1-SS)/(SS*Tr);
a2 = (1-SS)/(SS*Tr*Lm);
a3 = (1-SS)/(SS*Lm);
a4 = 1/(SS*Ls);
a5 = Lm/Tr;
a6 = 3*P*Lm/(2*Lr);
a7 = P/J;
```

IV. Một số bộ thông số động cơ tham khảo:

ĐC KĐB 1:

Stator resistance (Rs): 1.37 Ω

Rotor resistance (Rr): 1.10 Ω

Stator inductance (Ls): 0.1459 H

Rotor inductance (Lr): 0.1490 H

Magnetising inductance (Lm): 0.1410 H

Inertia (J): 0.1 kg.m².

Number of pole pairs (P): 2

Rated power: 4.0 kW

Rated speed: 1440 rpm

Rated frequency: 50 Hz

Rated voltage: 380 V

ĐC KDB 2:

Stator resistance (Rs): 0.15 Ω	Rotor resistance (Rr): 0.17 Ω
Stator inductance (Ls): 0.035 H	Rotor inductance (Lr): 0.035 H
Magnetising inductance (Lm): 0.0338 H	
Inertia (J): 0.14 kg.m ² .	Number of pole pairs (P): 2
Rated power: 7.5 kW	Rated speed: 1750 rpm
Rated frequency: 60 Hz	Rated voltage: 380 V

ĐC KDB 3:

Stator resistance (Rs): 0.371 Ω	Rotor resistance (Rr): 0.415 Ω
Stator inductance (Ls): 0.08705 H	Rotor inductance (Lr): 0.08763 H
Magnetising inductance (Lm): 0.08433 H	
Inertia (J): 0.16 kg.m ² .	Number of pole pairs (P): 2
Rated power: 11.0 kW	Rated speed: 1430 rpm
Rated frequency: 50 Hz	Rated voltage: 380 V

ĐC KDB 4:

Stator resistance (Rs): 0.19 Ω	Rotor resistance (Rr): 0.125 Ω
Stator inductance (Ls): 0.03851 H	Rotor inductance (Lr): 0.03756 H
Magnetising inductance (Lm): 0.0369 H	
Inertia (J): 0.18 kg.m ² .	Number of pole pairs (P): 2
Rated power: 15.0 kW	Rated speed: 1460 rpm
Rated frequency: 50 Hz	Rated voltage: 380 V

V. Yêu cầu:

Động cơ khởi động không tải và mang tải định mức tại thời điểm 0.5s.

- Vẽ đồ thị dòng điện trên các pha của động cơ, từ đồ thị xác định dòng điện mở máy, dòng điện không tải, dòng điện lúc mang tải định mức, ghi các giá trị vào bảng số liệu thu thập. Tính toán so sánh với lý thuyết.
- Vẽ đồ thị tốc độ, từ thông và moment điện từ của động cơ, từ các đồ thị xác định các đại lượng sau:
 - o Moment mở máy..
 - o Từ thông hoạt động của máy
 - o Tốc độ động cơ lúc không tải và khi đầy tải

- Thay đổi tải, xác định lại tốc độ khi tải thay đổi: động cơ non tải, động cơ quá tải
 - Tính toán so sánh lại với lý thuyết.
- Vẽ đặc tuyến cơ trong vùng làm việc ổn định của động cơ không đồng bộ.
- Thay đổi điện áp nguồn cung cấp:
 - Giảm 20% điện áp trên pha A: vẽ đồ thị dòng điện, tốc độ và moment của động cơ
 - Mất pha A: vẽ đồ thị dòng điện, tốc độ và moment của động cơ
 - Cho nhận xét
- Sinh viên phải hoàn thành tất cả các yêu cầu trong buổi thí nghiệm. GVHD kiểm tra từng buổi thí nghiệm của SV
- Bộ thông số mô phỏng trong bài 2 là bộ thông số xác định được từ trong thí nghiệm của bài 1, các bộ thông số còn lại dùng kiểm tra kết quả.

VI. Nộp báo cáo:

- Báo cáo ghi rõ Họ tên, MSSV, Nhóm, Tổ, ngày thực hiện bài TN.
- Các kết quả đo và kết quả thí nghiệm phải được trình bày rõ ràng, ngắn gọn và đầy đủ các yêu cầu theo bài hướng dẫn báo cáo thí nghiệm.
- GV có quyền cho điểm 0 những báo cáo như sau:
 - Những bài sao chép lẫn nhau dưới mọi hình thức.
 - Số liệu báo cáo không trùng khớp với số liệu đã thực hiện tại PTN.