

MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA CÓ XÉT ĐẾN SỰ THAY ĐỔI CỦA CÁC THAM SỐ ĐỘNG CƠ

MODELLING OF THE THREE-PHASE INDUCTION MOTOR WITH CHANGES IN MOTOR PARAMETERS

Phạm Văn Tuấn¹, Nguyễn Quang Thuận²,
Nguyễn Thanh Long¹, Nguyễn Minh Thư¹, Nguyễn Anh Tuấn¹

TÓM TẮT

Động cơ điện không đồng bộ ba pha được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Vấn đề nghiên cứu về điều khiển véc tơ động cơ không đồng bộ cũng như ảnh hưởng của các tham số động cơ đến bộ điều khiển này là một phần quan trọng trong truyền động động cơ xoay chiều. Do đó, việc mô hình hóa động cơ có xét đến sự thay đổi của các tham số là một vấn đề rất cần thiết. Bài báo này mô tả một mô hình tổng quát của động cơ không đồng bộ ba pha trên cơ sở sử dụng phần mềm Matlab/Simulink quan sát sự thay đổi các tham số của động cơ trong quá trình làm việc. Chi tiết xây dựng của các mô hình phụ khác nhau cho động cơ không đồng bộ đã được chỉ ra. Một động cơ có công suất 2HP được đưa ra để mô phỏng kiểm chứng mô hình đã được xây dựng.

Từ khóa: Động cơ không đồng bộ, matlab/simulink, mô hình động cơ không đồng bộ.

ABSTRACT

Three-phase induction motors have been widely used in industry. In addition, the study of induction motor vector control as well as the influence of induction motor parameters on induction motor controller is an important part of the research on AC motor drive. Therefore, modeling of induction motor is significant in the AC motor drive. This paper describes a generalized model of the three-phase induction motor and its computer simulation using Matlab/Simulink. Constructional details of various sub-models for the induction motor are given and their implementation in simulink is outlined. Direct-online starting of a 2 HP induction motor is studied using the simulation model.

Keywords: Induction motor, matlab/simulink, induction motor mathematical models.

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Kỹ thuật Vinh

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Email: tuanvp.bk@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/6/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/8/2018

Ngày chấp nhận đăng: 21/8/2018

Phản biện khoa học: TS. Phạm Văn Cường

1. GIỚI THIỆU

Việc mô hình hóa và mô phỏng động cơ không đồng bộ ba pha đặc biệt quan trọng bởi trong quá trình làm việc của động cơ, các tham số như điện trở stato và roto luôn thay đổi, do đó ảnh hưởng đến các tham số khác của động cơ

như: dòng điện, điện áp, mô men điện từ và tốc độ của động cơ. Mặt khác việc mô hình hóa động cơ cũng rất cần thiết cho nghiên cứu điều khiển véc tơ động cơ không đồng bộ.

Bài báo này giới thiệu phương pháp mô hình động lực tổng quát, sau đó sử dụng phần mềm Matlab/Simulink mô phỏng quan sát sự thay đổi các tham số của động cơ trong quá trình làm việc.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC TỔNG QUÁT CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

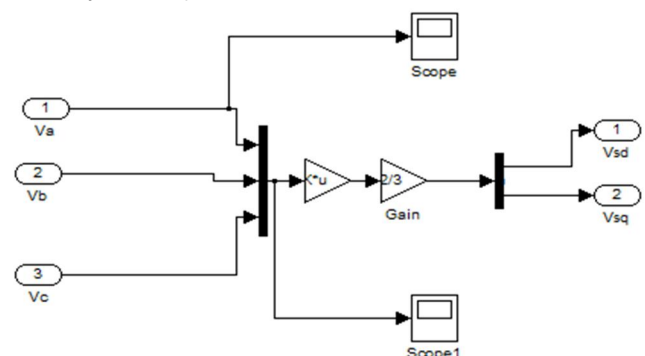
Mô hình động lực tổng quát của động cơ không đồng bộ bao gồm các nội dung dưới đây.

2.1. Mô hình chuyển đổi V_{abc} sang V_{dq} gắn với stato

Mô hình biến đổi điện áp 3 pha sang 2 trục d-q gắn với stato của động cơ không đồng bộ được thể hiện trong hình 1. Biến đổi điện áp 3 pha sang 2 trục d-q gắn với stato được hoàn tất sử dụng theo phương trình dưới đây (biến đổi Clark thuận) [1,2]:

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos(\frac{2\pi}{3}) & \cos(\frac{4\pi}{3}) \\ \sin 0 & \sin(\frac{2\pi}{3}) & \sin(\frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ở đây V_{sa} , V_{sb} , và V_{sc} là điện áp 3 pha stato, trong khi đó V_{sd} và V_{sq} là các thành phần dọc trục và ngang trục của véc tơ điện áp stato V_s .



Hình 1. Mô hình biến đổi điện áp 3 pha sang 2 trục d-q gắn với stato của động cơ không đồng bộ

2.2. Mô hình tính toán từ thông trong hệ tọa độ d/q gắn với stato

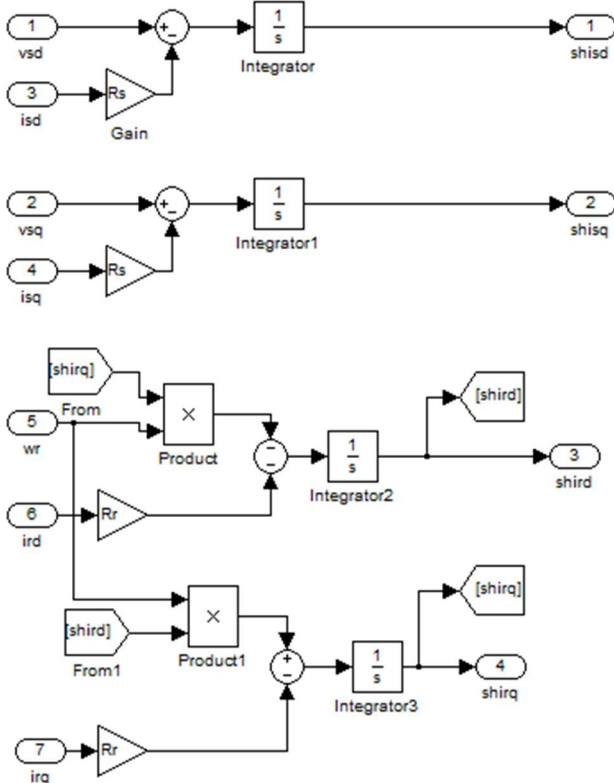
Mô hình tính toán từ thông trong hệ d/q tính như hình 2. Từ thông stato và rô to trong hệ tọa độ d/q gắn với stato được tính toán như sau:

Từ hệ phương trình điện áp [2]:

$$\begin{cases} \overline{V_s} = \frac{d\overline{\Psi_s}}{dt} + R_s \overline{i_s} \\ 0 = \frac{d\overline{\Psi_r}}{dt} + R_r \overline{i_r} + (\omega_r \times \overline{\Psi_r}) \end{cases} \quad (2)$$

Biến đổi hệ phương trình (2), ta có:

$$\begin{cases} \Psi_{sd} = \int (V_{sd} - R_s i_{sd}) dt \\ \Psi_{sq} = \int (V_{sq} - R_s i_{sq}) dt \\ \Psi_{rd} = \int (-\omega_r \Psi_{rq} - R_r i_{rd}) dt \\ \Psi_{rq} = \int (\omega_r \Psi_{rd} - R_r i_{rq}) dt \end{cases} \quad (3)$$



Hình 2. Mô hình tính toán từ thông trong hệ d/q tính

2.3. Mô hình tính toán dòng điện trong hệ tọa độ d/q gắn với stato

Kế thừa phương trình của mô hình tham chiếu [3]:

$$\begin{cases} \Psi_{rd} = \frac{L_r}{L_m} \left[\int (V_{sd} - R_s i_{sd}) dt - L'_s i_{sd} \right] \\ \Psi_{rq} = \frac{L_r}{L_m} \left[\int (V_{sq} - R_s i_{sq}) dt - L'_s i_{sq} \right] \end{cases} \quad (4)$$

Ta có thể viết (4) thành phương trình như sau:

$$\overline{\Psi_r} = \frac{L_r}{L_m} \left[\int (\overline{V_s} - R_s \overline{i_s}) dt - L'_s \overline{i_s} \right] \quad (5)$$

Trong đó: $L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} = \sigma L_s$ - gọi là điện cảm quá độ

của stato, với $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$.

Từ (2) ta có được:

$$\frac{d\overline{\Psi_s}}{dt} = \overline{V_s} - R_s \overline{i_s} \quad (6)$$

Thay (6) vào (5):

$$\overline{\Psi_r} = \frac{L_r}{L_m} \left[\overline{\Psi_s} - L'_s \overline{i_s} \right] \quad (7)$$

Từ (7) ta suy ra được hệ phương trình cho mô hình dòng điện stato:

$$\begin{cases} i_{sd} = (\Psi_{sd} - \frac{L_m}{L_r} \Psi_{rd}) \cdot \frac{1}{L'_s} \\ i_{sq} = (\Psi_{sq} - \frac{L_m}{L_r} \Psi_{rq}) \cdot \frac{1}{L'_s} \end{cases} \quad (8)$$

Tương tự, từ [2] đã có hệ:

$$\begin{cases} \overline{\Psi_s} = L_s \overline{i_s} + L_m \overline{i_r} \\ \overline{\Psi_r} = L_r \overline{i_r} + L_m \overline{i_s} \end{cases} \quad (9)$$

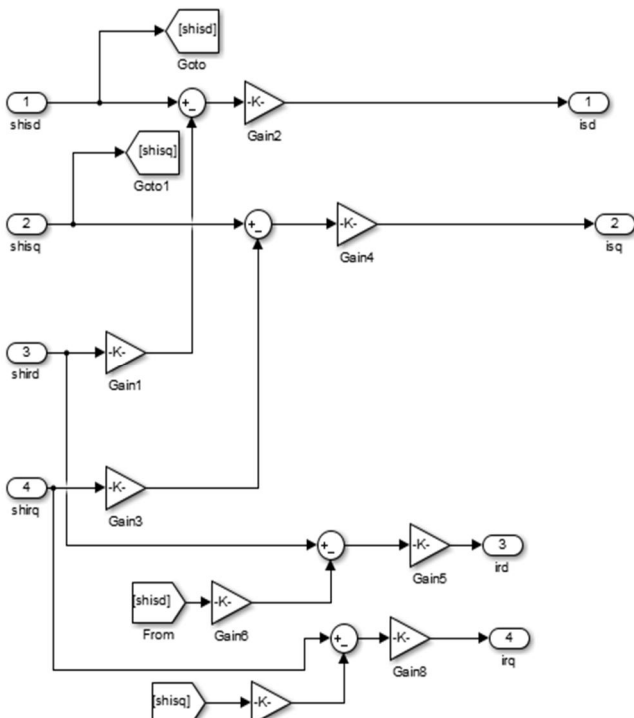
Biến đổi hệ phương trình (9) ta được:

$$\begin{cases} i_{rd} = (\Psi_{rd} - \frac{L_m}{L_s} \Psi_{sd}) \cdot \frac{1}{L'_r} \\ i_{rq} = (\Psi_{rq} - \frac{L_m}{L_s} \Psi_{sq}) \cdot \frac{1}{L'_r} \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó: $L'_r = L_r - \frac{L_m^2}{L_s} = \sigma L_r$ là điện cảm quá độ của rô to.

Kết hợp hệ phương trình (8) và (10) ta được hệ phương trình mô tả mô hình dòng điện động cơ không đồng bộ trong hệ tọa độ d/q gắn với stato (hình 3) như sau:

$$\begin{cases} i_{sd} = (\Psi_{sd} - \frac{L_m}{L_r} \Psi_{rd}) \cdot \frac{1}{L'_s} \\ i_{sq} = (\Psi_{sq} - \frac{L_m}{L_r} \Psi_{rq}) \cdot \frac{1}{L'_s} \\ i_{rd} = (\Psi_{rd} - \frac{L_m}{L_s} \Psi_{sd}) \cdot \frac{1}{L'_r} \\ i_{rq} = (\Psi_{rq} - \frac{L_m}{L_s} \Psi_{sq}) \cdot \frac{1}{L'_r} \end{cases} \quad (11)$$

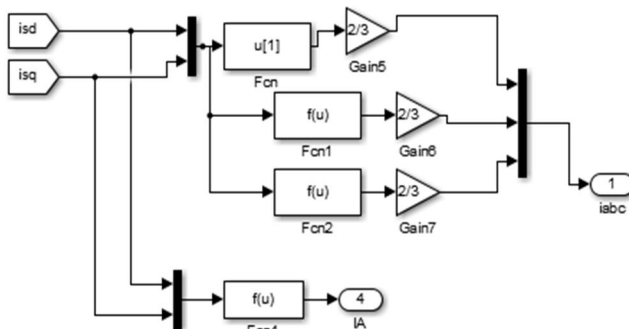


Hình 3. Mô hình tính toán dòng điện trong hệ d/q tính

2.4. Mô hình tính toán dòng điện abc

Mô hình tính toán dòng điện abc được thể hiện trong hình 4. Sử dụng biến đổi Clark ngược [2] ta có:

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} \quad (12)$$



Hình 4. Mô hình tính toán dòng điện abc

2.5. Mô hình mô men điện từ và mô men cơ

Trên cơ sở mô hình tính toán mô men điện từ và cơ, ta sẽ xây dựng được mô hình tính toán tốc độ của roto của động cơ (hình 5).

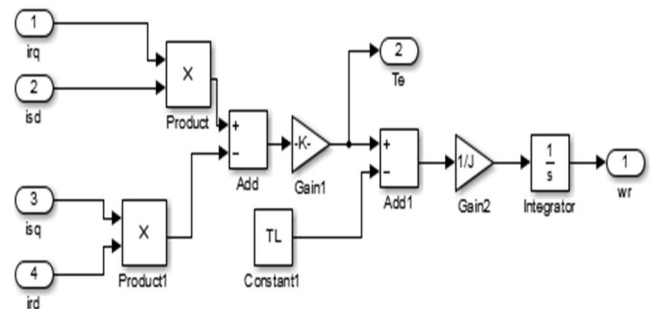
Kế thừa phương trình tính mô men điện từ của động cơ [2]:

$$T_e = \frac{3p}{2} L_m (i_{rd} i_{sq} - i_{rq} i_{sd}) \quad (13)$$

p: số đôi cực.

$$\text{Từ phương trình: } J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L \quad (14)$$

$$\Rightarrow \omega_r = \int \frac{T_e - T_L}{J} dt \quad (15)$$



Hình 5. Mô hình tính toán tốc độ roto

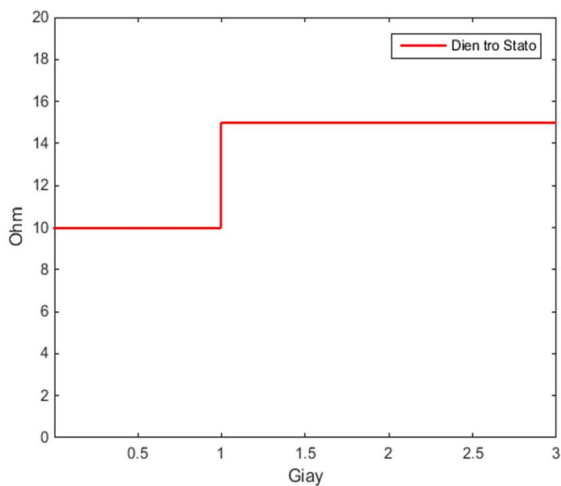
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Phần mềm Matlab/Simulink được sử dụng để mô phỏng mô hình động cơ không đồng bộ ba pha. Các thông số động cơ được sử dụng cho quá trình mô phỏng như trên bảng 1.

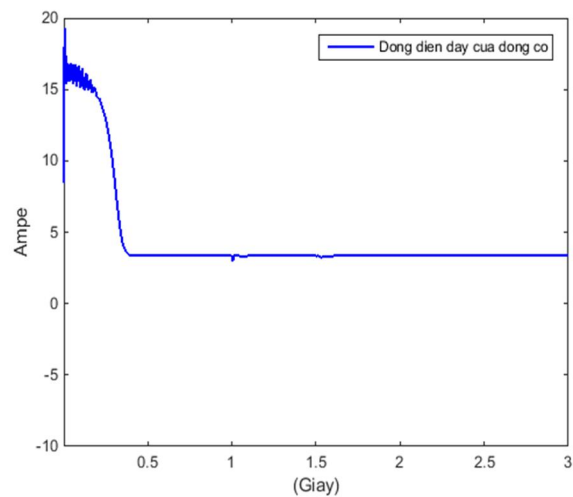
Bảng 1. Thông số của động cơ mô phỏng

TT	Thông số	Giá trị
1	Công suất định mức (P_n)	2HP
2	Điện áp định mức (E_n)	220V
3	Dòng điện định mức (I_n)	4A
4	Tần số định mức (f)	50Hz
5	Điện trở stato (R_s)	$10\Omega \div 15\Omega$
6	Điện trở roto (R_r)	$6,3\Omega \div 10,3\Omega$
7	Điện cảm stato (L_s)	0,46H
8	Điện cảm rô to (L_r)	0,46H
9	Hỗ cảm (L_m)	0,42H
10	Mô men quán tính (J)	$0,03\text{kgm}^2$
11	Số cực (p)	4
13	Mô men tải (M_l)	4,5Nm

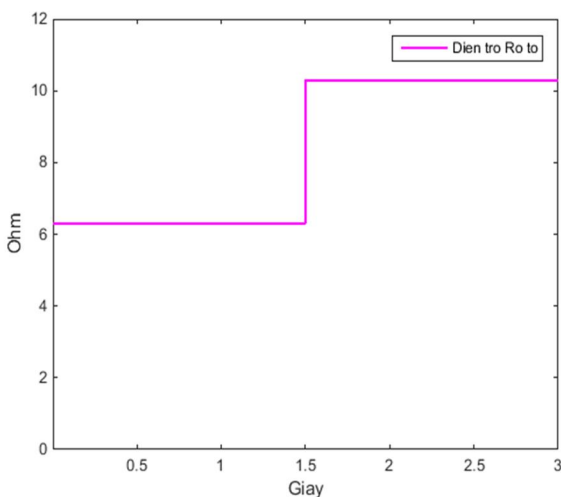
Sau một số phép thử với các giá trị khác nhau của khoảng thời gian lấy mẫu, giá trị cuối cùng được chọn là 0,00001 giây. Các mô phỏng sẽ quan sát biên độ của điện áp nguồn, biên độ của dòng điện stato, mô men điện từ và tốc độ động cơ với giả thiết điện trở stato thay đổi từ $10\Omega \div 15\Omega$ (hình 6), còn điện trở roto thay đổi từ $6,3\Omega \div 10,3\Omega$ (hình 7). Đối với động cơ roto lồng sóc, trong quá trình làm việc, điện trở stato có thể thay đổi 50%, còn điện trở roto có thể thay đổi 100% so với giá trị điện trở danh định [4]. Do đó, các tác giả đã tiến hành mô phỏng, quan sát quan sát biên độ của điện áp nguồn, biên độ của dòng điện stato, mô men điện từ và tốc độ động cơ theo sự thay điện trở stato và roto trong dải kể trên.



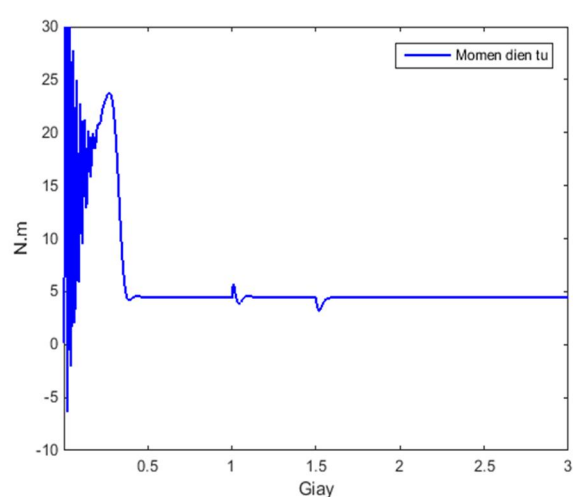
Hình 6. Điện trở stato



Hình 9. Biên độ của dòng điện stato

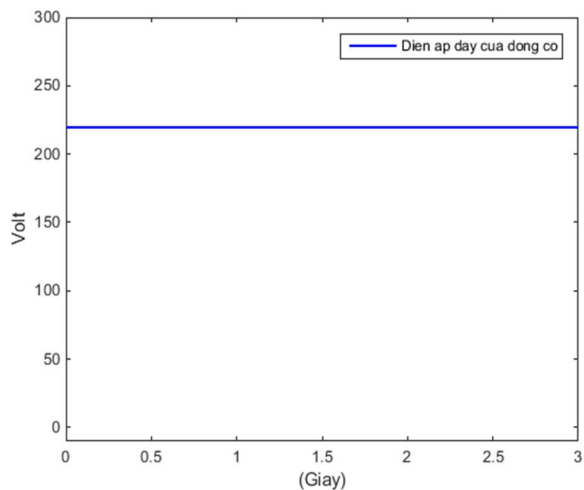


Hình 7. Điện trở roto

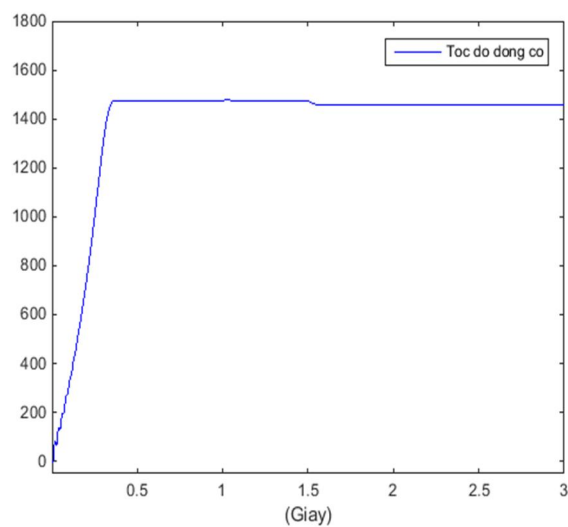


Hình 10. Mô men điện từ

Kết quả mô phỏng biên độ của điện áp nguồn, biên độ của dòng điện stato, mô men điện từ và tốc độ động cơ được thể hiện tương ứng trong các hình 8, 9, 10, 11.



Hình 8. Biên độ của điện áp nguồn



Hình 11. Tốc độ của động cơ

Từ hình 6 đến 11 ta thấy rằng, các thông số dòng điện, mô men điện từ và tốc độ của động cơ đều thay đổi khi

điện trở stato và roto biến thiên trong quá trình làm việc. Việc nhận dạng các sự thay đổi này theo sự biến thiên của điện trở stato và roto là hết sức cần thiết để các bộ điều khiển động cơ không đồng bộ thông dụng như bộ điều khiển tựa từ thông roto FOC (Field Oriented Control), bộ điều khiển trực tiếp mô men (DTC-Direct Torque Control) và đặc biệt là bộ điều khiển dự báo (MPC-Model Predictive Control) làm việc chính xác.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp mô hình động lực tổng quát động cơ không đồng bộ ba pha lồng sóc có xét đến sự thay đổi của điện trở stato và roto trong quá trình làm việc. Trên cơ sở phương pháp này, các tác giả đã thực hiện mô phỏng quan sát, nhận dạng sự thay đổi của dòng điện, mô men điện từ và tốc độ của động cơ đều thay đổi khi điện trở stato và roto biến thiên trong quá trình làm việc. Hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả sẽ sử dụng mô hình này kết hợp với phương pháp đánh giá ước lượng để xem xét, đánh giá được sự ảnh hưởng của các tham số động cơ đến quá trình điều khiển động cơ theo các phương pháp khác nhau như DTC, FOC và MPC.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. K. L. Shi, T. F. Chan, Y. K. Wong, and S. L. Ho, 1999. *Induction Motor Using Simulink*, vol. 36, pp. 163–172.
- [2]. P. Văn Tuấn, P. H. Phi, N. T. Sơn, N. T. Công, 2014. *Ước lượng tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha sử dụng mạng nơ ron nhân tạo*. Chuyên san Tự động hóa ngày nay 4-2014, pp. 62–66, 2014.
- [3]. P. Vas, 1998. *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. Power, vol. 1., p. 768.
- [4]. B. Karanayil, M. F. Rahman, and C. Grantham, 2007. *Online stator and rotor resistance estimation scheme using artificial neural networks for vector controlled speed sensorless induction motor drive*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 1, pp. 167-176.