

NHẬN DẠNG TỪ THÔNG ROTOR ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ SÁU PHA SỬ DỤNG MẠNG NƠ-RON RBF

FLUX IDENTIFICATION THE ROTOR OF SIX-PHASE INDUCTION MOTOR USING RBF NEURAL NETWORK

Nguyễn Việt Trung, Phạm Thanh Tùng

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 19/2/2021, ngày phản biện đánh giá 1/3/2021, ngày chấp nhận đăng 12/4/2021.

TÓM TẮT

Ngày nay, động cơ không đồng bộ sáu pha đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi với nhiều ưu điểm vượt trội hơn động cơ ba pha truyền thống. Bài báo này trình bày và mô phỏng phương pháp nhận dạng từ thông rotor trên hệ trục tọa độ dq của động cơ không đồng bộ sáu pha sử dụng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm (RBF - Radial Basis Function). Mạng nơ-ron RBF được xây dựng và huấn luyện trực tuyến dựa trên dữ liệu vào ra của động cơ. Kết quả mô phỏng khi sử dụng phần mềm Matlab/Simulink cho thấy sai số của bộ nhận dạng hội tụ về 0 sau khoảng thời gian 0,002 giây. Từ thông bộ nhận dạng bám từ thông đối tượng trong khoảng thời gian động cơ khởi động và sau khi lắp tải. Đây là tiền đề để tiến đến các phương pháp điều khiển hiệu suất cao như điều khiển tựa từ thông (FOC – Field Oriented Control), điều khiển trực tiếp momen (DTC – Direct Torque Control),...

Từ khóa: Động cơ không đồng bộ sáu pha; Nhận dạng từ thông; Mạng nơ-ron RBF; Hệ trục dq; Hệ thống nhiều ngõ vào và nhiều ngõ ra.

ABSTRACT

Nowadays, six-phase induction motors are studied and applied because they have many advantages over traditional three-phase motors. This paper presents and simulates the rotor flux identification method on the dq axis of a six-phase induction motor using the identification tool as the RBF (Radial Basis Function) neural network. The RBF neural network is built and trained online based on input and output data of the motor. Simulation results using Matlab/Simulink software show that the error of the identification converges to 0 after a time of 0,002 seconds. The identification flux remains with the plant flux during engine starting and after loading. This study is a premise of progress to higher efficiency control methods such as FOC (Field Oriented Control), DTC (Direct Torque Control),...

Keywords: Six-phase induction motor; Flux identification; RBF neural network; Dq axis; Multi input multi output systems.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống truyền động nhiều pha sở hữu nhiều ưu điểm hơn so với hệ truyền động ba pha truyền thống, đặc biệt trong các ứng dụng đòi hỏi công suất lớn, độ tin cậy cao như các ngành ô tô, xe điện, tàu thủy,...[1 - 2]. Đối với các ứng dụng công suất lớn thì các thiết bị bán dẫn với tần số đóng cắt cao, công suất lớn rất đắt tiền hoặc không có sẵn trên thị trường. Trong trường hợp này, việc sử dụng động cơ nhiều pha để giảm dòng trên mỗi pha và mỗi

chân biến tần nguồn áp được đề xuất [3]. Mặt khác, hệ truyền động nhiều pha còn có những ưu điểm hơn so với hệ thống ba pha thông thường như: Giảm xung mô men, tổn hao hài rotor, mất một hay nhiều pha hệ thống vẫn có thể hoạt động ở mức công suất thấp hơn [4 - 5]. Trong số các loại động cơ sử dụng trong các hệ truyền động nhiều pha khác nhau được quan tâm nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhất đó là động cơ không đồng bộ sáu pha (SPIM – Six Phase Induction Motor).

Ngày nay, động cơ được điều khiển bởi nhiều phương pháp như: kỹ thuật điều khiển vô hướng V/f, kỹ thuật FOC, DTC,...[6]. Trong đó, các kỹ thuật FOC hoặc DTC thường được sử dụng để điều khiển SPIM do yêu cầu chất lượng điều khiển cao. Khi sử dụng các kỹ thuật điều khiển nêu trên thì một trong những việc đầu tiên và quan trọng nhất là phải ước lượng được thông số của từ thông hay được gọi là nhận dạng từ thông [7].

Bài toán nhận dạng cần phải giải quyết bốn vấn đề sau [8]:

- Thí nghiệm thu thập dữ liệu;
- Chọn cấu trúc mô hình;
- Chọn tiêu chuẩn ước lượng thông số;
- Đánh giá chất lượng mô hình;

Giải thuật di truyền, mô hình logic mờ, mạng nơ-ron truyền thẳng, mạng RBF (Radial Basis Function),... là những công cụ phổ biến được sử dụng để nhận dạng. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng mạng nơ-ron RBF để nhận dạng từ thông rotor trên hệ trục dq động cơ không đồng bộ sáu pha. Đây là hệ thống phi tuyến nhiều vào nhiều ra (MIMO - Multi Input Multi Output). Mạng nơ-ron RBF được sử dụng với những ưu điểm sau [8]:

- Không cần biết thông tin về đối tượng cần nhận dạng.
- Chỉ cần một lớp ẩn và thời gian đáp ứng nhanh.
- Huấn luyện online,...

Nội dung của bài báo gồm 5 phần chính như sau: Phần 1 là giới thiệu. Phần 2 trình bày mô hình toán của SPIM. Phần 3 trình bày mạng nơ-ron RBF và giải thuật cập nhật thông số. Nhận dạng từ thông và kết quả mô phỏng được trình bày trong Phần 4. Kết luận được trình bày ở Phần 5.

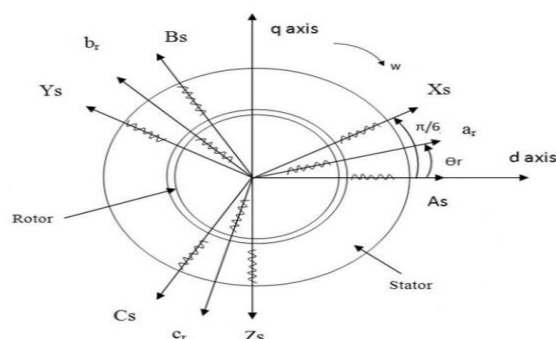
2. MÔ HÌNH TOÁN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ SÁU PHA

Có hai cách phân bố cuộn dây chủ yếu được sử dụng đối với SPIM: phân bố đối xứng (hai bộ dây ba pha được đặt lệch nhau

60 độ điện) và phân bố bất đối xứng (hai bộ dây ba pha được đặt lệch nhau 30 độ điện). Trong đó, SPIM có kiểu phân bố cuộn dây bất đối xứng với các điểm trung tính bị cách ly được ứng dụng rộng rãi hơn [2]. Bố trí lệch 30 độ điện giữa hai bộ dây stator giúp SPIM loại bỏ thành phần xung hài mô men bậc sáu cũng như làm giảm đáng kể tổn thất rotor do phân bố này làm giảm các thành phần hài dòng rotor [2].

Nghiên cứu này trình bày mô hình toán của động cơ không đồng bộ sáu pha kiểu rotor lồng sóc. Sơ đồ tương đương của động cơ không đồng bộ sáu pha với hai bộ dây được đặt lệch nhau 30 độ điện và trung tính cách ly, được thể hiện trong Hình 1. Để phát triển mô hình toán, một số giả thuyết được đưa ra như sau [9]:

- Khe hở không khí bằng nhau.
- Các cuộn dây được phân bố theo hình sin xung quanh khe hở không khí.
- Không có suy hao trên lõi thép và từ tính bão hòa.



Hình 1. Phân bố các cuộn dây trong SPIM

Phương trình điện áp của động cơ [9]:

$$V_{qs1} = r_s i_{qs1} + \rho \lambda_{qs1} + \omega \lambda_{ds1} \quad (1)$$

$$V_{ds1} = r_s i_{ds1} + \rho \lambda_{ds1} + \omega \lambda_{qs1} \quad (2)$$

$$V_{qs2} = r_s i_{qs2} + \rho \lambda_{qs2} + \omega \lambda_{ds2} \quad (3)$$

$$V_{ds2} = r_s i_{ds2} + \rho \lambda_{ds2} + \omega \lambda_{qs2} \quad (4)$$

$$V_{qr}' = r_r i_{qr}' + \rho \lambda_{qr}' + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr}' \quad (5)$$

$$V_{dr}' = r_r' i_{dr}' + \rho \lambda_{dr}' - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr}' \quad (6)$$

Phương trình liên quan từ thông động cơ không đồng bộ sáu pha [9]:

$$\lambda_{qs1} = L_{1s} i_{qs1} + L_{1m} (i_{qs1} + i_{qs2}) + L_m (i_{qs1} + i_{qs2} + i_{qr}') \quad (7)$$

$$\lambda_{ds1} = L_{1s} i_{ds1} + L_{1m} (i_{ds1} + i_{ds2}) + L_m (i_{ds1} + i_{ds2} + i_{dr}') \quad (8)$$

$$\lambda_{qs2} = L_{1s} i_{qs2} + L_{1m} (i_{qs1} + i_{qs2}) + L_m (i_{qs1} + i_{qs2} + i_{qr}') \quad (9)$$

$$\lambda_{ds2} = L_{1s} i_{ds2} + L_{1m} (i_{ds1} + i_{ds2}) + L_m (i_{ds1} + i_{ds2} + i_{dr}') \quad (10)$$

$$\lambda_{qr}' = L_{1r} i_{qr}' + L_m (i_{qs1} + i_{qs2} + i_{qr}') \quad (11)$$

$$\lambda_{dr}' = L_{1r} i_{dr}' + L_m (i_{ds1} + i_{ds2} + i_{dr}') \quad (12)$$

Phương trình momen điện từ [9]:

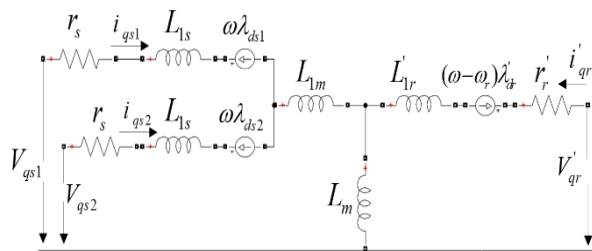
$$T_e = (P/2)(L_m / L_r) [\lambda_{dr}' (i_{qs1} + i_{qs2}) - \lambda_{qr}' (i_{ds1} + i_{ds2})] \quad (13)$$

Phương trình tốc độ quay rotor [9]:

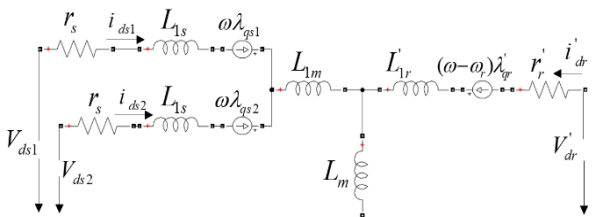
$$\omega_r = (1 / J_r) \int (T_e - T_L) dt \quad (14)$$

Góc của trục d-q so với trục α - β có thể được xác định theo θ và được tính bằng phương pháp tích phân ω theo thời gian [9]:

$$\theta = \int \omega dt \quad (15)$$



Hình 2. Sơ đồ mạch tương đương theo trục q trên mỗi pha



Hình 3. Sơ đồ mạch tương đương theo trục d trên mỗi pha

Phương trình chuyển đổi tọa độ pha ABCXYZ sang tọa độ cố định $\alpha\beta$ [9]:

$$\begin{bmatrix} V_{\beta s1} \\ V_{\alpha s1} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} V_{\beta s2} \\ V_{\alpha s2} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{xn} \\ V_{yn} \\ V_{zn} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Phương trình chuyển đổi tọa độ cố định $\alpha\beta$ sang tọa độ quay dq [9]:

$$V_{qs1} = V_{\beta s1} \cdot \cos \theta + V_{\alpha s1} \cdot \sin \theta \quad (18)$$

$$V_{ds1} = V_{\alpha s1} \cdot \cos \theta - V_{\beta s1} \cdot \sin \theta \quad (19)$$

$$V_{qs2} = V_{\beta s2} \cdot \cos \theta + V_{\alpha s2} \cdot \sin \theta \quad (20)$$

$$V_{ds2} = V_{\alpha s2} \cdot \cos \theta - V_{\beta s2} \cdot \sin \theta \quad (21)$$

Trong đó:

$V_{an}, V_{bn}, V_{cn}, V_{xn}, V_{yn}, V_{zn}$ Điện áp pha;

$V_{qs1}, V_{qs2}, V_{ds1}, V_{ds2}$ Điện áp stator trục d,q;

$V_{\alpha s1}, V_{\beta s1}, V_{\alpha s2}, V_{\beta s2}$ Điện áp stator trên trục $\alpha\beta$;

V_{qr}', V_{dr}' Điện áp rotor trục d,q;

$i_{qs1}, i_{qs2}, i_{ds1}, i_{ds2}$ Dòng điện stator trục d,q;

i_{qr}', i_{dr}' Dòng điện rotor trục d,q;

$i_{\alpha s1}, i_{\beta s1}, i_{\alpha s2}, i_{\beta s2}$ Dòng điện trục $\alpha\beta$;

$i_a, i_b, i_c, i_x, i_y, i_z$ Dòng điện pha;

$\lambda_{qs1}, \lambda_{qs2}, \lambda_{ds1}, \lambda_{ds2}$ Từ thông stator trục d,q;

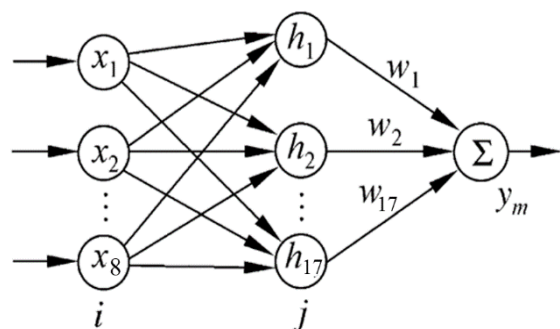
$\lambda_{qr}', \lambda_{dr}'$ Từ thông rotor trục d,q;

ω, ω_r	Tốc độ điện, tốc độ rotor;
L_{1s}	Điện cảm stator;
L_{1m}	Hỗ cảm stator;
L_m	Hỗ cảm stator và rotor;
P	Số cực;
T_e	Momen điện từ;
T_L	Momen tải;
θ	Góc giữa trục dq và $\alpha\beta$;
$\rho = d / dt$;	

3. MẠNG NƠ-RON RBF

Mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm RBF là trường hợp đặc biệt của mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp. Cấu trúc cơ bản của mạng gồm có một lớp vào, một lớp ẩn và một lớp ra. Hàm kích hoạt lớp ẩn là hàm Gauss. Mạng nơ-ron RBF có khả năng xấp xỉ hàm rất hiệu quả, ngoài ra mạng RBF có thể huấn luyện dễ dàng và nhanh chóng [10].

Mạng nơ-ron RBF được dùng trong nghiên cứu này có cấu trúc gồm lớp vào (8 ngõ vào), lớp ẩn (17 nơ-ron) và lớp ra (1 ngõ ra) như Hình 4. Các nơ-ron ở lớp ẩn được kích hoạt bằng hàm cơ sở xuyên tâm RBF [10]. Đồng thời mỗi nơ-ron lớp ẩn chứa một vector tâm c có cùng kích thước với vector ngõ vào x ; khoảng cách Euclidean giữa tâm c và vector ngõ vào x được định nghĩa như sau:



Hình 4. Cấu trúc mạng nơ-ron RBF

Vector ngõ vào x có dạng:

$$x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_8]^T \quad (22)$$

Phương trình hàm Gauss nơ-ron thứ j [10]:

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{2b_j^2}\right), \text{ với } j=1,2,\dots,17 \quad (23)$$

Ngõ ra của mạng nơ-ron RBF:

$$\hat{y}(t) = w_1 h_1 + w_2 h_2 + \dots + w_{17} h_{17} \quad (24)$$

Trong đó:

$c_j = [c_{j1} \ c_{j2} \ \dots \ c_{j8}]$: Vector tâm của nơ-ron thứ j ;

$b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{17}]^T$: Vector độ rộng của hàm Gauss, với $b_j > 0$ mô tả giá trị độ rộng của hàm Gauss của nơ-ron thứ j ;

$w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_{17}]^T$: Giá trị trọng số;

Để huấn luyện mạng nơ-ron RBF, hàm mục tiêu được định nghĩa như sau [10]:

$$E(t) = \frac{1}{2} (y(t) - \hat{y}(t))^2 \quad (25)$$

Phương pháp Gradient Descent được áp dụng để cập nhật thông số [10]:

$$\Delta w_j(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_j} = \eta (y(t) - \hat{y}(t)) h_j \quad (26)$$

$$w_j(t) = w_j(t-1) + \Delta w_j(t) + \alpha [w_j(t-1) - w_j(t-2)] \quad (27)$$

$$\Delta b_j(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial b_j} = \eta [y(t) - \hat{y}(t)] w_j h_j \frac{\|x - c_j\|^2}{b_j^3} \quad (28)$$

$$b_j(t) = b_j(t-1) + \Delta b_j(t) + \alpha [b_j(t-1) - b_j(t-2)] \quad (29)$$

$$\Delta c_{ji}(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial c_{ji}} = \eta [y(t) - \hat{y}(t)] w_j \frac{x_j - c_{ji}}{b_j^2} \quad (30)$$

$$c_{ji}(t) = c_{ji}(t-1) + \Delta c_{ji}(t) + \alpha [c_{ji}(t-1) - c_{ji}(t-2)] \quad (31)$$

Trong đó:

$\eta \in (0,1)$: Tốc độ học;

$\alpha \in (0,1)$: Hệ số mô-men;

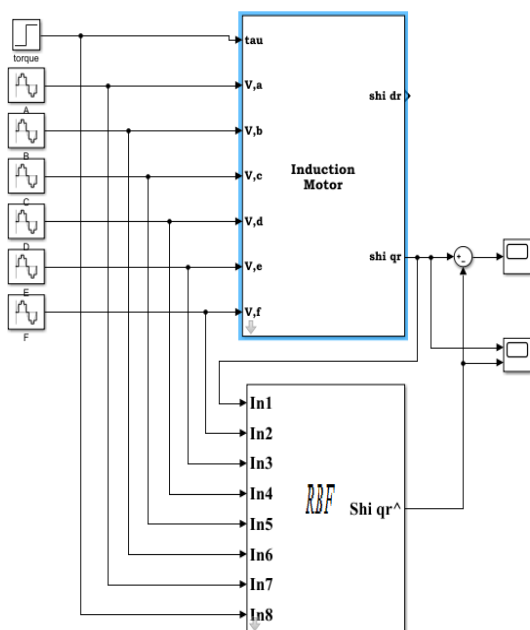
Trọng số ban đầu của các nơ-ron trong lớp ẩn (tâm của hàm cơ sở) có thể được chọn dựa vào sự phân nhóm dữ liệu vào. Quá trình huấn luyện chủ yếu chỉnh định trọng số tuyến tính ở lớp ra. Các trọng số tuyến tính ở lớp ra có thể xem như độc lập với các nơ-ron ở lớp ẩn. Khả năng xấp xỉ chính xác và tốc độ của mạng RBF còn có thể cải thiện hơn nữa bằng việc chọn tâm, độ rộng phù hợp cho các hàm cơ sở ở lớp ẩn. Tuy nhiên, mạng RBF thường đáp ứng chậm trong giai đoạn huấn luyện nếu lượng tế bào thần kinh trong lớp ẩn được chọn quá lớn. [10]

Phần tiếp theo sẽ ứng dụng mạng RBF để nhận dạng từ thông SPIM và kết quả mô phỏng đạt được.

4. NHẬN DẠNG TỪ THÔNG ROTOR SPIM TRÊN HỆ TRỤC DQ SỬ DỤNG MẠNG NƠ-RON RBF

4.1 Sơ đồ khối

Mô hình nhận dạng từ thông trên hệ trục dq SPIM dùng mạng nơ-ron RBF được trình bày như Hình 5:



Hình 5. Sơ đồ hệ thống nhận dạng từ thông trên trục q

- Ngõ vào đối tượng: Điện áp sáu pha, momen tải.

- Ngõ ra đối tượng: Từ thông trên trục d và trục q.

- Ngõ vào bộ nhận dạng RBF: Điện áp sáu pha, momen tải và từ thông trên trục q.

- Ngõ ra bộ nhận dạng RBF: Từ thông trên trục q.

Trường hợp nhận dạng từ thông trên trục d vẫn làm tương tự như trên trục q. Kết quả mô phỏng nhận dạng từ thông trên trục dq được trình bày ở phần tiếp theo.

4.2 Kết quả mô phỏng

Thông số của đối tượng được tham khảo từ tài liệu [9]:

$$L_{1s} = 0,0132 (H); L_{1m} = 0,011 (H);$$

$$L_m = 1 (H); L_{1r} = 0,0132 (H); R_s = 1,9 (\Omega);$$

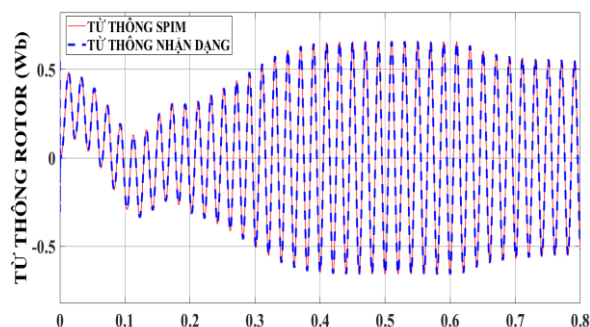
$$R_r = 2,1 (\Omega); V_{an} = 230 (V); p = 2;$$

$$\omega = 314 (rad / s); J_r = 0,02 (kg.m^2);$$

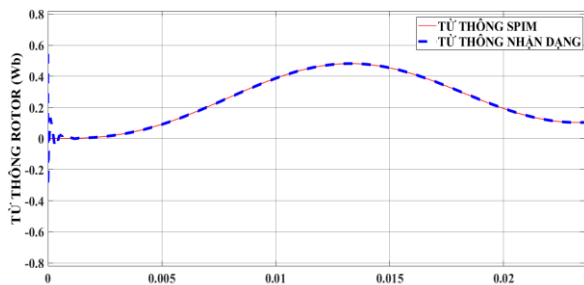
Thông số mạng nơ-ron RBF được khởi tạo dựa theo kinh nghiệm, nếu vector độ rộng hàm Gauss và vector trọng số có giá trị cao thì thời gian huấn luyện kéo dài. Thông số được khởi tạo như sau:

$$\alpha = 0,9; \mathbf{b} = 200; \mathbf{w} = 0,8315;$$

Kết quả bộ nhận dạng và sai số nhận dạng tín hiệu từ thông trên trục d được thể hiện trên Hình 6, 7 và trên trục q là Hình 8, 9. Trong đó Hình 6 và Hình 8 thể hiện cùng lúc đáp ứng của đối tượng và của bộ nhận dạng để dễ dàng so sánh. Nét liền thể hiện đáp ứng đối tượng và nét đứt thể hiện đáp ứng bộ nhận dạng.

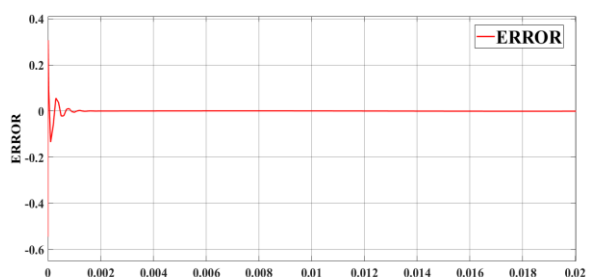
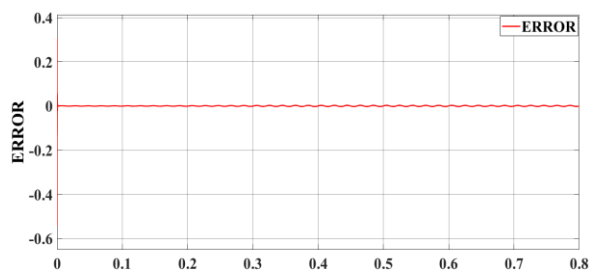


Hình 6.1. Hình ảnh mặc định

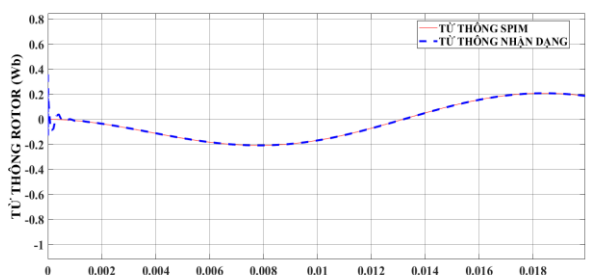
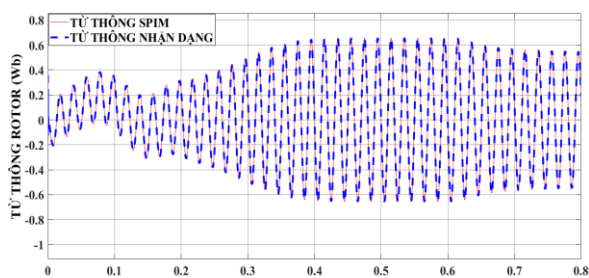


Hình 6.2. Hình ảnh phóng to

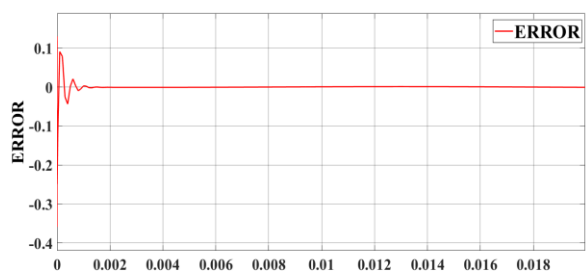
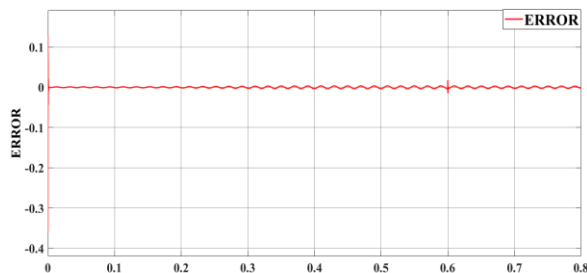
Hình 6. Kết quả nhận dạng từ thông rotor trên trục d. Đáp ứng của đối tượng và bộ nhận dạng được thể hiện trên cùng một hình.



Hình 7. Sai số của từ thông rotor trên trục d



Hình 8. Kết quả nhận dạng của từ thông rotor trên trục q



Hình 9. Sai số của từ thông rotor trên trục q

Quan sát các kết quả mô phỏng được trình bày ở Hình 6, 7, 8 và 9 cho thấy rằng từ thông bộ nhận dạng bám theo từ thông của đối tượng sau khoảng thời gian 0,002 giây.

Thời điểm 0,4 giây động cơ hoàn tất quá trình khởi động, đáp ứng ở Hình 6, 7, 8 và 9 cho thấy bộ nhận dạng vẫn hoạt động ổn định, sai số nhận dạng thấp.

Thời điểm 0,6 giây tải được lắp vào động cơ, giá trị từ thông trên trục dq khoảng (-0,66 đến 0,66 (Wb)) giảm xuống còn (-0,55 đến 0,55 (Wb)), Hình 6 và Hình 8 cho thấy từ thông của bộ nhận dạng vẫn bám theo được từ thông của đối tượng.

Việc áp dụng luật cập nhật trọng số online để nhận dạng đối tượng bằng mạng nơ-ron RBF thông qua mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink cho thấy được ưu điểm của thuật toán:

- Đáp ứng từ thông trên trục d của bộ nhận dạng luôn bám sát từ thông của đối tượng sau thời gian khoảng 0,002 giây, độ vọt lố là 0,3.

- Đáp ứng từ thông trên trục q của bộ nhận dạng xác lập trong khoảng 0,001 giây và độ vọt lố là 0,09.

- Sai số nhận dạng tiến về 0. Hệ thống làm việc xác lập và ổn định trong trường hợp động cơ khởi động và sau khi lắp tải.

5 KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp nhận dạng từ thông rotor SPIM sử dụng mạng nơ-ron RBF. Kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm Matlab/Simulink cho thấy bộ nhận dạng đạt hiệu quả cao đối với cả hai trường hợp không tải và có tải, sai số nhận dạng hội tụ về 0. Nghiên cứu này là tiền đề để việc điều khiển SPIM khi sử dụng phương pháp

FOC được thuận lợi hơn vì có thể ước lượng được giá trị tức thời từ thông rotor. Trong bài báo này, số lượng nơ-ron ở lớp ẩn và thông số của mạng còn được lựa chọn và khởi tạo bằng kinh nghiệm. Vì thế, nghiên cứu thuật toán tối ưu để tìm số nơ-ron lớp ẩn và thông số khởi tạo phù hợp sẽ được nhóm tác giả tiếp tục phát triển trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Ojeda, H. Bouker, L. Vido, H. Ben Ahmed, Comparison of 3-phase and 5-phase high speed synchronous motor for EV/HEV applications, *Proc. IEEE Industry Applications Society Ann. Meeting IAS*, pp.250–265, 2016.
- [2] M. Jones, S.N. Vukosavic, E. Levi, Experimental performance evaluation of six-phase series-connected two-motor drive systems, *Proc. European Power Electronics and Applications Conf. EPE*, pp.95–102, 2001.
- [3] Singh, G.K., and Pant, V., Analysis of a multiphase induction machine under fault condition in a phase-redundant AC drive system, *Electr. Mach. Power Syst*, 28 (6), pp. 577–590, 2000.
- [4] Golubev, A.N., and Ignatenko, S.V., Influence of number of stator winding phases on the noise characteristics of an asynchronous motor, *Russ. Electr. Eng.*, 71(6), pp. 41–46, 2000.
- [5] Williamson, S., and Smith, S., Pulsating torques and losses in multiphase induction machines, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 39 (4), pp. 986–993, 2003.
- [6] J. W. Finch and D. Giaouris, Controlled AC electrical drives, *IEEE Trans. Ind. Electron*, 55(2), pp. 481–491, 2008.
- [7] G. Sheng-wei, Cai Yan, Design and Simulation of Flux Identification Based on RBF Neural Network for Induction Motor, *ICCAISM*, pp. 273-277, 2010.
- [8] Huỳnh Thái Hoàng, Hệ thống điều khiển thông minh, 234-280, *NXB ĐH Quốc gia TP. Hồ Chí Minh*, 1, 2006.
- [9] M. S. Mandal, Performance Analysis of Six-Phase Induction Motor, *IJERT*, vol. 4, pp. 589–593, 2015.
- [10] Jinkun Liu, Rabias basis function (RBF) neural network control for mechanical systems design, Analysis and Matlab Simulation, *Springer*, 2013.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

KS. Nguyễn Việt Trung
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long
Email: trungnv@vlute.edu.vn