

ỨNG DỤNG MẠNG NƠON LÔGIC MỜ TRONG PHÁT HIỆN SỰ CỐ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

TRẦN HOÀI LINH¹, ĐINH VĂN NHƯỢNG², ĐẶNG VĂN TUỆ²

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, linh-3i@mail.hut.edu.vn

²Trường Đại học Sao Đỏ

Abstract. DC electrical motor is one of the most popular motors used. However, like other devices, during the working time the DC motors may experience different types of defects. Designing devices for fast defect detection is necessary in order to support the safe working processes. In this article, the authors will present a solution to detect the problems in DC electrical motors by applying neuro-fuzzy networks and using only the instantaneous values of angle velocity of the motor. The TSK (Takaga Sugeno Kang) with 8 inference rules to process the angle velocity signals will allow to detect the failures and their parameters with the accuracy higher than 95%.

Tóm tắt. Động cơ điện một chiều là một trong những thiết bị điện được sử dụng rất phổ biến. Tuy nhiên, cũng như các thiết bị khác, trong quá trình làm việc, động cơ điện một chiều có thể gặp một số dạng sự cố khác nhau. Việc xây dựng các thiết bị có khả năng phân tích và phát hiện nhanh các sự cố của động cơ là rất cần thiết cho quá trình vận hành an toàn. Bài báo đề xuất phương pháp ứng dụng mô hình mạng nơon logic mờ để nhận dạng sự cố xảy ra đối với động cơ điện một chiều trong quá trình làm việc chỉ dựa trên việc phân tích giá trị đo tốc độ tức thời của động cơ. Việc ứng dụng mạng TSK (Takaga Sugeno Kang) với 8 luật mờ phân tích các giá trị tức thời của tốc độ động cơ cho phép phát hiện nguyên nhân sự cố và thông số của sự cố với độ chính xác hơn 95%.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán phát hiện sự cố là một trường hợp đặc biệt của bài toán nhận dạng nói chung. Bài toán nhận dạng đối tượng bao gồm nhiều công đoạn, trong đó khó khăn nhất là khâu tạo đặc tính nhận dạng của đối tượng và xây dựng mô hình xử lý véc tơ đặc tính đó.

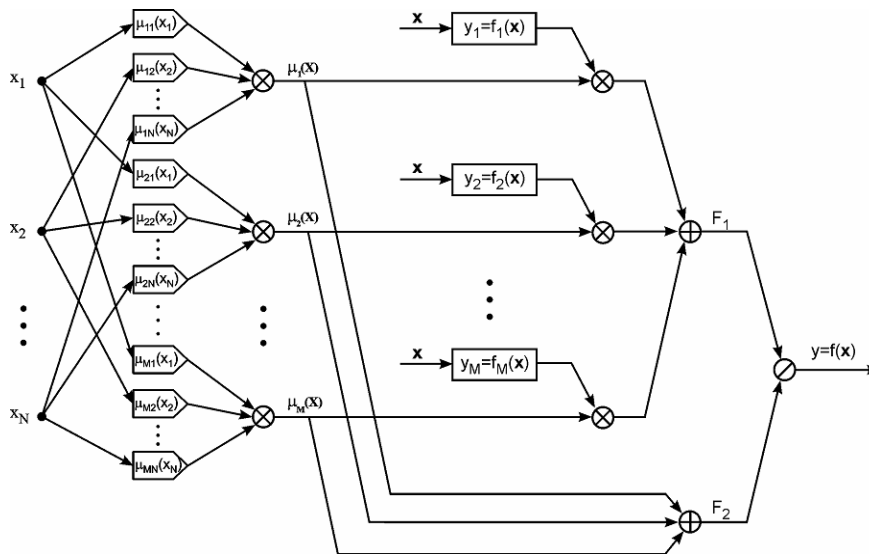
Trong bài báo này sẽ chỉ sử dụng giá trị đo vận tốc góc của động cơ để nhận dạng nhằm làm giảm bớt độ phức tạp của các thiết bị đo. Các đặc tính để nhận dạng sẽ được trích chọn từ chuỗi các giá trị tức thời của vận tốc góc. Nếu như việc xác định các đặc tính đối tượng là tiền đề quan trọng thì việc xây dựng mô hình xử lý vectơ đặc tính sẽ quyết định đến chất lượng của giải pháp. Trong thời gian qua, đã có nhiều công trình nghiên cứu, hàng loạt các giải pháp nhận dạng mới sử dụng công nghệ mạng nơon và mạng nơon logic mờ đã xuất hiện. Các công trình nghiên cứu đã chứng tỏ rằng các giải pháp mạng nơon có những ưu điểm vượt trội so với các giải pháp kinh điển.

Mô hình nhận dạng được sử dụng trong bài báo này là mô hình mạng nơon logic mờ TSK (Takaga Sugeno Kang) [3] để xây dựng mô hình nhận dạng, phát hiện dạng sự cố xảy ra trong động cơ điện một chiều trong quá trình làm việc.

2. MÔ HÌNH MẠNG NƠON TSK VÀ ỨNG DỤNG TRONG NHẬN DẠNG PHÁT HIỆN SỰ CỐ

2.1. Cấu trúc mạng TSK

Mạng TSK là một cấu trúc gồm 5 lớp dùng để mô phỏng các quy tắc suy luận logic mờ TSK [3]. Mô hình mạng TSK (giới hạn cho 1 đầu ra) được thể hiện trên Hình 1. Lớp thứ nhất bao gồm các khối $\mu_{ij}(x_j)$ còn được gọi là các khối mờ hoá cho thành phần thứ j của vector đầu vào \mathbf{x} . Mỗi khối mờ hóa thường sử dụng hàm Gauss mở rộng (1), được đặc trưng bởi 3 vector tham số là \mathbf{c}_i trọng tâm, σ_i hệ số độ mở của hàm và \mathbf{b}_i hệ số hình dạng của hàm.



Hình 1. Mô hình mạng TSK cho một đầu ra

$$\mu_{ij}(x_j) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\|x_j - c_{ij}\|}{\sigma_{ij}} \right)^{2b_{ij}}}. \quad (1)$$

Lớp thứ hai là khối nhân, dùng để tính tích đầu ra của các khối mờ hoá, cụ thể

$$\mu_i(x) = \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j). \quad (2)$$

Lớp thứ ba là khối tính các giá trị hàm f_i đầu ra của TSK. Trong mạng TSK ta sử dụng các hàm tuyến tính

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^N P_{ij}x_j + P_{i0}. \tag{3}$$

Lớp thứ tư là khối tính toán các thành phần tử số F_1 và mẫu số F_2 . Lớp thứ năm là khối tính đáp ứng cuối cùng của mạng TSK theo công thức

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M \mu_i(x) \times f_i(x)}{\sum_{i=1}^M \mu_i(x)} = \frac{F_1}{F_2}. \tag{4}$$

Trong cấu trúc này ta có lớp 2, 4 và 5 là các lớp tính toán và hoạt động cố định. Các lớp 1 và 3 là các lớp có các tham số có thể thay đổi thích nghi để xây dựng mô hình tối ưu. Cụ thể trong lớp 1 là các tham số c_i, b_i, σ_i của các khối mờ hoá, trong lớp 3 là các hệ số p_{ij} của hàm tuyến tính [1,2]. Các tham số này có thể được điều chỉnh thích nghi với hàm mục tiêu là sai số đầu ra của mạng TSK trên một tập số liệu mẫu cho trước [1,2].

2.2. Mô phỏng các chế độ làm việc của động cơ

Đối tượng nghiên cứu chính của bài báo là động cơ điện một chiều kích từ độc lập. Nhằm mục đích đơn giản hóa các khối đo lường, bài báo đặt mục tiêu xây dựng mô hình phát hiện sự cố chỉ dựa trên các số liệu đo vận tốc góc tức thời của động cơ. Để có được các giá trị vận tốc góc tức thời này, một mô hình của động cơ một chiều kích từ độc lập sẽ được xây dựng sử dụng công cụ Simulink (Matlab) để mô phỏng. Đồng thời, ta xét các trường hợp mà thời điểm xảy ra sự cố được xác định trước để mô hình chỉ tập trung cho nhiệm vụ phân loại sự cố.

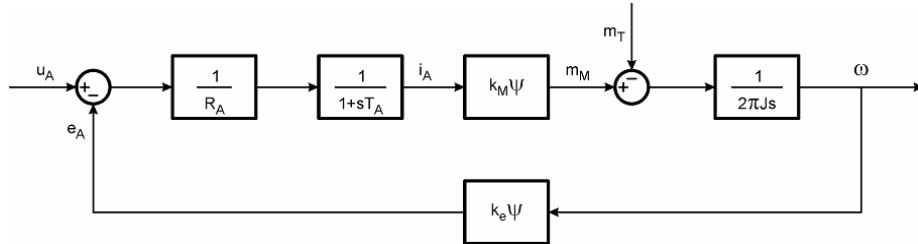
2.2.1. Mô tả toán học động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Từ các phương trình cơ bản của động cơ điện một chiều kích từ độc lập biến đổi Laplace ta có hệ phương trình sau [5]

$$\begin{aligned} u_A(s) &= e_A(s) + R_A \cdot i_A(s) + L_A \cdot s \cdot i_A(s), \\ e_A(s) &= k_e \cdot \psi \cdot \omega(s), \\ m_M(s) &= k_M \cdot \psi \cdot i_A(s), \\ m_M(s) - m_T(s) &= 2\pi J \cdot s \cdot \omega(s). \end{aligned} \tag{5}$$

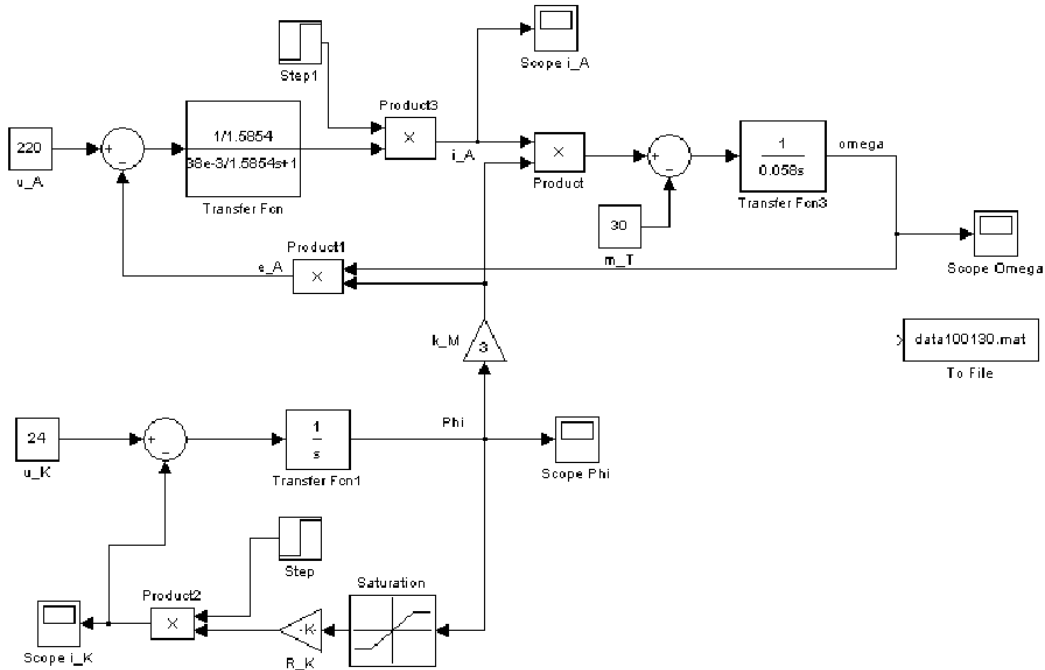
Từ hệ phương trình (5) ta xây dựng được sơ đồ khối động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi từ thông kích từ không đổi như Hình 2. Để mô phỏng các sự cố xảy ra khi động cơ đang làm việc ta sử dụng số liệu động cơ một chiều kích từ độc lập nghiên cứu có các thông số sau [5], điện áp phần ứng $u_A = 220V$, điện áp kích từ $u_K = 24V$, điện cảm phần ứng $L_A = 0,038H$, điện trở phần ứng $R_A = 1,5854\Omega$, mômen quán tính của rôto $J = 0,058kg/m^2$,

hằng số mômen $k_M = 3$. Trước thời điểm xảy ra sự cố coi như động cơ đang ở trạng thái xác lập (trong quá trình mô phỏng, xuất phát từ các sơ kiện bằng 0, ta quan sát thấy ở thời điểm 2s các mô hình động cơ đã đạt trạng thái xác lập nên các mô phỏng sẽ lấy thời điểm 2s là thời điểm xảy ra sự cố).



Hình 2. Sơ đồ khối động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi từ thông kích từ không đổi

Để có được giá trị tức thời của vận tốc góc, ta sử dụng mô hình mô phỏng của động cơ điện một chiều kích từ độc lập trên SIMULINK như Hình 3 [4, 6], trong đó sự cố sẽ được mô phỏng bằng cách điều chỉnh giá trị dòng i_A và i_K nhân với các hệ số tương ứng (tại thời điểm xảy ra quá độ), giá trị tải của động cơ được thay đổi ở tham số m_T .



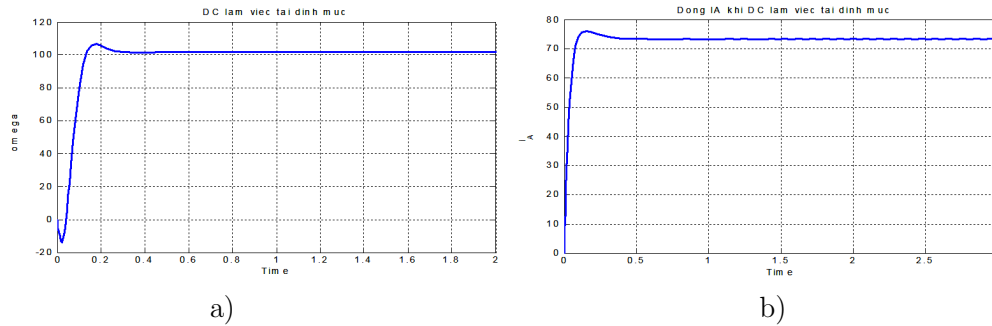
Hình 3. Mô hình mô phỏng động cơ điện một chiều kích từ độc lập sử dụng SIMULINK (Matlab)

2.2.2. Mô phỏng các chế độ làm việc

a. Động cơ khi làm việc bình thường

Từ Hình 4 ta thấy động cơ điện một chiều kích từ độc lập trên khi làm việc bình thường, tải định mức có đáp ứng đầu ra là tốc độ tốt. Hệ dao động ít, thời gian quá độ ngắn $t_{qd} = 0,3s$,

độ quá điều chỉnh nhỏ.

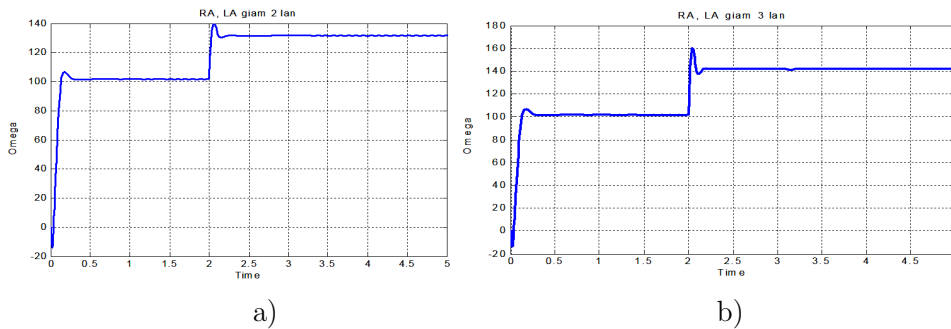


Hình 4. Đồ thị đáp ứng tốc độ(a), dòng điện phần ứng (b) động cơ làm việc bình thường khi tải định mức

b. Động cơ khi xảy ra sự cố

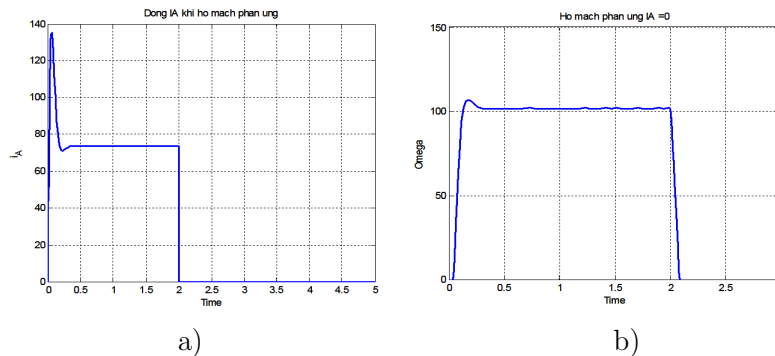
+ Sự cố chạm tắt các vòng dây phần ứng

Động cơ đang làm việc bình thường, tải định mức, sau 2s xảy ra sự cố R_A, L_A giảm, đáp ứng đầu ra tốc độ có dạng như trên Hình 5. Nhìn vào đồ thị ta thấy, khi R_A, L_A giảm càng nhiều thì tốc độ động cơ càng tăng cao, số lần dao động ít, thời gian quá độ khi xảy ra sự cố $t_{qd} = 0,15s$.



Hình 5. Đồ thị đáp ứng tốc độ khi xảy ra sự cố chạm tắt vòng dây phần ứng RA, LA giảm 2 lần (a), giảm 3 lần (b)

+ Hở mạch phần ứng

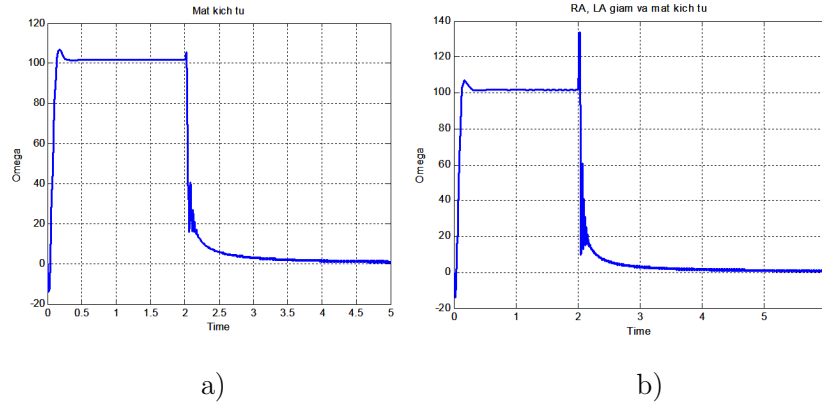


Hình 6. Đồ thị đáp ứng dòng điện (a), tốc độ (b) khi xảy ra sự cố hở mạch phần ứng

Khi động cơ đang làm việc bình thường tải định mức, giả sử sau 2s xảy ra sự cố hở mạch phần ứng, dòng điện phần ứng $i_A = 0$, đáp ứng ra tốc độ có dạng như sau Hình 6. Nhìn vào đồ thị Hình 6 ta thấy, khi xảy ra sự cố hở mạch phần ứng dòng điện phần ứng $i_A = 0$ ngay, tốc độ giảm về 0 sau thời gian quá độ 0,15s.

+ Sự cố chạm tắt các vòng dây phần ứng và mất kích từ

Tương tự ta có các đồ thị kết quả như trên Hình 7.



Hình 7. Đồ thị đáp ứng tốc độ khi xảy ra sự cố mất kích từ (a), khi xảy ra sự cố vừa chạm tắt dây quấn phần ứng vừa mất kích từ (b)

Từ các đồ thị mô phỏng động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi làm việc bình thường, khi đang làm việc bình thường sau 2s xảy ra các sự cố ta nhận thấy:

- + Với mỗi loại sự cố có độ quá điều chỉnh ở đồ thị đáp ứng tốc độ khác nhau
- + Khi xảy ra sự cố, thời gian quá độ đều nằm trong khoảng 2 đến 2,15s

Ý tưởng của giải pháp nhận dạng sẽ là tự động phân tích số liệu để có được mô hình mô tả sự khác nhau giữa các đường quá độ, từ trên cơ sở đó ta có thể suy ngược lại được sự cố đã gây ra quá trình quá độ đang xét.

3. PHÂN TÍCH SỐ LIỆU ĐỂ NHẬN DẠNG SỰ CỐ

3.1. Tạo bộ số liệu và xây dựng mô hình nhận dạng sự cố

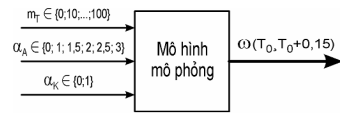
Để có được bộ số liệu mẫu, mô hình mô phỏng trên Hình 3 đã được sử dụng với nhiều thông số khác nhau đại diện cho những trường hợp làm việc và sự cố khác nhau của động cơ. Cụ thể:

- + Khi động cơ đang làm việc bình thường nhưng tải thay đổi thì cũng dẫn tới tốc độ động cơ biến thiên. Mạng TSK phải phân biệt được trường hợp động cơ có sự cố và trường hợp biến thiên của tải. Vì vậy ta xây dựng bộ số liệu với thông số thứ nhất biến thiên là m_T (tải). Ta chọn tải có khối lượng dao động trong khoảng từ 0 đến 100kg với bước thay đổi 10kg. Vậy ta có bộ số liệu theo tải là 11 trường hợp [0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100].

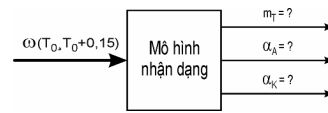
+ Khi hở mạch dây quấn phần ứng ta có dòng điện phần ứng $i_A = 0$, khi chạm tắt dây quấn phần ứng ta có dòng điện phần ứng tăng lên có thể 1,5; 2; 2,5; 3 lần so với định mức. Vậy ta có bộ số liệu theo sự thay đổi của hệ số dòng phần ứng là α_A có 6 trường hợp [0; 1; 1,5; 2; 2,5; 3].

+ Khi động cơ mất kích từ thì hệ số của dòng $\alpha_K = 0$. Khi động cơ làm việc bình thường ta xét trường hợp dòng kích từ không đổi hay hệ số dòng $\alpha_K = 1$. Vậy ta có thông số thứ hai của bộ số liệu là α_K với hai giá trị 0 hoặc 1.

+ Tổng hợp ba trường hợp biến thiên của các số liệu trên, ta xây dựng được bộ số liệu tổng quát gồm $11 \times 6 \times 2 = 132$ mẫu. Tuần tự từng bộ 3 giá trị của các tham số m_T, α_A, α_K được đưa vào mô hình mô phỏng trên Hình 3 để tính toán đưa ra được vận tốc góc đáp ứng của động cơ trong trường hợp đó như trên Hình 8.



Hình 8. Mô hình tạo bộ số liệu



Hình 9. Mô hình tổng quát nhận dạng sự cố

+ Theo như các khảo sát đã trình bày trên các hình từ Hình 5 đến Hình 7 ta thấy quá trình quá độ cho mẫu động cơ đang khảo sát diễn ra trong khoảng 150ms sau thời điểm quá độ (xét đồng nhất là tại $T_0 = 2s$), do đó trong khi xây dựng vector đặc tính ta sẽ chỉ cần lấy các giá trị tức thời trong khoảng $\omega_{T_0} \pm \omega_{T_0+0,15s}$.

Mục đích của mô hình nhận dạng là xây dựng được mô hình ngược, từ các giá trị tức thời của vận tốc góc cần xác định ngược lại 3 giá trị trạng thái của động cơ là m_T, α_A, α_K . Quá trình này được mô tả như trên Hình 9.

Để giảm bớt kích thước của mô hình nhận dạng, ta đã khảo sát và lựa chọn bước rời rạc hóa của giá trị tức thời của vận tốc góc là 0,01s. Bước rời rạc hóa này cho phép thu được các kết quả có độ chính xác chấp nhận được như trình bày dưới đây. Với bước rời rạc này ta có 16 giá trị tức thời của tốc độ góc $\omega_{T_0}, \omega_{T_0+0,01}, \dots, \omega_{T_0+0,05}$ để lập thành vector đặc tính \mathbf{x} của một mẫu gồm 16 thành phần $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_{16}]$. Như vậy 1 mẫu số liệu bao gồm cặp 2 véc tơ $\{\mathbf{x}, \mathbf{d}\}$ trong đó $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^{16}$ - vector đầu vào chứa 16 giá trị tức thời của vận tốc góc của động cơ, $\mathbf{d} \in \mathbb{R}^3$ - vector đầu ra tương ứng chứa 3 giá trị tham số m_T, α_A, α_K .

3.2. Ứng dụng mạng TSK nhận dạng sự cố trong động cơ điện một chiều

Từ bộ số liệu 132 mẫu ta tách thành 2 tập số liệu: 75% số mẫu (tương ứng với 99 mẫu) được dùng để xây dựng mô hình nhận dạng (bộ số liệu học), 25% (tương ứng với 33 mẫu) được dùng để kiểm tra mô hình nhận dạng (bộ số liệu kiểm tra). Tập mẫu kiểm tra ta chọn các mẫu có chỉ số 2, 6, 10, ..., 132 (cách 4); tập mẫu học 99 mẫu là các mẫu còn lại.

Với các thử nghiệm khác nhau, ta đã chọn số luật suy luận của mạng TSK thích hợp cho tập số liệu đã tạo là $M = 8$, từ đó ta xây dựng được sơ đồ cấu trúc mạng TSK nhận dạng

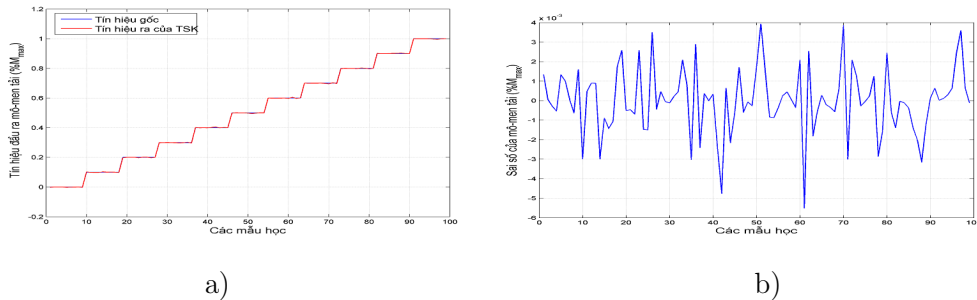
sự cố động cơ theo Hình 1 với các đáp ứng đầu ra (tính theo các công thức (1)–(4))

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}) = TSK(\mathbf{x}). \quad (5)$$

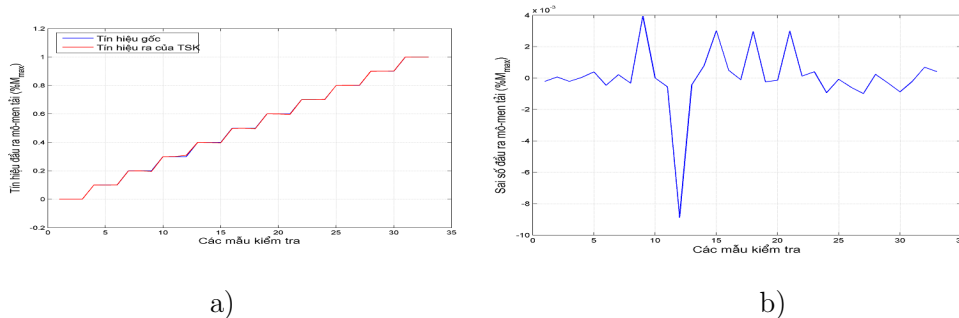
Vậy bài toán đặt ra là đi xác định tám trọng tâm $\mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_8$, các độ mở $\sigma_1, \dots, \sigma_8$, các hệ số hình dạng $\mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_8$, và các hàm TSK $f_1(\mathbf{x}), \dots, f_8(\mathbf{x})$ sao cho ta có $\forall \mathbf{x} : \mathbf{y} = TSK(\mathbf{x}) \approx \mathbf{d}$ (đáp ứng đầu ra của mạng xấp xỉ với giá trị đích cần có) với tất cả các mẫu trong bộ số liệu học (99 mẫu) và bộ số liệu kiểm tra (33 mẫu). Việc xác định các thông số của mạng này sẽ được thực hiện bằng thuật toán bước giảm cực đại để tối ưu hóa sai số giữa đầu ra của mạng và đầu ra đích cần có. Chi tiết thuật toán học bước giảm cực đại tổng quát được trình bày trong [1,2], thuật toán học bước giảm cực đại cho mạng TSK được trình bày trong [3].

Đối với bộ số liệu đã có, quá trình học theo thuật toán bước giảm cực đại được thực hiện với 50 bước lặp. Các kết quả học (với bộ 99 mẫu) của mạng TSK đối với kênh 1 (nhận dạng giá trị m_T) được thể hiện trên Hình 10. Các giá trị đích là 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1 tương ứng với 11 trường hợp tải dao động.

Từ trên Hình 10a ta có đầu ra của mạng TSK đã bám sát với các giá trị đích, các sai số đều nhỏ hơn giá trị ngưỡng của sai số nhận là 0,1 (sai số lớn nhất trên Hình 10b không vượt quá $6 \cdot 10^{-3}$.) Mạng sau khi được huấn luyện đã được kiểm tra với tập 33 số liệu khác với các mẫu đã học.



Hình 10. Kết quả học trên 99 mẫu cho nhận dạng trạng thái của mômen tải (biến thiên từ 0 đến 100% mô men max)(a), và sai số học giữa kết quả đầu ra TSK và giá trị đích (cho mômen tải) (b)

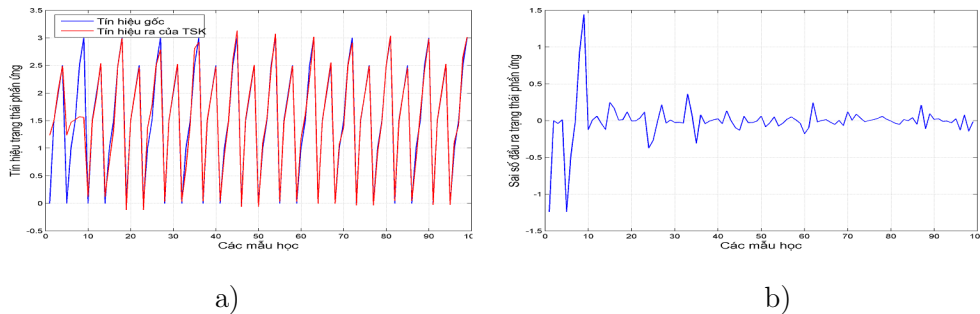


Hình 11. Kết quả kiểm tra trên 33 mẫu nhận dạng giá trị mômen tải biến thiên từ 0 đến 100% mômen max(a) và Sai số học giữa kết quả đầu ra TSK và giá trị đích cho mômen tải (b).

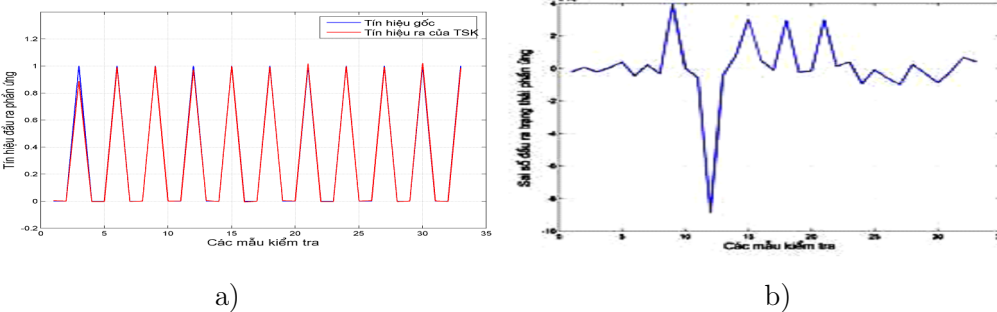
Hình 11 mô tả đầu ra m_T (đầu ra thứ nhất) của mạng cùng với các giá trị đích và sai số giữa hai tín hiệu này.

Cũng tương tự như trong trường hợp kết quả học, khi đưa vào mạng TSK các số liệu từ các mẫu của tập kiểm tra, ta có thể dễ dàng nhận thấy đối các tín hiệu đầu ra bám sát theo giá trị đích. Từ đồ thị sai số ở Hình 11b, ta thấy không có trường hợp tín hiệu vượt ngưỡng 0,1 (sai số lớn nhất không vượt quá 10^{-2}).

Với các kết quả như trên, cả trong trường hợp xây dựng cũng như kiểm tra, mô hình TSK đều cho kết quả nhận dạng chính xác cao. Cụ thể sai số học $E_{hoc} = 0\%$ sai số kiểm tra bằng $E_{kt} = 0\%$. Hoàn toàn tương tự, ta xét đầu ra thứ hai của mạng TSK (nhận dạng giá trị α_A). Các kết quả học và kiểm tra cho kênh này được thể hiện trên các hình Hình 12 và Hình 13.



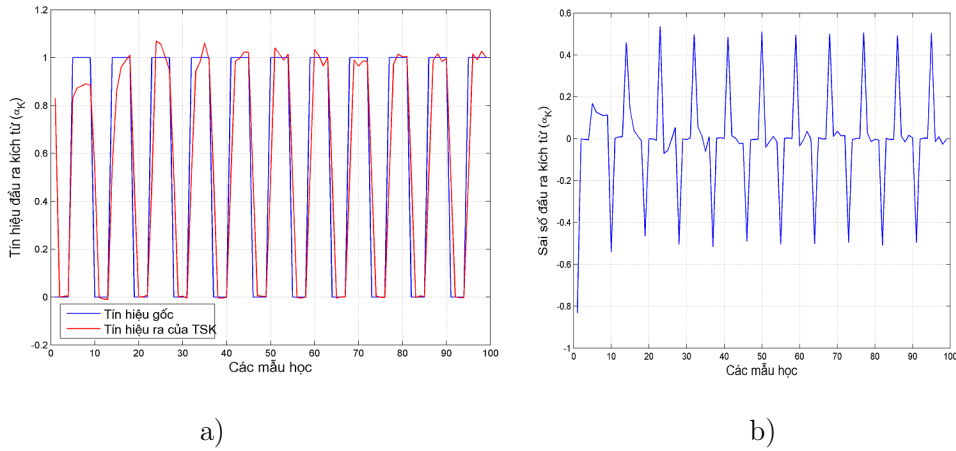
Hình 12. Kết quả học trên 99 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng phần ứng (a) và sai số học trên 99 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng phần ứng (b)



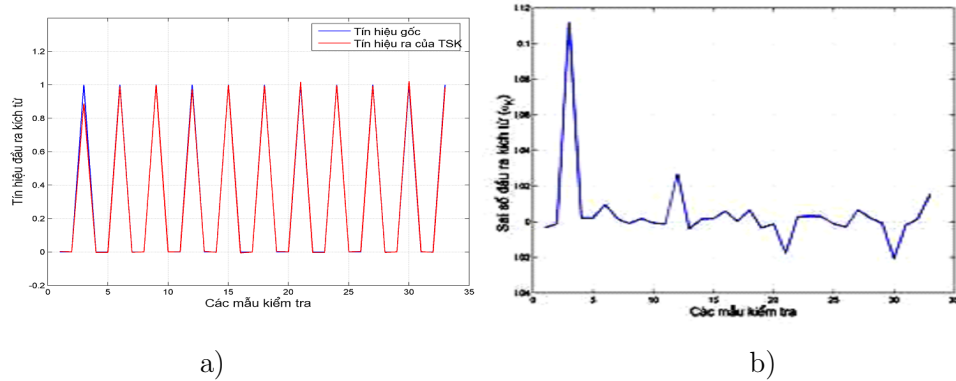
Hình 13. Kết quả kiểm tra trên 33 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng phần ứng(a), sai số trên 33 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng phần ứng (b)

Có thể nhận thấy trên Hình 12b có 4 trường hợp sai số vượt ngưỡng 0,25, ứng với sai số học $E_{hoc} = \frac{4}{99} \cdot 100\% = 4,04\%$, còn trên Hình 13b sai số kiểm tra vượt ngưỡng bằng 0 ứng với $E_{kt} = 0\%$.

Tương tự đầu ra thứ ba của mạng TSK (nhận dạng giá trị α_K) có các kết quả học và kiểm tra được thể hiện tương ứng trên Hình 14 và Hình 15.



Hình 14. Kết quả học trên 99 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng kích từ (a), sai số học giữa đầu ra của mạng và giá trị đích cho nhận dạng trạng thái của dòng kích từ (b).



Hình 15. Kết quả kiểm tra trên 33 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng kích từ (a), sai số kiểm tra trên 33 mẫu cho nhận dạng trạng thái của dòng kích từ (b)

Trên Hình 14b ta có thể quan sát được 5 trường hợp sai số vượt ngưỡng 0,5, ứng với sai số học $E_{hoc} = \frac{5}{99} \cdot 100\% = 5\%$; còn trên Hình 15b, tất cả các mẫu kiểm tra đều có sai số nhỏ hơn 0,5, ứng với sai số kiểm tra bằng $E_{kt} = 0\%$.

4. KẾT LUẬN

Mô hình mạng nơ-ron logic mờ *TSK* có khả năng ứng dụng trong nhiều loại bài toán nhận dạng. Bài báo đã đề xuất nhận dạng phát hiện sự cố xảy ra trong động cơ điện một chiều kích từ độc lập, cụ thể qua kết quả khảo sát thấy đối với các loại sự cố và sự thay đổi của tải, ta có độ chính xác cao trên 95%, nhiều trường hợp đạt 100%. Đồng thời, sau khi có được vectơ đặc tính cho các tốc độ của động cơ thì quá trình tính toán mô hình *TSK* đã được thực hiện gần như hoàn toàn tự động.

Các hướng có thể phát triển tiếp theo như tự động phát hiện thời điểm sự cố, triển khai đo đạc và xử lý với tín hiệu từ các động cơ thực tế, khảo sát các dạng sự cố khác của động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.Haykin, *Neuralnetworks - A Comprehensive Foundation*, Macmillan College Publishing Company, New York, 1994.
- [2] J.S.Jang, C.T.Sun, E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, N.J., 1997.
- [3] Trần Hoài Linh, The modification of TSK network in neuro-fuzzy systems, *XXV IC SPETO*, 2002 (525-528).
- [4] Neural networks toolbox for use with Matlab, www.mathworks.com.
- [5] Phạm Công Ngô, *Lý thuyết điều khiển tự động*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 2001.
- [6] Nguyễn Phùng Quang, *Matlab & Simulink*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 2003.

Nhận bài ngày 30 - 1 - 2012