

ĐIỀU KHIỂN PI MỘT NƠ-RON KẾT HỢP BỘ NHẬN DẠNG MẠNG NƠ-RON RBF ÁP DỤNG TRÊN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

SINGLE NEURAL PI CONTROL COMBINED WITH THE RBF NEURAL NETWORK IDENTIFIER APPLYING FOR AN 3-PHASE INDUCTION MOTOR

PHAN ĐỨC LONG^{1a}, NGUYỄN XUÂN VINH¹, NGUYỄN CHÍ NGÔN²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Cần Thơ

^aTác giả liên hệ: phanduclong@lttc.edu.vn

Nhận bài (Received): 24/3/2023; Phản biện (Reviewed): 05/5/2023; Chấp nhận (Accepted): 08/5/2023

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đề xuất một cấu trúc điều khiển dùng bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF kết hợp với bộ điều khiển tích phân tỷ lệ PI một nơ-ron (gọi tắt là bộ điều khiển PI-RBF), áp dụng trên động cơ không đồng bộ ba pha, phi tuyến và phức tạp với nhiều thông số. Mục tiêu cơ bản của giải thuật là kiểm soát tốc độ động cơ đạt tốc độ mong muốn với thời gian xác lập ngắn, hạn chế vọt lố và sai số xác lập. Để đáp ứng yêu cầu này, các thuật toán cập nhật trực tuyến bộ điều khiển RBF-PI đã được sử dụng. Việc khảo sát đáp ứng của động cơ khi thay đổi tốc độ đặt và mô-men tải đã được triển khai. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ điều khiển hoạt động ổn định và bền vững ngay cả khi có tác động của nhiễu.

Từ khóa: Điều khiển PI, động cơ không đồng bộ ba pha, huấn luyện trực tuyến, mạng nơ-ron RBF, nhận dạng mô hình

ABSTRACT

This study aims to propose a control structure using RBF neural network identifier combined with a one-neural PI controller (so-called PI-RBF controller), applying to speed control of a 3-phase induction motor that is nonlinear and complex with several model parameters. The main objective of the algorithm is to control motor speed reaching the desired speed in a short response time, reducing overshoot and steady-state error. To meet that requirement, online training algorithms for RBF-PI controller has been used. The Investigating of induction motor responses when changing the set speed and load torque has been also carried out. Simulation results show that the control system is stable and robust even under the affecting of disturbances.

Keywords: PI control, 3-phase induction motor, online training, RBF neural network, model identification

1. GIỚI THIỆU

Trong công nghiệp ngày nay hầu hết các dây chuyền sản xuất đều có sử dụng hệ truyền động điện, trong đó, động cơ điện

đóng góp nguồn động năng chủ đạo [1]. Với thiết kế đơn giản, chi phí bảo trì thấp và vận hành dễ dàng, động cơ cảm ứng hay động cơ không đồng bộ (KĐB) chiếm

hơn 80% nguồn chuyển đổi cơ – điện trong truyền động công nghiệp [1, 2]. Điều khiển tốc độ động cơ KĐB 3 pha luôn là vấn đề được nhiều nhà khoa học và các hãng thiết bị quan tâm [3, 4]. Tuy nhiên, do động cơ điện KĐB 3 pha phi tuyến và bị tác động bởi nhiều yếu tố trong quá trình vận hành như sự thay đổi của tải, sự tác động của môi trường công nghiệp... mà các giải pháp điều khiển đơn giản thường không đáp ứng thật sự tốt [5]. Ngoài ra, dưới tác động của nhiều yếu tố bên ngoài, các tham số của đối tượng thường bị thay đổi trong quá trình vận hành. Điều này ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển, nhất là các giải pháp thiết kế đòi hỏi phải biết trước mô hình toán của đối tượng, như điều khiển PID truyền thống [5, 6]. Việc không xác định chính xác mô hình toán của động cơ sẽ dẫn đến bộ điều khiển chỉ được chỉnh định gần đúng, làm cho khả năng vượt quá tốc độ lên đến 30%, như trong [5]. Điều này ảnh hưởng đến hệ truyền động và tuổi thọ của động cơ do quá tốc lớn ở giai đoạn khởi động [7].

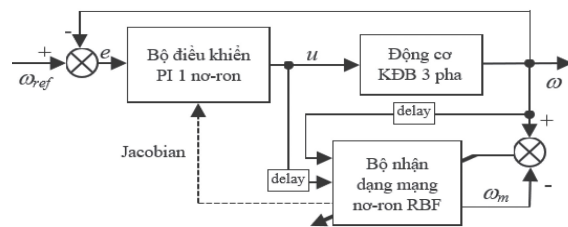
Nghiên cứu này nhằm phát triển giải thuật điều khiển thông minh kết hợp giữa điều khiển tích phân tỷ lệ PI một nơ-ron với bộ nhận dạng mô hình đối tượng dùng mạng nơ-ron RBF, gọi tắt là bộ điều khiển PI-RBF. Từ đó, nghiên cứu tiến hành khảo sát khả năng tác động của bộ điều khiển PI-RBF lên đáp ứng của đối tượng khi có sự biến thiên của vận tốc đặt, mô-men

tải và sự tác động của nhiễu trên động cơ KĐB 3 pha.

2. NỘI DUNG

2.1. Cấu trúc điều khiển

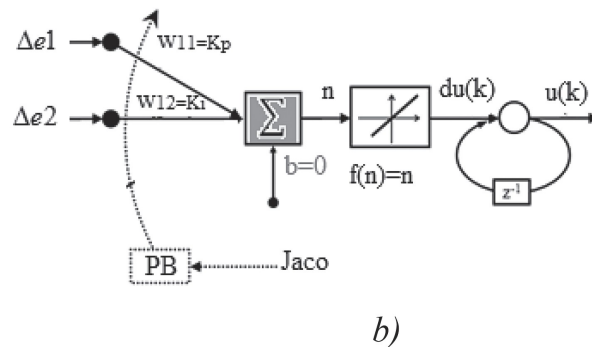
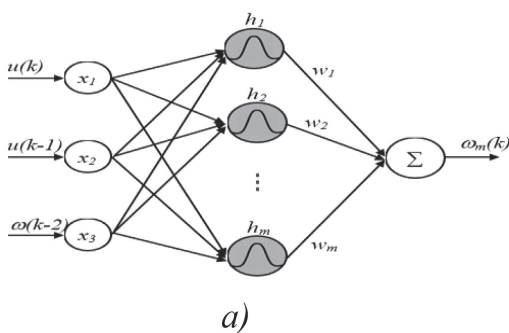
Sơ đồ điều khiển hệ thống được thiết lập dựa theo [8], như trên Hình 1. Ở đây, mạng nơ-ron RBF được huấn luyện trực tuyến để giữ vai trò nhận dạng mô hình không tham số của đối tượng điều khiển và xác định được độ nhạy của đáp ứng đối với tín hiệu điều khiển, còn gọi là thông tin Jacobian. Từ thông tin Jacobian này, một nơ-ron tuyến tính cấu hình thành bộ điều khiển PI, được huấn luyện. Nơ-ron PI này có bộ trọng số chính là 2 tham số K_p và K_i của bộ điều khiển. Trên cơ sở đó, bộ điều khiển PI được điều chỉnh trực tuyến theo sự thay đổi đặc tính động của hệ thống.



Hình 1. Cấu trúc điều khiển PI-RBF

2.2. Bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF

Mạng nơ-ron RBF với cấu trúc 3 lớp, thể hiện trên Hình 2a, được huấn luyện để nhận dạng mô hình không tham số của đối tượng. Chi tiết về bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF có thể tìm thấy ở tài liệu [8-10].



Hình 2. a) Bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF; b) Cấu trúc bộ PI một nơ-ron

Hiệu suất của giải thuật huấn luyện được đánh giá thông qua hàm chi phí (1), là sai số bình phương trung bình giữa ngõ ra bộ nhận dạng và ngõ ra của đối tượng. Giải thuật Gradient Descent được dùng để cập nhật bộ tham số (w_j, c_j, b_j) của hàm cơ sở xuyên tâm h_j như sau [11]:

$$MSE(k) = \frac{1}{2} (\omega(k) - \omega_m(k))^2 \quad (1)$$

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \eta err(k) h_j + \alpha (w_j(k-1) - w_j(k-2)) \quad (2)$$

$$\Delta b = err(k) w_j h_j \frac{\|X - c_j\|^2}{b_j^3} \quad (3)$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) - \eta \Delta b_j + \alpha (b_j(k-1) - b_j(k-2)) \quad (4)$$

$$\Delta c_{ji} = err(k) w_j \frac{\|X - c_{ji}\|^2}{b_j^2} \quad (5)$$

$$c_{ji}(k) = c_{ji}(k-1) + \eta \Delta c_{ji} + \alpha (c_{ji}(k-1) - c_{ji}(k-2)) \quad (6)$$

với $err(k) = \omega(k) - \omega_m(k)$ là sai số giữa đáp ứng của hệ thống và ngõ ra bộ nhận dạng; $\eta \in (0, 0.2]$ là hằng số tốc độ học; và $\alpha \in [0.8, 1)$ là hằng số momen [9-11].

Từ bộ nhận dạng này, thông tin về mức độ biến thiên của đáp ứng đối với sự thay đổi của tín hiệu điều khiển, hay độ nhạy của đáp ứng, gọi là thông tin Jacobian được xác định như sau:

$$\frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial \omega_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{ji} - x_1}{b_j^2} \quad (7)$$

với $x_1 = u(k)$. Thông tin Jacobian sẽ được sử dụng cho giải thuật cập nhật trực tuyến trọng số bộ điều khiển PI một nơ-ron.

2.3. Bộ điều khiển PI một nơ-ron

Cấu trúc của bộ điều khiển PI một nơ-ron thể hiện trong các thông số ở Hình 2b. Trong đó 2 thông số K_p và K_i được cập nhật trực tuyến để nhận dạng thông tin Jacobian từ tỷ số độ nhạy tức thời giữa ngõ ra và ngõ

vào của đối tượng điều khiển [9, 12, 13]. Phương trình toán bộ điều khiển PI được thiết lập như sau:

$$u(k) = u(k-1) + (K_p \Delta e1 + K_i \Delta e2) \quad (8)$$

Sai biệt ở thời điểm lấy mẫu thứ k giữa tín hiệu đặt ω_{ref} và đáp ứng ω của hệ thống:

$$e(k) = \omega_{ref}(k) - \omega(k) \quad (9)$$

Hai ngõ vào của bộ PI được xác định, với chu kỳ lấy mẫu T_s :

$$x_1 = \Delta e1 = e(k) - e(k-1), \quad (10)$$

$$x_2 = \Delta e2 = T_s e(k)$$

Cấu trúc bộ điều khiển PI một nơ-ron trên Hình 2b, áp dụng trong nghiên cứu này được biểu diễn bởi phương trình (11).

$$n = (w_{11} \Delta e1 + w_{12} \Delta e2) \quad (11)$$

$$du(k) = f(n) = n$$

$$u(k) = u(k-1) + du(k)$$

trong đó, $w_{ji} |_{i=1,2}$ là các trọng số kết nối của nơ-ron, chính là bộ hai thông số (K_p, K_i) của bộ điều khiển PI và chúng được cập nhật trực tuyến trong quá trình điều khiển.

Mục tiêu của quá trình huấn luyện bộ điều khiển PI một nơ-ron là điều chỉnh bộ trọng số $w_{ji} |_{i=1,2}$ của mạng để cực tiểu hóa hàm chi phí.

$$E(k) = \frac{1}{2} e(k) = \frac{1}{2} [\omega_{ref}(k) - \omega(k)] \quad (12)$$

Để điều chỉnh bộ trọng số $w_{ji} |_{i=1,2}$, phương pháp gradient descent được áp dụng:

$$K_p = w_{11}(k+1) = w_{11}(k) + \Delta w_{11}(k), \quad (13)$$

$$K_i = w_{12}(k+1) = w_{12}(k) + \Delta w_{12}(k).$$

trong đó, $\Delta w_{1,i(k)} |_{i=1,2}$ là các gradient xác định bởi (14) và (15), được kiểm chứng thành công bởi [9, 14]:

$$\begin{aligned} \Delta w_{11}(k) &= \eta^{kp} \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{11}(k)} \right) \\ &= -\eta^{kp} \frac{\partial E(k)}{\partial \omega(k)} \frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_{11}(k)} \\ &= \eta^{kp} e(k) \frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)} \Delta e1 \quad (14) \end{aligned}$$

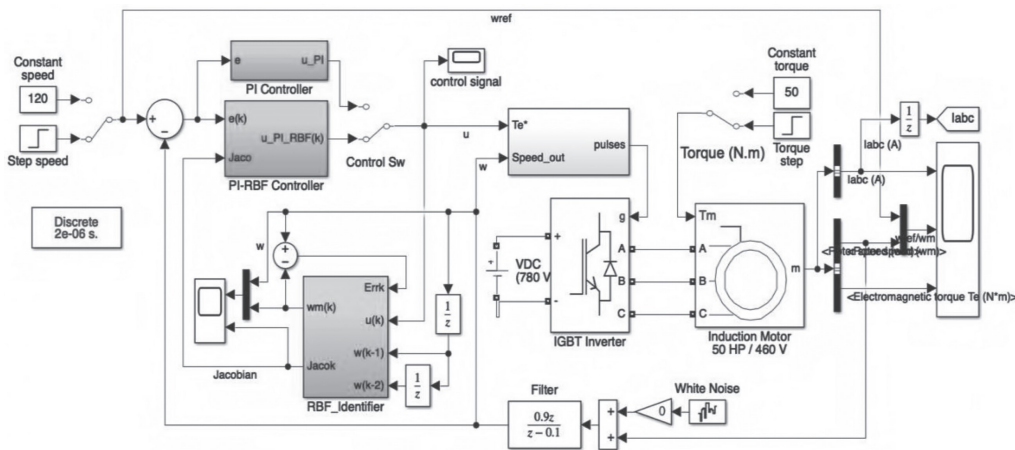
$$\begin{aligned} \Delta w_{12}(k) &= \eta^{k_i} \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{12}(k)} \right) \\ &= -\eta^{k_i} \frac{\partial E(k)}{\partial \omega(k)} \frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)} \frac{\partial u(k)}{\partial w_{12}(k)} \\ &= \eta^{k_i} e(k) \frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)} \Delta e_2 \end{aligned} \quad (15)$$

với, η^k $|_{k=Kp, Ki}$ là các hằng số tốc độ học; $\Delta e_1, \Delta e_2$ xác định theo (10); $\frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)}$ là độ nhạy xác định thông qua bộ nhận dạng

mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm (7).

2.4. Kết quả mô phỏng

Sơ đồ điều khiển PI-RBF trên mô hình động cơ KĐB 3 pha chuẩn (công suất 50 HP, điện áp 460V, tần số 60 Hz, tốc độ tối đa 1.780 vòng/phút, điện trở stator $R_s=0.09961 \Omega$, điện cảm stator và rotor $L_s=L_r=0.000867$ H, điện trở rotor $R_r=0.05837 \Omega$) của MATLAB, được thể hiện trên Hình 3.

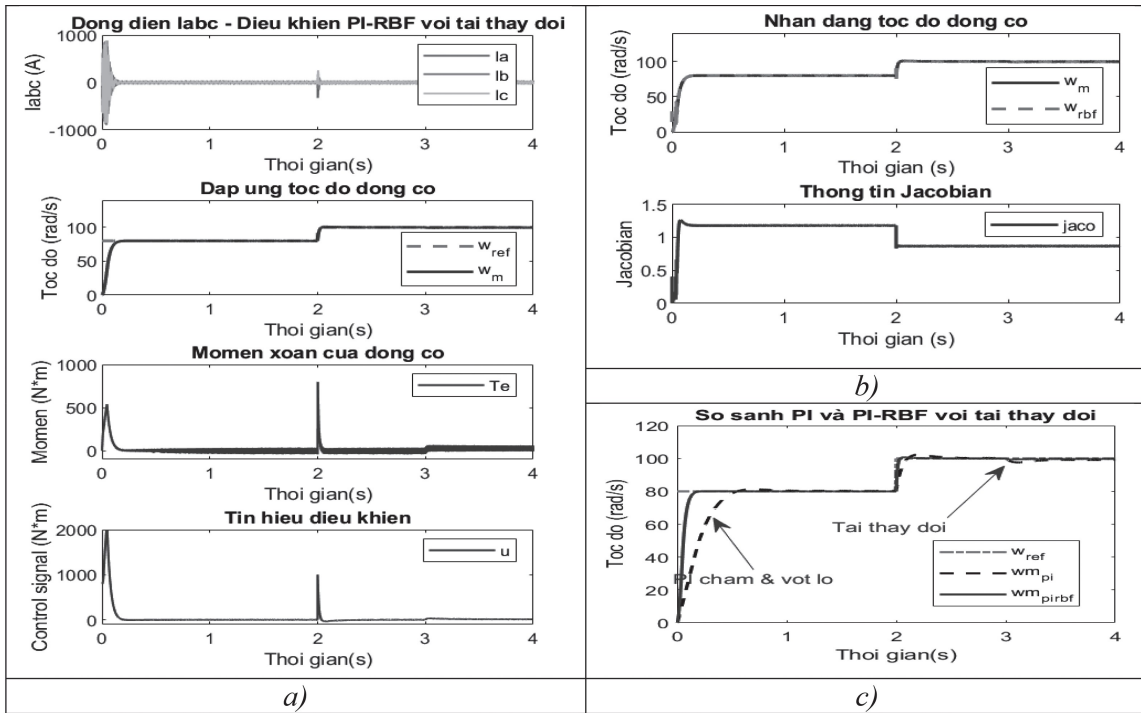


Hình 3. Sơ đồ bộ điều khiển PI-RBF.

Trên Hình 3, bộ nhận dạng mô hình đối tượng được xây dựng bằng một *S-function* của MATLAB. Nhiệm vụ cơ bản của bộ nhận dạng này là ước lượng thông tin Jacobian của đối tượng, làm cơ sở để cập nhật trọng số của bộ điều khiển PI một nơ-ron. Bộ điều khiển PI truyền thống cũng được tích hợp và có thể kích hoạt bằng một khóa lựa chọn, để so sánh khả năng kiểm soát tốc độ động cơ KĐB ba pha giữa hai kiểu điều khiển.

Hình 4a trình bày kết quả kiểm soát tốc độ động cơ, trong đó 2 giây đầu tiên tốc độ động cơ bám tốt tốc độ đặt ở 80 rad/s và 2 giây cuối đáp ứng bám tốt tốc độ đặt ở 120 rad/s, với độ vọt lố không đáng kể và sai số xác lập tiến về 0. Ở giây thứ 3, mô-men tải thay đổi 50%, nhưng tốc độ động cơ vẫn

được bộ điều khiển PI-RBF kiểm soát bám tốt tốc độ đặt. Hình 4b trình bày khả năng nhận dạng tốc độ động cơ và ước lượng thông tin Jacobian của mạng RBF. Ở Hình 4b, mạng RBF hội tụ sau khoảng 0,3 giây và cho kết quả nhận dạng tốc độ động cơ trùng khớp với tốc độ của đối tượng. Điều này cho thấy hiệu quả cao của kỹ thuật huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng. Hình 4c trình bày kết quả so sánh đáp ứng tốc độ động cơ đối với bộ điều khiển PI-RBF và bộ điều khiển PI truyền thống. Kết quả so sánh cho thấy bộ điều khiển PI-RBF cho đáp ứng tốt hơn bộ PI truyền thống với thời gian quá độ được rút ngắn đáng kể, độ vọt lố giảm và phản ứng với sự thay đổi mô-men tải tại giây thứ 3 được cải thiện tốt. Chi tiết so sánh 2 bộ điều khiển này được trình bày ở Bảng 1.



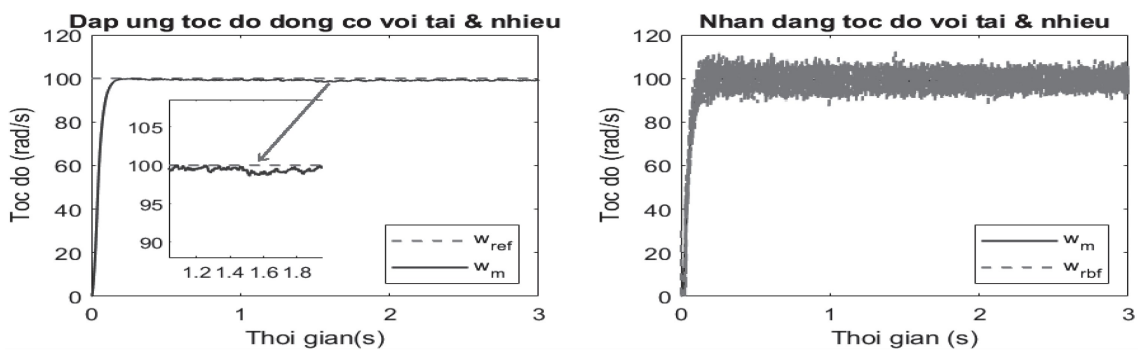
Hình 4. a) Kết quả mô phỏng điều khiển PI-RBF, b) Kết quả nhận dạng mô hình động cơ, c) So sánh bộ điều khiển PI-RBF và bộ PI truyền thống

Bảng 1. So sánh đáp ứng của đối tượng với điều khiển PI-RBF và PI truyền thống

TT	Tiêu chí so sánh	Bộ điều khiển PI-RBF	Bộ điều khiển PI
1	Thời gian tăng/giảm (s)	0,22	0,48
2	Thời gian đạt đỉnh (s)	0,51	0,85
3	Phần trăm độ vọt lố (%)	0,166	1,5
4	Sai số xác lập (%)	0	0,8
5	Thời gian xác lập (s)	0,75	1,2

Để khảo sát tính ổn định bền vững của bộ điều khiển PI-RBF, nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng hệ điều khiển với tải thay đổi (tăng 100% tải tại thời điểm

1,5 giây), đồng thời dùng nhiễu trắng giả lập nhiễu cảm biến vận tốc của động cơ. Kết quả mô phỏng này được thể hiện trên Hình 5.



Hình 5. Kết quả mô phỏng trường hợp tải thay đổi và có nhiễu cảm biến tốc độ

Từ kết quả Hình 4-5 và Bảng 1 ta thấy bộ điều khiển PI-RBF có ưu điểm vượt trội và ổn định bền vững so với bộ điều khiển PI khi áp dụng trên động cơ không đồng bộ 3 pha. Sở dĩ đáp ứng đạt được kết quả này vì cấu trúc bộ điều khiển PI một nơ-ron và bộ nhận dạng mạng nơ-ron RBF đều được cập nhật tham số một cách trực tuyến. Điều này làm cho bộ điều khiển trở nên linh hoạt, thích nghi tốt với sự biến đổi của các điều kiện tác động lên đối tượng, khắc phục tốt hạn chế về việc cố định tham số của bộ điều khiển PI truyền thống.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xây dựng được giải thuật điều khiển tốc độ động cơ không đồng

bộ ba pha bằng bộ điều khiển PI một nơ-ron kết hợp với bộ nhận dạng mô hình không tham số của đối tượng dùng mạng nơ-ron RBF (gọi tắt là bộ điều khiển PI-RBF) trên công cụ Simulink của MATLAB. Đồng thời, nghiên cứu cũng đã khảo sát đáp ứng của hệ điều khiển trước sự thay đổi tốc độ đặt, tác động của nhiễu và tải, nhằm đánh giá độ ổn định và bền vững của bộ điều khiển. Kết quả cho thấy bộ điều khiển PI-RBF đáp ứng tốt và kiểm soát động cơ đạt tốc độ mong muốn một cách ổn định và bền vững trước sự thay đổi của các điều kiện cụ thể. Tuy nhiên, thời gian tới, nghiên cứu này cần được tiếp tục kiểm tra trên thiết bị thực nghiệm nhằm so sánh và đánh giá với kết quả mô phỏng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M.S.Aspalli. and P. V. Hunagund, “Three phase induction motor drive using IGBTs and constant V/F method,” *Inter. J. of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instru. Energy*, vol. 1, pp. 463-469, 2012.
- [2]. H. Henao et al., “Trends in Fault Diagnosis for Electrical Machines: A Review of Diagnostic Techniques,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 8, no. 2, pp. 31-42, 2014, doi: 10.1109/MIE.2013.2287651.
- [3]. N. H. Mugheri, M. U. Keerio, S. Chandio, and R. H. Memon, “Robust Speed Control of a Three Phase Induction Motor Using Support Vector Regression,” *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 11, no. 6, pp. 7861–7866, 2021.
- [4]. J. Lepka and P. Stekl, “3-Phase AC Induction Motor Vector Control Using a 56F80x, 56F8100 or 56F8300 Device Design of Motor Control Application,” 2005.
- [5]. H. Hartono, R. I. Sudjoko, and P. Iswahyudi, “Speed Control of Three Phase Induction Motor Using Universal Bridge and PID Controller,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1381, no. 1, p. 012053, 2019/11/01 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1381/1/012053.
- [6]. A. I. Alfred, T. T. Iliya, S. Y. Musa, and A. Chinda, “Design of Tuning Mechanism of PID Controller for Application in three Phase Induction Motor Speed Control,” *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 4, no. 11, 2017/11// 2017.
- [7]. K. P. Basu and S. Yusuf, “A Novel Method of Starting a 3-Phase Induction Motor with One Phase Out from the Source of Supply,” *The Inter. J. of Electrical Engineering & Education*, vol. 36, no. 1, pp. 25-30, 1999.

- [8]. Z. Ming-guang, W. Xing-gui, and L. Man-qiang, "Adaptive PID control based on RBF neural network identification," in 17th IEEE Inter. Conf. on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05), 14-16 Nov. 2005, pp. 3 pp.-683, doi: 10.1109/ICTAI.2005.26.
- [9]. N. C. Ngõn and T. T. Tú, "Điêu khiển PID thích nghi cho hệ ổn định áp suất dựa trên bộ nhận dạng dùng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm," Tạp chí KH và CN Đại học Đà Nẵng, vol. 11, no. 60, pp. 6-12, 2012.
- [10]. Y. Zhang, J. Song, S. Song, and M. Yan, "Adaptive PID Speed Controller Based on RBF for Permanent Magnet Synchronous Motor System," in 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 11-12 May 2010 2010, vol. 1, pp. 425-428, doi: 10.1109/ICICTA.2010.329.
- [11]. J. Liu, Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems: Design, Analysis and Matlab Simulation. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [12]. Nguyễn Chí Ngõn và Lê Thị Nhung, "Điêu khiển PID một nơ-ron hồi quy hệ ổn định áp suất GUNT-RT030," Tạp Chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật, số 63 (04/2021), trang 57-64.
- [13]. N. C. Ngõn and Đ. Tín, "Điêu khiển PID một nơ-ron thích nghi dựa trên bộ nhận dạng mạng nơ-ron mờ hồi qui áp dụng cho hệ thanh và bóng," Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, no. 20a, pp. 159-168, 2011.
- [14]. S. Zeng, H. Hu, L. Xu, and G. Li, "Nonlinear adaptive PID control for greenhouse environment based on RBF network," (in eng), Sensors (Basel), vol. 12, no. 5, pp. 5328-48, 2012, doi: 10.3390/s120505328.