

ĐÁNH GIÁ BỘ ĐIỀU KHIỂN DÙNG MẠNG NƠ-RON MỜ HỒI QUY TRÊN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA EVALUATING THE RECURRENT FUZZY NEURAL NETWORK - BASED CONTROLLER ON 3-PHASE INDUCTION MOTORS

TĂNG CẨM HUÊ^{1a}, NGUYỄN VĂN MINH¹, NGUYỄN CHÍ NGÔN²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Cần Thơ

^aTác giả liên hệ: tangcamhue@lvtc.edu.vn

Nhận bài(Received): 30/3/2023; Phản biện (Reviewed): 05/5/2023; Chấp nhận (Accepted): 26/5/2023

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm khảo sát khả năng đáp ứng của bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy trên động cơ không đồng bộ 3 pha. Theo đó, cơ chế điều khiển giám sát được xây dựng bằng cách kết hợp giữa bộ điều khiển PI truyền thống và bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy để tự chỉnh định tham số bộ điều khiển, nhằm thích nghi với các điều kiện thay đổi. Kết quả mô phỏng trên MATLAB cho thấy, khi bộ điều khiển PI chạy độc lập nó cho đáp ứng có độ vọt lố cao. Tuy nhiên, khi kết hợp với bộ điều khiển giám sát dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy thì đáp ứng của đối tượng có độ vọt lố không đáng kể. Kết quả khảo sát cho thấy các giải thuật huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng và bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy đã giám sát và cập nhật tín hiệu điều khiển phù hợp hơn, khắc phục được hạn chế về việc cố định tham số của bộ điều khiển PI truyền thống.

Từ khóa: Bộ điều khiển PI, điều giám sát, động cơ không đồng bộ, huấn luyện trực tuyến, mạng nơ-ron mờ hồi quy.

ABSTRACT

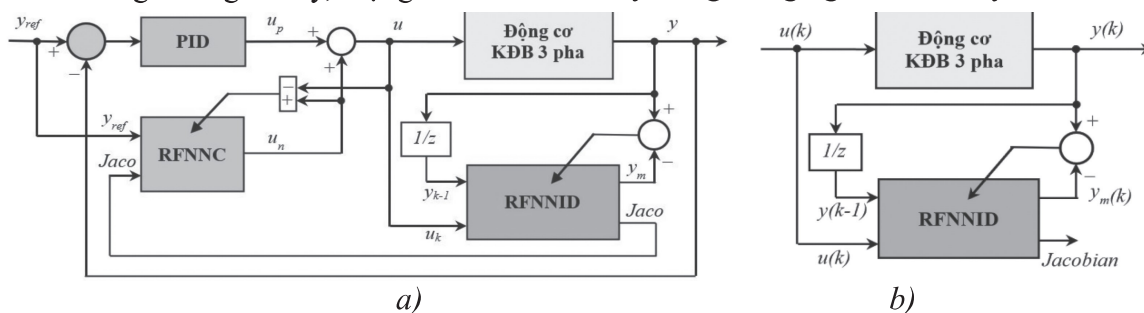
This study aims to investigate the ability of using recurrent fuzzy neural network (RFNN) – based controller on 3-phase induction motors. Accordingly, the supervisory control mechanism was built by combining the traditional PI controller and the RFNN-based controller for self-adjusting parameters to adapt to changed control conditions. Simulation results on MATLAB show that, when the PI controller worked independently, it gave a high overshoot response. However, when combined with a supervisory controller using a RFNN, the IM speed response had a negligible overshoot. The investigative results also show that online training algorithms of the RFNN - based identifier and controller have monitored and updated the control signal more appropriately, overcoming the limitation of fixed parameter PI controller.

Keywords: Induction motor, online training, PI controller, recurrent fuzzy neural networks, supervisory control.

1. GIỚI THIỆU

Hoạt động sản xuất công nghiệp thường dùng hệ truyền động điện, trong đó, động cơ không đồng bộ (KĐB) là một nguồn động năng quan trọng [1]. Việc kiểm soát tốc độ động cơ KĐB 3 pha luôn là chủ đề thu hút nhiều quan tâm [2, 3]. Bởi vì, trong môi trường công nghiệp khắc nghiệt, các kiểu điều khiển kinh điển đã tỏ ra hạn chế [4]. Hiện có hai hướng nghiên cứu đã và đang được triển khai. Hướng thứ nhất cố gắng mô hình hóa động cơ KĐB 3 pha càng chính xác càng tốt [3, 5-7] để hỗ trợ cho khâu mô phỏng và hiệu chỉnh bộ điều khiển, nhất là điều khiển PID vốn dễ triển khai [4, 8]. Hướng thứ hai phát triển các giải thuật điều khiển chỉ dựa trên tín hiệu vào, ra như dùng mạng nơ-ron nhân tạo [9, 10] hay kỹ thuật điều khiển mờ [7, 11]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn tồn tại một số hạn chế vì cơ chế huấn luyện off-line, chúng chỉ đáp ứng tốt ở thời điểm lắp đặt. Theo thời gian, đối tượng sẽ thay đổi, trong khi các bộ điều khiển trên đều không có cơ chế tự chỉnh định lại, dẫn đến kết quả điều khiển bị ảnh hưởng.

Những năm gần đây, mạng nơ-ron mờ



Hình 1. a) Nguyên lý điều khiển dùng RFNN; b) Nguyên tắc nhận dạng mô hình đối tượng

2.2. Nhận dạng mô hình đối tượng dùng RFNN

Bộ nhận dạng đối tượng được sử dụng trong nghiên cứu này là một hệ suy diễn mờ được thực hiện bởi một mạng nơ-ron hồi quy nhiều lớp [18], gọi tắt là bộ nhận dạng RFNNID. Sơ đồ nguyên lý bộ nhận

hồi quy (recurrent fuzzy neural network - RFNN) có nhiều ưu thế vì cơ chế huấn luyện trực tuyến của nó. Mạng RFNN đã được ứng dụng thành công trong điều khiển robot [13-15] và các hệ phi tuyến khác [12]. Vì vậy, ý tưởng cơ bản của nghiên cứu này là ứng dụng mạng RFNN để điều khiển ổn định tốc độ động cơ KĐB 3 pha [16] và khảo sát chất lượng điều khiển trong nhiều điều kiện khác nhau.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên lý điều khiển

Nguyên lý điều khiển được đề xuất trong nghiên cứu này được kế thừa và kết hợp nhiều công trình đã công bố. Bộ điều khiển PID kết hợp với bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy (RFNNC) trở thành một kỹ thuật điều khiển giám sát (supervisory control), được xây dựng dựa theo [17]. Nguyên tắc nhận mô hình đối tượng dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy (RFNNID) để xác định độ nhạy của đối tượng, gọi là thông tin Jacobian được xây dựng dựa theo [12-14]. Hình 1a trình bày sơ đồ nguyên lý của hệ điều khiển được xây dựng trong nghiên cứu này.

dạng được cho trên Hình 1b. Gọi $u(k)$ và $y(k)$ lần lượt là ngõ vào và ngõ ra của đối tượng điều khiển tại thời điểm lấy mẫu thứ k ; gọi $y_m(k)$ là ngõ ra của bộ nhận dạng RFNNID. Bộ nhận dạng RFNNID sử dụng ngõ vào $u(k)$ và $y(k-1)$ để nhận dạng ngõ ra $y_m(k)$, gần nhất với ngõ ra $y(k)$ của đối

tượng. Bộ nhận dạng gồm 4 lớp, với lớp vào có 2 nút, lớp mờ hóa có 10 nút, lớp luật mờ gồm 25 nút và lớp ra có 1 nút. Gọi O_i^k tương ứng là ngõ ra của nút thứ i thuộc lớp thứ k , ta có thể mô tả cấu trúc bộ nhận dạng RFNN theo [12, 18], như sau:

Lớp 1 – Lớp vào: Lớp này gồm 2 nút vào với các kết nối hồi tiếp để tăng khả năng đáp ứng của mạng. Ngõ ra của nút thứ i ở lớp vào được mô tả như (1):

$$O_i^1(k) = x_i^1(k) + \theta_i^1 O_i^1(k-1), i = 1, 2 \quad (1)$$

với θ_i^1 là trọng số kết nối tại thời điểm hiện tại k . Ngõ vào của bộ nhận dạng RFNN tương ứng là tín hiệu điều khiển hiện tại và ngõ ra quá khứ của đáp ứng:

$$\begin{cases} x_1^1(k) = u(k) \\ x_2^1(k) = y(k-1) \end{cases} \quad (2)$$

Lớp 2 – Lớp mờ hóa: Lớp này gồm (2x5) nút, mỗi nút thể hiện một hàm liên thuộc dạng Gauss với trị trung bình m_{ij} và độ lệch chuẩn σ_{ij} và được xác định như (3).

$$O_{ij}^2(k) = \exp \left\{ -\frac{(O_i^1(k) - m_{ij})^2}{(\sigma_{ij})^2} \right\}, i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, 5 \quad (3)$$

Ở mỗi nút trên lớp mờ hóa có 2 tham số được tự động điều chỉnh trong quá trình huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng RFNN, đó là m_{ij} và σ_{ij} .

Lớp 3 – Lớp luật: Lớp này gồm (5x5) nút. Ngõ ra của nút thứ q trong lớp này được xác định:

$$O_q^3(k) = \prod_i O_{iq}^2(k), i = 1, 2, \dots, 5; q_i = 1, 2, \dots, 5 \quad (4)$$

Lớp 4 – Lớp ra: Gồm 1 nơ-ron tuyến tính với ngõ ra xác định như sau:

$$O_i^4(k) = \sum_j w_{ij}^4 O_j^3(k), i = 1; j = 1, 2, \dots, 25 \quad (5)$$

trong đó là trọng số kết nối từ lớp luật lên lớp ra. Ngõ ra của lớp này cũng là ngõ ra của bộ nhận dạng RFNN:

$$\begin{aligned} y_m(k) &= O_1^4(k) = \hat{f}[x_1(k), x_2(k)] \\ &= \hat{f}[u(k), y(k-1)] \end{aligned} \quad (6)$$

Mục tiêu của giải thuật huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng RFNNID là điều chỉnh các bộ trọng số của mạng và các tham số của các hàm liên thuộc trên lớp mờ hóa để đạt giá trị cực tiểu hàm chi phí, thông số lỗi được định nghĩa như sau (7):

$$E(k) = \frac{1}{2} [y(k) - y_m(k)]^2 = \frac{1}{2} [y(k) - O_1^4(k)]^2 \quad (7)$$

trong đó $y(k)$ là đáp ứng của đối tượng, $y_m(k)$ ngõ ra của bộ nhận dạng.

Sử dụng thuật toán lan truyền ngược (back propagation), bộ trọng số kết nối của mạng RFNNID sẽ được điều chỉnh theo nguyên tắc sau:

$$\begin{aligned} W(k) &= W(k-1) + \Delta W(k) \\ &= W(k-1) + \eta \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial W} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

trong đó, $\eta \in (0, 1)$ là hằng số tốc độ học và W là tham số cần điều chỉnh trong quá trình huấn luyện bộ nhận dạng RFNNID.

Gọi $e(k) = y(k) - y_m(k)$ và $W = [\theta, m, \sigma, w]^T$ là sai số huấn luyện và véc-tơ trọng số kết nối của bộ nhận dạng RFNNID, thì gradient của $E(\cdot)$ trong (8) theo W là [12-14, 18]:

$$\frac{\partial E(k)}{\partial W} = -e(k) \frac{\partial y_m(k)}{\partial W} = -e(k) \frac{\partial O_1^4(k)}{\partial W} \quad (9)$$

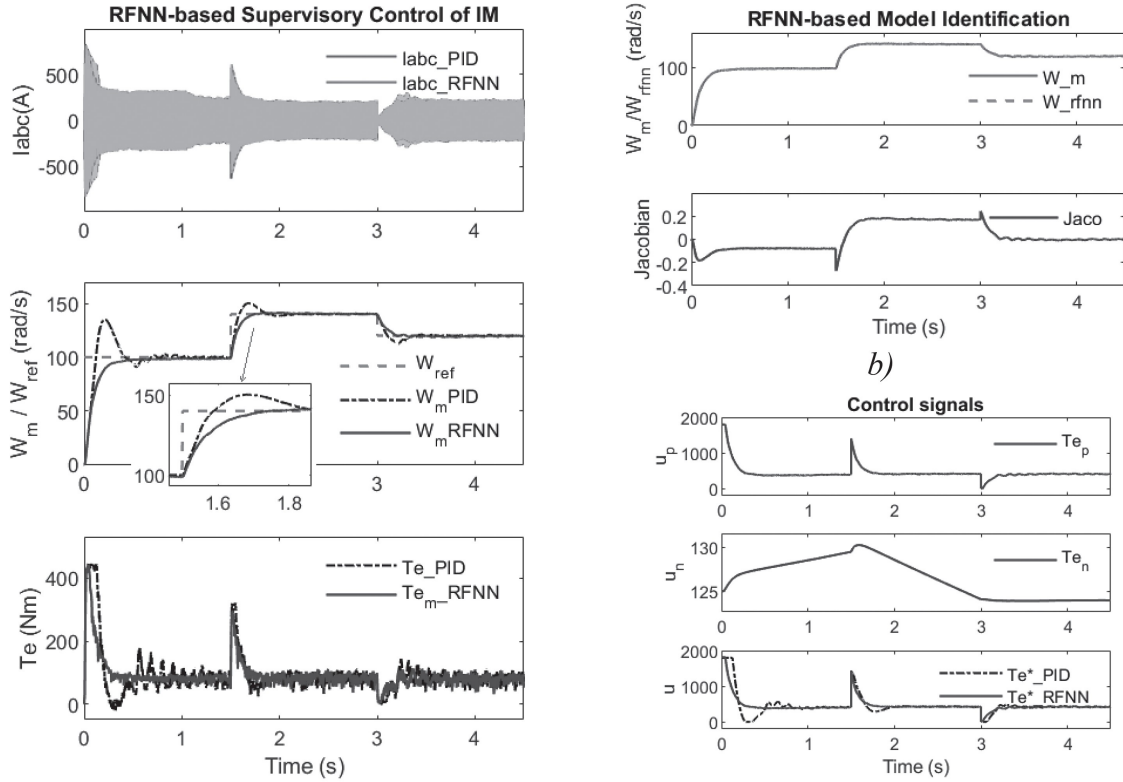
Với nguyên tắc này, bộ trọng số của từng lớp mạng được cập nhật như sau [12-14, 18]:

$$\begin{aligned} w_{ij}^4(k+1) &= w_{ij}^4(k) + \eta^w \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{ij}^4} \right) \\ &= w_{ij}^4(k) + \eta^w e(k) O_i^3 \end{aligned} \quad (10)$$

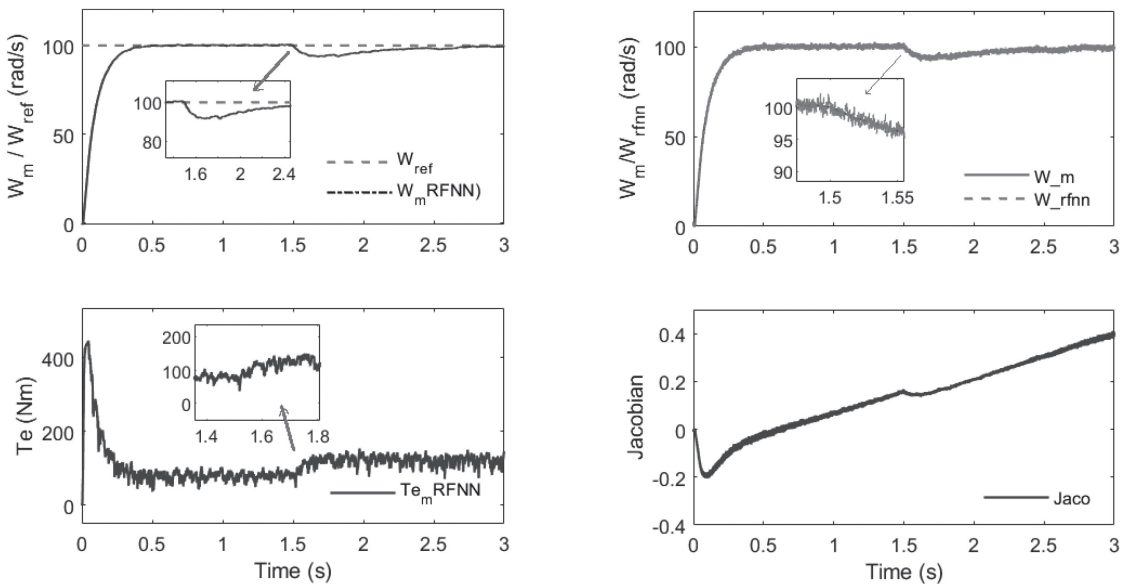
$$\begin{aligned} m_{ij}(k+1) &= m_{ij}(k) + \eta^m \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial m_{ij}} \right) \\ &= m_{ij}(k) + \eta^m \sum_k e(k) w_{ik}^4 O_k^3 \frac{2[O_{ij}^1(k) - m_{ij}]}{(\sigma_{ij})^2} \end{aligned} \quad (11)$$

ứng của bộ điều khiển khi tải thay đổi tại thời điểm 3 giây cũng tốt hơn bộ điều khiển PI truyền thống. Khảo sát nhiều tình huống mô phỏng, kết quả điều khiển tốc độ động cơ KĐB 3 pha bởi bộ điều khiển PI truyền

thống và bộ điều khiển RFNN của nghiên cứu này được trình bày thông qua Bảng 1. Kết quả này chứng tỏ được bộ điều khiển RFNN đã cải thiện hẳn các hạn chế của bộ điều khiển PI, nhất là tiêu chí về độ vọt lố.



Hình 3. a) So sánh đáp ứng tốc độ; b) Nhận dạng mô hình; c) Tín hiệu điều khiển



Hình 4. a) Đáp ứng tốc độ động cơ khi có nhiễu và tải thay đổi; b) Kết quả nhận dạng mô hình khi có nhiễu và tải thay đổi

Hình 4 trình bày kết quả mô phỏng trong 3 giây với trường hợp tăng 100% tải tại thời điểm 1,5 giây, đồng thời có sự tác động của nhiễu trắng giả lập nhiễu cảm biến tốc độ động cơ tác động lên hệ thống. Ở Hình 4a, khi tăng tải tại giây thứ 1,5 tốc

độ động cơ giảm và sau đó, bộ điều khiển đã nhanh chóng đưa tốc độ đáp ứng về giá trị đặt. Hình 4b minh chứng được khả năng nhận dạng mô hình đối tượng với bộ nhận dạng RFNN cho kết quả tốt ngay cả khi hệ thống bị nhiễu tác động.

Bảng 1. So sánh đáp ứng tốc độ động cơ KĐB 3 pha với 2 kiểu điều khiển

Tiêu chí đánh giá	Đơn vị	Điều khiển RFNN	Điều khiển PI
Thời gian tăng	giây (s)	0,22	0,21
Độ vọt lố	phần trăm (%)	0,12	30,6
Sai số xác lập	rad/s	0	0,8
Thời gian xác lập	giây (s)	0,45	0,53

Mặc dù kỹ thuật điều khiển PI-RFNN tỏ ra ưu thế hơn bộ điều khiển PI truyền thống, nhờ cơ chế tự cập nhật tham số của nó. Tuy nhiên, hạn chế cơ bản của nghiên cứu này là chỉ mới dừng lại ở mức độ mô phỏng để kiểm chứng thuật toán trên MATLAB, chưa có điều kiện để tiến hành thực nghiệm trên đối tượng thực tế.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất giải pháp kết hợp giữa bộ điều khiển PID và bộ điều khiển giám sát dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy, áp dụng cho động cơ KĐB 3 pha. Với cùng bộ tham số, khi bộ điều khiển PID chạy độc lập nó cho đáp ứng vọt lố cao, lên đến 30%. Tuy nhiên, khi kết hợp với bộ điều khiển giám sát dùng mạng RFNN thì đáp ứng của đối tượng không xuất hiện

vọt lố nữa. Điều này cho thấy, nhờ cơ chế tự chỉnh bằng giải thuật huấn luyện online ngay trong quá trình vận hành mà bộ điều khiển dùng mạng RFNN đã tinh chỉnh được đáp ứng của hệ thống. Giải thuật huấn luyện bộ điều khiển giám sát có dùng thông tin Jacobian, để cập nhật các tham số của nó. Thông tin này được nhận diện bởi một mạng RFNN thứ hai, cũng được huấn luyện trực tuyến. Như vậy, có thể nói, nhờ các giải thuật huấn luyện trực tuyến mà bộ nhận dạng và bộ điều khiển đã giám sát kịp thời sự thay đổi của đối tượng, từ đó điều chỉnh tín hiệu điều khiển phù hợp hơn, khắc phục được hạn chế về việc cố định tham số của bộ điều khiển PID truyền thống. Thời gian tới, nghiên cứu này cần được tiếp tục được triển khai trên thiết bị thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. S. Aspalli, R. Asha, 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. Engineering*, vol. 1, no. 5, pp. 463-469, 2012.
- [2]. R. Kanti, "Speed Control of Three-Phase Induction Motor using FPGA," *Inter. Journal for Scientific Research and Development*, vol. 2, pp. 207-209, 2015.

- [3]. J. Lepka and P. Stekl, "3-Phase AC Induction Motor Vector Control Using a 56F80x, 56F8100 or 56F8300 Device - Design of Motor Control Application," ed: Freescale Semiconductor, 2005.
- [4]. H. Hartono, R. I. Sudjoko, and P. Iswahyudi, "Speed Control of Three Phase Induction Motor Using Universal Bridge and PID Controller," *J. of Physics: Conference Series*, vol. 1381, p. 012053, 2019.
- [5]. H. Aziri, F. A. Patakor, M. Sulaiman, and Z. Salleh, "Simulation of 3-phase induction motor drives using indirect field oriented control in PSIM environment," *AIP Confer. Proc.*, vol.1883, no.1, p. 020045, 2017.
- [6]. P.V. Tuấn, N.Q. Thuận, N.T. Long, N.M. Thur, and N.A. Tuấn, "Mô hình hóa động cơ không đồng bộ ba pha có xét đến sự thay đổi của các tham số động cơ," *Tạp chí KH&CN, ĐHCN Hà Nội*, no.48, pp.21-25, 2018.
- [7]. K. Zeb, Z. Ali, K. Saleem, W. Uddin, M. A. Javed, and N. Christofides, "Indirect field-oriented control of induction motor drive based on adaptive fuzzy logic controller," *Electrical Engineering*, vol. 99, no. 3, pp. 803-815, 2017/09/01 2017, doi: 10.1007/s00202-016-0447-5.
- [8]. A. Idoko, I. Thuku, S. Musa, and C. Amos, "Design of Tuning Mechanism of PID Controller for Application in three Phase Induction Motor Speed Control," *Inter. J. of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 4, no. 11, pp. 138-147, 2017, doi: 10.22161/ijaers.4.11.21
- [9]. F. Lftisi, G. H. George, A. Aktaibi, C. B. Butt, and M. A. Rahman, "Artificial neural network based speed controller for induction motors," *42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 2708-2713, 2016, doi: 10.1109/IECON.2016.7793117.
- [10]. P. V. Lợi, T. C. Cường, N. Đ. Tứ, L. H. Đ. Le, and C.-N. Nguyen, "The ability of optimize RBF-PI controller using genetic algorithms to control the three-phase asynchronous motor," *Hội nghị - triển lãm quốc tế lần thứ 4 về điều khiển và tự động hóa VCCA-2017*, TP. Ho Chi Minh, 2017, 21.
- [11]. O. R. Agyare, A. B. Asiedu-Asante, and A. R. Biney, "Fuzzy Logic Based Condition Monitoring of a 3-Phase Induction Motor," *2019 IEEE AFRICON*, pp. 1-8, 2019. doi: 10.1109/AFRICON46755.2019.9133780.
- [12]. N. C. Ngôn and Đ. Tín, "Điều khiển PID một nơron thích nghi dựa trên bộ nhận dạng mạng nơron mờ hồi qui áp dụng cho hệ thanh và bóng," *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, no. 20a-2011, pp. 169-175, 2011.
- [13]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Loc, and C.-N. Nguyen, "Delta Robot Control Using Single Neuron PID Algorithms Based on Recurrent Fuzzy Neural Network Identifiers," *Inter. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 9, no. 10, pp. 1411-1418, 2020.

- [14]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Tung, and C.-N. Nguyen, "Improvement of PID Controllers by Recurrent Fuzzy Neural Networks for Delta Robot," Singapore, 2021: Springer Singapore, in *Intelligent Communication, Control and Devices*, pp. 263-275.
- [15]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Tung, C.-T. Pham, and C.-N. Nguyen, "Evaluating the Quality of Intelligent Controllers for 3-DOF Delta Robot Control," *Inter. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 10, no. 10, pp. 542-552, 2021, doi: 10.18178/ijmerr.10.10.542-552.
- [16]. Đ. H. Đ. Khoa, S. H. Thanh, and N. C. Ngõn, "Điều khiển thông minh động cơ không đồng bộ 3 pha dựa trên mạng nơ-ron mờ hồi quy," *Tạp chí KH & CN Đại học Thái Nguyên*, vol. 227, no. 08, p. 10, 2022.
- [17]. J. Liu, Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems Design, Analysis and Matlab Simulation. Berlin: Springer Berlin, p. 365, 2015.
- [18]. L. Ching-Hung and T. Ching-Cheng, "Identification and control of dynamic systems using recurrent fuzzy neural networks," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 8, no. 4, pp. 349-366, 2000.
- [19]. H. Blanchette and L.-A. Dessaint, "AC4 - DTC Induction 200 HP Motor Drive," the Mathworks Inc., 2021, [Online] <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/ac4-dtc-induction-200-hp-motor-drive.html>
- [20]. W. Sun and Y. Wang, "A Recurrent Fuzzy Neural Network Based Adaptive Control and Its Application on Robotic Tracking Control," vol. 5, no. 1, 2004.