

## Điều khiển vị trí động cơ servo trên mô hình thực

Ngô Mạnh Tùng\*, Ninh Văn Hiệp, Phạm Văn Minh, Phạm Văn Hùng

Khoa Điện, Đại học Công nghiệp Hà Nội.

\*Email: tung\_nm@hau.edu.vn

Nhận bài: 11/9/2023; Hoàn thiện: 07/11/2023; Chấp nhận đăng: 15/11/2023; Xuất bản: 10/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.42-48>

### TÓM TẮT

*Động cơ servo được sử dụng phổ biến trong các hệ thống điều khiển có yêu cầu độ chính xác cao, trong đó, bài toán điều khiển vị trí được quan tâm và ứng dụng rộng rãi. Quá trình điều khiển vị trí hệ truyền động động cơ servo thường gặp phải các yếu tố bất định như ma sát, tải trọng thay đổi hay các ngoại lực tác động. Vì vậy, bài báo này trình bày một nghiên cứu để thiết kế bộ điều khiển thông minh dựa trên cơ sở bộ điều khiển PID tích hợp fuzzy, nhờ ứng dụng quy tắc mờ và cơ chế điều khiển mờ, hệ thống điều khiển có khả năng phản ứng nhanh và duy trì vị trí mong muốn cho động cơ. Bộ điều khiển đề xuất được thử nghiệm trên mô hình hệ thống thực cho các trường hợp có giá trị đặt khác nhau và khi có nhiễu tác động. Kết quả thực nghiệm cho thấy chất lượng bộ điều khiển này cải thiện hơn so với bộ điều khiển PID, điều đó đã minh chứng cho tính khả thi của bộ điều khiển đề xuất.*

**Từ khoá:** Điều khiển Fuzzy; Điều khiển vị trí; Động cơ servo; PID.

### 1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, hệ truyền động điện động cơ servo được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp như là trong các tay máy robot, hệ thống sản xuất gia công kim loại có tính chính xác cao và thời gian đáp ứng nhanh[1]. Vấn đề được chú ý là phải điều khiển vị trí chính xác trong hệ truyền động động cơ servo trong khi xuất hiện các yếu tố bất định như ma sát, tải động hay các ngoại lực. Có rất nhiều công trình nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển động cơ servo với các cấu trúc điều khiển từ đơn giản đến phức tạp [2-10]. Trong tài liệu [2, 3] sử dụng điều khiển tỷ lệ- vi- tích phân thuần túy với thuật toán đơn giản và dễ tính toán, dù vậy, hệ thống nhạy với nhiễu và chỉ phù hợp với đối tượng nhất định. Ở công trình [4, 5] đưa ra việc áp dụng kiểm soát dự báo mô hình cho các hệ thống servo nhằm nâng cao hiệu suất điều khiển, tuy nhiên, việc xác định hệ số phức tạp trong thiết kế và yêu cầu hiểu biết sâu về đối tượng. Trong [6, 7] xây dựng điều khiển tối ưu và mạng nơ-ron có khả năng học và xử lý dữ liệu phi tuyến. Khó khăn trong quá trình thuật kế này là thời gian xử lý dài và tổn tài nguyên tính toán. Với [8-11] thực hiện thiết kế bộ điều khiển PID kết hợp bộ điều khiển mờ. Mỗi bộ điều khiển này đều có ưu điểm riêng, đặc biệt chỉ dừng lại với các kết quả mô phỏng mà chưa có kết quả trên hệ thống thực để kiểm nghiệm chất lượng điều khiển.

Bài báo này tập trung thiết kế bộ điều khiển thông minh dựa trên cơ sở tích hợp fuzzy để chỉnh định hệ số bộ điều khiển tỉ lệ-vi-tích phân kinh điển. Sau đó, cấu trúc điều khiển đề xuất được kiểm nghiệm áp dụng lên một mô hình thực nghiệm. Đặc điểm của thiết kế cấu trúc điều khiển PID-fuzzy cho phép tận dụng được kinh nghiệm vận hành của người điều khiển thông qua quá trình tiến hành thực nghiệm, và không cần quan tâm tới mô hình toán của đối tượng [12, 13]. Khi được tích hợp tính mờ, các quy tắc mờ và cơ chế mờ, bộ điều khiển có sự linh hoạt trong việc điều chỉnh các thông số PID. Từ đó, hệ thống có khả năng phản ứng nhanh, duy trì vị trí chính xác mong muốn.

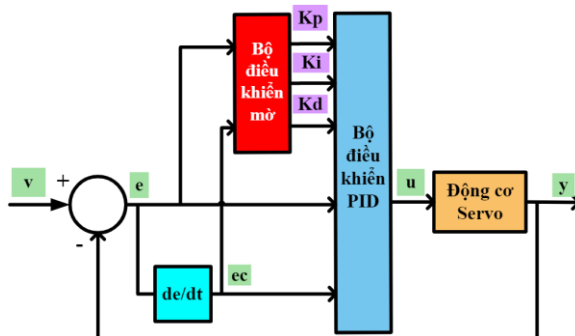
Một hệ thống thực nghiệm truyền động động cơ servo được thiết lập sử dụng module DAQ thu thập dữ liệu theo thời gian thực là PCIe – 6321 của hãng national instruments. Chất lượng của bộ điều khiển đề xuất được kiểm chứng trong phòng thí nghiệm trên mô hình thực CE110 của hãng Tecquipment. Kết quả thực nghiệm được so sánh với bộ điều khiển tỉ lệ-vi-tích phân thuần túy cho thấy cấu trúc đề xuất điều chỉnh linh hoạt các hệ số trong bộ điều khiển PID giúp

thích nghi tốt hơn với những sự thay đổi của những tác động không mong muốn tới hệ thống.

**2. THIẾT KẾ CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN FUZZY-PID**

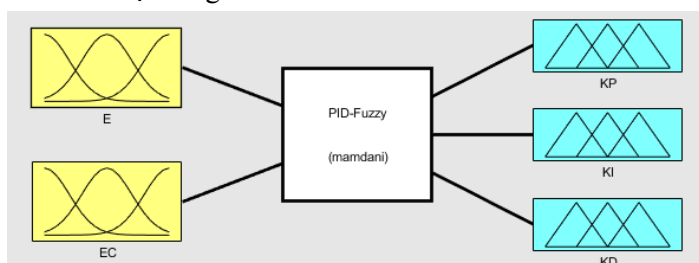
Trong các nghiên cứu đã từng công bố [12, 13], bộ điều khiển Fuzzy-PID cho thấy khả năng hiệu quả trong việc điều khiển hệ thống mà không cần sử dụng đến phương trình toán học cụ thể. Do đó, nhóm tác giả tận dụng tính mờ của bộ điều khiển để điều chỉnh biên điều khiển một cách linh hoạt dựa trên quy luật và kinh nghiệm thay vì xây dựng mô hình toán học chi tiết và phức tạp.

Cấu trúc điều khiển Fuzzy- PID được tạo ra bằng cách kết hợp bộ điều khiển PID và bộ điều khiển mờ. Bộ điều khiển PID với ưu điểm thuật toán đơn giản và độ tin cậy cao. Tuy nhiên, phụ thuộc lớn vào các thông số của mô hình. Bộ điều khiển mờ có khả năng tự điều chỉnh các thông số để hệ thống đạt được hiệu suất thích nghi tốt, đáp ứng nhanh với các tác động.



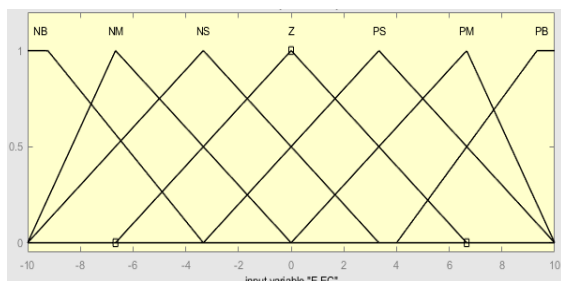
**Hình 1.** Cấu trúc bộ điều khiển Fuzzy- PID điều khiển vị trí động cơ servo.

Trong cấu trúc hình 1, bộ điều khiển mờ với 2 đầu vào e, ec và 3 đầu ra Kp, Ki, Kd. Như vậy, bộ điều khiển mờ ở hình 2 thực hiện điều chỉnh ba thông số của PID ở hình 4 dựa trên sai lệch E và đạo hàm sai lệch EC của hệ thống như ở hình 3.

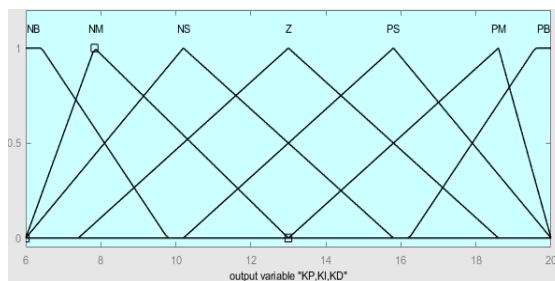


**Hình 2.** Xây dựng bộ điều khiển mờ trong Matlab.

Các biến đầu vào và đầu ra được làm mờ và được chia ra làm 7 trạng thái : âm lớn (NB), âm vừa (NM), âm nhỏ (NS), không (Z), dương nhỏ (PS), dương vừa (PM), dương lớn (PB).



**Hình 3.** Mờ hóa đầu vào e và ec cho bộ điều khiển PID-Fuzzy.



**Hình 4.** Mờ hóa đầu ra Kp, Ki, Kd cho bộ điều khiển PID-Fuzzy.

Bảng luật điều khiển mờ được thể hiện trong ba bảng sau:

**Bảng 1. Luật điều khiển mờ Kp.**

e	ec	NB	NM	NS	Z0	PS	PM	PB
NB		PB	PS	NB	NM	NB	NM	PS
NM		PB	PB	NB	NM	NM	NS	Z0
NS		Z0	NS	NM	NM	NS	NS	Z0
Z0		Z0	NS	NS	NS	NS	NS	Z0
PS		Z0	Z0	Z0	Z0	Z0	Z0	Z0
PM		PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB		PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

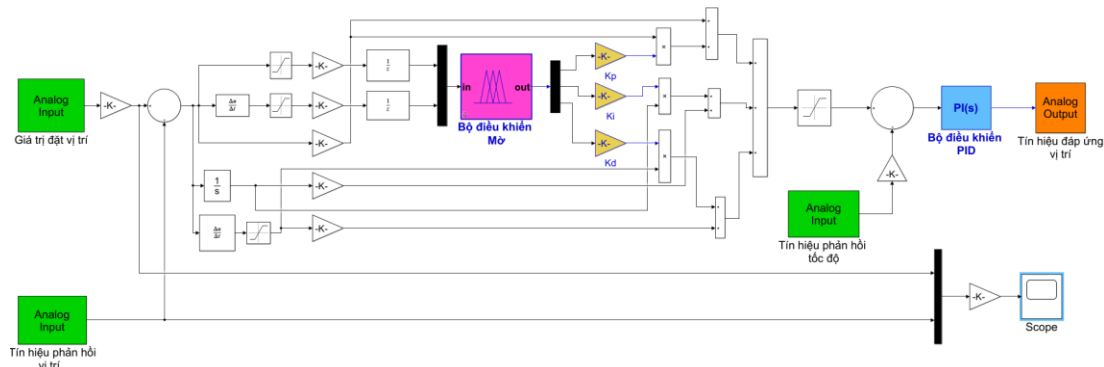
**Bảng 2. Luật điều khiển mờ Ki.**

e	ec	NB	NM	NS	Z0	PS	PM	PB
NB		NB	NB	NM	NM	NS	Z0	Z0
NM		NB	NB	NM	NS	NM	Z0	Z0
NS		NB	NM	NS	NS	Z0	PS	PS
Z0		NB	NB	NS	Z0	PS	PM	PM
PS		NM	NM	Z0	PS	PS	PM	PB
PM		NS	NS	PS	PS	PM	PB	PB
PB		Z0	Z0	PS	PM	PM	PB	PB

**Bảng 3. Luật điều khiển mờ Kd.**

e	ec	NB	NM	NS	Z0	PS	PM	PB
NB		PS	PS	PM	PM	PS	Z0	Z0
NM		PS	PB	PM	PS	PS	Z0	NS
NS		PM	PM	PM	PS	Z0	NS	NS
Z0		PM	PM	PS	Z0	NS	NM	NM
PS		PS	PS	Z0	NS	NS	NM	NM
PM		PS	Z0	NS	NM	NM	NM	NB
PB		Z0	Z0	NM	NM	NM	NB	NB

Cấu trúc kết nối toàn hệ thống được trình bày ở hình 5, trong đó, bao gồm hai vòng điều khiển: vòng trong là điều khiển tốc độ và vòng ngoài là điều khiển vị trí.

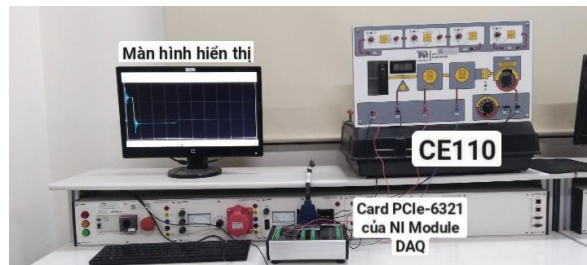


**Hình 5. Kết nối tín hiệu mô hình thực động cơ servo với cấu trúc điều khiển Fuzzy- PID.**

### 3. HỆ THỐNG THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

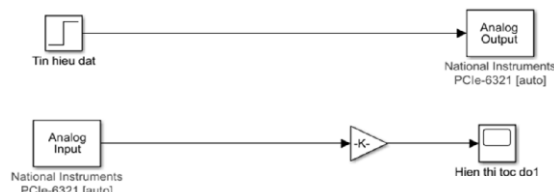
#### 3.1. Hệ thống thực nghiệm

Hệ thống thực nghiệm hệ truyền động động cơ servo được xây dựng như hình 6.



**Hình 6. Hệ thống thực nghiệm truyền động động cơ servo.**

Trong mô hình CE110 của hãng Tecquipment bao gồm: động cơ servo M66CE-24, encoder HEDS 9100, bộ ly hợp M0710 2211. Tín hiệu tốc độ góc và góc quay của trục động cơ được đo từ cảm biến và truyền tới Card PCIe-6321 của NI. Màn hình hiển thị giám sát các đồ thị đáp ứng đầu ra.



**Hình 7. Tín hiệu trong hệ thống thu thập thông qua card PCIe-6321.**

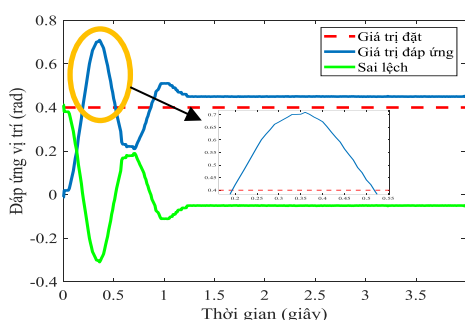
Tín hiệu hệ thống thu thập được thực hiện theo cấu trúc trên phần mềm Matlab/Simulink như

hình 7, với chu kỳ lấy mẫu  $T_s = 10ms$ . Sử dụng một khối gain làm nhiệm vụ chuyển đổi tốc độ đo được từ encoder sang điện áp (1V ứng với 200 vòng/phút) [14, 15].

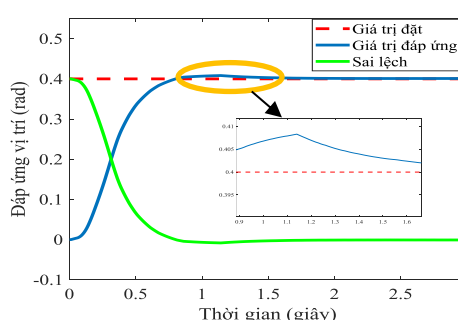
**3.2. Kết quả thực nghiệm**

Quá trình thực nghiệm sử dụng sơ đồ simulink như hình 5 và tiến hành trên hệ thống như hình 7 cho hai trường hợp: bộ PID truyền thống và bộ Fuzzy- PID đề xuất. Các kết quả thu được dùng để so sánh chất lượng giữa hai trường hợp. Ba kịch bản mô phỏng bao gồm: khi giá trị đặt không đổi, khi thay đổi giá trị đặt và khi có nhiễu tải.

**3.2.1. Khi giá trị đặt không đổi**



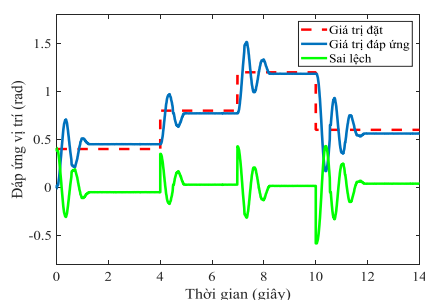
**Hình 8. Đáp ứng vị trí trục động cơ khi  $\theta = 0,4 rad$  với bộ PID.**



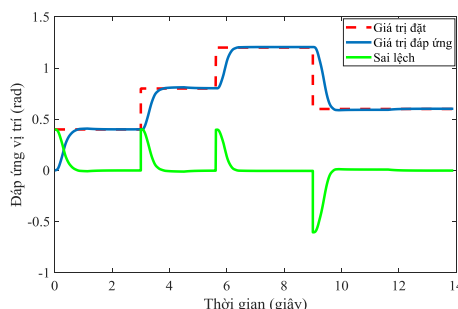
**Hình 9. Đáp ứng vị trí trục động cơ khi  $\theta = 0,4 rad$  với bộ Fuzzy- PID.**

Kết quả thực nghiệm điều khiển vị trí trục động cơ khi giá trị đặt không đổi  $\theta = 0,4 rad$ . hình 8 cho thấy đáp ứng vị của bộ điều khiển PID có độ quá điều chỉnh lớn 72,5%, thời gian xác lập 1,2 s hệ thống ổn định với sai số xác lập lớn 18%. Hình 9 đáp ứng vị trí của bộ điều khiển Fuzzy- PID có độ quá điều chỉnh 0,8%, với thời gian xác lập 0,7 s, gần như không có sai lệch tĩnh. So sánh hai trường hợp cho thấy chất lượng bộ Fuzzy- PID cải thiện hơn, hiệu suất điều khiển tốt hơn với độ chính xác cao hơn và thời gian ổn định ngắn hơn so với bộ PID.

**3.2.2. Khi thay đổi giá trị đặt**



**Hình 10. Đáp ứng vị trí trục động cơ khi thay đổi giá trị đặt với bộ PID.**



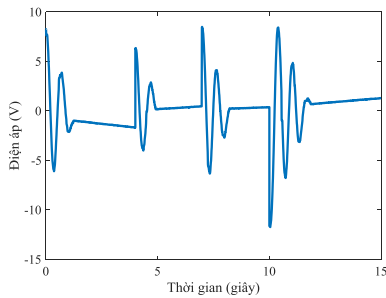
**Hình 11. Đáp ứng vị trí trục động cơ khi thay đổi giá trị đặt với bộ Fuzzy- PID.**

Xét thay đổi vị trí đặt: từ  $\theta = 0,4 rad$  lên  $\theta = 0,8 rad$ ,  $\theta = 1,2 rad$ , rồi giảm  $\theta = 0,6 rad$ .

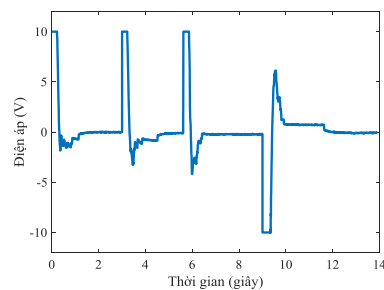
Hình 10 là đáp ứng của bộ điều khiển PID, trong đó vị trí dao động lớn, độ quá điều chỉnh mỗi lần vị trí đặt trong khoảng 50% - 75%, thời gian xác lập từ 1,5 s – 2 s, ổn định sau một khoảng thời gian dài và còn tồn tại sai số xác lập lớn. Hình 11 là kết quả ứng với bộ điều khiển Fuzzy- PID, từ đồ thị ta thấy độ quá điều chỉnh nhỏ từ 0,4% - 0,8%, ổn định và bám vào giá trị đặt sau khoảng thời gian từ 0,9 s – 1,5 s với sai số xác lập nhỏ, không đáng kể.

Hình 12 và hình 13 là các tín hiệu ở đầu ra của bộ điều khiển PID và bộ Fuzzy- PID. Hình 12 cho thấy khi sai lệch vị trí lớn, bộ PID không tạo được tín hiệu điện áp đủ lớn để trục động cơ

nhanh chóng bám giá trị đặt, khiến cho thời gian ổn định kéo dài. Với bộ Fuzzy- PID, đồ thị hình 13 cho thấy tín hiệu điện áp đầu ra đạt giá trị max là 10V khi sai lệch lớn để vị trí nhanh chóng bám theo điểm đặt mới, đồng thời có khả năng khống chế điện áp không vượt quá nhiều khi sai số đang giảm.

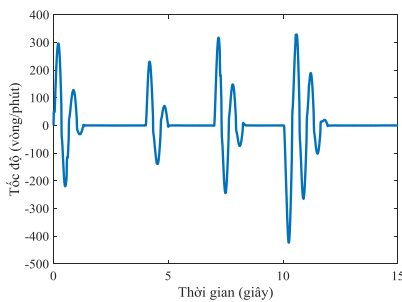


**Hình 12.** Điện áp điều khiển khi thay đổi giá trị đặt với bộ PID.

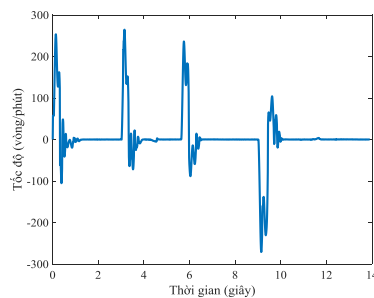


**Hình 13.** Điện áp điều khiển khi đáp ứng và khi thay đổi giá trị đặt với bộ Fuzzy- PID.

Hình 14 là đáp ứng tốc độ ứng với bộ điều khiển PID, tốc độ lớn nhất nằm trong khoảng 225 v/ph – 430 v/ph. Hình 15 là tốc độ đáp ứng khi bộ điều khiển là Fuzzy- PID, tốc độ lớn nhất tại mỗi lần thay đổi vị trí đặt xấp xỉ 250- 280vòng/phút, nhỏ hơn so với bộ PID, do đó, sự dao động và thời gian quá độ cũng ngắn hơn.



**Hình 14.** Tốc độ trực động cơ khi thay đổi giá trị đặt với bộ PID.



**Hình 15.** Tốc độ trực động cơ khi thay đổi giá trị đặt với bộ Fuzzy- PID.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển Fuzzy- PID vị trí động cơ servo có chất lượng tốt hơn, ổn định tốt hơn và độ chính xác cao hơn so với bộ điều khiển PID khi giá trị đặt thay đổi.

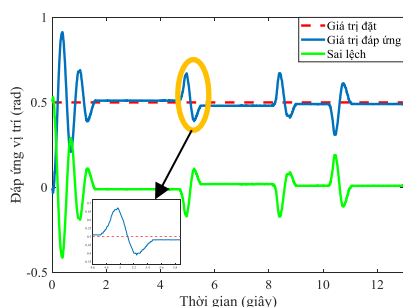
### 3.2.3. Khi có nhiễu tải: Xét tác động của nhiễu khi hệ thống đang ổn định tại vị trí $\theta = 0,5 \text{ rad}$ .

Hình 16 ứng với bộ điều khiển PID, tác động nhiễu tải vào hệ thống tại các thời điểm 4,7 s; 8,1 s và 10,2 s. Đồ thị thực nghiệm cho thấy vị trí có độ quá điều chỉnh lớn nhất 34%, cần 1,2-1,5 s để hệ ổn định với sai số 2% - 4%. Hình 17 là kết quả của bộ Fuzzy- PID khi có nhiễu xuất hiện tại các thời điểm 5,1(s); 7,8(s); 9,6(s). Từ kết quả đáp ứng ta thấy vị trí có độ quá điều chỉnh lớn nhất 3,7%, dao động khoảng 0,7(s) rồi trở về trạng thái ổn định với độ sai số 1,4%.

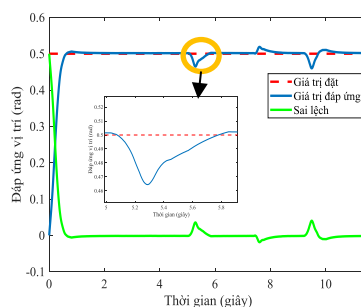
Hình 18 ứng với bộ PID cho thấy điện áp xuất ra nhỏ tại các thời điểm có nhiễu tải, do vậy không nhanh chóng bù được sai số vị trí. Hình 19 là kết quả khi dùng bộ điều khiển PID-Fuzzy cho thấy sự tác động mạnh của điện áp đầu ra khi có những sự thay đổi của nhiễu tải, do đó vị trí sự kiểm soát tốt, không vọt lố lớn.

Hình 20 và hình 21 trình bày đồ thị tốc độ động cơ khi xuất hiện tác động của nhiễu tương ứng với bộ PID và bộ Fuzzy- PID. Hình 20 tại các thời điểm tác động nhiễu, tốc độ lớn nhất 145 v/ph, sau 1,2 – 1,5 s hệ thống ổn định. Ở hình 21 với bộ điều khiển PID-Fuzzy, tốc độ lớn nhất

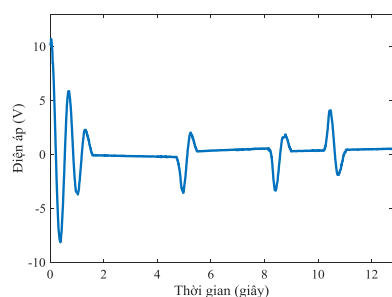
khi có tác động nhiễu 150 v/ph, sau 0,7 – 0,9 s hệ thống ổn định ứng với tốc độ bằng 0.



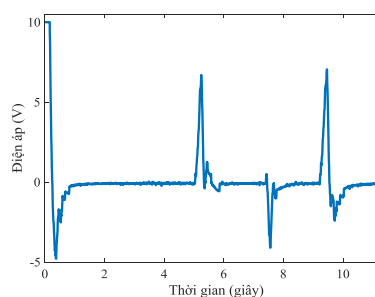
**Hình 16.** Đáp ứng vị trí động cơ khi có nhiễu với bộ PID.



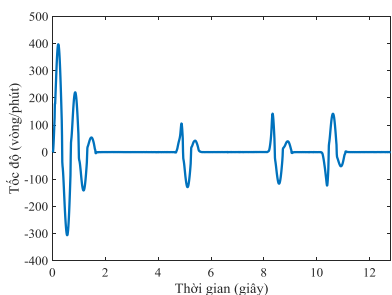
**Hình 17.** Đáp ứng vị trí động cơ khi nhiễu với bộ Fuzzy-PID.



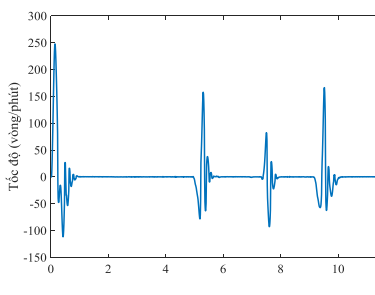
**Hình 18.** Điện áp điều khiển khi có nhiễu với bộ PID.



**Hình 19.** Điện áp điều khiển khi có nhiễu với bộ Fuzzy-PID.



**Hình 20.** Tốc độ trục động cơ khi có nhiễu với bộ PID.



**Hình 21.** Tốc độ trục động cơ khi có nhiễu với bộ Fuzzy-PID.

Trong trường hợp có nhiễu tác động, hệ thống sử dụng bộ điều khiển Fuzzy- PID có độ quá điều chỉnh nhỏ, thời gian ổn định nhanh với sai số xác lập nhỏ so với bộ điều khiển PID.

Từ các trường hợp đáp ứng giá trị đặt, thay đổi giá trị đặt cho hệ thống và tác động nhiễu vào trục động cơ, bộ điều khiển PID-Fuzzy đều cho chất lượng điều khiển tốt, vượt trội hơn bộ điều khiển PID. Có chất lượng điều khiển tốt hơn là do tính linh động của bộ điều khiển mờ tác động lên các hệ số của bộ điều khiển PID, làm giảm độ dao động, độ vọt lố, tăng nhanh thời gian đáp ứng và làm giảm sai lệch tĩnh của hệ thống.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển vị trí hệ truyền động động cơ servo và áp dụng điều khiển trên mô hình thực CE110 của Tecquipment với tính thời gian thực. Cấu trúc điều khiển đề xuất bao gồm sự kết hợp luật mờ để chỉnh định các thông số điều khiển PID. Các chỉ tiêu chất

lượng điều khiển của bộ Fuzzy- PID được so sánh với bộ điều khiển PID truyền thống đều cho thấy ưu điểm đáng kể. Cụ thể là, khi thay đổi giá trị đặt và xuất hiện yếu tố nhiễu, kết quả thực nghiệm cho thấy vị trí động cơ khi sử dụng bộ điều khiển đề xuất cho thời gian quá độ nhanh, độ vọt lố và sai số xác lập nhỏ. Tuy nhiên, cần tiếp tục nghiên cứu và thiết lập các dữ liệu mờ để phát triển luật điều khiển mờ tối ưu hơn nữa trong các công bố tiếp theo.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. T. Vũ Hoàng Trung, *Nghiên cứu ứng dụng PLC FX3U-40MT điều khiển động cơ Servo máy CNC trong công nghiệp*, Luận án Thạc sĩ, Trường Đại học Sao Đỏ, (2018).
- [2]. J. S. Chauhan, R. K. Singh, M. K. Soni, "Design and Simulation of Position Control System for DC Servo Motor Using PID Controller", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, (2014).
- [3]. Jianying Liu, Pengju Zhang, Fei Wang, "Real-Time DC Servo Motor Position Control by PID Controllers Using Labview", *International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, (2009).
- [4]. Hengzhan Yang, Dian Xi, Xu Weng, Fucui Qian, Bo Tan, "A Numerical Algorithm for Self-Learning Model Predictive Control in Servo Systems", *208 MDPI Journals Awarded Impact Factor*, (2022).
- [5]. DR. THIDA AUNG, "Servo Motor Control System Based On Model Predictive Controller (MPC)", (2019).
- [6]. S. Srinivasan, K. I. Ramachandran, "Position control of a servo motor using a neural network controller", *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, (2004).
- [7]. Ming-Shyan Wang, Seng-Chi Chen, Po-Hsiang, Shuh-Yu Wu, Fu-Shung Hsu, "Neural Network Control-Based Drive Design of Servomotor and Its Application to Automatic Guided Vehicle", (2015).
- [8]. Fawzan Salem, E.H.E. Bayoumi, "Robust fuzzy-PID control of three-motor drive system using simulated annealing optimization", *Journal of Electrical Engineering*, (2011).
- [9]. Jinjin He, Zhiqin He, "Research of Brushless DC Motor Control Based on Fuzzy-PID Algorithm", *Machinery & Electronics*, (2010).
- [10]. Nguyen Van Tiem, "Speed control for the train of urban railway using Fuzzy-D controller", *Transport and Communications Science Journal*, (2020).
- [11]. Khoshnam, Mohammad; Poshtan, Javad; Mohamadian, Mostafa, "Design of Adaptive Fuzzy Position Control for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (2013).
- [12]. Vedrana Jerkovi, Toni VargaA, "Survey of Fuzzy Algorithms Used in Multi-Motor Systems Control", *Electronics* (2020).
- [13]. Nguyễn Thị Linh, Đặng Tiến Trung, Đỗ Thị Loan, "Design Fuzzy logic controller for position drive multi-motor system", *Đại học Điện lực, Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng*, (2021).
- [14]. Phạm Văn Minh, Nguyễn Đăng Hải, Phạm Thị Hồng Hạnh, Phí Hoàng Nhã, Phạm Văn Hùng, "Ứng dụng phương pháp nhận dạng đối tượng cho bài toán điều khiển tốc độ động cơ servo trên mô hình thực", *Khoa học Công nghệ*, (2021).
- [15]. TecQuipment, "CE110 Servo Trainer", ©TecQuipment Ltd, (2013).

### ABSTRACT

#### Position control of servo motor on a practical model

*A servo motor is commonly used in systems with high precision requirements. Among these, the problem of position control is highly regarded and widely applied. The process of controlling the position of a servo motor drive system often encounters uncertainties such as friction, external loads, or external forces. Therefore, the content of the research paper focuses on presenting an intelligent control system based on an integrated fuzzy-PID control scheme. Through fuzzy rules and fuzzy control mechanisms, the control system is capable of responding rapidly and maintaining the desired position of the motor. An experimental control system for a servo motor drive system is constructed, and the obtained results provide evidence for the feasibility of the proposed control scheme.*

**Keywords:** Fuzzy; Position Control; Servo Motor; PID.