

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT - PID - MỜ NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ CHO ĐỘNG CƠ SERVO MỘT CHIỀU

DESIGN OF A SLIDING MODE-PID-FUZZY CONTROLLER  
TO ENHANCE POSITION CONTROL QUALITY FOR A DC SERVO MOTOR

Trần Minh Hải<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Hoàng<sup>2</sup>,  
Nguyễn Hữu Hải<sup>2\*</sup>, Trần Anh Tuấn<sup>3</sup>, Trần Thị Hồng Thắm<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.320>

## TÓM TẮT

Động cơ servo một chiều có vai trò quan trọng trong các hệ thống điều khiển khớp nối của robot hay các hệ truyền động chính xác cao. Trong đó, bài toán điều khiển vị trí động cơ servo được quan tâm và nghiên cứu quá trình điều khiển để tăng hiệu suất động cơ gặp khó khăn do các yếu tố bất định như tải ngoại lực tác động. Để cải thiện vấn đề này, bài báo đề xuất bộ điều khiển trượt sử dụng mặt trượt dạng PID kết hợp với kỹ thuật mờ. Tính ổn định của hệ thống được đảm bảo theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Tính khả thi của thuật toán đề xuất được chứng minh thông qua việc so sánh sai lệch quỹ đạo của bộ điều khiển trượt - PID - mờ với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển trượt cơ bản. Kết quả đáp ứng thu được dựa trên mô phỏng và kiểm nghiệm trên phần mềm MatlabSimulink.

**Từ khóa:** DC Servo, điều khiển trượt, điều khiển Fuzzy, điều khiển vị trí.

## ABSTRACT

The DC servo motor plays a crucial role in joint control systems of robotic manipulators and high-precision drive applications. Among these, the servo motor position control problem is of particular interest and is being studied. However, achieving high performance in control is challenging due to uncertainties such as external load disturbances. To address this issue, this paper proposes a sliding mode controller (SMC) using a PID-type sliding surface combined with fuzzy logic techniques. The system's stability is guaranteed based on the Lyapunov stability criterion. The feasibility and The feasibility of the proposed algorithm is demonstrated by comparing the trajectory tracking error of the fuzzy sliding mode PID controller with that of both the PID controller and the basic sliding mode controller. The resulting responses were obtained through Matlab/Simulink simulations and software validation..

**Keywords:** DC servo, sliding mode control, Fuzzy control, position control.

<sup>1</sup>Trường Đại học Thái Bình

<sup>2</sup>Trường Điện - Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Phòng Quản trị, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [nguyenhuuhai@hauai.edu.vn](mailto:nguyenhuuhai@hauai.edu.vn)

Ngày nhận bài: 05/5/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2025

## 1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, động cơ servo một chiều được sử dụng rộng rãi và phổ biến trong các lĩnh vực về robot hay các hệ thống tự động hóa. Khả năng điều khiển chính xác của

động cơ servo một chiều nâng cao sự tin cậy khi ứng dụng trong các hệ thống yêu cầu độ chính xác cao. Bài toán điều khiển vị trí động cơ servo một chiều là đề tài thu hút sự chú ý của cộng đồng nghiên cứu. Đã có nhiều công

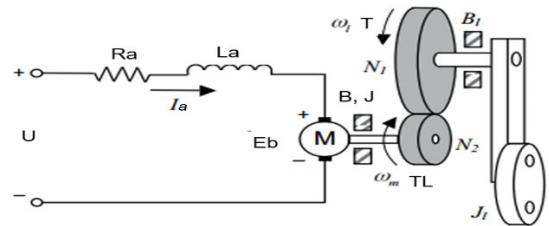
trình nghiên cứu và công bố về vấn đề này, như sử dụng bộ điều khiển PID [1] với cấu trúc đơn giản, dễ thiết kế nhưng khó đảm bảo hiệu suất khi xuất hiện thành phần bất định tác động vào. Một số công trình nâng cao hiệu suất của bộ điều khiển PID cơ bản bằng cách kết hợp với thuật toán Krill Herd [2] hoặc kết hợp với thuật toán DE và PSO giảm chấn [3]. Mặc dù chấy lượng điều khiển được cải thiện, vẫn còn có nhiều khó khăn tồn tại, ví dụ khi có sự thay đổi của các yếu tố bất định. Có một số nghiên cứu sử dụng bộ điều khiển fuzzy [4], bộ điều khiển neural [5] hay giải thuật di truyền Genetic Algorithm( GA) [6]. Các bộ điều khiển trong tài liệu [4-6] đã đáp ứng vị trí của động cơ, nhưng vẫn chưa làm rõ đáp ứng của động cơ khi có các yếu tố bất định. Vì thế, nhiều nghiên cứu đề xuất kết hợp các bộ điều khiển với nhau. Trong tài liệu [7-9], kết hợp bộ điều khiển PID với các giải thuật như: thuật toán di truyền Genetic Algorithm(GA) để tìm các bộ thông số thích hợp cho bộ điều khiển PID [7], kết hợp với bộ điều khiển fuzzy [8], kết hợp với bộ điều khiển neural [9] nâng cao khả năng đáp ứng vị trí của hệ thống. Khi kết hợp các bộ điều khiển lại với nhau chất lượng đáp ứng vị trí, tốc độ của động cơ được nâng cao, tuy nhiên các kết quả thu được vẫn chưa giải quyết tốt vấn đề ảnh hưởng của nhiễu và các yếu tố bất định. Gần đây, phương pháp điều khiển trượt được sử dụng rộng rãi trong các bài toán thiết kế giải thuật tự động, ví dụ như trong điều khiển vị trí của động cơ [10]. Để nâng cao đáp ứng của bộ điều khiển trượt cơ bản, có thể thay đổi mặt trượt cơ bản thành mặt trượt lũy thừa [11] hay sử dụng giải thuật trượt bậc cao với mặt trượt phi tuyến [12]. Nhược điểm là chưa giải quyết tốt vấn đề chattering xảy ra. Trong tài liệu [13, 14] đã đề xuất việc kết hợp bộ điều khiển trượt với các bộ quan sát trạng thái để bù nhiễu nhằm nâng cao chất lượng đáp ứng và làm giảm ảnh hưởng do thay đổi tải. Tuy nhiên việc kết hợp với các bộ quan sát đòi hỏi phải có sự hiểu rõ kiến thức về việc sử dụng bộ quan sát thích hợp cho các tình huống khác nhau. Ngoài ra, trong tài liệu [15] đề xuất sử dụng mặt trượt PID cho bộ điều khiển trượt nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống trong trường hợp có hoặc không có tải tác động vào động cơ trong quá trình hoạt động cũng đã thu được các kết quả khả quan, nhưng lại chưa hạn chế hiện tượng chattering vốn là đặc tính xuất hiện trong kĩ thuật trượt.

Các bộ điều khiển trong các công trình đã công bố đều có những ưu điểm riêng biệt. Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng mặt trượt PID cho bộ điều khiển trượt nhằm nâng cao khả năng đáp ứng vị trí của động cơ so với bộ điều khiển trượt thông thường, ngoài ra kết hợp

bộ điều khiển mờ để hạn chế hiện tượng chattering xảy ra trong quá trình điều khiển. Tính khả thi của thuật toán đề xuất được chứng minh thông qua việc so sánh sai lệch quỹ đạo của bộ điều khiển trượt - PID - mờ với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển trượt cơ bản. Kết quả đáp ứng thu được dựa trên mô phỏng và kiểm nghiệm phần mềm Matlab-Simulink.

**2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA ĐỘNG CƠ DC SERVO**

Mô hình động cơ servo DC được trình bày trong hình 1 [15]. Trong hệ thống điều khiển, động cơ servo DC được coi là một hệ thống SISO, được điều khiển bằng cuộn dây, trong đó dòng điện từ trường được giữ cố định.



Hình 1. Mạch tương đương của động cơ servo một chiều

Trong đó:  $R_a$  (Ohm): điện trở của cuộn dây;  $L_a$  (H): độ tự cảm của cuộn dây;  $I_a$  (A): Dòng điện của của phần ứng;  $U$  (V): Điện áp phần ứng;  $E_b$  (V): điện áp phản hồi;  $\theta$  (rad): Góc chuyển động của trục động cơ;  $T_L$  (Nm): Momen tải;  $T$  (Nm): Mô men xoắn của động cơ;  $J$  (kg.m<sup>2</sup>): Momen quán tính tương đương của động cơ và tải được để cập đến trục động cơ;  $B$  (N.m): Hệ số ma sát nhớt của động cơ và tải được để cập đến trục động cơ.

Mối quan hệ của các đại lượng được biểu diễn qua các công thức sau:

$$U(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot s \cdot I_a(s) + E_b(s) \tag{1}$$

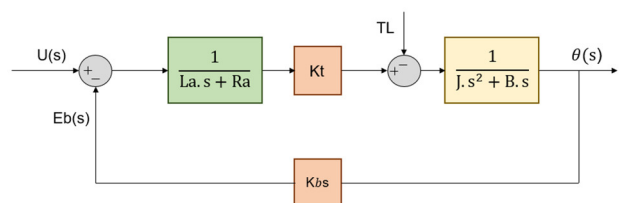
$$T(s) = K_t \cdot I_a(s) \tag{2}$$

$$E_b(s) = K_b \cdot s \cdot \theta(s) \tag{3}$$

$$T(s) - T_L(s) = (J \cdot s^2 + B \cdot s) \theta(s) \tag{4}$$

Trong đó:  $K_t$  (Nm/A): Hằng số momen xoắn;  $K_b$  (V/(rad/sec)): Hằng số EMF phản hồi.

Bằng cách biến đổi các phương trình (1-4) ta thu được sơ đồ khối của động cơ có cấu trúc như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối của hệ thống động cơ servo một chiều

Với momen tải và nhiễu bằng 0, để đơn giản hóa và lấy tỉ lệ, ta tìm được hàm truyền có cấu trúc như sau:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{K_t}{s \cdot [L_a \cdot J \cdot s^2 + (L_a \cdot B + R_a \cdot J)s + R_a \cdot B + K_t K_b \cdot J]} \quad (5)$$

Do điện cảm phần ứng của động cơ thường nhỏ nên có thể bỏ qua trong quá trình tính toán. Khi đó, phương trình (5) sẽ giảm bậc và khi chuyển về phương trình vi phân ta có:

$$\begin{aligned} (R_a \cdot J)\ddot{\theta}(t) + (R_a \cdot B + K_t K_b)\dot{\theta}(t) &= K_t \cdot u(t) \\ \ddot{\theta}(t) &= \frac{(R_a \cdot B + K_t K_b)}{R_a \cdot J} \dot{\theta}(t) + \frac{K_t \cdot u(t)}{R_a \cdot J} \end{aligned} \quad (6)$$

Các thông số của động cơ được tham khảo trong bài báo [15], ta có phương trình mới sau:

$$\ddot{\theta}(t) = -39,3701\dot{\theta}(t) + 60,2362u(t) + d \quad (7)$$

$\ddot{\theta}(t) = -A\dot{\theta}(t) + Cu(t) + d$ ; với  $A = 39,3701$ ;  $C = 60,2362$ ,  $d$  là thành phần nhiễu của hệ thống.

### 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG

#### 3.1. Bộ điều khiển trượt cơ bản ( SMC)

Bộ điều khiển SMC cơ bản là một bộ điều khiển phi tuyến bền vững với hệ thống có sự bất định.

Ta có phương trình của động cơ servo như sau:

$$\ddot{\theta}(t) = -A\dot{\theta}(t) + Cu(t) + d \quad (8)$$

Chọn mặt trượt bậc hai có dạng như sau:  $s = \lambda e + \dot{e}$  với hệ số mặt trượt  $\lambda > 0$ .

Trong đó, sai lệch và đạo hàm sai lệch là:  $\begin{cases} e = \theta_r - \theta \\ \dot{e} = \dot{\theta}_r - \dot{\theta} \end{cases}$

Với  $\theta_r$  và  $\dot{\theta}_r$  tương ứng là góc đặt và góc phản hồi của trục động cơ.

$$\text{Ta có: } \dot{s} = \lambda \dot{e} + \ddot{e} = \lambda(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}) + \ddot{\theta}_r - \ddot{\theta} \quad (9)$$

Thay phương trình (8) vào phương trình (9) ta được:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \lambda(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}) + \ddot{\theta}_r + A\dot{\theta} - Cu - d \\ \dot{s} &= \lambda\dot{\theta}_r + \ddot{\theta}_r + (A - \lambda)\dot{\theta} - Cu - d \end{aligned} \quad (10)$$

Nếu mặt trượt thỏa mãn:  $\dot{s} = -K_1 s - K_2 \text{sign}(s)$

Trong đó các hệ số điều khiển  $K_1, K_2 > 0$  và  $K_2 \geq \epsilon$  với giả thiết nhiễu  $d$  tác động lên hệ thống là liên tục và bị chặn, tồn tại một hằng số  $\epsilon$  dương sao cho  $\|d\| \leq \epsilon$  với mọi  $t$ .

Thay vào phương trình (10) ta được:

$$\lambda\dot{\theta}_r + \ddot{\theta}_r + (A - \lambda)\dot{\theta} - Cu - d = -K_1 s - K_2 \text{sign}(s)$$

Tín hiệu điều khiển được đề xuất như sau:

$$u_1 = \frac{1}{C}(\lambda\dot{\theta}_r + \ddot{\theta}_r + (A - \lambda)\dot{\theta} + K_1 s + K_2 \text{sign}(s)) \quad (11)$$

Ta chọn hàm Lyapunov  $V_1 = \frac{1}{2} \cdot s^2$

Ta có  $\dot{V}_1 = s \cdot \dot{s} = s(-K_1 s - K_2 \text{sign}(s)) = -K_1 s^2 - K_2 |s| \leq 0$  nên hệ thống ổn định theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov.

#### 3.2. Bộ điều khiển trượt nâng cao (SMC-PID-FUZZY)

Bộ điều khiển đề xuất sử dụng mặt trượt PID thay vì mặt trượt thông thường, nhằm nâng cao khả năng đáp ứng hệ thống so với bộ điều khiển trượt cơ bản. Ngoài ra khi sử dụng bộ điều khiển trượt cơ bản có hiện tượng chattering xảy ra do ảnh hưởng từ sự chuyển mạch của hàm sign. Vì thế, bộ điều khiển được đề xuất trong bài báo kết hợp với kĩ thuật mờ để giảm ảnh hưởng do hàm sign gây ra.

Mặt trượt của bộ điều khiển có dạng như sau:

$$s = \lambda_1 e + \lambda_2 \int e + \lambda_3 \dot{e}$$

Ta có:

$$\dot{s} = \lambda_1 \dot{e} + \lambda_2 e + \lambda_3 \ddot{e} = \lambda_1(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}) + \lambda_2 e + \lambda_3(\ddot{\theta}_r - \ddot{\theta}) \quad (12)$$

Thay phương trình (8) vào phương trình (12) ta được:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \lambda_1(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}) + \lambda_2 e + \lambda_3(\ddot{\theta}_r + A\dot{\theta} - Cu) \\ \dot{s} &= \lambda_1\dot{\theta}_r + \lambda_3\ddot{\theta}_r + \lambda_2 e + (A\lambda_3 - \lambda_1)\dot{\theta} - C\lambda_3 u \end{aligned} \quad (13)$$

Nếu mặt trượt thỏa mãn:  $\dot{s} = -K_1 s - K_2 \text{sign}(s)$

Trong đó các hệ số điều khiển  $K_1, K_2 > 0$  và  $K_2 \geq \epsilon$  với giả thiết nhiễu  $d$  tác động lên hệ thống là liên tục và bị chặn, tồn tại một hằng số  $\epsilon$  dương sao cho  $\|d\| \leq \epsilon$  với mọi  $t$ .

Thay vào phương trình (13) ta được:

$$\lambda_1\dot{\theta}_r + \lambda_3\ddot{\theta}_r + \lambda_2 e + (A\lambda_3 - \lambda_1)\dot{\theta} - C\lambda_3 u = -K_1 s - K_2 \text{sign}(s)$$

Tín hiệu điều khiển được thiết kế như sau:

$$u_2 = \frac{1}{C\lambda_3} \left( \lambda_1\dot{\theta}_r + \lambda_3\ddot{\theta}_r + \lambda_2 e + (A\lambda_3 - \lambda_1)\dot{\theta} + K_1 s + K_2 \text{sign}(s) \right) \quad (14)$$

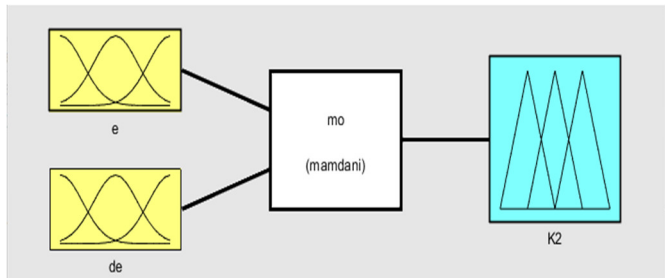
Chọn hàm Lyapunov  $V_2 = \frac{1}{2} \cdot s^2$

Ta có:  $\dot{V}_2 = s \cdot \dot{s} = s(-K_1 s - K_2 \text{sign}(s)) = -K_1 s^2 - K_2 |s| \leq 0$  nên hệ thống ổn định theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov.

Hiện tượng chattering xảy ra trong quá trình chuyển mạch của hàm sign và phụ thuộc vào giá trị  $K_2$ . Khi giá trị  $K_2$  lớn thì đáp ứng của bộ điều khiển nhanh nhưng hiện tượng chattering lớn và ngược lại. Bằng cách sử dụng bộ

điều khiển mờ để tạo ra giá trị  $K_2$  thích hợp làm giảm hiện tượng chattering và tăng khả năng đáp ứng trong quá trình điều khiển.

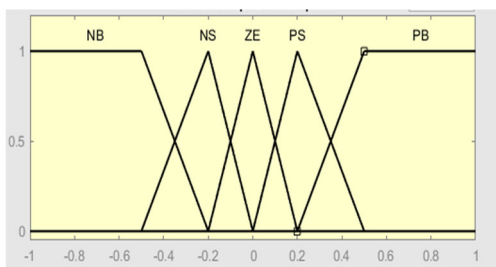
Bộ điều khiển SMC- PID- Fuzzy có cấu trúc điều khiển mờ gồm hai đầu vào là sai lệch  $e$  và đạo hàm sai lệch  $de$ .



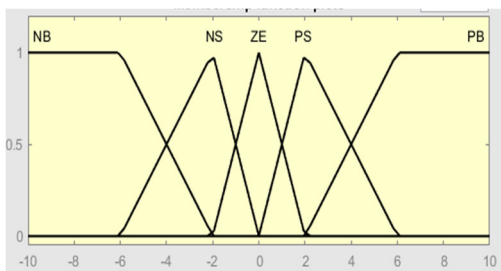
Hình 3. Xây dựng bộ điều khiển mờ trên Matlab

Tín hiệu đầu vào gồm sai lệch  $e$  và đạo hàm sai lệch  $de$ . Tín hiệu đầu vào được mờ hóa thành 5 tập mờ NB (rất nhỏ), NS (nhỏ), ZE (không), PS (lớn), PB (rất lớn).

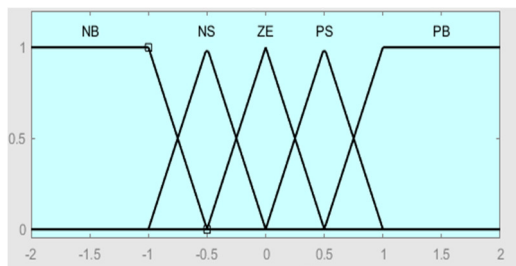
Tín hiệu đầu ra là giá trị  $K_2$ . Tín hiệu đầu ra cũng được mờ hóa thành 5 tập mờ NB (Rất nhỏ), NS (nhỏ), ZE (Không), PS (Lớn), PB (rất lớn) và giá trị đầu ra được lấy trị tuyệt đối.



Hình 4. Mờ hóa tín hiệu đầu vào  $e$  của hệ thống



Hình 5. Mờ hóa tín hiệu đầu vào  $de$  của hệ thống



Hình 6. Mờ hóa tín hiệu đầu ra của hệ thống

Vì đầu vào và đầu ra đều có 5 tập mờ nên có 25 luật hợp thành. Luật hợp thành cho giá trị  $K_2$  trong bảng 1.

Bảng 1. Luật hợp thành của giá trị đầu ra  $K_2$  trong bộ điều khiển mờ

de \ e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NS	ZE	ZE
NS	NB	NS	ZE	ZE	PS
ZE	NS	ZE	ZE	PS	PS
PS	ZE	ZE	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PS	PB	PB

#### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Thực hiện mô phỏng hệ trên phần mềm Matlab-Simulink. Phương trình quỹ đạo vị trí của động cơ có dạng sóng hình sin, có biên độ là 1 rad và tần số là 2,5Hz. Kịch bản mô phỏng gồm hai trường hợp: không có momen tải tác động và có momen tải tác động.

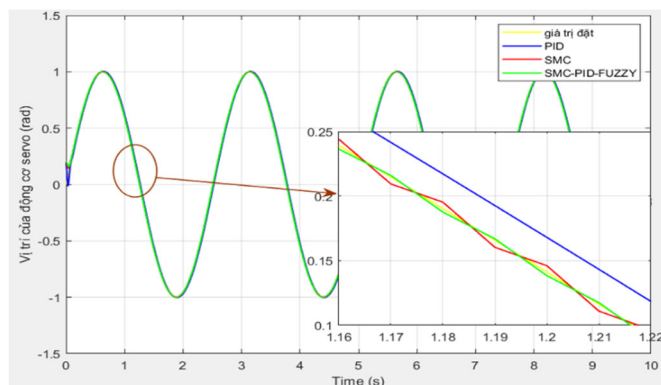
Các thông số điều khiển của bộ điều khiển PID được tính toán và lựa chọn với  $K_p = 60$ ;  $K_i = 10$ ;  $K_d = 0,6$ .

Các thông số điều khiển của bộ điều khiển trượt cơ bản (SMC) và bộ điều khiển trượt nâng cao (SMC-PID-FUZZY) như sau:

Với bộ điều khiển trượt cơ bản thì:  $\lambda = 70$ ,  $K_1 = 50$ ,  $K_2 = 200$ .

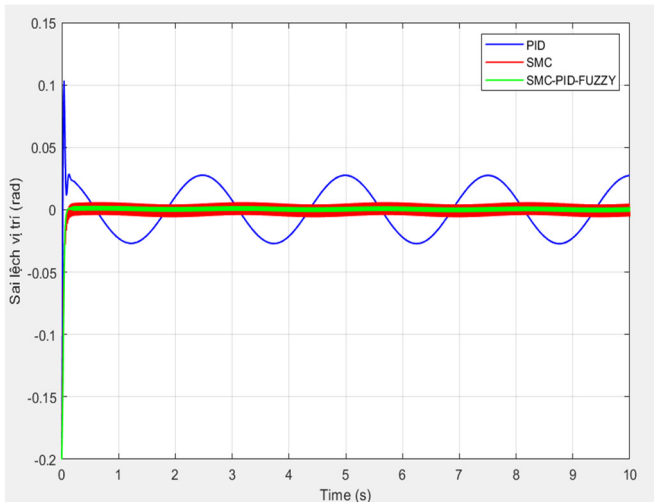
Với bộ điều khiển trượt nâng cao thì:  $\lambda_1 = 70$ ,  $\lambda_2 = 10$ ,  $\lambda_3 = 0,6$ ,  $K_1 = 50$ .

##### 4.1. Trường hợp không có nhiễu tác động



Hình 7. Đáp ứng vị trí của động cơ

Trong hình 7 mô phỏng đáp ứng vị trí của động cơ servo một chiều khi sử dụng các bộ điều khiển khác nhau. Các bộ điều khiển đều cho kết quả đáp ứng bám theo quỹ đạo đặt. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID có đáp ứng quỹ đạo sai lệch nhiều nhất, thứ hai là bộ điều khiển trượt cơ bản, bộ điều khiển trượt nâng cao có sai lệch nhỏ nhất. Hình 8 biểu diễn sai lệch  $e$  của hệ thống trong quá trình mô phỏng. Sai lệch của các bộ điều khiển tương đối nhỏ, tuy nhiên sai lệch ứng với bộ điều khiển trượt SMC- PID-FUZZY là nhỏ nhất.

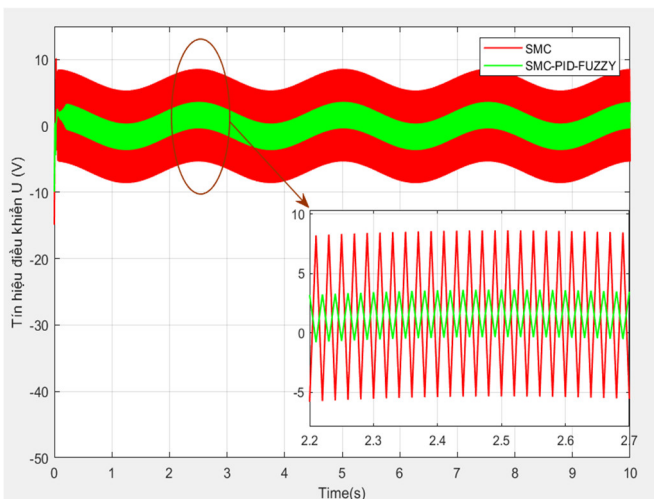


Hình 8. Sai lệch vị trí của động cơ

Đáp ứng vị trí của động cơ ổn định thì sai lệch vị trí của các bộ điều khiển như sau:

Bộ điều khiển	PID	SMC	SMC-PID-FUZZY
Sai lệch vị trí lớn nhất (rad)	0,02578	0,005	0,00077

Tín hiệu điều khiển của hai bộ điều khiển trượt:



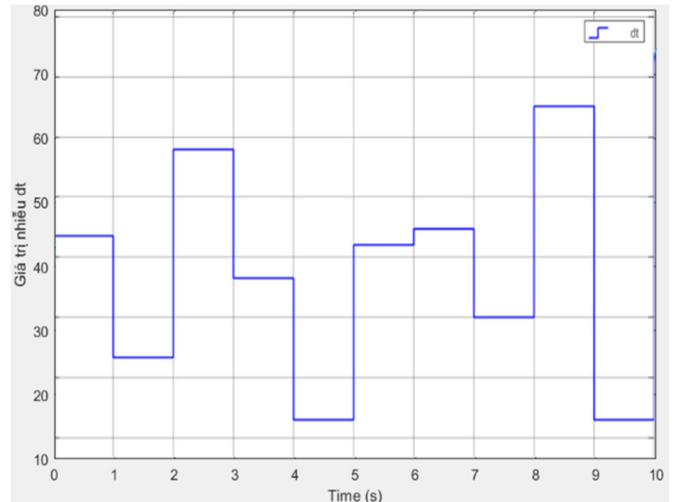
Hình 9. Tín hiệu điều khiển

Khi không có momen nhiễu tác động vào động cơ, hình 9 cho thấy bộ điều khiển trượt SMC có hiện tượng chattering xảy ra với biên độ cao hơn so với khi sử dụng bộ SMC - PID - FUZZY. Khi đáp ứng vị trí của động cơ ổn định thì biên độ tín hiệu điều khiển của hai bộ điều khiển có giá trị như sau:

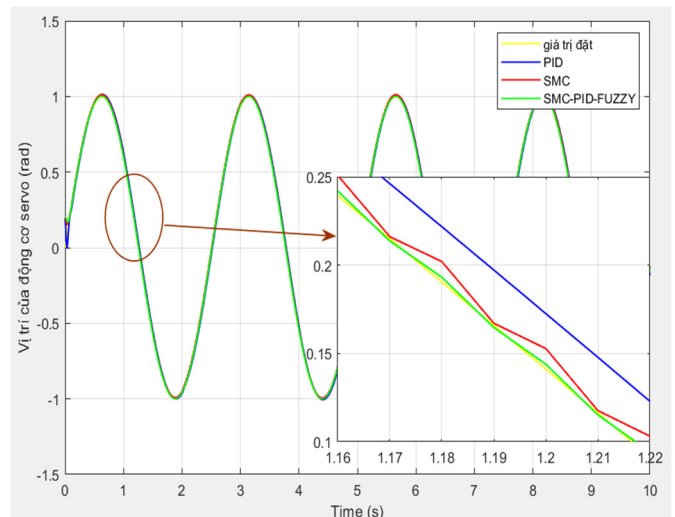
Bộ điều khiển	SMC	SMC-PID-FUZZY
Biên độ tín hiệu điều khiển	8,4	1,63

#### 4.2. Trường hợp có nhiễu tác động

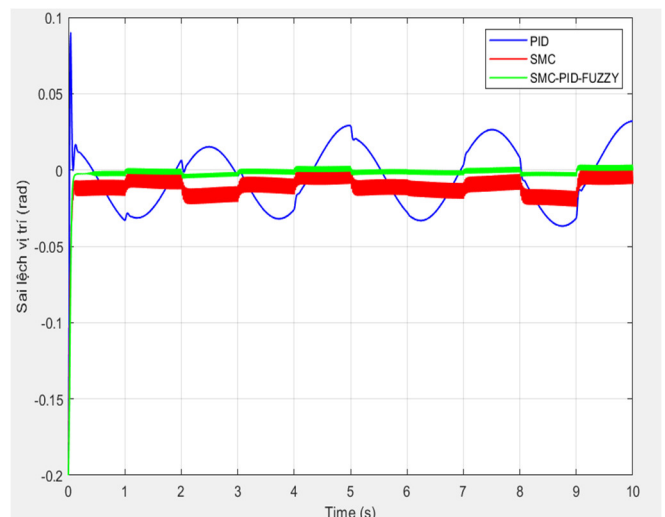
Cho moment nhiễu tải thay đổi liên tục tác động liên tục vào động cơ trong quá trình hoạt động. Moment nhiễu tải có giá trị như hình 10.



Hình 10. Giá trị nhiễu d



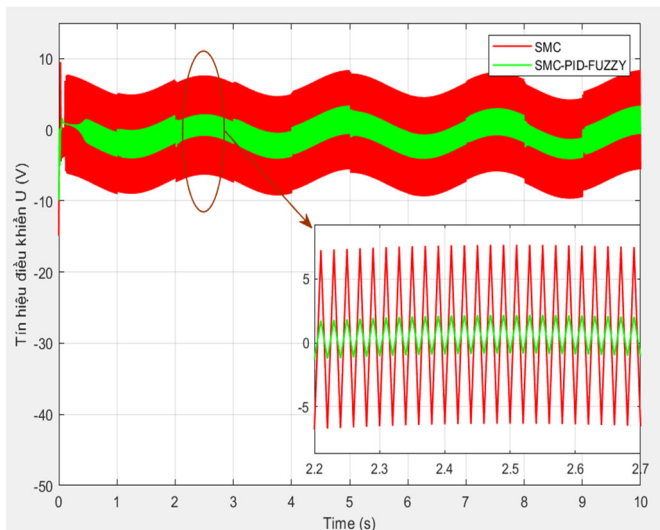
Hình 11. Đáp ứng vị trí của động cơ



Hình 12. Sai lệch vị trí của động cơ

Trong hình 11 mô phỏng đáp ứng vị trí của động cơ servo một chiều khi sử dụng các bộ điều khiển khác nhau. Nhìn chung, cả ba bộ điều khiển đều cho khả năng đáp

ứng tốt quỹ đạo của hệ thống. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID cơ bản có khả năng đáp ứng quỹ đạo kém nhất, sau đó là bộ điều khiển trượt SMC và bám tốt nhất là bộ điều khiển trượt SMC-PID-FUZZY. Hình 12 biểu diễn sai lệch của hệ thống trong quá trình mô phỏng. Sai lệch của các bộ điều khiển nhỏ, trong đó khi sử dụng bộ điều khiển trượt SMC-PID-FUZZY cho chất lượng tốt hơn hơn so với hai bộ điều khiển còn lại.



Hình 13. Tín hiệu điều khiển của hai bộ điều khiển trượt

Khi đáp ứng vị trí của động cơ ổn định thì sai lệch vị trí của các bộ điều khiển như sau:

Bộ điều khiển	PID	SMC	SMC-PID-FUZZY
Sai lệch vị trí lớn nhất (rad)	0,036	0,024	0,006

Trong hình 13, ta thấy rằng khi có momen nhiễu tác động vào động cơ trong quá trình hoạt động, so với bộ điều khiển trượt SMC thì hiện tượng chattering xảy ra do ảnh hưởng của hàm sign đã được giảm nhiều khi sử dụng bộ điều khiển trượt SMC-PID-FUZZY. Biên độ tín hiệu điều khiển của hai bộ điều khiển khi hệ thống ổn định có giá trị như sau:

Bộ điều khiển	SMC	SMC-PID-FUZZY
Biên độ tín hiệu điều khiển	9,7	2,7

### 5. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển quỹ đạo vị trí động cơ servo một chiều. Cấu trúc điều khiển trượt nâng cao (SMC-PID-FUZZY) được đề xuất dựa trên việc sử dụng mặt trượt PID thay thế cho mặt trượt trong bộ điều khiển trượt cơ bản và kết hợp với kĩ thuật mờ nhằm nâng cao chất lượng đáp ứng của hệ thống và giảm ảnh hưởng của hiện tượng chattering. Đáp ứng vị trí khi có hoặc không có ngoại lực tác động ứng với bộ điều khiển trượt đề xuất tốt hơn so với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển

trượt cơ bản. Kĩ thuật mờ giúp cho việc tính toán giá trị hệ số điều khiển  $K_2$  thích hợp đã hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng chattering. Hướng mở rộng là tiếp tục nghiên cứu và thiết lập các dữ liệu mờ để luật điều khiển tối ưu hơn hoặc kết hợp các bộ quan sát để nâng cao chất lượng điều khiển của hệ thống.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Zainab B. Abdullah, Salam Waley Shneen, Hashmia S. Dakheel, "Simulation Model of PID Controller for DC Servo Motor at Variable and Constant Speed by Using MATLAB," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2023.
- [2]. A. M. Alsayed, E. K. Elsayed, "Optimize Position Control of DC Servo Motor using PID Controller Tuning with Krill Herd algorithm," *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, 4, 12, 141-147, 2020.
- [3]. L. Syafaah, Widiyanto, I. Pakaya, D. Suhardi, M. Irfan, "PID designs using DE and PSO algorithms for damping oscillations in a DC motor speed," in *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 1-5, 2017. doi: 10.1109/EECSI.2017.8239138.
- [4]. N. Khongkoom, A. Kanchanathep, S. Nopnakeepong, S. Tanuthong, S. Tunyasirirut, R. Kagawa, "Control of the position DC servo motor by fuzzy logic," in *2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium (Cat. No.00CH37119)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 3, 354-357, 2000. doi: 10.1109/TENCON.2000.892288..
- [5]. R. Bai, "Neural network control-based adaptive design for a class of DC motor systems with the full state constraints," *Neurocomputing*, 168, 65-9, 2015.
- [6]. H. Alzarok, H. M. Aiyoub, "Tuning of a Speed Control System for DC Servo Motor Using Genetic Algorithm," *The International Journal of Engineering and Information Technology (IJEIT)*, 6, 2, 141-150, 2020.
- [7]. Bindu R, Mini K. Namboothiripad, "Tuning of PID Controller for DC Servo Motor using Genetic Algorithm," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2, 3, 2012.
- [8]. M. A. Abdelghany, Abdelrady Okasha Elnady, Shorouk Ossama Ibrahim, "Optimum PID Controller with Fuzzy Self-Tuning for DC Servo Motor," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4, 4, 2023.
- [9]. Lê Tiểu Niễn, Phạm Văn Cường, Nguyễn Phúc Ánh, Vũ Ngọc Sơn, "Tối ưu hiệu suất tốc độ động cơ Servo DC sử dụng bộ điều khiển PID kết hợp mạng nơ-ron," *Hội nghị Quốc gia lần thứ 27 về Điện tử, Truyền thông và Công nghệ Thông tin (REV-ECIT)*, 2024.
- [10]. H. Guldemir, "Sliding mode speed control for dc drive system," *Association for Scientific Research, Mathematical & Computational Applications*, 8, 3, 377-385, 2003.
- [11]. Nguyễn Thị Thu Thảo, Vũ Quốc Huy, "Sliding mode control with exponent sliding surface-reaching law in the tracking drive systems using

synchronous servo at torque-position mode," *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự*, 80, 2022.

[12]. Nguyen Tan No, Mai Nhat Thien, "Comparison of the effectiveness of microcontrollers in the application of dc motor speed control using non-singular terminal sliding mod," *TNU Journal of Science and Technology*, 2024.

[13]. Tran Duc Chuyen, Ngo Tien Dung, Tran Cong Minh, Do Minh Quan, Vu Van Canh, Tran Trong Hung, "Control tracking electro - mechanical of lead screw system using servo motor application in machine tools based on sliding mode control method," *TNU Journal of Science and Technology*, 2021.

[14]. M. R. Msukwa, E. W. Nshama, N. Uchiyama, "Adaptive Sliding Mode Control With Feedforward Compensator for Energy-Efficient and High-Speed Precision Motion of Feed Drive Systems," *IEEE Access*, 8, 43571-43581, 2020.

[15]. Akif Durdu, Emre Hasan Dursun, "Sliding Mode Control for Position Tracking of Servo System with a Variable Loaded DC Motor," *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 25, 4, 2019.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Tran Minh Hai<sup>1</sup>, Nguyen Van Hoang<sup>2</sup>, Nguyen Huu Hai<sup>2</sup>,  
Tran Anh Tuan<sup>3</sup>, Tran Thi Hong Tham<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Thai Binh University, Vietnam

<sup>2</sup>School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam

<sup>3</sup>Department of Administration, Hanoi University of Industry, Vietnam