

Điều khiển mặt động cho hệ thống xy lanh servo thủy lực

Nghiêm Xuân Thuốc^{1*}, Trần Đức Thuận², Nguyễn Việt Anh¹, Nguyễn Xuân Quỳnh¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam;

²Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: xuanthuocstudonghoa@gmail.com

Nhận bài: 13/12/2023; Hoàn thiện: 01/02/2024; Chấp nhận đăng: 05/02/2024; Xuất bản: 25/02/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.93.2024.19-29>

TÓM TẮT

Hệ thống điện-thủy lực được sử dụng rộng rãi trong sản xuất công nghiệp do tỷ lệ công suất trên trọng lượng cao. Ngoài ra, do đặc tính chịu tải lớn khiến hệ thống điện-thủy lực bị tác động của nhiễu ngay cả khi bộ truyền động chuyển động nhẹ, đặc biệt là trong các máy di động và hệ thống nhiều cơ cấu chấp hành. Điều khiển mặt động dựa trên phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping được áp dụng để tránh hiện tượng nô đạo hàm khi tính đạo hàm của đầu vào điều khiển ảo, giúp giảm độ phức tạp tính toán của hệ thống. Để kiểm chứng tính hiệu quả của phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping được đề xuất, bộ điều khiển tỷ lệ-tích phân-đạo hàm PID được thiết kế để so sánh với bộ điều khiển mặt động (Dynamic Surface Control - DSC) bằng phương pháp Backstepping và kết quả so sánh cho thấy bộ điều khiển đề xuất có hiệu suất bám quỹ đạo chính xác hơn.

Từ khóa: Điều khiển mặt động; Phương pháp điều khiển cuộn chiếu; Xy lanh servo thủy lực; Cần xy lanh.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống điện-thủy lực (Electro-Hydraulic System - EHS) có nhiều ứng dụng khác nhau trong kỹ thuật dân dụng và kỹ thuật công nghiệp do khả năng quá tải. Khi so sánh với các thiết bị điện tương tự, chúng có tỷ lệ công suất trên trọng lượng cao [1-2]. Hơn nữa, EHS có thể nhanh chóng tạo ra lực đủ mạnh. Tuy nhiên, tính chất phi tuyến trong hoạt động động của EHS, các đặc tính quan hệ dòng chảy-áp suất làm cho EHS khó kiểm soát. Vì vậy, phương pháp điều khiển phản hồi là cần thiết để cải thiện hiệu suất khi hệ thống có đặc điểm phi tuyến.

Nhiều phương pháp khác nhau đã được thử nghiệm để điều khiển vị trí hoặc lực của EHS. Tuyến tính hóa cục bộ động lực học phi tuyến về một điểm làm việc đã được đề xuất trong [1], chiến lược điều khiển cấu trúc biến đổi (Variable Structure Control) đã được nghiên cứu để điều khiển EHS trong [3], tuyến tính hóa đầu vào - ra cũng được sử dụng trong thiết kế EHS [4]. Do động lực học của EHS ở dạng truyền ngược nghiêm ngặt (Strict Feedback) nên các bộ điều khiển dựa trên phương pháp Lyapunov đã được phát triển, đặc biệt là phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping [5, 6].

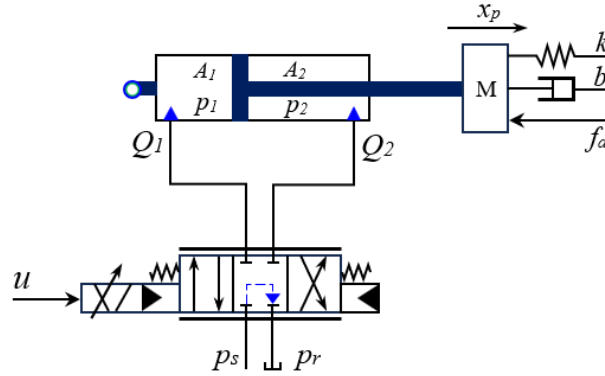
Nội dung bài báo sẽ trình bày về điều khiển vị trí của EHS sử dụng bộ điều khiển mặt động cho hệ thống xy lanh servo thủy lực để cải thiện hiệu suất bám quỹ đạo vị trí đặt. Để chứng minh tính hiệu quả của bộ điều khiển được đề xuất, nhóm tác giả thực hiện một số thử nghiệm mô phỏng. Theo kết quả mô phỏng, bộ điều khiển được đề xuất minh chứng khả năng bám vị trí được cải thiện so với bộ điều khiển tỷ lệ-tích phân-đạo hàm PID.

Cấu trúc về nội dung bài báo gồm: Giới thiệu nội dung bài báo; Mô hình động học xy lanh servo thủy lực; Bộ điều khiển trượt mặt động dựa trên phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping; Kết quả so sánh giữa bộ điều khiển đề xuất với bộ điều khiển PID; Cuối cùng, kết luận và các hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC XY LANH SERVO THỦY LỰC

Do tính chất phi tuyến trong động lực học của EHS như đặc tính dòng chảy - áp suất, là

nguyên nhân gây ra EHS khó kiểm soát, với mục tiêu là cần xy lanh (Cylinder Rod) phải bám chính xác quỹ đạo đặt. Hệ thống van servo thủy lực được xem xét trong nghiên cứu có cấu trúc như hình 1, gồm một van servo và một xy lanh dạng bất đối xứng.



Hình 1. Cấu trúc cơ cấu chấp hành Servo điện thủy lực [9].

Dòng chảy vào hai buồng của xy lanh bất đối xứng được mô tả bằng biểu thức sau [2]:

$$Q_1 = k_v x_v \left(q(x_v) \sqrt{p_s - p_1} + q(-x_v) \sqrt{p_1 - p_r} \right) \quad (1)$$

$$Q_2 = k_v x_v \left(q(x_v) \sqrt{p_2 - p_r} + q(-x_v) \sqrt{p_s - p_2} \right) \quad (2)$$

Trong đó, Q_1 là tốc độ dòng chảy tới buồng xy lanh, Q_2 là tốc độ dòng hồi lưu, k_v là hệ số xả của van, x_v là độ dịch chuyển của ống van servo, p_s và p_r tương ứng áp suất bơm và áp suất buồng chứa, p_1 và p_2 là áp suất của buồng tiến và buồng hồi lưu của xy lanh. Ngoài ra, hàm $q(\cdot)$ được định nghĩa là:

$$\begin{cases} q(\cdot) = 1, & \cdot \geq 0 \\ q(\cdot) = 0, & \cdot < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Giả thuyết 1. Trong điều kiện hoạt động bình thường, các chỉ số áp suất p_1 và p_2 của hai buồng xy lanh đều bị giới hạn bởi giá trị của p_s và p_r , cụ thể $0 \leq p_r < p_1, p_2 < p_s$.

Hệ thống được mô tả ở hình 1, phản ứng của van servo nhanh hơn động lực học của xy lanh thủy lực bất đối xứng. Vì vậy, mối liên hệ giữa x_v và điện áp đầu vào điều khiển van servo u được mô tả bởi công thức.

$$x_v = k_{sv} u \quad (4)$$

Trong đó, k_{sv} là một hằng số dương thể hiện độ khuếch đại của van servo. Phương trình động lực học áp suất của xy lanh bất đối xứng được thiết lập như sau [2]:

$$\dot{p}_1 = \frac{\mu}{V_{01} + A_1 x_p} \left(Q_1 - A_1 \dot{x}_p - C_{il} (p_1 - p_2) \right) \quad (5)$$

$$\dot{p}_2 = \frac{\mu}{V_{02} - A_2 x_p} \left(-Q_2 + A_2 \dot{x}_p + C_{il} (p_1 - p_2) \right) \quad (6)$$

Trong đó, μ là mô đun khối chất lỏng thủy lực, V_{01} và V_{02} lần lượt là thể tích ban đầu của hai buồng xy lanh, A_1 và A_2 là tiết diện hai buồng xy lanh, x_p và \dot{x}_p tương ứng độ dịch chuyển và tốc độ của thanh xy lanh, C_{il} là hệ số rò rỉ bên trong của xy lanh. Sự rò rỉ bên ngoài của xy lanh được giả định bằng không. Khi thanh xy lanh di chuyển, lực lò xo f_d trở thành lực cản của hệ thống thủy lực. Khi có tải thì áp suất thủy lực phải thắng lực tải bên ngoài. Phương trình động lực học của xy lanh dẫn động được xác định dựa theo định luật II Newton:

$$m\ddot{x}_p = (p_1A_1 - p_2A_2) - kx_p - b\dot{x}_p + f_d \quad (7)$$

Trong đó, m là khối lượng tải, \ddot{x}_p là gia tốc của thanh xy lanh, k là hệ số lò xo, b là hệ số giảm chấn. Kết hợp công thức (1), (2), (5), (6), (7), mô hình hệ thống như sau:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{m}(-kx_1 - bx_2 + A_1x_3 - A_2x_4 + f_d) \\ \dot{x}_3 &= \frac{\mu}{V_{01} + A_1x_1} \left(-A_1x_2 - C_{il}(x_3 - x_4) + k_vk_{sv} \left(q(u)\sqrt{p_s - x_3} + q(-u)\sqrt{x_3 - p_r} \right) u \right) \\ \dot{x}_4 &= \frac{\mu}{V_{02} - A_2x_1} \left(A_2x_2 + C_{il}(x_3 - x_4) - k_vk_{sv} \left(q(u)\sqrt{x_4 - p_r} + q(-u)\sqrt{p_s - x_4} \right) u \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó, $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T = [x_p \ \dot{x}_p \ p_1 \ p_2]^T$. Để thuận tiện ứng dụng phương pháp điều khiển trượt mặt động, mô hình toán học ở phương trình (8) được biến đổi về dạng truyền ngược nghiêm ngặt bằng cách định nghĩa thêm một biến trạng thái mới $\bar{x}_3 = A_1p_1 - A_2p_2$. Lúc này hệ thống truyền động thủy lực có dạng là:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -f_1x_1 - f_2x_2 + f_3\bar{x}_3 \\ \dot{\bar{x}}_3 &= g_1u - g_2x_2 - g_3f_4(x_3 - x_4) \end{aligned} \quad (9)$$

Trong đó, các hàm phi tuyến f, g được định nghĩa là:

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{k}{m}, f_2 = \frac{b}{m}, f_3 = \frac{1}{m}, f_4 = C_{il} \\ g_1 &= \frac{k_vk_{sv}\mu A_1}{V_{01} + A_1x_1} \left(q(u)\sqrt{p_s - x_3} + q(-u)\sqrt{x_3 - p_r} \right) \\ &\quad + \frac{k_vk_{sv}\mu A_2}{V_{02} - A_2x_1} \left(q(u)\sqrt{x_4 - p_r} + q(-u)\sqrt{p_s - x_4} \right) \\ g_2 &= \frac{\mu A_1^2}{V_{01} + A_1x_1} + \frac{\mu A_2^2}{V_{02} - A_2x_1}, g_3 = \frac{\mu A_1}{V_{01} + A_1x_1} + \frac{\mu A_2}{V_{02} - A_2x_1} \end{aligned}$$

Phương trình (9) là mô hình động học hệ thống van servo thủy lực và bộ điều khiển ở nội dung sau sẽ được thiết kế dựa trên mô hình này.

3. XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT MẶT ĐỘNG CHO HỆ THỐNG XY LANH SERVO THỦY LỰC

Bộ điều khiển trượt mặt động bền vững dựa trên phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping và bộ lọc thông thấp bậc nhất. Trong đó, bộ lọc thông thấp bậc nhất đóng vai trò quan trọng trong cấu trúc giúp hệ thống hạn chế hiện tượng “explosion of complexity”. Hiện tượng “explosion of complexity” là kết quả của phép tính đạo hàm các tín hiệu đầu vào ảo trong phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping. Bộ điều khiển kiểm soát vị trí piston của xy lanh thủy lực (x_p) bám sát quỹ đạo đặt (x_{pd}). Sai số bám vị trí của xy lanh được xác định:

$$e_1 = x_1 - x_{pd} \quad (10)$$

Đạo hàm của phương trình (10) khi xem xét phương trình (8).

$$\dot{e}_1 = x_2 - \dot{x}_{pd} \quad (11)$$

Với \dot{x}_{pd} là tốc độ mong muốn của piston xy lanh. Hàm Lypunov được lựa chọn:

$$V_1 = 0.5e_1^2 \quad (12)$$

Thực hiện đạo hàm hàm V_1 theo thời gian, sau đó sử dụng phương trình (11) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= e_1 \dot{e}_1 \\ &= e_1 (x_2 - \dot{x}_{pd}) \end{aligned} \quad (13)$$

Để thỏa mãn điều kiện $\dot{V}_1 \leq 0$ thì tín hiệu điều khiển ảo được thiết kế theo phương trình dưới đây:

$$x_{2d} = -\chi_1 e_1 + \dot{x}_{pd} - \chi_2 \tanh(e_1) \quad (14)$$

Trong đó, χ_1, χ_2 là các tham số điều khiển và có giá trị dương, $\tanh(e_1)$ là hàm hyperbol. Để tránh hiện tượng “explosion of complexity” gây ra bởi thành phần đạo hàm có trong tín hiệu x_{2d} , một bộ lọc thông thấp bậc nhất được bổ sung để tạo ra tín hiệu điều khiển ảo mới \bar{x}_{2d} làm đầu vào điều khiển. Thiết kế của bộ lọc thông thấp bậc nhất là:

$$\begin{cases} \tau_1 \dot{\bar{x}}_{2d} + \bar{x}_{2d} = x_{2d} \\ \bar{x}_{2d}(0) = x_{2d}(0) \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó, τ_1 là hằng số thời gian của bộ lọc. Sai lệch tính toán của bộ lọc.

$$\varepsilon_1 = \bar{x}_{2d} - x_{2d} \quad (16)$$

Thực hiện đạo hàm phương trình (16) kết hợp phương trình (15) ta có.

$$\dot{\varepsilon}_1 = -\frac{\varepsilon_1}{\tau_1} - \dot{x}_{2d} \quad (17)$$

Ngoài ra, quy ước sai lệch mặt động thứ hai.

$$e_2 = x_2 - \bar{x}_{2d} \quad (18)$$

Đạo hàm e_2 , kết hợp phương trình (9) và (16).

$$\dot{e}_2 = -f_1x_1 - f_2x_2 + f_3\bar{x}_3 - \dot{\bar{x}}_{2d} \quad (19)$$

Với hàm Lyapunov như sau:

$$V_2 = 0.5e_2^2 \quad (20)$$

Đạo hàm của phương trình (20), kết hợp phương trình (19).

$$\dot{V}_2 = e_2 \left(-f_1x_1 - f_2x_2 + f_3\bar{x}_3 - \dot{\bar{x}}_{2d} \right) \quad (21)$$

Để đảm bảo $\dot{V}_2 \leq 0$ thì tín hiệu điều khiển ảo cho vòng điều khiển này cần thỏa mãn:

$$x_{3d} = \frac{f_1x_1 + f_2x_2 + \dot{\bar{x}}_{2d} - \chi_3e_2 - \chi_4 \tanh(e_2)}{f_3} \quad (22)$$

Trong đó: χ_3, χ_4 là các hằng số dương.

Tương tự vòng điều khiển trước, bộ lọc thông thấp bậc nhất được thiết kế để tạo tín hiệu mới như sau:

$$\begin{cases} \tau_2 \dot{\bar{x}}_{3d} = \bar{x}_{3d} + x_{3d} \\ \bar{x}_{3d}(0) = x_{3d}(0) \end{cases} \quad (23)$$

Trong đó, τ_2 là hằng số thời gian của bộ lọc, x_{3d} và \bar{x}_{3d} tương ứng là đầu vào và đầu ra của bộ lọc. Bộ lọc có sai số là $\varepsilon_2 = \bar{x}_{3d} - x_{3d}$, và có đạo hàm sai lệch là

$$\dot{\varepsilon}_2 = -\frac{\varepsilon_2}{\tau_2} - \dot{x}_{3d} \quad (24)$$

Cuối cùng, sai lệch bề mặt động thứ ba được định nghĩa bằng biểu thức:

$$e_3 = \bar{x}_3 - \bar{x}_{3d} \quad (25)$$

Áp dụng phương trình (9) vào đạo hàm của e_3 , kết quả như sau sau:

$$\dot{e}_3 = g_1u - g_2x_2 - g_3f_4(x_3 - x_4) - \dot{\bar{x}}_{3d} \quad (26)$$

Hàm Lyapunov được lựa chọn dưới dạng sau:

$$V_3 = 0.5e_3^2 \quad (27)$$

Đạo hàm của V_3 khi xem xét phương trình (26) được biểu diễn bởi biểu thức:

$$\dot{V}_3 = e_3 \left(g_1u - g_2x_2 - g_3f_4(x_3 - x_4) - \dot{\bar{x}}_{3d} \right) \quad (28)$$

Tín hiệu điều khiển van servo được đề xuất là:

$$u = \frac{g_2x_2 + g_3f_4(x_3 - x_4) + \dot{\bar{x}}_{3d} - \chi_5e_3 - \chi_6 \tanh(e_3)}{g_1} \quad (29)$$

Trong đó, χ_5, χ_6 là các hằng số dương.

Giả thuyết 2. Các tín hiệu điều khiển ảo x_{2d}, x_{3d} , các đầu ra của bộ lọc thông thấp bậc nhất $\bar{x}_{2d}, \bar{x}_{3d}$ và các đạo hàm của chúng đều có giá trị hữu hạn.

Định lý 1. Hệ thống xy lanh servo thủy lực ở phương trình (9) khi được kiểm soát bởi các tín hiệu điều khiển ở phương trình (14), (22), (29) và bộ lọc thông thấp bậc nhất ở phương trình (15), (23), thì hoạt động sẽ ổn định và tiệm cận.

Chứng minh Định lý 1.

Để kiểm chứng sự ổn định của hệ thống xy lanh Servo thủy lực bởi bộ điều khiển đề xuất, lựa chọn hàm Lyapunov để đánh giá cho toàn bộ hệ thống như sau.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + 0.5\varepsilon_1^2 + 0.5\varepsilon_2^2 \quad (30)$$

Đạo hàm của phương trình (30) khi sử dụng thông tin thu được ở phương trình (13), (17), (21), (24), (28), ta thu được biểu thức dưới đây:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_3 + \varepsilon_1 \dot{\varepsilon}_1 + \varepsilon_2 \dot{\varepsilon}_2 \\ &= e_1(x_2 - \dot{x}_{pd}) + e_2(-f_1x_1 - f_2x_2 + f_3\bar{x}_3 - \dot{\bar{x}}_{2d}) \\ &\quad + e_3(g_1u - g_2x_2 - g_3f_4(x_3 - x_4) - \dot{\bar{x}}_{3d}) \\ &\quad + \varepsilon_1\left(-\frac{\varepsilon_1}{\tau_1} - \dot{x}_{2d}\right) + \varepsilon_2\left(-\frac{\varepsilon_2}{\tau_2} - \dot{x}_{3d}\right) \end{aligned} \quad (31)$$

Sử dụng các tín hiệu điều khiển ở phương trình (14), (22), (29), phương trình (31) trở thành:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -\chi_1e_1^2 - \chi_2e_1 \tanh(e_1) + e_1\varepsilon_1 - \chi_3e_2^2 - \chi_4e_2 \tanh(e_2) + f_3e_2\varepsilon_2 \\ &\quad - \chi_5e_3^2 - \chi_6e_3 \tanh(e_3) - \frac{\varepsilon_1^2}{\tau_1} - \varepsilon_1\dot{x}_{2d} - \frac{\varepsilon_2^2}{\tau_2} - \varepsilon_2\dot{x}_{3d} \end{aligned} \quad (32)$$

Áp dụng bất đẳng thức Young có dạng $xy \leq \frac{\alpha}{2}|x|^2 + \frac{1}{2\alpha}|y|^2$, ta có

$$\begin{aligned} e_1\varepsilon_1 &\leq \frac{e_1^2}{2} + \frac{\varepsilon_1^2}{2} \\ e_2\varepsilon_2 &\leq \frac{e_2^2}{2} + \frac{\varepsilon_2^2}{2} \\ \varepsilon_1\dot{x}_{2d} &\leq \frac{\varepsilon_1^2(\Lambda_1)^2}{2\alpha_1} + \frac{\alpha_1}{2} \\ \varepsilon_2\dot{x}_{3d} &\leq \frac{\varepsilon_2^2(\Lambda_2)^2}{2\alpha_2} + \frac{\alpha_2}{2} \end{aligned} \quad (33)$$

Trong đó, $\alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0; \Lambda_1, \Lambda_2$ là các hằng số dương thỏa mãn $\dot{x}_{2d} \leq \Lambda_1, \dot{x}_{3d} \leq \Lambda_2$ (theo như giả thuyết 2).

Lúc này, hàm \dot{V} có dạng:

$$\begin{aligned} \dot{V} \leq & -\chi_1 e_1^2 - \chi_3 e_2^2 - \chi_5 e_3^2 \\ & + \frac{e_1^2}{2} + \frac{\varepsilon_1^2}{2} + f_3 \left(\frac{e_2^2}{2} + \frac{\varepsilon_2^2}{2} \right) - \frac{\varepsilon_1^2}{\tau_1} - \frac{\varepsilon_1^2 (\Lambda_1)^2}{2\alpha_1} - \frac{\alpha_1}{2} - \frac{\varepsilon_2^2}{\tau_2} - \frac{\varepsilon_2^2 (\Lambda_2)^2}{2\alpha_2} - \frac{\alpha_2}{2} \end{aligned} \quad (34)$$

Thực hiện lựa chọn các tham số điều khiển thỏa mãn $\chi_1 = k_o + \frac{1}{2}, \chi_3 = k_o + \frac{f_3}{2}, \chi_5 = k_o, k_o \geq 0$

. Phương trình (34) được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V} \leq & -k_o e_1^2 - k_o e_2^2 - k_o e_3^2 \\ & - \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{(\Lambda_1)^2}{2\alpha_1} - \frac{1}{2} \right) \varepsilon_1^2 - \left(\frac{1}{\tau_2} + \frac{(\Lambda_2)^2}{2\alpha_2} - \frac{f_3}{2} \right) \varepsilon_2^2 - \frac{\alpha_1}{2} - \frac{\alpha_2}{2} \end{aligned} \quad (35)$$

Chọn thời gian lọc của các bộ lọc thỏa mãn điều kiện sau:

$$\begin{cases} \frac{1}{\tau_1} = k_o + \frac{1}{2} \\ \frac{1}{\tau_2} = k_o + \frac{f_3}{2} \end{cases} \quad (36)$$

Phương trình (35) được biến đổi thành dạng:

$$\dot{V} \leq -k_o e_1^2 - k_o e_2^2 - k_o e_3^2 - \kappa_1 \varepsilon_1^2 - \kappa_2 \varepsilon_2^2 + \kappa_3 \quad (37)$$

Trong đó, $\kappa_1 = k_o + \frac{\Lambda_1^2}{2\alpha_1} > 0, \kappa_2 = k_o + \frac{\Lambda_2^2}{2\alpha_2} > 0, \kappa_3 = -\frac{\alpha_1}{2} - \frac{\alpha_2}{2}$.

Hàm \dot{V} có thể được biểu diễn bằng phương trình (38)

$$\dot{V} \leq -2\beta V + \kappa_3 \quad (38)$$

Trong đó, $\beta = \min \{k_o, \kappa_1, \kappa_2\}$.

Từ phương trình (38), có thể dễ dàng đánh giá được $\dot{V} \leq 0$ với các tham số α_1, α_2 nhỏ tùy ý, điều này đồng nghĩa rằng toàn bộ hệ thống hoạt động ổn định. Định lý hoàn toàn được chứng minh.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để kiểm chứng sự hiệu quả của thuật toán được trình bày, tiến hành mô phỏng Matlab/Simulink với tham số mô hình xy lanh servo thủy lực được trình bày bảng 1. Kết quả như sau:

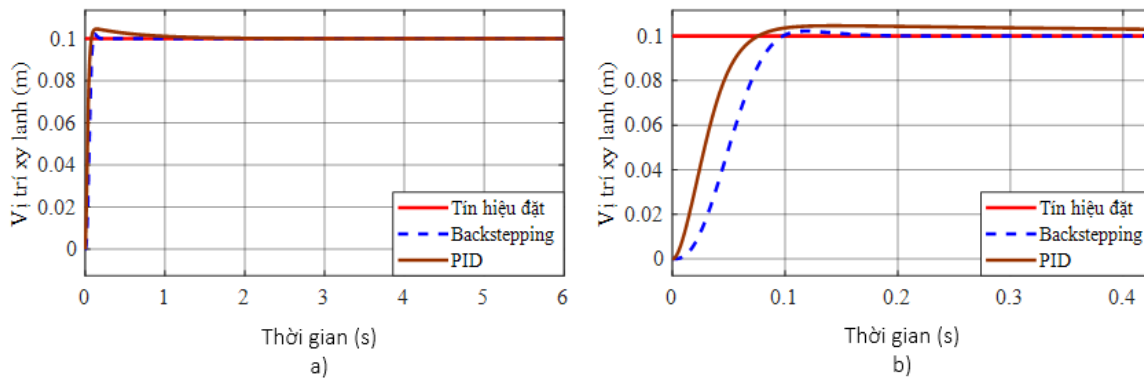
Khi lượng đặt vị trí đầu vào dạng bước nhảy step, các đại lượng đầu ra của hệ thống cho kết quả như trong hình 2 và hình 3, kết quả đáp ứng vị trí sẽ tốt hơn.

Với bộ điều khiển được đề xuất là điều khiển mặt động DSC dựa trên phương pháp điều khiển cuốn chiếu Backstepping cho kết quả đáp ứng ở đầu ra tốt hơn so với bộ điều khiển PID, thời gian xác lập và độ vượt quá điều khiển đều nhỏ hơn. Hình 3 là kết quả điện áp điều khiển cho thấy điện áp điều khiển trong khoảng giới hạn từ -10 V đến 10 V.

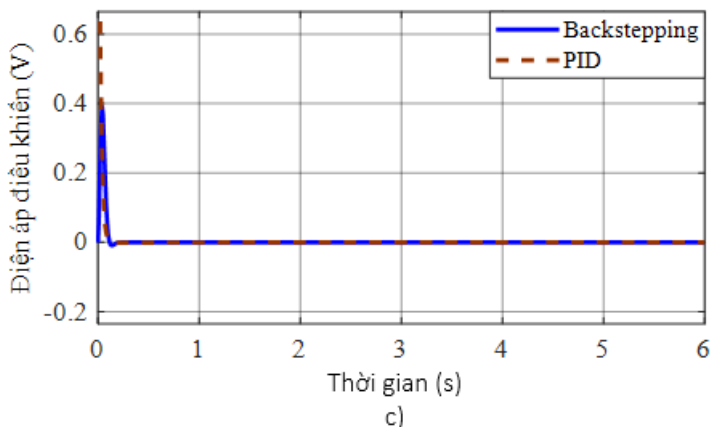
Bảng 1. Tham số mô hình xy lanh servo thủy lực.

Thông số	Khái niệm	Giá trị	Đơn vị
A_a	Tiết diện buồng thứ nhất	8.04×10^{-4}	m^2
A_b	Tiết diện buồng thứ hai	4.24×10^{-4}	m^2
V_{0a}	Thể tích ban đầu của buồng một	2.04×10^{-4}	m^3
V_{0b}	Thể tích ban đầu của buồng hai	1.07×10^{-4}	m^3
L	Chiều dài của xy lanh	0.15	m
m	Khối lượng của tải	10	kg
K	Hệ số lò xo tải	1000	
b	Hệ số giảm chấn	0	Ns/m
K_{sv}	Độ khuếch đại của van servo	0.0015	
T_{sv}	Hằng số thời gian đáp ứng của van servo	0.0033	s
P_S	Áp suất bơm	4	Mpa
P_T	Áp suất buồng chứa	0.5	Mpa
C_v	Hệ số xả của van	20×10^{-4}	$m^3/svpa^{1/2}$
C_{tl}	Hệ số rò rỉ	3.321×10^{-11}	$m^3/(s.Pa)$
β_e	Effective bulk modulus	1.8×10^{-9}	N/m^2

Kịch bản 1.

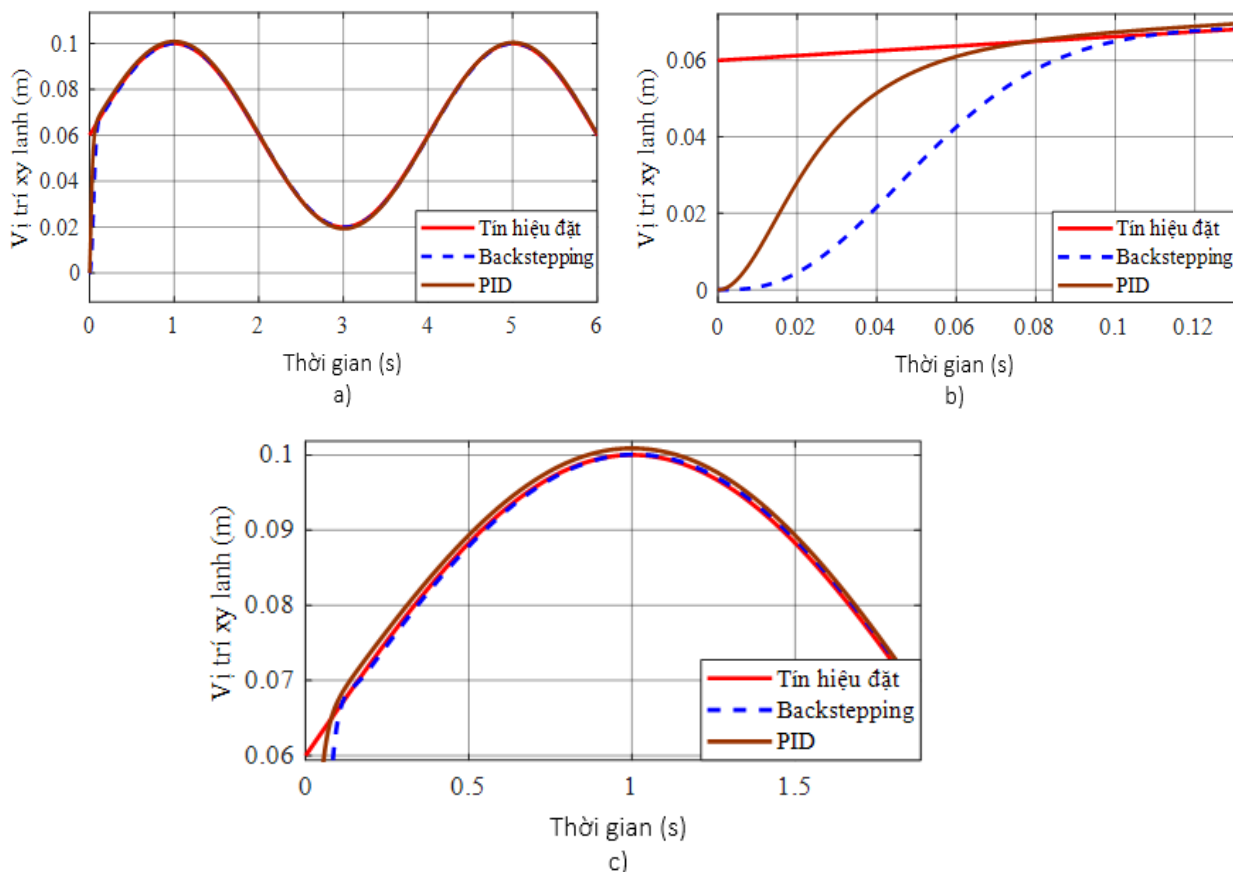


Hình 2. Đáp ứng của vị trí xy lanh ứng với đầu vào dạng bước nhảy.



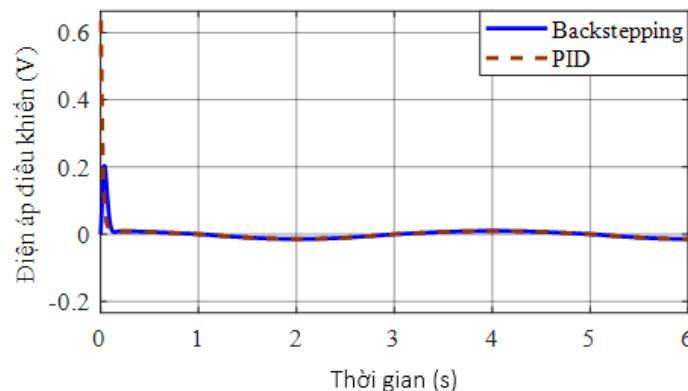
Hình 3. Điện áp điều khiển với đầu vào dạng bước nhảy.

Kịch bản 2.



Hình 4. Đáp ứng của vị trí xy lanh ứng với đầu vào dạng hình Sin.

Khi đại lượng đặt vị trí đầu vào dạng hình Sin, đáp ứng đầu ra của hệ thống được biểu diễn như Hình 4 và Hình 5. Đáp ứng vị trí khi tín hiệu đặt đầu vào dạng hình Sin được thể hiện trong hình 4(a). Trong kịch bản này, với bộ điều khiển đề xuất là điều khiển mặt động DSC sẽ cho kết quả tốt hơn bộ điều khiển PID, thời gian xác lập và độ vượt quá điều khiển sẽ nhỏ hơn. Hình 5 là kết quả điện áp điều khiển, cho thấy điện áp điều khiển trong khoảng giới hạn từ -10 V đến 10 V.



Hình 5. Điện áp điều khiển với đầu vào dạng hình Sin.

5. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã nghiên cứu bộ điều khiển mặt động dựa trên phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping cho hệ thống xy lạnh servo thủy lực để hạn chế xảy ra hiện tượng nỗ đạo hàm khi tính đạo hàm của đầu vào điều khiển ảo, giúp giảm độ phức tạp tính toán của hệ thống. Để minh chứng tính hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất, bộ điều khiển tỷ lệ-tích phân-đạo hàm PID được thiết kế để so sánh với bộ điều khiển mặt động, tín hiệu đặt quỹ đạo có dạng bước nhảy và dạng hình sin.

Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink cho thấy bộ điều khiển đề xuất có khả năng bám quỹ đạo chính xác, thời gian quá độ và độ quá điều khiển đã được cải thiện. Nội dung của những bài báo tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng phương pháp điều khiển cuộn chiếu Backstepping cho hệ thống xy lạnh servo thủy lực để điều khiển góc nghiêng Pitch của cánh quạt tua-bin gió [10-11] và điều khiển cho hệ thống treo chủ động cho ô tô [12].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N. D. Manring and R. C. Fales, “Hydraulic Control Systems”. Wiley, (2019). doi: 10.1002/9781119418528.
- [2]. Q. Guo and D. Jiang, “Nonlinear Control Techniques for Electro-Hydraulic Actuators in Robotics Engineering”. CRC Press, (2017). doi: 10.1201/b22105.
- [3]. A. Bonchis, P. I. Corke, D. C. Rye, and Q. P. Ha, “Variable structure methods in hydraulic servo systems control,” *Automatica*, vol. 37, no. 4, pp. 589–595, (2001), doi: 10.1016/S0005-1098(00)00192-8.
- [4]. B. Ayalew and B. T. Kulakowski, “Cascade tuning for nonlinear position control of an electrohydraulic actuator,” *Proc. Am. Control Conf.*, vol. 2006, pp. 4627–4632, (2006), doi: 10.1109/ACC.2006.1657451.
- [5]. D. Won, W. Kim, D. Shin, and C. C. Chung, “High-gain disturbance observer-based backstepping control with output tracking error constraint for electro-hydraulic systems,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 23, no. 2, pp. 787–795, (2015), doi: 10.1109/TCST.2014.2325895.
- [6]. S. Li, K. Zhu, L. Chen, Y. Yan, and Q. Guo, “Variable Structure Disturbance Observer Based Dynamic Surface Control of Electrohydraulic Systems with Parametric Uncertainty,” *Energies*, vol. 15, no. 5, p. 1671, Feb. 2022, doi: 10.3390/en15051671.
- [7]. V. T. Dang, D. B. H. Nguyen, T. D. T. Tran, D. T. Le, and T. L. Nguyen, “Model-free hierarchical control with fractional-order sliding surface for multisection web machines,” *Int. J. Adapt. Control Signal Process.*, vol. 37, no. 2, pp. 497–518, (2023), doi: 10.1002/acs.3534.
- [8]. D. Thinh Le, M. Tung Ngo, V. Trong Dang, V. Nam Giap, B. Minh Nguyen, and T. Lam Nguyen, “A New Axial Gap Bearingless Motor Drive System with Nonlinear Robust Control,” in *2022 11th International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)*, IEEE, pp. 371–376, (2022). doi: 10.1109/ICCAIS56082.2022.9990420.

- [9]. Y. Wang, J. Zhao, H. Ding, and H. Zhang, "Dynamic surface control based on high-gain disturbance observer for electro-hydraulic systems with position/velocity constraints," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 235, no. 18, pp. 3485–3494, (2021), doi: 10.1177/0954406220978263.
- [10]. R. Nash, R. Nouri, and A. Vassel-be-hagh, "Wind turbine wake control strategies: A review and concept proposal," *Energy Convers. Manag.*, vol. 245, no. April, p. 114581, (2021), doi: 10.1016/j.enconman.2021.114581.
- [11]. H. Ren, G. Deng, B. Hou, S. Wang, and G. Zhou, "Finite-Time Command Filtered Backstepping Algorithm-Based Pitch Angle Tracking Control for Wind Turbine Hydraulic Pitch Systems," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 135514–135524, (2019), doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941891.
- [12]. D. Rodriguez-Guevara, A. Favela-Contreras, F. Beltran-Carbajal, C. Sotelo, and D. Sotelo, "An MPC-LQR-LPV Controller with Quadratic Stability Conditions for a Nonlinear Half-Car Active Suspension System with Electro-Hydraulic Actuators," *Machines*, vol. 10, no. 2, (2022), doi: 10.3390/machines10020137.

ABSTRACT

Dynamic surface control for electro-hydraulic servo cylinder system

Electro-hydraulic systems are widely used in industrial production due to their high power-to-weight ratio, but their heavy-duty nature causes electro-hydraulic systems to endure large disturbance forces even when the actuator slight movement, especially in mobile machines and a system of multiple actuators. Dynamic surface control based on the backstepping method is applied to avoid the derivative explosion phenomenon when calculating the derivative of the virtual control input, which greatly reduces the computational complexity of the system. To verify the effectiveness of the proposed controller, the proportional integral controller is designed to compare with the dynamic surface control using the Backstepping technique and the comparison results show that The proposed controller has more accurate trajectory tracking performance.

Keywords: Dynamic Surface Control; Backstepping technique; Electro-hydraulic servo cylinder; Cylinder Rod.