

ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG HỆ ĐỘNG CƠ THỦY LỰC

ROBUST CONTROL OF A HYDRAULIC MOTOR SYSTEM

Ngô Quang Hiếu, Phan Trọng Nghĩa, Trần Thanh Hùng

Trường Đại học Cần Thơ; {nghieu, ptngghia, tthung}@ctu.edu.vn

Tóm tắt - Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất phương án điều khiển vận tốc cho hệ động cơ thủy lực. Mô hình điều khiển bao gồm động cơ thủy lực cùng với van thủy lực tuyến tính (hệ servo thủy lực). Việc điều khiển van tỉ lệ được thực hiện thông qua tín hiệu điện áp tương tự từ Kit MyRIO. Mô hình toán học của hệ thống được xác định từ kỹ thuật nhận dạng hệ thống, thông qua hộp công cụ nhận dạng hệ thống (system identification toolbox) trong Matlab, mô hình hàm truyền phù hợp nhất sẽ được dùng để thiết kế bộ điều khiển. Bộ điều khiển trượt PID (SMC-PID) được sử dụng trên cơ sở gia tăng tốc độ đáp ứng và triệt tiêu độ vọt lố của hệ thống. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển sẽ được kiểm chứng lại bằng thực nghiệm để chứng minh sự giống nhau tương đối giữa hai cách thức mô phỏng và thực nghiệm.

Từ khóa - bộ điều khiển SMC-PID; động cơ thủy lực; van thủy lực tuyến tính; điều khiển vận tốc; điều khiển bền vững.

Abstract - In this study, the authors propose a control strategy for controlling the velocity of hydraulic motors. The hydraulic system consists of a hydraulic motor, a pump and a proportional valve. The proportional valve is controlled by the analog signal from the myRIO kit. The mathematical model is identified by the system identification toolbox in Matlab. The transfer function is chosen based on the reference model. A Sliding Mode Control – PID is used to reduce the settling time as well as the overshoot of the control system. Simulation and experimental results are provided to prove the effectiveness of the proposed control scheme.

Key words - -sliding mode control – PID; hydraulic motor; proportional hydraulic valve; velocity control; robust control.

1. Đặt vấn đề

Thiết bị truyền động thủy lực là thiết bị quan trọng được ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp, đặc biệt là ngành công nghiệp nặng, với ưu điểm công suất cao và lực lớn, hoạt động với độ tin cậy cao, ít tạo ra tiếng ồn và rung động, kết cấu gọn nhẹ, tự động hóa đơn giản nhờ thiết bị được tiêu chuẩn hóa. Điều này đã tạo ra sự phát triển công nghệ tự động hóa dựa trên nền tảng kỹ thuật thủy lực ngày càng mạnh mẽ. Chính vì sự phát triển mạnh mẽ của hệ thống thủy lực, một bộ điều khiển thích hợp là cần thiết, vì vậy có nhiều ứng dụng điều khiển được nghiên cứu đến.

Việc phân tích và thiết kế hệ thống servo điện thủy lực ứng dụng cho điều khiển vận tốc động cơ thủy lực đã được thực hiện [1] với việc dùng thực nghiệm để xác định các thông số của mô hình toán, sau đó tiến hành kiểm soát tốc độ động cơ thủy lực với bộ điều khiển PID trong các điều kiện khác nhau về nhiệt độ dầu và áp suất cấp cho hệ thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất tương đối tốt của hệ thống điện thủy lực, đáp ứng hệ thống không xảy ra vọt lố, tuy nhiên thời gian xác lập vẫn còn lớn. Thực nghiệm đã chứng minh hiệu suất và chất lượng đáp ứng của hệ thống bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ dầu khi hệ thống có hiệu suất cao hơn ở 65°C so với 45°C. Đối với một hệ thống có tính phi tuyến cao như hệ thống servo thủy lực thì việc xác định mô hình toán của đối tượng tương đối khó khăn. Tuy nhiên bằng thực nghiệm một mô hình toán của hệ thống đã được tìm ra [2]. Trong mô hình này, các yếu tố như độ nén của dầu, hệ số rò rỉ và lực ma sát đã được xem xét một cách cẩn thận, nhưng việc xác định tất cả các thông số hệ thống gặp nhiều khó khăn do không thể đo đạc được.

Trong lĩnh vực điều khiển, bộ điều khiển PID trở thành phổ biến cho nhiều ứng dụng vì chúng đa dụng và thiết kế đơn giản, khi tinh chỉnh các hệ số điều khiển PID thì đáp ứng có thể sẽ được cải thiện. Đã có nhiều thuật toán được nghiên cứu để tối ưu hóa bộ điều khiển PID, trong đó phải nhắc đến thuật toán ICA (Imperialist Competitive Algorithm) [3]. Ưu điểm của thuật toán này là không cần quan tâm đến độ dốc

của hàm thích nghi trong quá trình tối ưu. Để kiểm tra tính khả thi của thuật toán này, nghiên cứu đã áp dụng ICA vào điều khiển vị trí góc quay của trục động cơ và đạt được kết quả tốt với trạng thái xác lập sau 4 giây. Bên cạnh đó, Aly và Ayman đã tối ưu hóa bộ điều khiển PID bằng thuật toán di truyền [4], áp dụng cho hệ thống servo điện thủy lực, kết quả thực nghiệm cho thấy sai số xác lập là 0,0027rad, thời gian tăng 0,115 giây và không xảy ra vọt lố. Phương pháp này đã tối ưu được bộ điều khiển mà không cần quan tâm đến mô hình toán của đối tượng mà chỉ dựa trên các tín hiệu vào ra đo đạc từ hệ thống. Tuy nhiên cũng tồn tại nhược điểm là phải chạy nhiều vòng hồi tiếp âm đơn vị để xác định giá trị hàm mục tiêu trong quá trình áp dụng thuật toán di truyền, trong thực tế điều này không phải lúc nào cũng được phép. Trong quá trình phát triển các phương pháp điều khiển thích nghi thì bộ điều khiển kết hợp SMC-PID tỏ ra khá hiệu quả trong việc ổn định hệ thống, độ bền vững cao và khả năng chống lại với nhiễu tác động bên ngoài khá tốt. Đã có nhiều nghiên cứu về bộ điều khiển kết hợp SMC-PID, trong đó [5] đã áp dụng bộ điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID cho quá trình trung hòa độ pH. Kết quả thực nghiệm cho thấy SMC-PID vượt trội hơn hẳn cả về hiệu suất lẫn chất lượng. Việc áp dụng bộ điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID này để điều khiển đối tượng hệ phi tuyến tay máy một bậc tự do đã được nhắc đến [6]. Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển này cho đáp ứng của hệ tay máy bám theo tín hiệu mong muốn với độ vọt lố 0,02%, thời gian xác lập là 3,1 giây, sai số xác lập không đáng kể. Trong nghiên cứu này, ba bộ điều khiển được đề xuất là PID, SMC và SMC-PID cho thấy SMC-PID là bộ điều khiển bền vững khi đã khắc phục được nhược điểm dễ bị nhiễu tác động từ bên ngoài của PID và nhưng tín hiệu điều khiển dao động liên tục của SMC không thích hợp cho ứng dụng thực tế. Gần đây nhất là điều khiển vị trí với bộ điều khiển trượt - PID [7]. Ưu điểm của phương pháp này là chỉ cần mô hình tương đương gần đúng là có thể xây dựng hàm trượt của bộ điều khiển, thực hiện mô phỏng với hai đối tượng, động cơ DC đại diện cho hệ tuyến tính và cánh tay máy một bậc tự do đại diện cho hệ phi

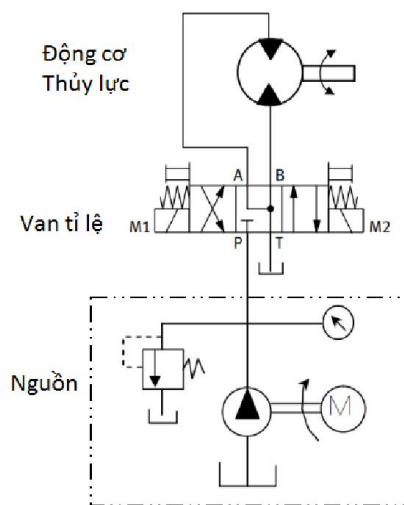
tuyến. Kết quả cho thấy đáp ứng của cả hai đối tượng, không thấy độ vọt lố và thời gian xác lập rất ngắn.

Từ những kết quả nghiên cứu trên cho thấy sự ứng dụng của SMC-PID trong nhiều lĩnh vực điều khiển vì có nhiều ưu điểm như độ bền vững, đối phó tốt với nhiễu tác động. Nghiên cứu này lần đầu tiên sử dụng phương pháp điều khiển SMC-PID vào thiết kế bộ điều khiển vận tốc cho đối tượng phi tuyến là hệ động cơ thủy lực. Tính bền vững cũng như khả năng đối phó tốt với nhiễu tác động của bộ điều khiển SMC-PID được kiểm chứng trên kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm. Từ đó mở rộng hướng phát triển mới cho bộ điều khiển SMC-PID.

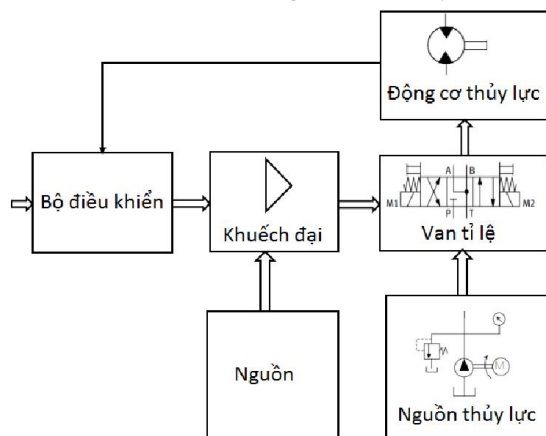
2. Hệ thống truyền động thủy lực

2.1. Hệ thống servo điện thủy lực

Hệ thống truyền động thủy lực bao gồm ba thành phần chính: Bơm dầu cung cấp dòng chất lỏng cho hệ thống trong suốt quá trình hoạt động. Thiết bị truyền động là một động cơ thủy lực với hai cổng vào ra có thể đảo ngược chiều quay. Van trong mô hình là loại van điện từ 4 cổng 3 vị trí. Sơ đồ mô hình thí nghiệm được đưa ra như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống servo điện thủy lực



Hình 2. Sơ đồ hoạt động của mô hình thí nghiệm

Trong quá trình vận hành bơm dầu hút dầu từ thùng chứa cung cấp cho van với một áp suất có thể được điều chỉnh bởi van an toàn, van điều hướng tỉ lệ nhận tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển thông qua bộ khuếch đại để đóng mở các cửa van cung cấp dầu áp suất cao cho động cơ, do sự chênh

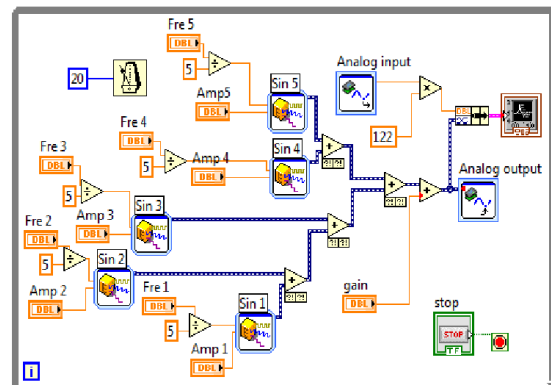
lệch áp suất giữa đầu vào và đầu ra làm cho động cơ quay. Hệ thống cảm biến vận tốc được gắn vào trục động cơ để giám sát tốc độ đưa tín hiệu điện áp về bộ điều khiển. Sơ đồ hoạt động của hệ thống được đưa ra như Hình 2.

Bộ điều khiển có vai trò quan trọng trong quá trình hoạt động của hệ thống, nó quyết định độ chính xác và hoạt động linh hoạt của hệ thống. Bộ điều khiển sẽ nhận tín hiệu đặt so sánh với tín hiệu hồi tiếp về vận tốc và tính toán điện áp ra hợp lý để kích đóng mở van tiết lưu điều khiển lưu lượng dầu sau cho hệ thống đạt giá trị đặt với sai số nhỏ nhất và tốc độ nhanh nhất.

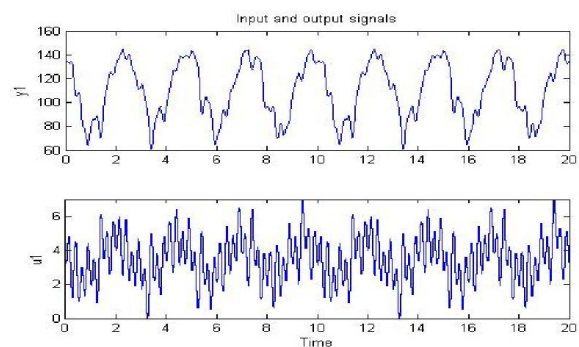
2.2. Nhận dạng hệ thống

Hệ thống truyền động điện thủy lực có tính phi tuyến cao, phụ thuộc rất nhiều vào các thông số của hệ thống như: dòng chảy qua van, hệ số khuếch đại của van, hệ số áp suất dòng chảy, sự thay đổi áp suất dầu, hệ số nén, hệ số rò rỉ,... thiếu thiết bị để đo đặc thông số của mô hình nên việc mô hình hóa hệ thống gặp nhiều khó khăn. Để giải quyết vấn đề thì việc nhận dạng mô hình là cần thiết.

Để nhận dạng hệ thống, trước tiên hệ thống được kết nối với máy tính thông qua Kit MyRIO và mạch khuếch đại tín hiệu để thu nhận dữ liệu vào - ra trên thời gian thực. Máy tính sẽ giao tiếp với Kit MyRIO thông qua chương trình được viết trên Labview2014 (Hình 3) để gửi và nhận tín hiệu liên tục xuống đối tượng.



Hình 3. Thu thập dữ liệu trên LabVIEW



Hình 4. Tín hiệu vào - ra được thu thập

Dữ liệu vào - ra của mô hình sẽ được lấy trong 20 giây từ thực nghiệm với chu kỳ lấy mẫu 0,02 giây. Tín hiệu đầu vào là điện áp dạng hình sin với nhiều tần số khác nhau, các tần số này phải chọn thích hợp sao cho các tín hiệu tần số thấp không bị lấn áp bởi các tín hiệu tần số cao. Tín hiệu ngõ ra là giá trị vận tốc đo được từ cảm biến. Dữ liệu ngõ vào và ngõ ra được thể hiện trong Hình 4.

Dữ liệu sau khi thu thập sẽ được xử lý, phân tích trên Simulink Matlab để đưa ra các dự đoán mô hình hàm truyền tương đương với hệ thống. Theo kết quả nhận dạng thu được, mô hình có tỉ lệ phần trăm phù hợp cao nhất là mô hình có độ chính xác 82,49% với hàm truyền $G(s)$ tương ứng. Hàm truyền $G(s)$ sau được sử dụng để thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống.

$$G(s) = \frac{926,2}{s^2 + 9,028s + 29,31} \quad (1)$$

3. Bộ điều khiển SMC – PID

Xét bộ điều khiển PID đơn giản có hồi tiếp vòng kín như Hình 5. Ngõ ra của bộ điều khiển V , là một hàm sai biệt giữa ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển,

$$V = K_p e_0 + K_i \int e_0 dt + K_d \frac{de_0}{dt}, \quad (2)$$

trong đó: $e_0 = u - y$ với u là tín hiệu vào và y là tín hiệu ra. Với bộ điều khiển PID có độ vọt lố lớn (thời gian lên nhỏ), có thể ước lượng mô hình tương đương bằng một hàm truyền bậc hai có dạng tổng quát (3). Trong trường hợp này hệ số khuếch đại K_G bằng 1 [9].

$$G_p(s) = \frac{K_G \omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2}, \quad (3)$$

với δ là hệ số tắt dần, ω_n là tần số dao động tự nhiên có thể được tính từ độ vọt lố, M_p , và thời gian lên đỉnh, t_p , như sau:

$$\omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1 - \delta^2}}, \quad (4)$$

$$\delta = -\frac{\ln(M_p)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(M_p)}}. \quad (5)$$

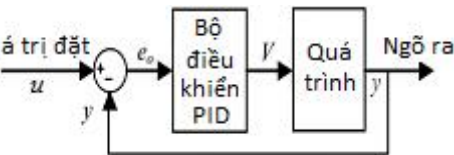
Khi sai số xác lập của bộ điều khiển PID bằng 0, quan hệ vào - ra của vòng điều khiển PID được xác định:

$$\ddot{y} = f + \omega_n^2 u + d, \quad (6)$$

với d là đại diện cho nhiễu và f được định nghĩa:

$$f = -2\delta\omega_n \dot{y} - \omega_n^2 y. \quad (7)$$

Đối với hệ thống phi tuyến với tần số tự nhiên và hệ số tắt dần không xác định nhưng khoảng thay đổi của các thông số đã được biết trước và bị chặn:



Hình 5. Vòng điều khiển PID

$$\omega_{n1} \leq \omega_n \leq \omega_{n2}, \quad (8)$$

$$\delta_1 \leq \delta \leq \delta_2. \quad (9)$$

Khi đó f được ước lượng bằng:

$$\hat{f} = -2\hat{\delta}\hat{\omega}_n \dot{y} - \hat{\omega}_n^2 y, \quad (10)$$

với $\hat{\delta}$ và $\hat{\omega}_n$ là các giá trị ước lượng của hệ số tắt dần và tần số dao động tự nhiên, được xác định bởi:

$$\hat{\omega}_n = \sqrt{\omega_{n1}\omega_{n2}}, \quad (11)$$

$$\hat{\delta} = \sqrt{\delta_1\delta_2}. \quad (12)$$

Sai số của việc ước lượng được giới hạn bởi:

$$|\hat{f} - f| \leq F, \quad (13)$$

với F được xác định:

$$F = |2(\delta_2\omega_{n2} - \hat{\delta}\hat{\omega}_n)\dot{y} + (\omega_{n2}^2 - \hat{\omega}_n^2)y|. \quad (14)$$

Gọi e là sai số điều khiển với y_d là tín hiệu đặt thì:

$$e = y - y_d. \quad (15)$$

Mặt phẳng trượt được định nghĩa như sau:

$$\sigma = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right) e = \dot{e} + \lambda e, \quad (16)$$

với λ là hằng số dương cần phải xác định.

Ngõ ra của bộ điều khiển trượt (SMC) có dạng:

$$u = u_{eq} + u_R, \quad (17)$$

trong đó u_{eq} là tín hiệu điều khiển tương đương khi hệ thống xác định, u_R là tín hiệu điều khiển ổn định được thêm vào để đối phó với tính phi tuyến không xác định của hệ thống.

Để đưa quỹ đạo pha của hệ thống về mặt trượt và duy trì trên mặt trượt một cách bền vững, cần xác định tín hiệu điều khiển tương đương bằng cách giải phương trình:

$$\dot{\sigma} = 0. \quad (18)$$

Lấy vi phân của (16), ta được:

$$\dot{\sigma} = \ddot{y} - \ddot{y}_d + \lambda \dot{e}. \quad (19)$$

Thay (6) vào (19) ta được:

$$\dot{\sigma} = \hat{f} + \hat{\omega}_n^2 u - \ddot{y}_d + \lambda \dot{e}. \quad (20)$$

Từ phương trình (18) suy ra:

$$u_{eq} = \frac{1}{\hat{\omega}_n^2} (-\hat{f} + \ddot{y}_d - \lambda \dot{e}). \quad (21)$$

Để đối phó với tính phi tuyến không xác định của hệ thống, tín hiệu điều khiển ổn định được đề xuất:

$$u_R = -k \cdot \text{sign}(\sigma), \quad (22)$$

với k là hệ số ổn định. Khi đó luật điều khiển của SMC được xác định như sau:

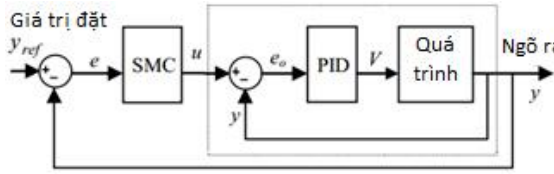
$$u = \frac{1}{\hat{\omega}_n^2} (-\hat{f} + \ddot{y}_d - \lambda \dot{e}) - k \cdot \text{sign}(\sigma). \quad (23)$$

Tín hiệu điều khiển u của bộ điều khiển SMC được sử dụng làm ngõ vào của bộ điều khiển PID và tín hiệu vào là giá trị sai số được hồi tiếp của hệ thống với giá trị đặt như Hình 6.

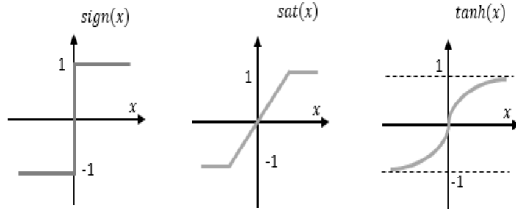
Với luật điều khiển được thiết kế như trên, xác định hằng số k được xác định thỏa điều kiện (24) để cho hệ thống ổn định:

$$k \geq \frac{1}{\omega_{n1}^2} (F + \eta) + \left| 1 - \frac{\hat{\omega}_n^2}{\omega_{n1}^2} \right| |u_{eq}|. \quad (24)$$

Ngoài ra, để giảm hiện tượng dao động (hiện tượng chattering) trong quá trình điều khiển, có thể thay thế hàm $sign(x)$ bằng hàm $sat(x)$ hoặc hàm $tanh(x)$ như Hình 7.



Hình 6. Bộ điều khiển SMC – PID



Hình 7. Đồ thị hàm $sign(x)$, $sat(x)$ và $tanh(x)$

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Kết quả mô phỏng

Bộ điều khiển PID được thiết kế theo phương pháp thực nghiệm Zeigler-Nichols thứ nhất [7, 8]. Hàm truyền của bộ điều khiển PID có dạng:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) \quad (25)$$

Xét đáp ứng hệ vòng hở khi tín hiệu vào là hàm nấc như Hình 8. Dựa vào đáp ứng nấc của đối tượng trong Hình 8, tìm được: $K_{gh} = 32$, $T_1 = 0,05s$, $T_2 = 0,51s$. Bộ điều khiển PID được thiết kế như phương trình (25) trong đó K_p , T_i , T_D được xác định như sau:

$$K_p = 1,2 \frac{T_2}{T_1 K} = 0,38, T_i = 2T_1 = 0,1s, \quad (26)$$

$$T_D = 0,5T_1 = 0,025s.$$

Vậy hàm truyền của bộ điều khiển PID được thiết kế là:

$$G_c(s) = \frac{0,00095s^2 + 0,038s + 0,38}{0,1s} \quad (27)$$

Từ (27) suy ra hàm truyền vòng hở của đối tượng sau khi hiệu chỉnh như sau:

$$G_2(s) = G_c(s)G(s) = \frac{0,8799s^2 + 35,2s + 352}{0,1s^3 + 0,9028s^2 + 2,931s} \quad (28)$$

Suy ra hàm truyền vòng kín của PID với hồi tiếp âm đơn vị là:

$$G_{pt}(s) = \frac{0,8799s^2 + 35,2s + 352}{0,1s^3 + 9,7028s^2 + 38,13s + 352} \quad (29)$$

Đáp ứng quá độ của hệ thống với tín hiệu hàm nấc được dùng để xác định tín hiệu điều khiển (23). Độ vọt lố 50,08% và thời gian tăng 0,15 giây được dùng để xác định các thông số $\delta = 0,21$ và $\omega_h = 20,99 \text{ rad/s}$ theo công thức (4) và (5). Với giả thiết $\hat{\omega}_n = \omega_{n1} = \omega_{n2} = \omega_h$ và $\hat{\delta} = \delta_1 = \delta_2 = \delta$,

ta được hàm truyền tương đương hệ dao động bậc hai:

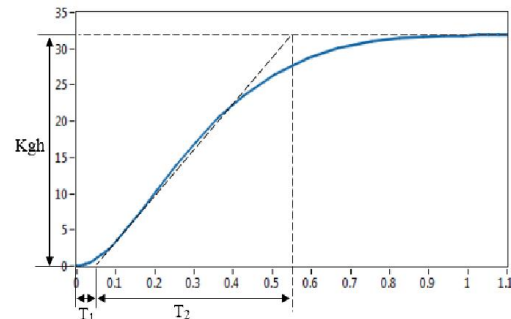
$$G_{pt}(s) = \frac{440,874}{s^2 + 9,024s + 440,874} \quad (30)$$

Các tham số của bộ điều khiển SMC bao gồm chỉ số ổn định và độ dốc mặt trượt lần lượt được chọn là $k = 100$ và $\lambda = 10$. Các chỉ số này được chọn dựa trên ảnh hưởng của từng chỉ số đến đáp ứng của hệ thống, k phải được chọn sao cho thỏa điều kiện (24) để quỹ đạo pha nhanh tìm về mặt trượt và không được quá lớn sẽ làm cho hệ thống bị rung trong quá trình xác lập. λ ảnh hưởng tới tính tác động nhanh và ổn định của hệ thống, λ lớn tín hiệu điều khiển lớn, nhưng hệ thống có thể mất ổn định. Khi đó bộ điều khiển SMC được cài đặt với luật điều khiển như sau:

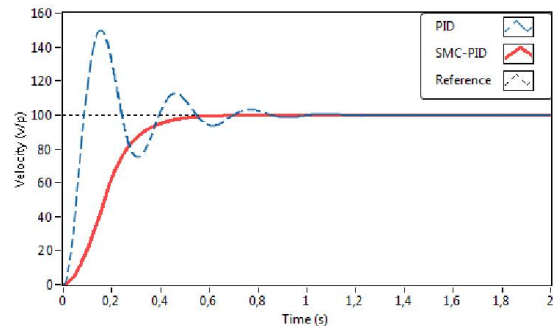
$$u = \frac{1}{20,99^2} (-\hat{f} + \ddot{y}_d - 10\dot{e}) - 100\text{sign}(\sigma), \quad (31)$$

với $\hat{f}$ và σ lần lượt được xác định từ (10) và (16).

Bộ điều khiển sau khi thiết kế được mô phỏng trên công cụ Simulation được hỗ trợ trong phần mềm LabVIEW, với các thông số được tính toán như trên, kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 9.



Hình 8. Đáp ứng nấc của hệ vòng hở



Hình 9. Kết quả mô phỏng với SMC-PID và PID

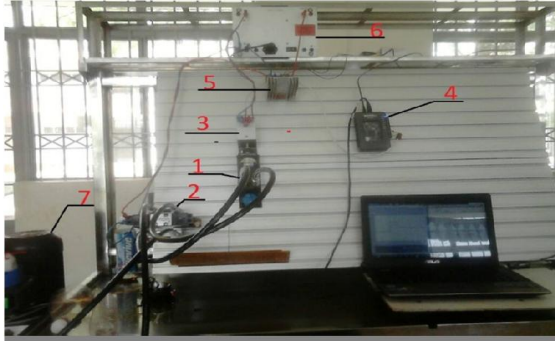
Từ đáp ứng với giá trị đặt là 100 vòng/phút cho thấy bộ điều khiển SMC-PID được cải thiện cao hơn so với PID. Đáp ứng của SMC-PID không có độ vọt lố và thời gian xác lập cũng nhanh hơn PID 0,26s, kết quả so sánh được trình bày cụ thể ở Bảng 1.

Bảng 1. So sánh kết quả mô phỏng

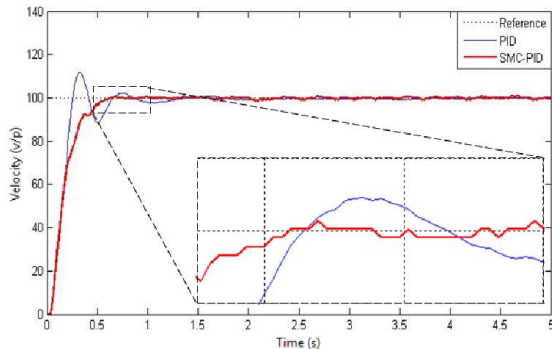
Tiêu chuẩn ổn định	PID	SMC-PID
Độ vọt lố (%)	50	0
Thời gian tăng (s)	0,04	0,3
Thời gian xác lập (s)	0,8	0,5
Sai số xác lập (%)	0	0

4.2. Kết quả thực nghiệm

Mô hình thí nghiệm của hệ thống truyền động thủy lực được đặt tại Phòng thí nghiệm Động lực học và điều khiển gồm có cơ cấu chấp hành, cảm biến, mạch giao tiếp và bộ nguồn được kết nối và bố trí như Hình 10. Cơ cấu chấp hành là một động cơ thủy lực OMM8 của hãng Sauer-Danfoss, van điều hướng tỷ lệ và cảm biến vận tốc của hãng Festo, mạch giao tiếp gồm có Kit MyRIO -1900 của hãng NI và mạch khuếch đại điện áp 2,4 lần. Cuối cùng là bộ nguồn chuẩn 24VDC cấp nguồn cho mạch công suất, động cơ bơm dầu cấp dầu cho van, đây là mô hình thử nghiệm để kiểm chứng tính khả thi của bộ điều khiển được thiết kế.



Hình 10. Mô hình thí nghiệm hệ thống thủy lực



Hình 11. Đáp ứng của bộ điều khiển SMC-PID và PID trên mô hình thực

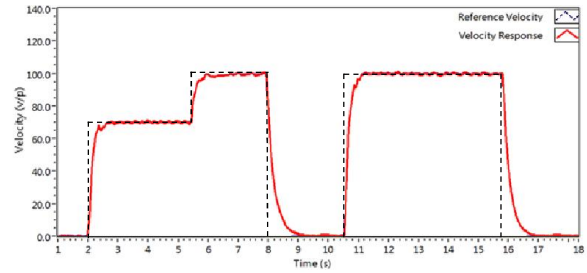
Tiến hành thực nghiệm với giá trị đặt 100 vòng/phút, kết quả đáp ứng Hình 12 cho thấy bộ điều khiển SMC-PID hoạt động tốt, đáp ứng cải thiện tốt hơn PID với độ vọt lố là 0%, đạt trạng thái xác lập sau 0,6s và sai số 1%. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của nhiễu từ cảm biến và mạch giao tiếp nên hiện tượng dao động quanh mặt trượt nhiều hơn so với mô phỏng. Kết quả được so sánh cụ thể trên Bảng 2.

Bảng 2. So sánh kết quả thực nghiệm

Tiêu chuẩn ổn định	PID	SMC-PID
Độ vọt lố (%)	11	0
Thời gian tăng (s)	0,15	0,4
Thời gian xác lập (s)	1,2	0,6
Sai số xác lập (%)	0,9	1

Để kiểm chứng khả năng điều khiển của bộ điều khiển SMC-PID với các giá trị đặt khác nhau, tiến hành thực nghiệm với ngõ vào thay đổi lần lượt là 70 vòng/phút, 100 vòng/phút, 0 vòng/phút và 100 vòng/phút, thời gian thay đổi tín hiệu đặt ngẫu nhiên nhằm kiểm tra tính nhạy của hệ

thống. Kết quả đáp ứng Hình 12 cho thấy bộ điều khiển hoạt động tốt, không có độ vọt lố, rất nhạy với tín hiệu đặt và bền vững trong quá trình hoạt động.



Hình 12. Đáp ứng của SMC-PID với tín hiệu đặt thay đổi

5. Kết luận

Điều khiển không vọt lố và đáp ứng nhanh là vấn đề được chú trọng đối với bộ điều khiển thông minh. Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển SMC-PID đã thiết kế tỏ ra hiệu quả đối với hệ thống phi tuyến, triệt tiêu được độ vọt lố, khả năng chống lại các tác động phi tuyến như ma sát, momen quán tính, sự thay đổi độ nhớt của dầu thủy lực, sự rò rỉ của dầu. So với bộ điều khiển PID cổ điển, SMC-PID cải thiện đáng kể thời gian xác lập của hệ thống mà không xảy ra độ vọt lố. Phương pháp này cũng đã được kiểm chứng thành công trên mô hình truyền động điện thủy lực với tính phi tuyến cao và đã hoạt động tốt với những giá trị đặt khác nhau. Điều này chứng tỏ phương pháp này có thể ứng dụng điều khiển được trên hệ thống thủy lực và một số hệ thống phi tuyến khác.

Lời cảm tạ

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số “107.04-2013.28”.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sber Madanipour. Modeling and control of a servo hydraulic motor, Shahid Beheshti University, *Indian J.Sci.Res.*1(2), 2014 pp. 770-774.
- [2] Afsanehkhbabazi Basmenj, Aidin Sakhavati, Jafar Ghafuri. PID Controller Design for Position Control of Electrohydraulic Actuators using Imperialist Competitive Algorithm, *Indian J.Sci.Res.*1(1), 2014, pp. 775-779.
- [3] Afsanehkhbabazi Basmenj, Aidin Sakhavati, Jafar Ghafuri. PID Controller Design for Position Control of Electrohydraulic Actuators using Imperialist Competitive Algorithm, *Indian J.Sci.Res.*1(1), 2014, pp. 775-779.
- [4] Aly, Ayman A. PID parameters optimization using genetic algorithm technique for electrohydraulic servo control system, *Intelligent Control and Automation*, 2011.
- [5] Li, Mingzhong, Fuli Wang, and Furong Gao. PID-Based Sliding Mode Controller for Nonlinear Processes, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2001, pp. 2660-2667.
- [6] Nguyễn Hoàng Dũng, “Điều khiển trượt dựa trên hàm trượt kiểu PID”, *Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ*, Số 21a, 2012, tr 30-36.
- [7] Trần Thanh Hùng, Ngô Quang Hiếu, Quang Hà, “Điều khiển vị trí với bộ điều khiển trượt-PID”, *Hội nghị Toàn quốc lần thứ 7 về Cơ điện tử - VCM-2014*, Đồng Nai 21-22/11/2014, tr 602-607.
- [8] Tran, T. H., Kwok, N. M., Nguyen, M. T., Ha, Q. P., and Fang, G. Sliding mode-PID controller for robust low-level control of a UGV. *Proc. of the IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, Shanghai, China, pp. 684 - 689, October 7-10, 2006.
- [9] Nguyễn Chí Ngón, Nguyễn Hoàng Dũng, *Giáo trình lý thuyết điều khiển điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Đại học Cần thơ, 2012, tr 174-175.