

Nghiên cứu ứng dụng luật điều khiển thích nghi mờ trượt trong hệ bám sát vị trí điện thủy lực

Research and application of Adaptive fuzzy sliding mode controller for electro-hydraulic tracking position servo systems

Nguyễn Thanh Tiên – Học viện Kỹ thuật Quân sự

E-Mail: ngttienkd@gmail.com

Nguyễn Công Định – Học viện Kỹ thuật Quân sự

E-Mail: dinhnc@mta.edu.vn

Nguyễn Trọng Thanh – Trường cao đẳng Điện tử - Điện lạnh Hà nội

E-Mail: trongthanhcddtdl@yahoo.com

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp tổng hợp bộ điều khiển hệ truyền động điện thủy lực bám sát vị trí khi tính đến các yếu tố không xác định, phương trình động học của hệ là hệ phi tuyến bậc 3. Luật điều khiển được xây dựng trên cơ sở kết hợp các luật điều khiển trượt mờ thích nghi nhằm giảm thiểu dao động trên mặt trượt, nâng cao tính bền vững với các thành phần không xác định chính xác của mô hình. Thuật toán tổng hợp được kiểm chứng mô phỏng trên Matlab-Simulink.

Từ khóa: Điều khiển trượt, hệ bám sát điện thủy lực, đánh giá mờ thích nghi

Abstract: This article presents a method of synthesizing controller for tracking position electro-hydraulic systems when taking into account factors not identified, dynamical equations is the third order nonlinear system. Controller is built on the basis of combining the fuzzy sliding mode controller adapted to minimize fluctuations in the sliding surface, enhance sustainability with not determined components of the model. Synthesis algorithm was tested on Matlab-Simulink simulation.

Keywords: Sliding mode control, Electro-hydraulic Position Servo System, Adaptive Approximation Fuzzy.

1. Phần mở đầu

Hệ truyền động điện thủy lực đóng vai trò quan trọng trong một số hoạt động của các ngành công nghiệp, quân sự... và là sự lựa chọn phù hợp cho các hệ thống truyền động có yêu cầu mật độ công suất lớn. Một ưu điểm của hệ thống truyền động điện thủy lực là khả năng chịu tải, trong trường hợp thiết bị truyền động điện bị hạn chế do sinh nhiệt quá mức. Tuy nhiên, động học của hệ thống điện thủy lực có tính phi tuyến cao và kích thước lớn. Trong thực tế, việc thiết kế các bộ điều khiển cho hệ thống như vậy rất khó khăn đối với các phương pháp điều khiển thông thường. Ngày nay, các công trình nghiên cứu về các phương pháp điều khiển dựa trên lý thuyết điều khiển hiện đại ngày càng nhiều, với mục tiêu nâng cao chất lượng hoạt động trong các điều kiện thiếu thông tin đo

lượng, tác động của nhiễu loạn..., cụ thể như: bộ điều khiển thích nghi, bộ điều khiển trượt, phương pháp backstepping tích hợp; trượt mờ thích nghi, ...[1,2,3,4,6,7].

Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu, ứng dụng tổng hợp bộ điều khiển trượt kết hợp với luật mờ thích nghi khi có tính đến các yếu tố không xác định, nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống, tăng tính bền vững và giảm dao động trên mặt trượt.

2. Nội dung chính

2.1. Mô hình hệ truyền động bám sát vị trí điện thủy lực.

Xét mô hình hệ truyền động điện thủy lực ổn định độ cao của cơ hệ với một chân kích thủy lực được mô tả trên hình 1. Mô hình hoá hệ thống được xây dựng trên cơ sở các phương trình sau [1,9]:

- *Phần động học của hệ van:* Cơ cấu điện từ và van phân phối khuếch đại thủy lực. Đầu vào là điện áp điều khiển, đầu ra là lưu lượng. Cơ sở xây dựng các phương trình động học đã được trình bày trong [9]. Khi đảm bảo được sự tuyến tính giữa điện áp điều khiển và góc quay của phần ứng trong van thì mô hình toán học của hệ được mô tả bởi các phương trình sau:

$$Q_L = C_d w x_v \sqrt{\frac{(p_s - p_L)}{r}} = g(p_L) u \quad (1)$$

$$g(p_L) = K_x C_d w \sqrt{\frac{(p_s - p_L)}{r}} \quad (2)$$

Trong đó: Q_L - Lưu lượng dầu thủy lực chảy qua van; C_d - Hệ số lưu lượng; w - Tiết diện mặt cắt dẫn dầu của van; x_v - Dịch chuyển của con trượt trong thân van; p_s - Áp suất dầu thủy lực nguồn cung cấp; p_L - Hiệu áp suất dầu vào hai ngăn của xy-lanh để sinh ra dịch chuyển cho piston; r - Khối lượng riêng của dầu thủy lực [kg/m³].

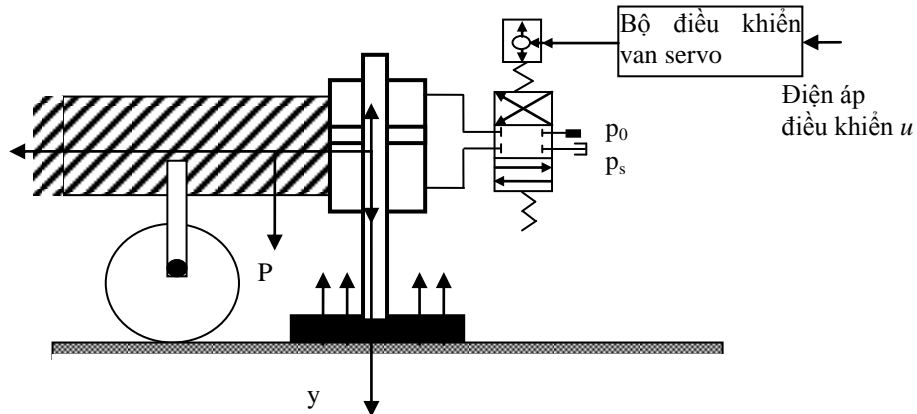
Dịch chuyển của con trượt sinh ra do lực điện từ của cuộn dây trong van, ta mong muốn dịch chuyển tỷ lệ thuận với điện áp tác động vào cuộn dây. Khi tín hiệu

điện áp này được chọn là tín hiệu điều khiển u thì ta có: $x_v = K_x u$

- Động lực học chuyển động của Piston trong xy lanh:
Phương trình cân bằng lực tác động vào Piston

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} = p_L A - B_c \frac{dy}{dt} - K_L y - F_L \quad (3)$$

Phương trình cân bằng lưu lượng



H.1. Mô hình hệ truyền động điện thủy lực xy lanh – van servo

$$Q_L = C_{ic} p_L + A \frac{dy}{dt} + \frac{V_t}{4b_e} \frac{dp_L}{dt} \quad (4)$$

Trong đó: y - Dịch chuyển của Piston; C_{ic} - Hệ số rò rỉ của dầu thủy lực qua Piston trong xy lanh; A - Diện tích hiệu dụng của Piston; $\frac{V_t}{4b_e}$ - Hệ số của thể tích và mô đun đàn hồi tổng của dầu thủy lực và thành xy lanh; M - Tổng khối lượng tác động lên Piston; B_c - Hệ số lực cản nhớt; K_L - Hệ số cứng của nền triển khai; F_L - Phản lực tương tác. Đặt các biến trạng thái: $x_1 = y$ - Độ dịch chuyển dọc trục của piston ép xuống bề mặt; $x_2 = \frac{dy}{dt}$ - Tốc độ dịch chuyển;

$x_3 = \frac{d^2 y}{dt^2}$ - Gia tốc dịch chuyển. Trên cơ sở các phương trình (1)-(4) ta thu được:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= x_3 \\ \dot{x}_3 &= - \frac{4b_e K_L C_{ic}}{M V_t} x_1 - \frac{4b_e C_{ic} B_c + K_L V_t + 4b_e A^2}{M V_t} x_2 - \frac{4b_e C_{ic} M + V_t B_c}{M V_t} x_3 + g(p_L) u - \frac{4b_e C_{ic} F_L}{M V_t} - \frac{1}{M} \frac{dF_L}{dt} \end{aligned} \quad (5)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} f(x) &= - \frac{4b_e K_L C_{ic}}{M V_t} x_1 - \frac{4b_e C_{ic} B_c + K_L V_t + 4b_e A^2}{M V_t} x_2 - \frac{4b_e C_{ic} M + V_t B_c}{M V_t} x_3 \\ d(t) &= - \frac{4b_e C_{ic} F_L}{M V_t} - \frac{1}{M} \frac{dF_L}{dt} \end{aligned}$$

Trong thành phần của $d(t)$ có chứa thành phần lực cản do ngoại lực F_L , và tốc độ biến thiên của nó.

Thành phần này không biết trước, không đo được vì vậy $d(t)$ được xem là thành phần nhiễu loạn không xác định tác động lên hệ thống. Trong thực tế, đối với các hệ thống vũ khí, khí tài đặt trên xe cơ động, khi triển khai chiến đấu các chân kích thủy lực được sử dụng để đảm bảo cân bằng cho hệ thống vũ khí. Các tác động do ngoại lực có thể là lực do rung động trong quá trình làm việc của động cơ, thiết bị, ảnh hưởng của gió, độ nghiêng do không cân bằng, ảnh hưởng của xung lực phát bắn,... Từ bản chất vật lý của nguồn ngoại lực là có giới hạn về năng lượng, nên $d(t)$ là hàm nhiễu loạn không xác định và bị chặn.

$$|d(t)| \leq D < \infty \quad (6)$$

Trong đó D là hằng số xác định. Giá trị của D ta có thể tính toán được dựa trên các điều kiện cụ thể của thiết bị và điều kiện làm việc. Thành phần hàm $f(x_1, x_2, x_3, b_e, C_{ic}, K_L, V_t, B_c)$ có giá trị phụ thuộc vào các biến số x_1, x_2, x_3 và các hệ số làm việc của hệ thống $b_e, C_{ic}, K_L, V_t, B_c$. Các hệ số này được xác định bằng thực nghiệm và biến thiên trong quá trình làm việc [9].

Theo [1] khi không tải, $g(p_L)$ được xác định:

$$g(p_L) = \frac{4b_e A}{M V_t} K_q K_x \quad (7)$$

Điều kiện:

$$0 < g(x) \leq \frac{4b_{e \max} A_{\max}}{M_{\min} V_{t \min}} K_{q \max} |U_{Nguon}| \quad (8)$$

Trong đó: U_{Nguon} là biên độ điện áp nguồn của bộ khuếch đại điện tử điều khiển van, thường $|U_{Nguon}| = 24V$.

Ta có hệ phương trình không gian trạng thái của hệ như sau:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= x_3; \\ \dot{x}_3 &= f(x) + g(x)u + d(t) \end{aligned} \quad (9)$$

Trong đó, các thành phần $f(x)$, $g(x)$, $d(t)$ là các hàm phi tuyến không xác định, nhiễu loạn với các ràng buộc (6), (7), (8).

2.2. Tổng hợp luật điều khiển

Trong [11, 12] đã đề cập đến việc biến đổi hệ (9) về hệ sai số với các biến sai số phụ thuộc trên nền tư tưởng tổng hợp điều khiển cuốn chiếu, và luật điều khiển cuối cùng được xây dựng trên cơ sở điều khiển trượt. Trong nội dung nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung vào việc giảm thiểu dao động trên mặt trượt bằng cách: Xây dựng đánh giá thích nghi các thành phần hằng số bất định, xấp xỉ hóa các hàm không xác định bằng lô gíc mờ trên cơ sở mô hình mờ T-S để xây dựng luật điều khiển bù; xây dựng hàm tiệm cận hàm dấu trong điều khiển trượt lý tưởng bằng hàm bão hòa dùng lô gíc mờ.

Biến đổi hệ (9) về dạng sai số: Sai số bám sát được định nghĩa: $e_1 = x_1 - x_{1d}$, và gọi

$$e = [e_1 \ e_2 \ e_3]^T = [e_1 \ \dot{e}_1 \ \ddot{e}_1]^T, \text{ với } \lim_{t \rightarrow T_0} e_1 = d \text{ } e,$$

Trong đó e là hằng số nhỏ tùy ý, T_0 là khoảng thời gian xác định trước. Trong trường hợp lý tưởng $\lim_{t \rightarrow \infty} e_1 = 0$. Khi đó, hệ (11) chuyển về hệ sai số [8] có dạng:

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= e_2; \\ \dot{e}_2 &= e_3; \\ \dot{e}_3 &= f(e, x_{1d}) + g(e, x_{1d})u + d(t) - \ddot{x}_{1d} \end{aligned} \quad (10)$$

Bài toán bám sát được đặt ra là tìm cấu trúc tín hiệu điều khiển u để sao cho tín hiệu đầu ra x_1 bám sát theo tín hiệu đặt được tính toán trước x_{1d} . Không mất tính tổng quát ta giả thiết các hàm $f(e, x_{1d})$, $g(e, x_{1d})$ là các hàm trơn và $d(t)$ là hàm trơn và bị chặn. Chọn mặt trượt như sau [5]:

$$S(e) = C_1 e_1 + C_2 e_2 + e_3 \quad (11)$$

Với C_1, C_2 là các hằng số được chọn sao cho đa thức đặc trưng của phương trình $S(e)=0$ là Hurwitz. Vì phân hai vế của mặt trượt (11) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{S}(e) &= C_1 e_2 + C_2 e_3 + f(e, x_{1d}) + \\ &+ g(e, x_{1d})u + d(t) - \ddot{x}_{1d} \end{aligned} \quad (12)$$

Trong trường hợp lý tưởng ta hoàn toàn biết và chọn được luật điều khiển như sau:

$$\begin{aligned} g(e, x_{1d})u &= -C_1 e_2 - C_2 e_3 - f(e, x_{1d}) - d(t) - \\ &- k \text{sign}(S) + \ddot{x}_{1d} \end{aligned}$$

Thay vào (12) ta được: $\dot{S}(e) = -k \text{sign}(S)$, phương trình vi phân có vế phải gián đoạn. Nếu chọn k là hằng số dương, thì $S \dot{S} < 0$. Như vậy $S(e) \rightarrow 0$ và sai số $e_1 \rightarrow 0, e_2 \rightarrow 0, e_3 \rightarrow 0$ [11]. Theo phương thức tổng hợp điều khiển trượt [5], luật điều khiển được phân chia thành hai thành phần:

$$u = \frac{1}{g(e, x_{1d})} [-C_1 e_2 - C_2 e_3 - f(e, x_{1d}) - d(t) + \ddot{x}_{1d} - k \text{sign}(S)] \quad (13)$$

$$= u_{eq} + u_N$$

Với:

$$u_{eq} = \frac{1}{g(e, x_{1d})} [-C_1 e_2 - C_2 e_3 - f(e, x_{1d}) - d(t) + \ddot{x}_{1d}]$$

$$u_N = \frac{1}{g(e, x_{1d})} (-k \text{sign}(S))$$

Trong đó: u_{eq} - là tín hiệu điều khiển tương đương.

u_N - là tín hiệu điều khiển gián đoạn.

Trong thực tế, khi $f(x)$, $g(x)$, $d(t)$ là hàm có chứa các yếu tố bất định chưa biết thì ta không thể thực hiện được luật điều khiển (13). Tuy nhiên ta có thể xây dựng luật điều khiển tiệm cận luật (13) trên cơ sở các giá trị đánh giá được của các hàm này [10]. Để có được các đánh giá này ta sử dụng phương pháp đánh giá mờ thích nghi $\hat{f}(x), \hat{g}(x), \hat{h}(x)$, với sai số đánh giá nhỏ tùy ý, $f(x) - \hat{f}(x) \rightarrow 0, g(x) - \hat{g}(x) \rightarrow 0, d(t) - \hat{h}(x) \rightarrow 0$. Để nâng cao độ chính xác ta đưa vào đánh giá $\hat{f}(x), \hat{g}(x)$ và $\hat{h}(x)$ các hằng số tự do là q_f, q_g, q_h . Các hằng số này được đánh giá thông qua luật thích nghi [10].

$$\begin{aligned} \hat{f}(x) &= \hat{f}(x|q_f); \\ \hat{g}(x) &= \hat{g}(x|q_g); \\ \hat{h}(x) &= \hat{h}(x|q_h) \end{aligned} \quad (14)$$

và tín hiệu điều khiển tương đương u_{eq} có dạng:

$$\hat{u}_{eq} = \frac{1}{\hat{g}(x|q_g)} [-C_1 e_2 - C_2 e_3 - \hat{f}(x|q_f) - \hat{h}(x|q_h) + \ddot{x}_{1d}] \quad (15)$$

Để xây dựng được luật điều khiển (15), ta phải xác định được các hàm $\hat{f}(x|q_f), \hat{g}(x|q_g), \hat{h}(x|q_h)$, bằng cách: Định nghĩa S và \mathcal{S} là biến đầu vào [1], hệ điều khiển lô gic mờ là kết hợp của luật Nếu-Thì được cho dưới dạng như sau:

$$R^{(j)} : \text{IF } S \text{ là } A_1^j \text{ và } \mathcal{S} \text{ là } A_2^j \text{ THEN } \hat{u}_{eq} \text{ là } p^j \quad (j = 1, 2, \dots, N)$$

Trong đó, \hat{u}_{eq} là biến đầu ra của hàm liên thuộc. Biến đầu vào hệ lô gic mờ của hàm liên thuộc là S và \mathcal{S} được xác định như sau:

$$\begin{aligned} m_{A_1^j}(S) &= \exp\left\{-\frac{c_1}{s_1} \left(\frac{S}{\theta}\right)^2\right\} \\ m_{A_2^j}(\mathcal{S}) &= \exp\left\{-\frac{c_2}{s_2} \left(\frac{\mathcal{S}}{\theta}\right)^2\right\} \end{aligned} \quad (16)$$

Sử dụng luật hợp thành tích, mờ hóa Singleton, giải mờ theo phương pháp trung bình-trọng số, ta có:

$$\hat{u}_{eq} = q^T x(S, \mathcal{S}) \quad (17)$$

Trong đó,

$$q = [p_1, p_2, \dots, p_N]^T, x(S, \mathcal{S}) = \hat{g}^{-1}(S, \mathcal{S}), x^2(S, \mathcal{S}), \dots, x^N(S, \mathcal{S})^T$$

$$x(S, \mathcal{S}) = \frac{m_{A_1}(S)m_{A_2}(S)}{\sum_{j=1}^N m_{A_j}(S)m_{A_j}(S)} \quad (18)$$

khí đó (14) được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} \hat{f}(x|q_f) &= q_f^T x_f(S, \mathcal{S}); \\ \hat{g}(x|q_g) &= q_g^T x_g(S, \mathcal{S}); \\ \hat{h}(x|q_h) &= q_h^T x_h(S) \end{aligned} \quad (19)$$

Giả thiết rằng các hàm $x(S, \mathcal{S})$ là đã biết. Do q_f, q_g, q_h là thay đổi liên tục, ta cần tìm q_f, q_g, q_h để cực tiểu hóa sai số của hệ thống.

Định nghĩa các tham số tối ưu của hệ mờ:

$$q_f^* = \arg \min_{q_f \in R^3} \sup_{x \in R^3} |\hat{f}(x|q_f) - f(x)| \quad (20)$$

$$q_g^* = \arg \min_{q_g \in R^3} \sup_{x \in R^3} |\hat{g}(x|q_g) - g(x)| \quad (21)$$

$$q_h^* = \arg \min_{q_h \in R^3} \sup_{x \in R^3} |\hat{h}(x|q_h) - d(t)| \quad (22)$$

Khí đó, phương trình vi phân mặt trượt (12) chuyển sang luật điều khiển mờ thích nghi được tìm trên cơ sở:

$$\mathcal{S}(e) = C_1 e_2 + C_2 e_3 + f(e, x_{1d}) + g(e, x_{1d}) \hat{u}_{eq} + d(t) - \hat{h}(x|q_h) + g(e, x_{1d}) u_N \quad (23)$$

Từ (15) và (23) ta có:

$$\mathcal{S}(e) = f(e, x_{1d}) - \hat{f}(x|q_f) + \{g(e, x_{1d}) - \hat{g}(x|q_g)\} \hat{u}_{eq} - \hat{h}(x|q_h) + d(t) - k \text{sign}(S) \quad (24)$$

Tồn tại sai số giữa hàm phi tuyến thực tế và đánh giá xấp xỉ của hàm này trên cơ sở đánh giá mờ thích nghi [10]:

$$\begin{aligned} w &= \hat{f}(e, x_{1d}) - \hat{f}(x|q_f^*) + \\ &+ \hat{g}(e, x_{1d}) - \hat{g}(x|q_g^*) \end{aligned} \quad (25)$$

Thành phần nhiễu loạn $d(t)$ được chế áp bởi việc lựa chọn:

$$\hat{h}(x|q_h^*) = k_D \text{sign}(S) \quad (26)$$

Trong đó, $k_D > 0$ là tham số thiết kế để chế áp thành phần nhiễu bất định.

Khí đó (24) được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} \mathcal{S}(e) &= \hat{f}(x|q_f^*) - \hat{f}(x|q_f) + \{\hat{g}(x|q_g^*) - \hat{g}(x|q_g)\} \hat{u}_{eq} + \\ &+ \{\hat{h}(x|q_h^*) - \hat{h}(x|q_h)\} - \hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S) \end{aligned}$$

thế (21) vào ta được:

$$\begin{aligned} \mathcal{S}(e) &= (q_f^* - q_f)^T x_f(S, \mathcal{S}) + (q_g^* - q_g)^T x_g(S, \mathcal{S}) \hat{u}_{eq} + \\ &+ (q_h^* - q_h)^T x_h(S) - \hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S) \end{aligned} \quad (27)$$

Đặt: $j_f = q_f^* - q_f, j_g = q_g^* - q_g, j_h = q_h^* - q_h$ và thế vào (27) ta có:

$$\begin{aligned} \mathcal{S}(e) &= j_f^T x_f(S, \mathcal{S}) + j_g^T x_g(S, \mathcal{S}) \hat{u}_{eq} + j_h^T x_h(S) - \\ &- \hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S) \end{aligned} \quad (28)$$

Mục tiêu ta cần tìm luật điều khiển thích nghi để chỉnh định q_f, q_g và q_h sao cho cực tiểu hóa sai số đánh giá tham số

$$j_f = q_f^* - q_f, j_g = q_g^* - q_g, j_h = q_h^* - q_h.$$

Xét hàm xác định dương:

$$V = \frac{1}{2} (S^2 + \frac{1}{r_1} j_f^T j_f + \frac{1}{r_2} j_g^T j_g + \frac{1}{r_3} j_h^T j_h) \quad (29)$$

Vi phân hai vế phương trình (29) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= S j_f^T x_f(S, \mathcal{S}) + \frac{1}{r_1} j_f^T \dot{j}_f + S j_g^T x_g(S, \mathcal{S}) \hat{u}_{eq} + \\ &+ \frac{1}{r_2} j_g^T \dot{j}_g + S j_h^T x_h(S) + \frac{1}{r_3} j_h^T \dot{j}_h + \\ &+ S \{-\hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S)\} \end{aligned} \quad (30)$$

Trong đó, $\dot{j}_f = -\dot{q}_f, \dot{j}_g = -\dot{q}_g, \dot{j}_h = -\dot{q}_h$, khí đó (30)

được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= j_f^T \dot{S} x_f(S, \mathcal{S}) - \frac{1}{r_1} \dot{q}_f^T j_f + j_g^T \dot{S} x_g(S, \mathcal{S}) \hat{u}_{eq} - \frac{1}{r_2} \dot{q}_g^T j_g + \\ &+ j_h^T \dot{S} x_h(S) - \frac{1}{r_3} \dot{q}_h^T j_h + \\ &+ S \{-\hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S)\} \end{aligned} \quad (31)$$

Ta chọn luật thích nghi như sau:

$$\begin{aligned} \dot{q}_f &= r_1 S x_f(S, \mathcal{S}); \\ \dot{q}_g &= r_2 S x_g(S, \mathcal{S}) \hat{u}_{eq}; \quad \dot{q}_h = r_3 S x_h(S) \end{aligned} \quad (32)$$

Trong (31), để

$S \{-\hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S)\} \leq 0$ ta chọn các hệ số như sau:

Theo tính chất bị chặn của sai số đánh giá xấp xỉ hàm phi tuyến bất định (định lý Stone-Weierstrass) [10], ta có: $w \in W$, với W là hằng số biết trước. Như vậy từ (26) ta có:

$$\begin{aligned} S \{-\hat{h}(x|q_h^*) + w + d(t) - k \text{sign}(S)\} \\ = w.S + d(t).S - (k_D + k)|S| \\ \leq [(k_D + k) - (W + D)]|S| \end{aligned} \quad (33)$$

Thay (32), (33) vào (31) ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq -[(k_D + k) - (W + D)]|S| \\ \text{Đề: } & \dot{V} \leq 0, \\ \text{Thì: } & (k_D + k)^3 (W + D) \end{aligned} \quad (34)$$

Như vậy, khí chọn hằng số $(k_D + k)$ thỏa mãn điều kiện (34) thì hệ (10) ổn định tiệm cận theo Lyapunov tại gốc, tức là $e_1 \in 0, e_2 \in 0, e_3 \in 0$. Nói cách khác luật điều khiển (13) với đánh giá mờ thích nghi cho thành phần điều khiển tương đương (15), các luật cập nhật thích nghi (32), sẽ đảm bảo hệ (10) ổn định tiệm cận theo Lyapunov tại gốc.

2.3. Vấn đề giảm hiện tượng dao động

Hạn chế của phương pháp điều khiển theo chế độ trượt là hiện tượng dao động trên mặt trượt. Hiện tượng dao động trên mặt trượt do thành phần điều khiển gián đoạn sinh ra. Để giảm hiện tượng này ta xấp xỉ thành phần chuyển mạch bằng các hàm liên tục của biến mặt trượt [1]. Cụ thể, với S là biến đầu vào và \hat{u}_N là biến đầu ra, ta định nghĩa:

Nếu S là dương nhỏ (PS) Thì \hat{u}_N dương nhỏ (PS)

Nếu S là ZERO Thì \hat{u}_N là ZERO

Nếu S là âm lớn (NL) Thì \hat{u}_N là âm lớn (NL)

Nếu S là âm nhỏ (NS) Thì \hat{u}_N là âm nhỏ (NS)

Nếu S là dương lớn (PL) Thì \hat{u}_N là âm lớn (NL)

Trong đó, các hàm liên thuộc của biến đầu vào S được xác định như sau:

$$m_{S_PL} = \tanh\left(\frac{\alpha S}{\beta}\right) m_{S_PS} = 1 - m_{S_PL} \quad (35)$$

$$m_{S_NL} = -\tanh\left(\frac{\alpha S}{\beta}\right) m_{S_NS} = 1 - m_{S_NL} \quad (36)$$

$$m_{i_N_NL} = \begin{cases} 1 & \text{khi } \hat{u}_N = -g_m \\ 0 & \text{khi } \hat{u}_N \neq -g_m \end{cases} \quad (37)$$

$$m_{i_N_PL} = \begin{cases} 1 & \text{khi } \hat{u}_N = g_m \\ 0 & \text{khi } \hat{u}_N \neq g_m \end{cases}$$

$$m_{i_N_NS} = m_{i_N_PS} = \begin{cases} 1 & \text{khi } \hat{u}_N = 0 \\ 0 & \text{khi } \hat{u}_N \neq 0 \end{cases} \quad (38)$$

Biến đầu ra \hat{u}_N :

$$\hat{u}_N = \begin{cases} \frac{m_{S_PL} \cdot (-g_m) + m_{S_PS} \cdot 0}{m_{S_PL} + m_{S_PS}}, S > 0 \\ \frac{m_{S_NL} \cdot (g_m) + m_{S_NS} \cdot 0}{m_{S_NL} + m_{S_NS}}, S < 0 \end{cases} \quad (39)$$

Như vậy, ta có thể nhận được dạng hàm của thành phần điều khiển gián đoạn:

$$\hat{u}_N = -g_m \tanh\left(\frac{\alpha S}{\beta}\right) \quad (40)$$

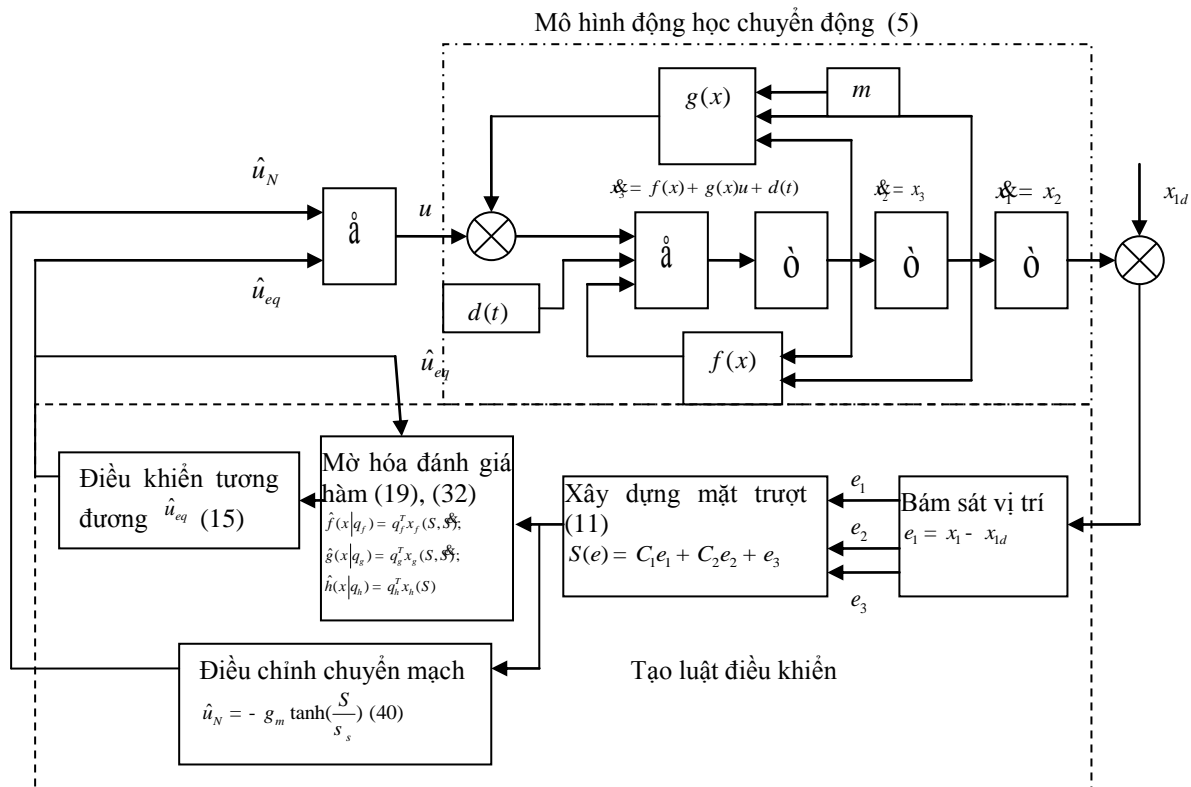
Với:

$$g_m = \frac{1}{g} \left[\sum_{i=1}^{n-1} C_i e^i + x_{1d}^n \right] + f_{max} + D \frac{\ddot{x}}{\ddot{\theta}} + |\dot{\hat{u}}_N|; i = 1, 2, 3$$

Trong đó f_{max} là giá trị giới hạn trên của hàm $f(x)$ nhận được từ các giới hạn của biến vị trí, tốc độ và gia tốc thực tế của hệ.

Với việc xấp xỉ luật điều khiển gián đoạn trong (13) bằng (40) ta thấy việc tiếp cận về mặt trượt bằng hàm bão hòa đã giảm được tần số thay đổi dấu của tín hiệu điều khiển. Như vậy có thể giảm được số lần cắt qua mặt trượt của hệ thống dưới tác động điều khiển và như vậy đã giảm được hiện tượng dao động trên mặt trượt [5].

Trên cơ sở các nội dung đã xây dựng, tổng hợp trên ta xây dựng được sơ đồ khối điều khiển hệ thống điều khiển bám sát trên hình 2.



H.2. Mô hình vòng điều khiển bám sát vị trí với luật điều khiển kết hợp trượt mờ thích nghi

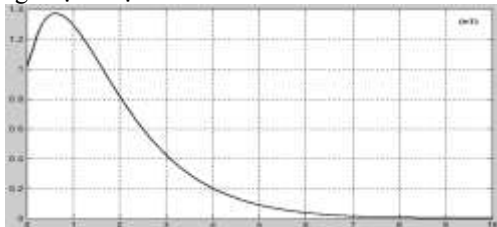
2.4. Mô phỏng trên Simulink matlab

Xét các thông số của hệ thống [1]:
 Áp suất dầu thủy lực nguồn cung cấp: $P_s=1$ (MPa)
 Hệ số dòng chảy: $K_x K_q=2,15 \cdot 10^{-4}$ ($m^3 s^{-1} A^{-1}$)
 Diện tích hiệu dụng của piston: $A=1,86 \cdot 10^{-3}$ (m^2)
 Tổng thể tích dầu: $V_t=6,528 \cdot 10^{-4}$ (m^3)
 Tổng hệ số rò rỉ của hệ thống: $C_{tc}=2,58 \cdot 10^{-12}$ ($m^3 s^{-1} Pa^{-1}$)

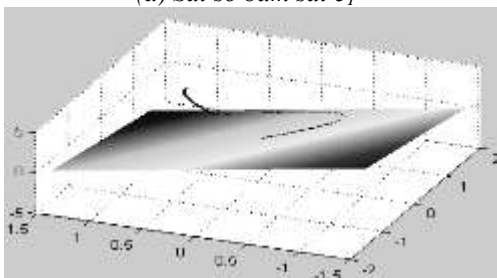
Hệ số đặc trưng cho hệ thống: $\beta_e=700$
 Khối lượng tác động lên piston: $M=51.05$ (Kg)
 Hệ số lực cản nhớt: $B_c=60.9,8=588$ (Nsm^{-1})
 Khối lượng riêng của dầu thủy lực: $\rho=860$ (kgm^{-3})

Hệ số cứng của nền: $K_L=0.1$ (Nm^{-1})
 Giả thiết chọn thông số mặt trượt $C=[1 \ 2 \ 1]$ và tín hiệu đầu vào $x_d(t) = 1 \sin(pt + p/2)$, các hệ số cập nhật thích nghi $r_1=5, r_2=10, r_3=2$, ta xét các trường hợp mô phỏng sau:

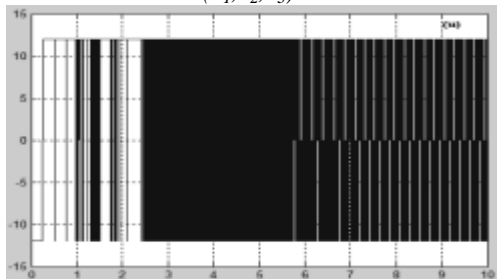
Trường hợp 1: Xét $f(x), g(x), d(t)$ là các hàm xác định. Trong trường hợp này ta hoàn toàn có đủ các thông tin để tạo luật điều khiển theo (13). Kết quả mô phỏng nhận được trên hình 3.



(a) Sai số bám sát e_1



(b) Trạng thái của hệ trong không gian pha (e_1, e_2, e_3)



(c) Tín hiệu điều khiển u

H.3. Kết quả mô phỏng trường hợp 1

Từ hình 3a, 3b với luật điều khiển (13) đã chọn thì hệ thống đã ổn định tiệm cận tại gốc, tuy nhiên do trong luật điều khiển có sử dụng hàm *sign* nên gây ra hiện tượng dao động tần số cao trên mặt trượt (hình 3b) và điện áp điều khiển có dạng hàm chuyển mạch (hình 3c).

Trường hợp 2: Xét $f(x), g(x)$ là các hàm phi tuyến không xác định, $d(t)$ dạng nhiễu loạn không biết

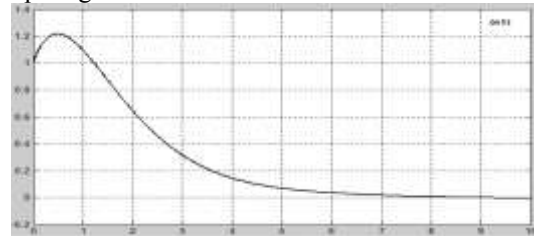
trước, bị chặn với $|d(t)| \leq 1$ và sử dụng luật mờ thích nghi (19), (32) để đánh giá các hàm đó, thêm khâu xử lý mờ (40) thay thế hàm *sign* để giảm dao động.

Xây dựng bộ mờ (16), (17):

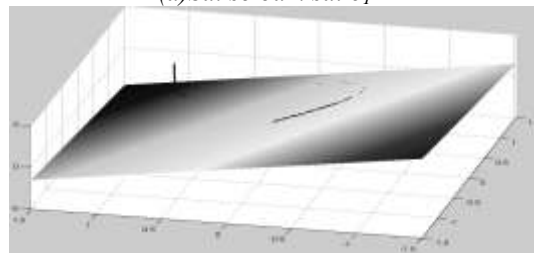
Mờ hóa mặt trượt $S(x)$: Hàm liên thuộc với 5 tập mờ

Hàm liên thuộc đầu ra (18):

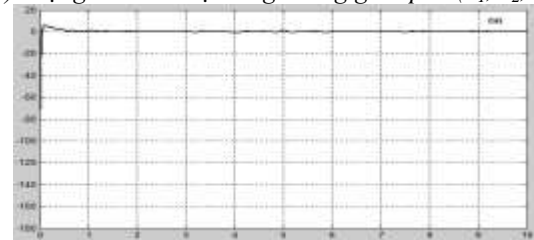
Giải mờ bằng phương pháp trọng tâm, ta được kết quả mô phỏng trên hình 4.



(a) Sai số bám sát e_1



(b) Trạng thái của hệ trong không gian pha (e_1, e_2, e_3)



(c) Tín hiệu điều khiển u

H.4. Kết quả mô phỏng trường hợp 2

Từ hình 4a, 4b, với luật điều khiển (15) và luật đánh giá các hàm số bất định bằng mờ thích nghi (32) đã chọn, thì hệ thống đã ổn định tiệm cận tại gốc, dao động dạng chuyển mạch của tín hiệu điều khiển giảm (hình 4c), và đảm bảo tính hội tụ của sai số trên một lớp biên xác định, tùy thuộc vào việc thiết kế các hàm mờ xấp xỉ.

So sánh kết quả mô phỏng trong hai trường hợp ta thấy:

- Dạng sai số bám sát trong trường hợp có các thành phần bất định, nhiễu loạn không khác so với trường hợp biết rõ hoàn toàn và không có nhiễu.

- Trạng thái của hệ trên không gian pha (e_1, e_2, e_3) trong trường hợp 1 có dao động nhiều hơn trong trường hợp 2 khi thay thế hàm dấu bằng hàm bão hòa.

- Tín hiệu điều khiển trong trường hợp 1 có dạng hàm dấu, tần số cao. Dạng tín hiệu điều khiển trong trường hợp 2 là dạng gần liên tục.

Thông qua kết quả mô phỏng ta thấy chất lượng điều khiển bám sát trong trường hợp có thành phần bất định và nhiễu loạn vẫn đảm bảo được tương đương trường hợp lý tưởng, thể hiện tính bền vững kháng nhiễu của luật điều chỉnh.

3. Kết luận

Với hướng tiếp cận tổng hợp điều khiển bám sát vị trí điện thủy lực trong bài báo đã mở ra một hướng tổng hợp điều khiển hệ phi tuyến bậc 3 với cấu trúc phân tầng và có xét đến các thành phần bất định mới. Luật điều khiển tổng hợp dựa trên cơ sở điều khiển trượt có kết hợp đánh giá mờ thích nghi hàm phi tuyến không xác định, đảm bảo tính ổn định tiệm cận theo tiêu chuẩn Lyapunov. Với kết quả này ta có thể ứng dụng vào tổng hợp bộ điều khiển cho đối tượng điện thủy lực với độ chính xác cho trước, có tính bền vững, có nhiều triển vọng ứng dụng trong xây dựng thiết bị, khí tài quân sự.

Tài liệu tham khảo

- [1] Yitong Bai, Ping Li. *Adaptive fuzzy sliding mode control for electro-hydraulic position servo systems*, Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese
- [2] Jinkun Liu, Fuchun Sun, *Chattering free adaptive fuzzy terminal sliding mode control for second order nonlinear system*, Control theory and Applications, Vol 4, 385-391, 2006.
- [3] Wallace Moreira Bessa, Max Suell Dutra, and Edwin Kreuzer. *Adaptive fuzzy sliding mode control for electro-hydraulic position servo systems*, Proceedings of the XIII International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics (DINAME 2009)
- [4] H. M. Chen, J. P. Su, J. C. Renn, *A novel sliding mode control of an electro-hydraulic position servo system*, IEEE Trans. Ind. Electron, Vol.85, 1928-1936, 2002.
- [5] V. I. Utkin,... *Sliding Mode Control in Electromechanical System*, Taylor Francis, London, UK, 1999
- [6] J. Wang, A. B. Rad, P. Chan, *Indirect adaptive fuzzy sliding mode control: Part I: fuzzy switching, Fuzzy sets and systems*, Vol.122, No.1, 21-30, 2001.
- [7] Guan and S. Pan. *Adaptive sliding mode control of electro-hydraulic system with nonlinear unknown parameters*. Control Engineering Practice, 16:1275–1284, 2008a.
- [8] Juntuan Zhang and Defu Cheng, Yunfeng Liu and Guangliang Zhu. *Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control for Missile Electro-hydraulic Servo Mechanism*, 978-1-4244-2114-5/08/\$25.00 © 2008 IEEE
- [9] Herbert E. Merritt, *Hydraulic control systems*. John Wiley & Sons, inc USA 1991
- [10] Jay A. Farrell, Marios M. Polycarpou *Adaptive Approximation Based Control*. John Wiley & Sons, INC., Publication 2006.
- [11] Nguyễn Thanh Tiên, Nguyễn Trọng Thanh. *Tổng hợp điều khiển cho hệ bám điện cơ trên cơ sở phương pháp Backstepping kết hợp điều khiển trong chế độ trượt*. Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2011.

- [12] Nguyễn Thanh Tiên, Nguyễn Trọng Thanh. *Tổng hợp bộ điều khiển cho hệ điện thủy lực phi tuyến cấu trúc phân tầng có thành phần bất định trên cơ sở phương pháp phân khối kết hợp điều khiển trượt*. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật.-Số 138 (8-2011) - Học viện KTQS.



GS.TSKH Nguyễn Công Định sinh năm 1963, nhận bằng Tiến sỹ chuyên ngành “Điều khiển trong các hệ thống kỹ thuật” năm 1991 tại viện hàn lâm khoa học Udobekitxtan (Liên Xô cũ), bằng TSKH chuyên ngành “Phân tích Hệ thống và Điều khiển tự động” năm 1995 tại

Đại học Tổng hợp kỹ thuật Tasken (Liên Xô cũ), nhận Học hàm GS ngành Tự động hóa năm 2012. GS.TSKH Nguyễn Công Định hiện là Giám đốc Học viện KTQS, các hướng nghiên cứu chính là: Điều khiển thích nghi các hệ thống phi tuyến, điều khiển thông minh, Mô hình hóa, mô phỏng.



TS Nguyễn Thanh Tiên Sinh năm 1973. Nhận bằng Kỹ sư Điện – điện tử tại Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 1995 và Thạc sỹ tự động hóa và điều khiển từ xa tại Học viện KTQS năm 2004, và nhận bằng Tiến sỹ Kỹ thuật Điều khiển tại Viện các vấn đề về điều khiển, Viện hàn lâm

khoa học Liên bang Nga năm 2008. Hiện là giảng viên Khoa Kỹ thuật điều khiển – Học viện KTQS. Lĩnh vực nghiên cứu: Điều khiển các hệ điện cơ, Hệ thống có cấu trúc thay đổi, Điều khiển phi tuyến.



Nguyễn Trọng Thanh sinh năm 1981 tại Hà nội nhận bằng đại học ngành điện tử viễn thông của trường đại học Bách khoa Hà nội năm 2005, nhận bằng cao học ngành Tự động hóa tại Học viện KTQS năm 2009.

Hiện nay đang làm việc NCS tại Bộ môn Kỹ thuật Điện - Khoa Kỹ thuật Điều khiển - Học viện KTQS. Lĩnh vực nghiên cứu: Điều khiển phi tuyến, truyền động điện, điều khiển thông minh.