

Điều khiển chế độ trượt trong hệ thống bất định có nhiều biến đổi sử dụng mô hình chuẩn lai

Nguyễn Vũ¹, Vũ Quốc Huy^{2,3*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội;

²Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

³Trường Đại học Điện lực.

*Email: maihuyvu@gmail.com

Nhận bài: 25/02/2023; Hoàn thiện: 02/5/2023; Chấp nhận đăng: 10/5/2023; Xuất bản: 25/6/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.88.2023.3-12>

TÓM TẮT

Bài báo quan tâm mô hình hệ thống có nhiều và tham số bất định thay đổi theo thời gian. Hai mô hình chuẩn được sử dụng để tổng hợp luật điều khiển. Mô hình chuẩn thứ nhất có cùng đầu vào điều khiển như hệ thống thực; sai lệch đầu ra của mô hình chuẩn này và của hệ thống thực được xác định. Luật điều khiển chính được tổng hợp cho mô hình chuẩn thứ hai để đạt được chỉ tiêu chất lượng mong muốn. Từ sai số của đầu ra mô hình thứ hai và đầu ra hệ thống, điều khiển bù được tổng hợp từ giả đạo hàm của sai lệch mô hình chuẩn thứ hai theo chế độ trượt và ổn định Lyapunov. Luật điều khiển áp dụng cho hệ thống thực là tổng của luật điều khiển chính và thành phần điều khiển bù. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống thực bám theo mô hình chuẩn.

Từ khóa: Mô hình chuẩn; Hệ thống bất định; Nhiều biến đổi; Điều khiển chế độ trượt; Điều khiển bù.

1. TỔNG QUAN

Các hệ thống cơ điện là các hệ thống bất định hoạt động trong điều kiện có nhiều tải và nhiễu ma sát. Đối với các hệ thống bất định và nhiễu tác động vào hệ thống có giới hạn, nghiên cứu [1] sử dụng điều khiển chế độ trượt với thành phần gián đoạn của lệnh điều khiển đủ lớn để bù được tổng bất định và nhiễu. Trong [2], tác giả sử dụng điều khiển thích nghi trên cơ sở nhận dạng tổng sai lệch mô hình và nhiễu bằng mạng nơ ron xuyên tâm, đồng thời sử dụng kết quả nhận dạng này để tạo tín hiệu bù cho bộ điều khiển được tổng hợp theo mô hình mẫu. Điều khiển thích nghi trên cơ sở mạng nơ ron xuyên tâm cũng được thực hiện trong [3] để xấp xỉ các thành phần phi tuyến, nhờ đó có thể tổng hợp hệ điều khiển cho các đối tượng phi tuyến có nhiều bất định. Trong [4], tác giả đề xuất giải pháp nhận dạng các thành phần thay đổi trong dải rộng đề từ đó tổng hợp bộ điều khiển chế độ trượt với hai thành phần của lệnh điều khiển, thành phần thứ nhất dùng để đảm bảo chế độ trượt, thành phần thứ hai dùng để bù những ảnh hưởng của phi tuyến và nhiễu. Các giải pháp trên đều dựa trên khả năng xấp xỉ các hàm phi tuyến của mạng nơ ron nhân tạo. Tuy nhiên, độ chính xác phụ thuộc vào thời gian học của mạng. Chính vì vậy, các giải pháp nêu trên đều có hiệu quả tốt đối với các hệ thống có nhiều thay đổi chậm. Đối với các hệ thống có nhiều thay đổi liên tục việc nhận dạng sẽ có những sai số nhất định, vì không thể đưa sai số nhận dạng bé hơn một giá trị nhỏ tùy ý được. Giải pháp sử dụng phương pháp phản hồi phi tuyến hỗn hợp để tổng hợp hệ thống điều khiển bám theo mô hình được đề xuất trong [5]. Tín hiệu phản hồi bao gồm hai thành phần, một thành phần tuyến tính đảm bảo cho hệ thống tác động nhanh, một thành phần phi tuyến làm giảm sự quá điều khiển của hệ thống. Tuy nhiên, việc tổng hợp hệ thống tương đối phức tạp đồng thời vẫn còn sai số hệ thống. Để khắc phục nhược điểm này, giải pháp nhận dạng trực tiếp bằng cách lấy vi phân sai số của đối tượng thật và mô hình chuẩn, qua đó xác định tổng bất định và nhiễu để tạo tín hiệu điều khiển bù được thực hiện trong [6, 7]. Tuy nhiên, phép lấy đạo hàm có sai số nên độ chính xác của tín hiệu bù nhiều khi không đảm bảo, dẫn đến sai số trong hệ thống. Các nghiên cứu [8-10] sử dụng mô hình chuẩn nhưng đều dưới dạng mô hình song song để hình thành luật thích nghi, đảm bảo tính ổn định Lyapunov cho hệ thống.

2. ĐẶT BÀI TOÁN

Xét lớp đối tượng tuyến tính bất định có nhiều biến đổi theo thời gian được mô tả bằng phương trình động học (1).

$$\dot{x} = Ax + Bu + D(t) \quad (1)$$

Trong đó, x là véc tơ trạng thái, $x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$, $x \in R^n$; u là véc tơ điều khiển, $u \in R$; $D(t)$ là nhiễu tương thích biến đổi theo thời gian; A là ma trận trạng thái, B là ma trận đầu vào; A và B đều là các ma trận có chứa các thành phần bất định.

Giả sử A_m, B_m theo thứ tự là các ma trận hằng, là xấp xỉ của các ma trận A, B . Khi đó mô hình động học (2) được gọi là mô hình chuẩn của hệ (1):

$$\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u \quad (2)$$

Trong các nghiên cứu [1-5], phương trình động học (1) được biểu diễn lại dưới dạng (3):

$$\dot{x} = A_m x + B_m u + \Delta Ax + \Delta Bu + D(t) \quad (3)$$

Gọi $F(t)$ là tổng của các thành phần bất định và nhiễu thay đổi:

$$F(t) = \Delta Ax + \Delta Bu + D(t) \quad (4)$$

Khi đó, (3) được biểu diễn ở dạng (5):

$$\dot{x} = A_m x + B_m u + F(t) \quad (5)$$

Giải pháp nhận dạng thành phần $F(t)$ trong [4] cho phép xác định được:

$$F(t) = \hat{F}(t) + \tilde{F}(t) \quad (6)$$

Với $\hat{F}(t)$ là đánh giá của $F(t)$ và $\tilde{F}(t)$ là sai số đánh giá.

Trong trường hợp nhiễu thay đổi chậm, có nghĩa sự thay đổi của nhiễu trong một vài chu kỳ điều khiển xem như không thay đổi, khi đó nhờ sử dụng mạng nơ ron nhân tạo nên có $\hat{F}(t)$ tiến tới $F(t)$ và $\tilde{F}(t)$ được cho là nhỏ tùy ý và có thể bỏ qua.

Vấn đề đặt ra là cần tổng hợp lệnh điều khiển u sao cho hệ thống ổn định trong điều kiện nhiễu $D(t)$ thay đổi nhanh. Ở đây, nhiễu thay đổi nhanh có nghĩa là việc nhận dạng nó, xác định giá trị của nó dựa trên các thuật toán điều khiển thích nghi trên cơ sở mạng nơ ron nhân tạo luôn tồn tại một sai số nhất định mà sai số này không thể nhỏ tùy ý như đối với các hệ biến đổi chậm; sai số đánh giá này chỉ có thể nhỏ hơn một giá trị δ nào đó.

Chọn mặt trượt (7) cho hệ (5) với A là một ma trận Hurwitz:

$$s = \Lambda x = 0 \quad (7)$$

Để hệ thống hoạt động trong chế độ trượt trên mặt trượt (7), lệnh điều khiển u được tổng hợp từ 3 thành phần: thành phần điều khiển tương đương u_{eq} , thành phần gián đoạn u_{sw} đảm bảo chế độ trượt và thành phần bù u_{cp} .

$$u = u_{eq} + u_{sw} + u_{cp} \quad (8)$$

Với :

$$u_{eq} = -B_m^+ (A_m x + Ks); \quad u_{sw} = -B_m^+ [\gamma \text{sgn}(s)]; \quad u_{cp} = -B_m^+ \hat{F}(t) \quad (9)$$

Trong đó, $\gamma > 0$ nhỏ tùy ý, B_m^+ là ma trận giả nghịch đảo của B_m .

Để kiểm chứng sự tồn tại của chế độ trượt, chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V = \frac{1}{2} s^2 \Rightarrow \dot{V} = s\dot{s}$$

Khi đó:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s \left\{ \Lambda A_m x - \Lambda \left[A_m x + \hat{F} + Ks + \gamma \text{sgn}(s) \right] - \Lambda \hat{F} + \Lambda F \right\} \\ &= -s \Lambda K s - s \left[\Lambda \gamma \text{sgn}(s) - \Lambda \tilde{F} \right] \end{aligned}$$

Như vậy, lệnh điều khiển (8) và (9) đảm bảo hệ (5) hoạt động trong chế độ trượt với mặt trượt (7). Khi thỏa mãn điều kiện $\dot{V} \leq 0$, hệ thống được ổn định theo Lyapunov và bổ đề Babarlat [11] đảm bảo mặt trượt $s \rightarrow 0$.

Khi sai số $\tilde{F}(t)$ nhỏ tùy ý (có thể bỏ qua), có thể chọn γ nhỏ tùy ý. Tuy nhiên, khi sai số $\tilde{F}(t)$ không còn là nhỏ tùy ý, không thể chọn γ nhỏ tùy ý mà phải thỏa mãn điều kiện chặt hơn. Cụ thể, để $\dot{V} \leq 0$ thì $\gamma \geq |\tilde{F}|$, điều kiện này đồng nghĩa với việc thuật toán đề xuất trong [4, 6] cần thành phần gián đoạn đủ lớn để duy trì hệ thống trên mặt trượt và điều đó sẽ gây ra hiện tượng chattering.

Câu hỏi nghiên cứu đặt ra ở đây là: Nếu có thể xác định được sai lệch mô hình và nhiễu quy về đầu vào với sai số nhỏ tùy ý thì thành phần gián đoạn trong lệnh điều khiển có thể được chọn với biên độ nhỏ tùy ý, làm giảm hiện tượng chattering cho hệ thống. Sau đây, bài báo đề xuất giải pháp xây dựng khối xác định tổng bất định với sai số nhỏ tùy chọn cho hệ (1) và xây dựng thuật toán điều khiển với sơ đồ xác định đại lượng bất định này. Luật điều khiển được tổng hợp trên cơ sở thuật toán bù tổng sai số của mô hình thực và mô hình chuẩn lai.

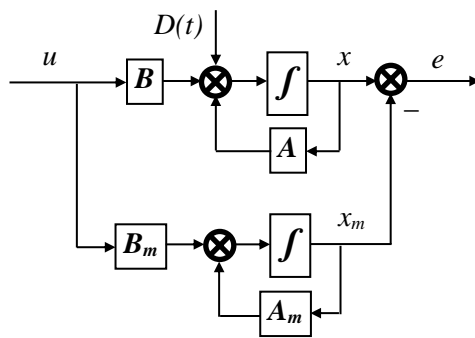
3. TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THEO MÔ HÌNH CHUẨN LAI

3.1. Điều khiển theo mô hình chuẩn lai

Xét đối tượng có mô hình thực (1) và mô hình chuẩn (2). Từ sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển theo mô hình chuẩn trên hình 1, sai lệch giữa trạng thái đầu ra chuẩn và trạng thái đầu ra thực là:

$$e = x - x_m \Rightarrow \dot{e} = \dot{x} - \dot{x}_m \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dot{e} &= A_m x - A_m x_m + B_m u - B_m u + \Delta A x + \Delta B u + D(t) \\ &= A_m (x - x_m) + \Delta A x + \Delta B u + D(t) = A_m (x - x_m) + F(t) \end{aligned} \quad (11)$$



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển theo mô hình chuẩn.

Trong (11), e chứa các thành phần đã xác định của ma trận hệ thống A_m nên việc xác định e không cho giá trị trực tiếp của $F(t)$. Để khắc phục nhược điểm này, bài báo sử dụng mô hình chuẩn lai có dạng (12).

$$\dot{x}_{hm} = A_m x + B_m u \quad (12)$$

Khác với mô hình chuẩn (2), mô hình chuẩn lai (12) sử dụng đầu ra của đối tượng thực x mà không trực tiếp sử dụng đầu ra của đối tượng chuẩn x_m . Từ sơ đồ cấu trúc điều khiển trên hình 2,

Để khắc phục nhược điểm này, thay vì lấy đạo hàm trực tiếp sai lệch e , bài báo đề xuất giải pháp tính hiệu sai lệch được đưa qua một khâu quán tính bậc nhất và đạo hàm đầu ra của khâu này sẽ được sử dụng thay cho đạo hàm sai số e . Với τ là hằng số thời gian tùy chọn, ký hiệu đầu ra của khâu quán tính bậc nhất là \hat{e} , khi đó ta có:

$$\hat{e} = \frac{e}{\tau s + 1} \tag{18}$$

$$\dot{\hat{e}} = \frac{e - \hat{e}}{\tau} \tag{19}$$

Như vậy, thay vì lấy trực tiếp đạo hàm của sai số mô hình e , đạo hàm của đầu ra khâu quán tính bậc nhất (vì phân gần đúng) để dàng xác định bằng các phép toán số học (19) sẽ được sử dụng để tạo lệnh điều khiển bù.

Gọi ε là sai lệch giữa phép tính đạo hàm qua khâu quán tính bậc nhất và khâu vi phân lí tưởng:

$$\varepsilon = \dot{e} - \dot{\hat{e}} \tag{20}$$

Dưới đây sẽ đánh giá sai lệch ε này và khẳng định tính bị chặn của nó.

Giả sử sai lệch e có đạo hàm bậc 1 hữu hạn (luôn bị chặn bởi một hằng số $C > 0$), hay:

$$\sup \|\dot{e}\| < \tau C \tag{21}$$

Từ (19) và (20) ta có:

$$\ddot{\varepsilon} = \frac{\dot{e} - \dot{\hat{e}}}{\tau} = -\frac{1}{\tau} \varepsilon \tag{22}$$

Kết hợp với lấy đạo hàm 2 vế của (20) nhận được:

$$\dot{\varepsilon} = -\frac{1}{\tau} \varepsilon - \ddot{e} \tag{23}$$

Phương trình (23) có nghiệm:

$$\varepsilon = \tau e^{-\frac{1}{\tau}t} - \dot{e} \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon = -\dot{e} \tag{24}$$

Kết hợp (21) với (24) nhận được:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\varepsilon| < \tau C \tag{25}$$

Trong (16) lệnh điều khiển bù được tổng hợp theo \dot{e} . Khi thay \dot{e} bằng $\dot{\hat{e}}$ sẽ có sai lệch lượng điều khiển bù, điều này sẽ dẫn đến sai lệch giữa trạng thái của mô hình chuẩn và trạng thái của hệ thống thực. Để khử sai số này, lệnh điều khiển bù dựa theo $\dot{\hat{e}}$ sẽ được tổng hợp bằng chế độ trượt.

Theo hình 3, s_{cp} là sai số giữa x_m và x . Ta sẽ chọn $s_{cp} = 0$ là mặt trượt.

$$s_{cp} = \Phi(x_m - x) \Rightarrow \dot{s}_{cp} = \Phi(\dot{x}_m - \dot{x}) \tag{26}$$

Với $\Phi = [\varphi_n \ \varphi_{n-1} \ \dots \ \varphi_1]$ là ma trận chứa các tham số của mặt trượt, được chọn sao cho đa thức $p^n + \varphi_1 p^{n-1} + \dots + \varphi_{n-1} p + \varphi_n$ là Hurwitz.

Theo sơ đồ cấu trúc trên hình 3 ta có:

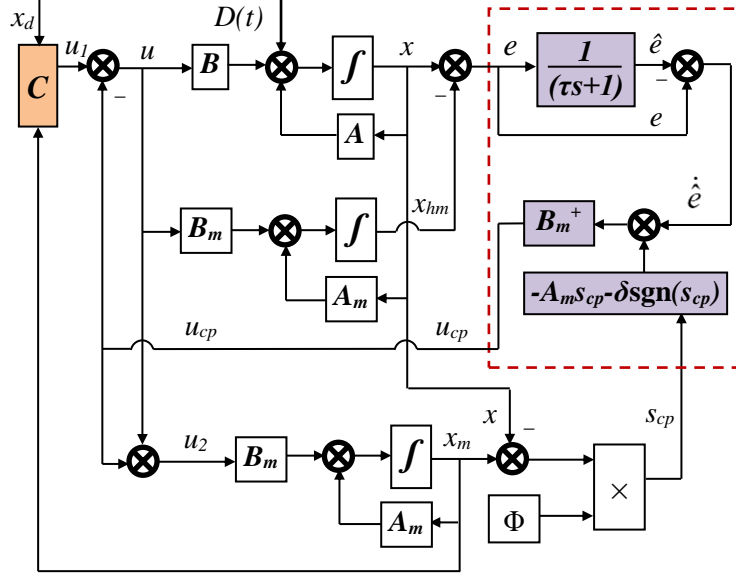
$$\begin{aligned} \dot{s}_{cp} &= \Phi [A_m x_m + B_m (u_{cp} + u) - A_m x - \Delta A x - B_m u - \Delta B u - D(t)] \\ &= \Phi [A_m s_{cp} + B_m u_{cp} - F(t)] \\ &= \Phi [A_m s_{cp} + B_m u_{cp} - \dot{e}] \end{aligned} \tag{27}$$

Chọn hàm Lyapunov:

$$V_{cp} = \frac{1}{2} s_{cp}^2 \Rightarrow \dot{V}_{cp} = s_{cp} \dot{s}_{cp} \quad (28)$$

Khi đó:

$$\dot{V}_{cp} = s_{cp} (\Phi A_m s_{cp} + \Phi B_m u_{cp} - \Phi \dot{e}) \quad (29)$$



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc lệnh điều khiển bù theo mô hình chuẩn lai.

Lệnh điều khiển bù u_{cp} được chọn như (30):

$$u_{cp} = -(\Phi B_m)^{-1} [\Phi A_m s_{cp} - (\Phi B_m)^{-1} \Phi \dot{e} + \delta \text{sgn}(s_{cp})] \quad (30)$$

Khi đó:

$$\dot{V}_{cp} = s_{cp} [\Phi (\dot{e} - \dot{e}) - \delta \text{sgn}(s_{cp})] \quad (31)$$

Biến đổi (31) nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{cp} &= s_{cp} [\Phi \varepsilon - \delta \text{sgn}(s_{cp})] \\ &= |s_{cp}| [\Phi \varepsilon \text{sgn}(s_{cp}) - \delta] < |s_{cp}| (\Phi \tau C - \delta) \end{aligned} \quad (32)$$

Trong (18), nếu chọn τ đủ nhỏ thì $\Phi \tau C < \delta$, với δ là số dương cho trước nhỏ tùy ý.

Đặt $\delta = \Phi \tau C + \mu$ với μ cũng là số dương nhỏ tùy ý. Khi đó: $\Phi \tau C - \delta = -\mu$.

$$\dot{V}_{cp} < |s_{cp}| (\Phi \tau C - \delta) = -\mu |s_{cp}| < 0 \quad (33)$$

Như vậy, với lệnh điều khiển bù được chọn theo (30), hàm Lyapunov (28) sẽ có đạo hàm nhỏ hơn 0 nên giá trị mặt trượt (27) sẽ tiến về 0, điều này có nghĩa là trạng thái của đối tượng thực sẽ tiến về trạng thái của mô hình chuẩn, $x \rightarrow x_m$. Kết quả trên sẽ được kiểm chứng bằng mô phỏng.

4. MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

4.1. Đối tượng mô phỏng

Khảo sát hệ thống điều khiển bám góc của một hệ SISO dưới tác động của nhiễu có mô tả [7]:

$$\ddot{\theta}(t) = -25\dot{\theta}(t) + 133u(t) + D(t) \quad (34)$$

$$D(t) = 50 \times \exp\left[-\frac{(t-1,5)^2}{2 \times 0,2^2}\right] - 20 \times \exp\left[-\frac{(t-3)^2}{2 \times 0,1^2}\right] \quad (35)$$

Sai lệch bám góc và đạo hàm của sai lệch bám:

$$e(t) = \theta_d(t) - \theta(t); \dot{e}(t) = \dot{\theta}_d(t) - \dot{\theta}(t) \quad (36)$$

Đặt: $x_1 = e(t)$; $x_2 = \dot{e}(t)$; $u(t)$ là tín hiệu điều khiển mô men trực tiếp.

Hệ thống (34), (35), (36) được viết dưới dạng phương trình trạng thái (37):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -25x_2 - 133u + (\ddot{\theta}_d + 25\dot{\theta}_d) + D \end{cases} \quad (37)$$

Giả sử, vị trí góc và tốc độ góc ban đầu của hệ thống là:

$$\theta_d(0) = -0,5 \text{ rad}; \dot{\theta}_d(0) = -0,5 \text{ rad/s} \quad (38)$$

Trạng thái ban đầu của hệ thống với $\theta_d(t) = 1(t)$ là: $[x_1 \ x_2]^T = [1,5 \ 0,5]^T$

Trạng thái ban đầu của hệ thống với $\theta_d(t) = \sin(t)$ là: $[x_1 \ x_2]^T = [0,5 \ 1,5]^T$

Tham số bộ điều khiển: $\lambda = 250$; $K = 50$; $\gamma = 0,1$; $\tau = 0,02$; $\delta = 0,1$; $\Phi = [1 \ 0]$.

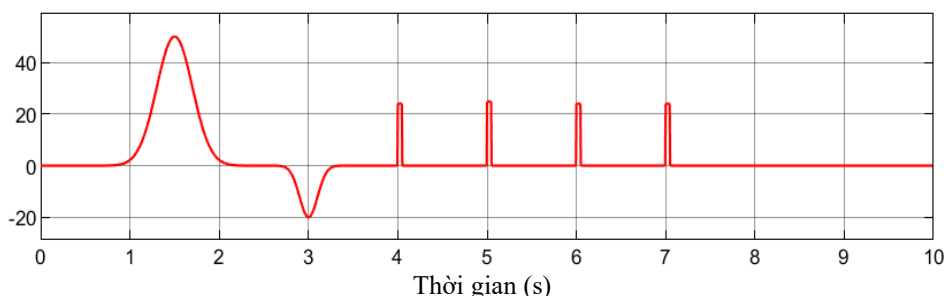
Tham số của mặt trượt: $s = 250x_1 + x_2$

Chọn mô hình chuẩn có phương trình động học như (39):

$$\begin{cases} \dot{x}_{1m} = x_{2m} \\ \dot{x}_{2m} = -20x_{2m} - 100u \end{cases} \quad (39)$$

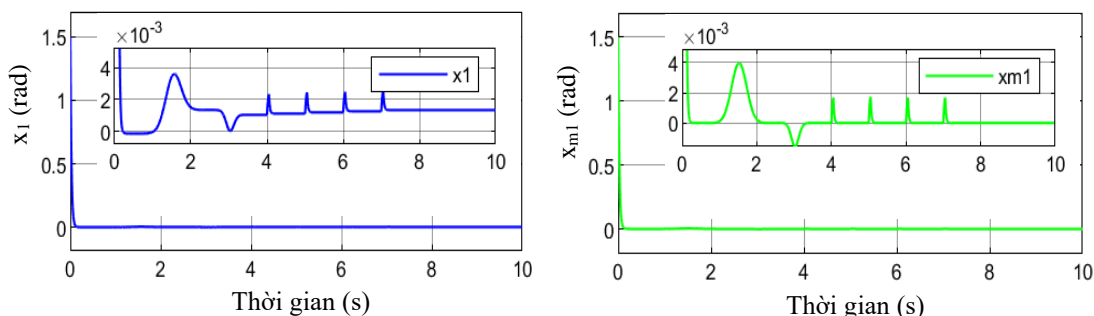
4.2. Kết quả mô phỏng

Mô phỏng được thực hiện với đầu vào dạng $1(t)$ và dạng $\sin(t)$. Nhiễu giả định có biên dạng như hình 4. Nhiễu tron (35) tác động vào hệ thống tại các thời điểm 1,5 s và 3 s. Nhiễu đột biến xuất hiện ở các thời điểm 4 s, 5 s, 6 s và 7 s, tác động trong khoảng thời gian 0,5 s.

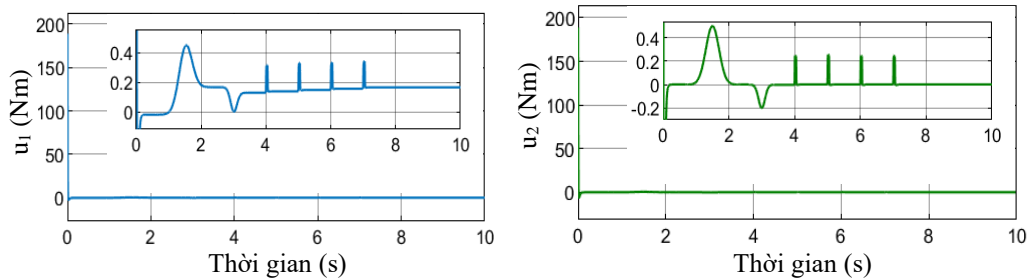


Hình 4. Tín hiệu nhiễu phụ thuộc thời gian: dạng tron và đột biến.

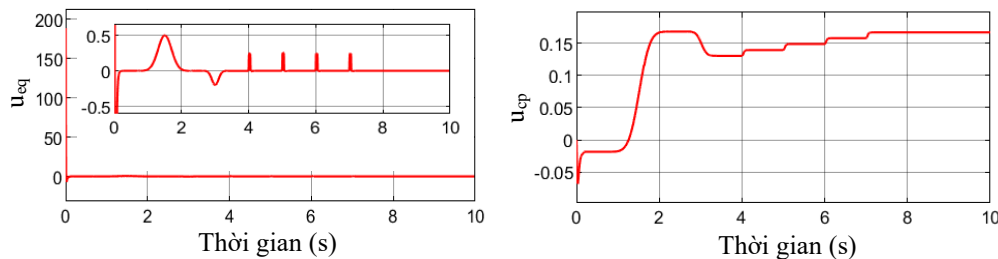
Trường hợp 1: Mô phỏng với đầu vào $1(t)$.



Hình 5. Trạng thái x_1 của mô hình thực và x_{m1} của mô hình chuẩn.



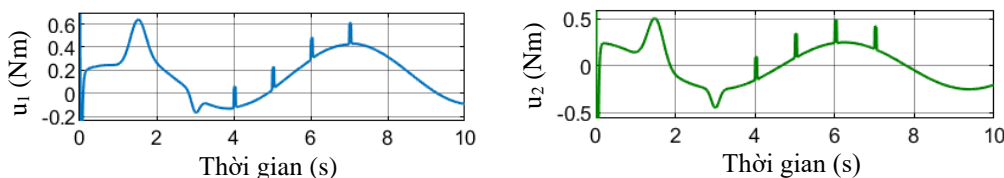
Hình 6. Tín hiệu điều khiển u_1 và u_2 .



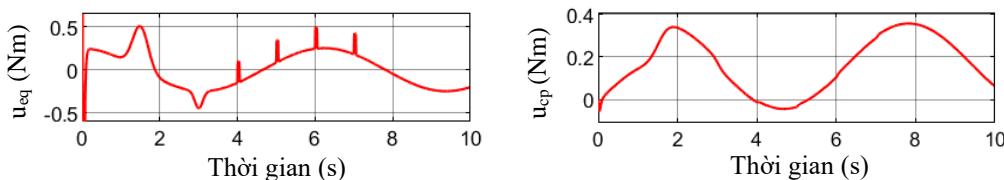
Hình 7. Tín hiệu điều khiển tương đương u_{eq} và điều khiển bù u_{cp} .

Nhận xét: Các thành phần điều khiển đều có biên dạng mượt mà, đảm bảo hệ thống không có chattering. Sau quá trình quá độ, trạng thái của hệ thống thực luôn bám sát trạng thái của mô hình chuẩn, trong đó có sự đóng góp tích cực của tín hiệu điều khiển bù u_{cp} (hình 7). Trực quan thấy rằng tại các thời điểm xuất hiện nhiễu (hình 4), trạng thái của hệ thống đều bị ảnh hưởng và thể hiện rõ nét trên hình 5. Tuy nhiên, nhờ có điều khiển bù u_{cp} nên giá trị trạng thái của hệ thống thực luôn được đảm bảo hội tụ về 0 (dưới 10^{-3} rad). Khi xuất hiện nhiễu, thành phần điều khiển bù đều có phản ứng mang tính thích nghi, đáp ứng tốt với nhiễu đột biến ở các thời điểm 4 s, 5 s, 6 s, 7 s và cũng đáp ứng tốt với nhiễu trơn (35).

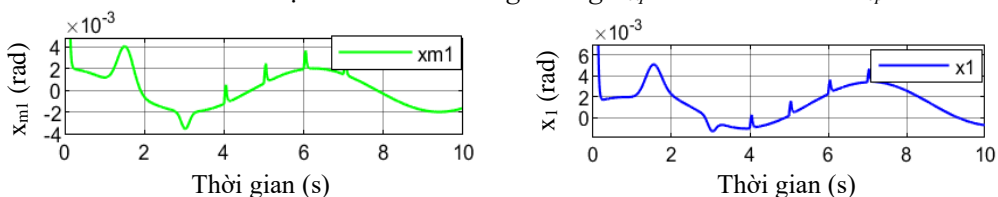
Trường hợp 2: Mô phỏng với đầu vào $\sin(t)$.



Hình 8. Tín hiệu điều khiển u_1 và u_2 .



Hình 9. Tín hiệu điều khiển tương đương u_{eq} và điều khiển bù u_{cp} .



Hình 10. Trạng thái x_{m1} của mô hình chuẩn và x_1 của mô hình thực.

Nhận xét: Tương tự như với đầu vào $1(t)$, sau quá trình quá độ, các thành phần điều khiển được tổng hợp đều có biên dạng mượt mà (hình 8, hình 9), đảm bảo cho hệ thống không có chattering. Trong hơn 3 giây đầu tiên, hệ thống chịu tác động của nhiễu trơn; còn tại các thời điểm 4 s, 5 s, 6 s và 7 s hệ thống chịu tác động của nhiễu đột biến; tuy vậy, chế độ trượt vẫn được đảm bảo và trạng thái của hệ thống thực luôn bám sát trạng thái của mô hình chuẩn nhờ điều khiển bù u_{cp} . Chính nhờ có u_{cp} nên sai số vận tốc (trạng thái x_2) nhanh chóng tiến về 0, đảm bảo cho x_1 nhanh chóng tiến về 0 (dưới 10^{-3} rad) (hình 10). Như vậy, khi sử dụng chế độ trượt để tạo lệnh điều khiển bù, hệ thống thực sẽ bám chính xác theo mô hình chuẩn, và khi đó chúng ta hoàn toàn có thể điều khiển đối tượng có tham số bất định chịu tác động của nhiễu trên cơ sở sử dụng chế độ trượt.

5. KẾT LUẬN

Bằng cách sử dụng mô hình chuẩn lai, một để xác định sai số mô hình, một để tổng hợp lệnh điều khiển, kết hợp với tạo lệnh bù trên cơ sở chế độ trượt từ thông tin sai lệch mô hình và sai lệch trạng thái sau bù, lệnh điều khiển cho các hệ thống bất định có nhiễu biến đổi đã được tổng hợp. Lệnh điều khiển gồm hai thành phần, thành phần thứ nhất được tổng hợp theo một phương pháp kinh điển cho mô hình chuẩn của hệ thống, thành phần thứ hai được tổng hợp theo chế độ trượt được đưa trực tiếp vào hệ thống thực như lệnh điều khiển bù. Hệ thống bất định có nhiễu được tổng hợp theo phương pháp đề xuất đảm bảo chất lượng như hệ thống có tham số hằng và không có nhiễu được tổng hợp bằng một phương pháp kinh điển nào đó. Kết quả này có thể áp dụng cho các hệ thống bất định có nhiễu nói chung và cho các hệ thống điều khiển hòa lực nói riêng, khi do ảnh hưởng của sự chuyển động của mục tiêu, của người điều khiển và các phát bắn, hệ thống điều khiển hòa lực luôn có tham số thay đổi và có nhiễu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Việt Hồng, Nguyễn Vũ, Lê Ngọc Quyết, “*Tổng hợp hệ điều khiển bền vững cho lớp đối tượng truyền động điện có mô men quán tính bất định trong dài cho trước*”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CNQS, số 10, tr 198-204, (2015).
- [2]. Cao Tiến Huỳnh, Nguyễn Vũ, Nguyễn Trung Kiên, Ngô Trí Nam Cường, “*Về một phương pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi cho một lớp đối tượng phi tuyến dưới tác động của nhiễu bên ngoài*”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CNQS, số 17, tr 6-15, (2012).
- [3]. Ngô Trí Nam Cường, “*Một phương pháp nhận dạng và bù trừ các thành phần bất định cho một lớp đối tượng phi tuyến*”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CNQS, số 17, tr 53-61, (2017).
- [4]. Trần Ngọc Bình, “*Tổng hợp bộ điều khiển phi tuyến cho hệ truyền động búa pháo phòng không tầm thấp chịu tác động của nhiễu đột biến*”, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội, (2018).
- [5]. Saleh Mobayen, Vahid Johari Majid, “*Robust tracking control method based on composite nonlinear feedback technique for linear systems with time-varying uncertain parameters and disturbances*”, Nonlinear Dynamics, **70**(1), (2012), doi:10.1007/s11071-012-0439-6.
- [6]. Trần Ngọc Bình, Vũ Quốc Huy, Nguyễn Vũ, “*Nâng cao chất lượng ổn định đường ngắm và bám sát mục tiêu cho hệ điều khiển hòa lực của PPK ZU23mm-2N cải tiến*”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CNQS, Số 49, tr. 26-34, (2017).
- [7]. Huy, V.Q., Binh, T.N, “*Adaptive Terminal Sliding Mode Control by Identifying Uncertain and Mutated Disturbance with Reference Model*”, J. Electr. Eng. Technol. Vol. 15, pp. 1789–1796, (2020), doi: 10.1007/s42835-020-00432-7
- [8]. Abdul Ghaffar et al., “*A combined model reference adaptive control law for multirotor UAVs*”, IET Control Theory Appl; 15:1474–1487, (2021).
- [9]. S. Pankaj, J. S. Kumar and R. K. Nema, “*Comparative analysis of MIT rule and Lyapunov rule in model reference adaptive control scheme*”, Innovative Systems Design and Engineering, **2**(4), 154–162, (2011).
- [10]. G.-Q. Wu, S.-N. Wu, Y.-G. Bai and L. Liu, “*Experimental studies on model reference adaptive control with integral action employing a rotary encoder and tachometer sensors*”, Sensors, **13**(4), 4742–4759, (2013).

- [11]. Vu Quoc Huy, “Asymptotic Stability of Dynamical Systems With Barbalat’s Lemma and Lyapunov Function”, Journal of Military Science and Technology, No. CSCE6, pp. 122-30, (2022), doi:10.54939/1859-1043.j.mst.CSCE6.2022.122-130.

ABSTRACT

Sliding mode control with a hybrid reference model in time-varying uncertain parameters and disturbance systems

In this paper, the model following the problem of a system with time-varying uncertain parameters and disturbances is concerned. There are two reference models used for synthesizing control law. By using the first reference model with the same control input as the actual system, the error of the first reference model output and real system output are determined. At the same time, the primary control law is synthesized for another reference model for the desired performance. The compensated control has two parts: the first one is synthesized from the pseudo derivative of the error of the first reference model output and the actual system; the second one is synthesized from the error of the second model output and system output by sliding mode control technique. The control law applied to the actual system is the total of the primary and compensated control law. The system with a control law synthesized by this algorithm will follow the model. The results are verified by simulation.

Keywords: Reference model; Uncertain system; Time-varying disturbances; Sliding mode control; Compensated control.