

Điều khiển trượt với luật tiếp cận mặt trượt lũy thừa trong hệ truyền động bám sử dụng hệ servo đồng bộ ở chế độ vị trí - mô men

Nguyễn Thị Thu Thảo, Vũ Quốc Huy*

Viện Tự động hóa KTQS.

*Email: maihuyvu@gmail.com

Nhận bài: 12/4/2022; Hoàn thiện: 28/4/2022; Chấp nhận: 06/5/2022; Xuất bản: 28/6/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.80.2022.31-38>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả phân tích và tổng hợp luật điều khiển cho hệ truyền động bám sử dụng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu và bộ khuếch đại công suất đi kèm. Xem xét động cơ đồng bộ và bộ khuếch đại công suất là một đối tượng, luật điều khiển trượt với tốc độ tiếp cận mặt trượt không đổi được bổ sung thành phần lũy thừa tạo ra tín hiệu điều khiển mô men kháng nhiễu có xét đến giá trị chặn trên và chặn dưới của nhiễu. Quá trình tổng hợp luật điều khiển được bảo đảm toán học chặt chẽ trên cơ sở ổn định Lyapunov. Mô phỏng trong Matlab thể hiện trực quan kết quả nghiên cứu.

Từ khóa: Hệ truyền động PMSM; Điều khiển trượt; Luật tiếp cận mặt trượt lũy thừa; Ổn định Lyapunov.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, do đặc tính mô men cứng với dải thay đổi tốc độ rộng, nhiều hệ truyền động bám đã và đang sử dụng động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) đi kèm với bộ khuếch đại công suất (KĐCS) (hay bộ biến tần). Cách tiếp cận theo hướng ứng dụng này tạo thuận lợi trong thiết kế và tổng hợp hệ thống điều khiển nhờ khai thác những thuật toán và phương pháp điều khiển động cơ PMSM cơ bản đã được tích hợp sẵn trong các bộ biến tần. Tuy nhiên, với các hệ thống bám chất lượng cao như các hệ thống bắt bám mục tiêu trên không, hệ truyền động bám phần tử bán [1-3], do hệ thống hoạt động ở chế độ quá độ liên tục nên chỉ riêng thuật toán điều khiển cơ bản tích hợp bên trong bộ KĐCS không đảm bảo chất lượng bám cho hệ thống. Mâu thuẫn này làm nảy sinh vấn đề khoa học, cần có các bộ điều khiển vòng ngoài phù hợp. Mặc dù trong một số nghiên cứu như [2-3] các nhà thiết kế hệ thống đã tổng hợp các bộ điều khiển như PI, PIV, PIDV hay lịch trình độ lợi (gain scheduling); song khi tốc độ tín hiệu đặt thay đổi vẫn cần phải có những điều chỉnh tham số luật điều khiển mang tính chủ quan, làm hạn chế tính thích nghi của hệ thống.

Điều khiển cấu trúc biến đổi (VSC) và điều khiển trượt (SMC) được Utkin, Itkis, Emelyanov đề xuất; trải qua nhiều thập kỷ, VSC và SMC đã được cộng đồng học thuật quan tâm nghiên cứu và ngày càng làm phong phú, sâu sắc thêm [4-5]. SMC hiện đang được ứng dụng như một giải pháp thiết kế chung cho rất nhiều hệ thống điều khiển như hệ tuyến tính, hệ phi tuyến, các hệ thống có nhiều đầu vào đầu ra (MIMO), hay hệ rời rạc, hệ ngẫu nhiên. Khi nằm trong chế độ trượt, hệ thống không nhạy cảm với nhiễu, do đó tính bền vững của hệ thống được đảm bảo [4].

Trong nghiên cứu này, xem cơ cấu chấp hành động cơ PMSM và bộ KĐCS là một đối tượng điều khiển, song khác với các nghiên cứu [1, 3], trong đó, điều chỉnh KĐCS-PMSM ở chế độ vị trí; bài báo đề xuất một cách tiếp cận mới, theo đó, bộ KĐCS được điều chỉnh để cùng với động cơ PMSM làm việc ở chế độ kết hợp vị trí – mô men. Cách tổng hợp này nhằm tận dụng được độ phân giải chính xác của chế độ điều khiển vị trí và tạo thuận lợi cho luật điều khiển vòng ngoài nhờ chế độ điều khiển trực tiếp mô men thông qua một đầu vào điện áp. Luật điều khiển trượt vòng ngoài được tổng hợp trên cơ sở kết hợp tốc độ tiếp cận mặt trượt không đổi và tốc độ tiếp cận lũy thừa. Thông thường, thành phần bù nhiễu được định lượng bằng giá trị chặn trên của nhiễu. Tuy nhiên, bài báo này sử dụng cả chặn trên và chặn dưới của nhiễu để cho lượng bù nhiễu ít hơn, vì thế tốc độ mặt trượt không đổi được giới hạn trong một tập xác định ngặt hơn.

2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA ĐỐI TƯỢNG ĐIỀU KHIỂN

Hệ truyền động bám sử dụng cơ cấu chấp hành KĐCS-PMSM có phương trình động lực học (1), hiện là xu thế công nghệ và cấu hình phần cứng được nhiều nghiên cứu ứng dụng [1-3, 8].

$$J_m \ddot{\theta}(t) = M_m + M_L - b\dot{\theta} \quad (1)$$

Với: $\ddot{\theta}$, $\dot{\theta}$ là gia tốc góc và tốc độ góc thực quy về đầu trục động cơ.

b là hệ số ma sát nhớt, phụ thuộc vào tốc độ quay của động cơ.

M_m là mô men đầu trục động cơ (tín hiệu điều khiển mô men).

M_L là mô men nhiễu tải thay đổi theo thời gian.

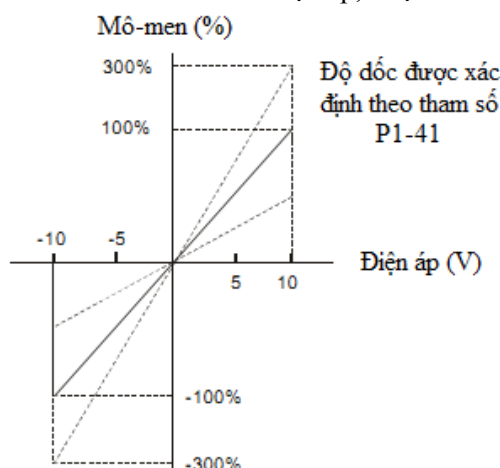
J_m là mô men quán tính của động cơ.

Khi bộ KĐCS được cài đặt ở chế độ điều khiển kết hợp vị trí - mô men, tín hiệu điều khiển đưa vào bộ KĐCS là điện áp một chiều $u_v(t) = [-10; +10] V$. Bộ điều khiển vòng ngoài sẽ tổng hợp tín hiệu điều khiển $u_v(t)$, còn việc áp đặt mô men lên trục động cơ do bộ KĐCS đảm nhiệm.

Với vòng điều khiển dòng điện đã cài đặt sẵn, biến tần sẽ hoạt động ở chế độ điều khiển trực tiếp mô men, động học của khối KĐCS – PMSM được mô tả bởi khâu tỉ lệ giữa mô men và điện áp điều khiển đưa vào biến tần [9].

$$M_m = k_m u_v \quad (2)$$

Trong đó: k_m là hệ số điều chỉnh mô men theo điện áp, được thể hiện trực quan trên hình 1.



Hình 1. Đặc tính điều khiển trực tiếp mô men cơ cấu chấp hành Delta [10].

Đặt sai lệch bám góc và đạo hàm của sai lệch bám như (3):

$$\begin{cases} e(t) = \theta_d(t) - \theta(t) \\ \dot{e}(t) = \dot{\theta}_d(t) - \dot{\theta}(t) \end{cases} \quad (3)$$

Với: θ là góc thực; θ_d là góc đặt.

Kết hợp (1) (2) và (3), phương trình động lực học của đối tượng KĐCS-PMSM là:

$$-J_m \ddot{e} - b \dot{e} - k_m u_v + J_m \ddot{\theta}_d + b \dot{\theta}_d - M_L = 0 \quad (4)$$

Đặt: $x_1 = e(t)$; $x_2 = \dot{e}(t)$

Đối tượng (4) được viết dưới dạng phương trình trạng thái (5):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{b}{J_m} x_2 - \frac{k_m}{J_m} u_v + \left(\ddot{\theta}_d + \frac{b}{J_m} \dot{\theta}_d - \frac{1}{J_m} M_L \right) \end{cases} \quad (5)$$

3. TỔNG HỢP LUẬT ĐIỀU KHIỂN VỚI LUẬT TIẾP CẬN MẶT TRƯỢT LŨY THỪA

Chọn mặt trượt:

$$S = \lambda x_1 + x_2 = 0, \lambda > 0 \quad (6)$$

Lấy đạo hàm bậc nhất hàm trượt và thay \dot{x}_2 từ phương trình trạng thái (5):

$$\dot{S} = \lambda \dot{x}_1 + \dot{x}_2 = \lambda x_2 + \dot{x}_2 = \left(\lambda - \frac{b}{J_m} \right) x_2 - \frac{k_m}{J_m} u_v + \left(\ddot{\theta}_d + \frac{b}{J_m} \dot{\theta}_d - \frac{1}{J_m} M_L \right) \quad (7)$$

Luật tiếp cận mặt trượt với tốc độ lũy thừa của hàm trượt được sử dụng trong một số nghiên cứu [4, 6]. Luật tiếp cận này làm tăng tốc độ tiếp cận mặt trượt khi trạng thái hệ thống xa mặt trượt; giảm tốc độ tiếp cận khi trạng thái hệ thống gần đến mặt trượt. Kết quả là hệ thống nhanh chóng vào chế độ trượt và hạn chế đáng kể chattering.

Trên cơ sở luật tiếp cận mặt trượt cơ bản có tốc độ tiếp cận mặt trượt không đổi và luật tiếp cận mặt trượt có tốc độ tiếp cận mặt trượt lũy thừa [4], chúng tôi đề xuất luật tiếp cận mặt trượt kết hợp có biểu diễn như (8).

$$\dot{S} = -\varepsilon \text{sign}(S) - k|S|^\alpha \text{sign}(S), \varepsilon > 0, k > 0, 1 > \alpha > 0 \quad (8)$$

Từ (7) và (8), đồng nhất thức, nhận được:

$$\left(\lambda - \frac{b}{J_m} \right) x_2 - \frac{k_m}{J_m} u_v + \left(\ddot{\theta}_d + \frac{b}{J_m} \dot{\theta}_d - \frac{1}{J_m} M_L \right) = -\varepsilon \text{sign}(S) - k|S|^\alpha \text{sign}(S) \quad (9)$$

Từ (9) nhận được luật điều khiển (10) như sau:

$$u_v = \frac{1}{k_m} [(\lambda J_m - b)x_2 + \varepsilon J_m \text{sign}(S) + k J_m |S|^\alpha \text{sign}(S) + (J_m \ddot{\theta}_d + b \dot{\theta}_d - M_L)] \quad (10)$$

Nếu đo được nhiều tải M_L , công thức (10) sẽ là một luật điều khiển tường minh. Ở đây, xét trường hợp nếu chỉ biết M_L bị chặn, có nghĩa là: $M_1 \leq M_L \leq M_2$, thì (10) không còn tường minh nữa. Do đó, luật điều khiển (10) được chúng tôi thay bởi luật điều khiển (11), trong đó M_L được thay bởi thành phần bù nhiễu \bar{M} .

$$u_v = \frac{1}{k_m} [(\lambda J_m - b)x_2 + \varepsilon J_m \text{sign}(S) + k J_m |S|^\alpha \text{sign}(S) + (J_m \ddot{\theta}_d + b \dot{\theta}_d - \bar{M})] \quad (11)$$

Nội dung dưới đây trình bày điều kiện đối với thành phần bù nhiễu \bar{M} và điều kiện ngặt hơn đối với tốc độ tiếp cận mặt trượt không đổi ε .

Lựa chọn một hàm Lyapunov V có dạng (12) và lấy đạo hàm V theo thời gian:

$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad (12)$$

$$\dot{V} = S \dot{S} \quad (13)$$

Sau đây, chúng tôi tìm điều kiện để $\dot{V} < 0$; Khi đó, cần phải xem xét đến động học của mặt trượt S , hay nói cách khác phải xem xét đến tốc độ của mặt trượt S .

Thay luật điều khiển (11) vào phương trình thứ 2 của (5) và biến đổi nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 + \lambda x_2 &= -\varepsilon \text{sign}(S) - k|S|^\alpha \text{sign}(S) + \frac{\bar{M} - M_L}{J_m} \\ \dot{S} &= -\varepsilon \text{sign}(S) - k|S|^\alpha \text{sign}(S) + \frac{\bar{M} - M_L}{J_m} \end{aligned} \quad (14)$$

Từ (8) và (14) thấy rằng, khi không đo được nhiều tải M_L , mà chỉ được tính toán gián tiếp thông qua các giới hạn trên, dưới của nhiễu thì tốc độ tiếp cận mặt trượt thực tế cần được bổ sung một lượng $\frac{\bar{M} - M_L}{J_m}$. Sự thay đổi này hoàn toàn phù hợp vì \dot{S} ở (8) tương ứng với luật điều khiển

(10), còn \dot{S} ở (14) tương ứng với luật điều khiển (11). Thay (14) vào (13):

$$\dot{V} = -\varepsilon|S| + \frac{\bar{M} - M_L}{J_m}S - k|S|^{\alpha+1} = \dot{V}_1 - k|S|^{\alpha+1} \quad (15)$$

Trong đó:

$$\dot{V}_1 = -\varepsilon|S| + \frac{\bar{M} - M_L}{J_m}S$$

* Khi $S = 0$:

$$\dot{V}_1 = 0 \rightarrow \dot{V} = 0$$

* Khi $S > 0$:

$$\dot{V}_1 = -\varepsilon S + \frac{\bar{M} - M_L}{J_m}S < 0 \rightarrow \varepsilon > \frac{\bar{M} - M_L}{J_m} \quad (15a)$$

Do $\varepsilon > 0$ nên $\bar{M} - M_L > 0 \rightarrow \bar{M} > M_L$. Chọn $\bar{M} = M_2$.

* Khi $S < 0$:

$$\dot{V}_1 = \varepsilon S + \frac{\bar{M} - M_L}{J_m}S < 0 \rightarrow \varepsilon > -\frac{\bar{M} - M_L}{J_m} \quad (15b)$$

Do $\varepsilon > 0$ nên $\bar{M} - M_L < 0 \rightarrow \bar{M} < M_L$. Chọn $\bar{M} = M_1$.

Kết hợp (15a) và (15b), chọn \bar{M} như (15c):

$$\bar{M} = \frac{M_1 + M_2}{2} - \frac{M_1 - M_2}{2} \text{sign}(S) \quad (15c)$$

$$\varepsilon \geq \left| \frac{\bar{M} - M_L}{J_m} \right|$$

Tham số nhiễu M_L biến đổi trong dải $[M_1; M_2]$, chọn $\bar{M} = M_2$ và $M_L = M_1$ để có được điều kiện ngặt hơn của ε . Khi đó:

$$\varepsilon \geq \left| \frac{M_2 - M_1}{J_m} \right| \quad (15d)$$

Từ (15c) và (15d) cho thấy, $\dot{V} \leq 0 \forall S$. Do $\dot{V} \leq 0$ nên V là hàm đơn điệu giảm, $V \leq V(0)$ hay V bị chặn, vì thế S cũng bị chặn. Điều kiện (15c) và (15d) mới chỉ đảm bảo \dot{V} là một hàm bán xác định âm nên V chưa thể là một hàm Lyapunov thực sự. Không mất tính tổng quát, xem xét M_L là nhiễu biến đổi chậm (mục đích để cho \dot{V} có biểu diễn toán học gọn hơn), khi đó:

$$\frac{dM_L}{dt} = \frac{d(\bar{M} - M_L)}{dt} = 0$$

Từ (15), tính đạo hàm cấp hai của V :

$$\begin{aligned} \ddot{V} = & \varepsilon^2 + \varepsilon k|S|^\alpha + [\varepsilon k(\alpha + 1)|S|^\alpha + k^2(\alpha + 1)S^{2\alpha}] \text{sign}(S) \\ & - \left[\frac{\varepsilon(\bar{M} - M_L)}{J_m} + \frac{k(\bar{M} - M_L)}{J_m} |S|^\alpha \right] \text{sign}(S) - \left(\frac{\bar{M} - M_L}{J_m} \right)^2 \end{aligned} \quad (16)$$

Công thức (16) cho thấy, \ddot{V} là hàm số của S . Vì S bị chặn nên \ddot{V} cũng bị chặn, do đó, \dot{V} là hàm liên tục đều. Bổ đề Barbalat đảm bảo rằng, $\dot{V} = -\varepsilon|S| + \frac{\bar{M}-M_L}{J_m}S - k|S|^{\alpha+1} \rightarrow 0$, kéo theo $S \rightarrow 0$. Luật điều khiển (11) đảm bảo cho hệ thống (5) tồn tại chế độ trượt với điều kiện $\varepsilon \geq \left| \frac{M_2 - M_1}{J_m} \right|$.

Khi hệ thống tồn tại chế độ trượt, $S = 0$:

$$S = \lambda x_1 + x_2 = 0 \leftrightarrow \lambda x_1 = -x_2 \leftrightarrow \lambda x_1 = -\dot{x}_1$$

$$\ln|x_1| = -\frac{1}{\lambda}t + C, \quad C = \text{const} \quad (17)$$

Giả sử, trạng thái của hệ thống ở thời điểm rơi vào mặt trượt: $x_{1s}|_{t=t_0} = x_{1s}(t_0)$, ta có:

$$C = \ln|x_{1s}(t_0)| + \frac{1}{\lambda}t_0 \quad (18)$$

Thay (18) vào (17) nhận được:

$$\ln|x_1| = -\frac{1}{\lambda}t + \ln|x_{1s}(t_0)| \quad (19)$$

$$\begin{aligned} x_1 &= x_{1s}(t_0)e^{-\frac{1}{\lambda}(t-t_0)} \\ x_2 &= -\frac{x_{1s}(t_0)}{\lambda}e^{-\frac{1}{\lambda}(t-t_0)} \end{aligned} \quad (20)$$

Vì $\lambda > 0$ nên công thức (20) cho thấy, $x_1, x_2 \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$. Như vậy, luật điều khiển (11) đảm bảo cho trạng thái của hệ thống $x_1, x_2 \rightarrow 0$.

Từ những phân tích trên cho phép chúng tôi phát biểu định lý sau:

Định lý:

Luật điều khiển (11) với mặt trượt (6) và luật tiếp cận mặt trượt (8) đảm bảo cho hệ thống điều khiển (5) tồn tại chế độ trượt và trạng thái $x_1, x_2 \rightarrow 0$ với điều kiện $\bar{M} = \frac{M_2+M_1}{2} + \frac{M_2-M_1}{2} \text{sign}(S)$ và $\varepsilon \geq \left| \frac{M_2-M_1}{J_m} \right|$, trong đó, M_2, M_1 lần lượt là giá trị chặn trên và chặn dưới của nhiễu M_L .

4. MÔ PHỎNG VÀ BÌNH LUẬN

Khảo sát hệ thống có mô tả (21) dưới tác động của nhiễu (22) có mô tả [7]:

$$\ddot{\theta}(t) = -25\dot{\theta}(t) + 133u_v(t) + M_L(t) \quad (21)$$

$$M_L(t) = 50 \times \exp\left[-\frac{(t-1,5)^2}{2 \times 0,2^2}\right] - 20 \times \exp\left[-\frac{(t-3)^2}{2 \times 0,1^2}\right] \in [-20; 50] \quad (22)$$

$$\bar{M} = 15 + 35\text{sign}(S)$$

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

$$\begin{cases} e(t) = \theta_d(t) - \theta(t) \\ \dot{e}(t) = \dot{\theta}_d(t) - \dot{\theta}(t) \end{cases} \quad (23)$$

Đặt: $x_1 = e(t); x_2 = \dot{e}(t)$

Hệ thống (21), (22), (23) được viết dưới dạng phương trình trạng thái (24):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -25x_2 - 133u_v + (\ddot{\theta}_d + 25\dot{\theta}_d) - M_L \end{cases} \quad (24)$$

Giả sử, vị trí góc và tốc độ góc ban đầu:

$$\theta_d(0) = -0,5 \text{ rad}; \quad \dot{\theta}_d(0) = -0,5 \text{ rad/s} \quad (25)$$

Với góc đặt là hàm $\theta_d(t) = 1(t)$, trạng thái ban đầu của hệ thống là:

$$[x_1 \ x_2]^T = [1,5 \ 0,5]^T \quad (26)$$

Thiết lập tham số cho bộ điều khiển: $\lambda = 15; \varepsilon = 70; \alpha = 0,8; k = 20$.

Mặt trượt có dạng:

$$S = 15x_1 + x_2 \quad (27)$$

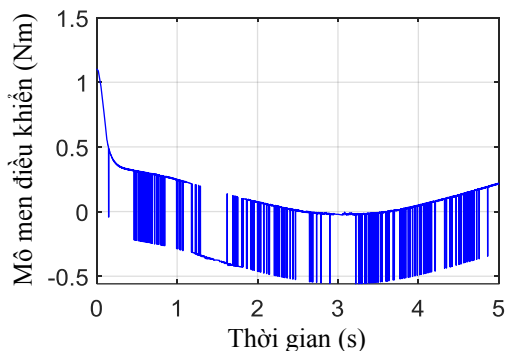
Với đầu vào $\theta_d(t) = \sin(t)$, bộ điều khiển tổng hợp được:

$$u_v = \frac{1}{133} \left\{ [20(15x_1 + x_2)^{0,8} + 70] \text{sign}(15x_1 + x_2) - 10x_2 \right\} \quad (28)$$

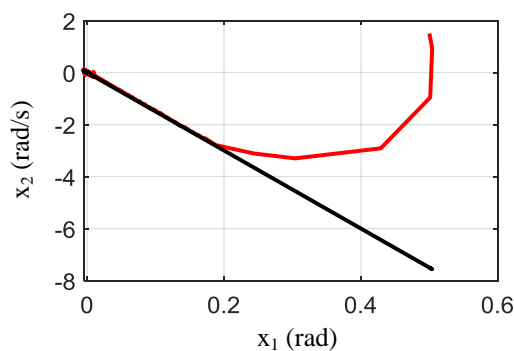
Với đầu vào $\theta_d(t) = 1(t)$, bộ điều khiển tổng hợp được:

$$u_v = \frac{1}{133} \left\{ [20(15x_1 + x_2)^{0.8} + 70] \text{sign}(15x_1 + x_2) - 10x_2 \right\} \quad (29)$$

Trường hợp 1: Mô phỏng với $\varepsilon = 70$.

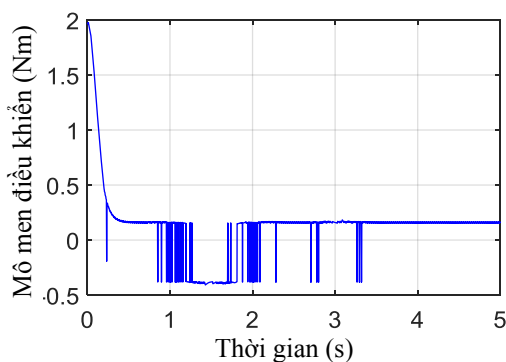


a) Tín hiệu điều khiển;

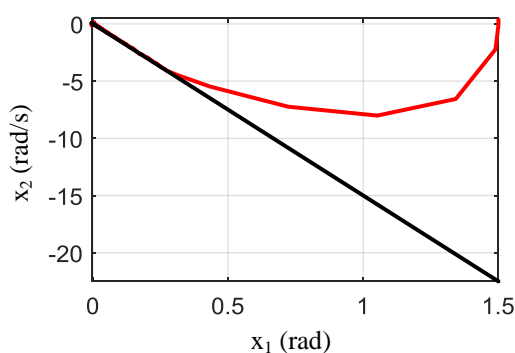


b) Trạng thái của hệ thống.

Hình 2. Tín hiệu điều khiển và quỹ đạo trạng thái của hệ thống với $\theta_d = \sin(t)$.

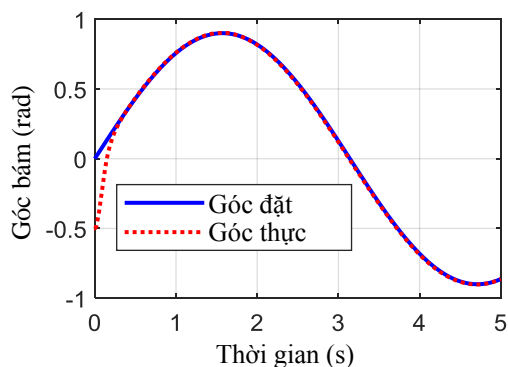


a) Tín hiệu điều khiển;

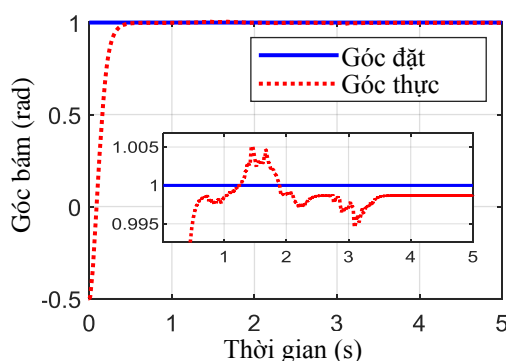


b) Trạng thái của hệ thống.

Hình 3. Tín hiệu điều khiển và trạng thái của hệ thống với đầu vào $\theta_d = 1(t)$.



a) Đáp ứng của hệ thống với $\theta_d = \sin(t)$;



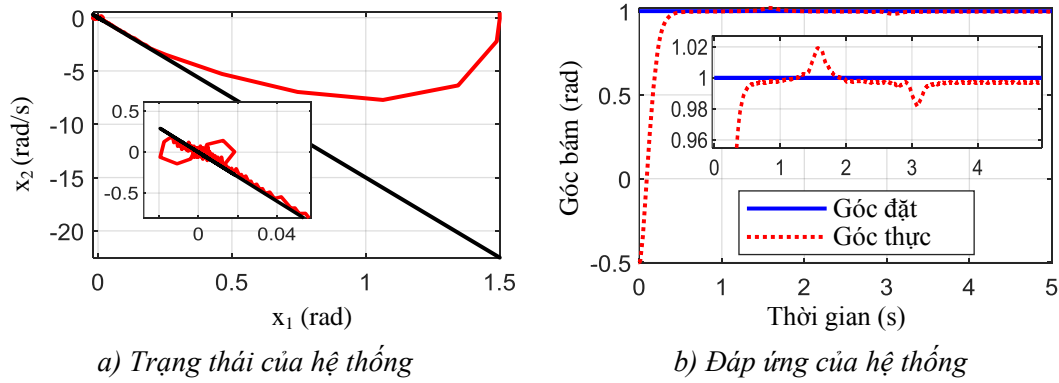
b) Đáp ứng của hệ thống với $\theta_d = 1(t)$.

Hình 4. Đáp ứng của hệ thống với các đầu vào khác nhau.

Nhận xét: Trường hợp $\varepsilon = 70$ thỏa mãn điều kiện của định lý, $\varepsilon \geq \left| \frac{M_2 - M_1}{J_m} \right| = 70$. Mô phỏng thực hiện với đầu vào $1(t)$ và $\sin(t)$ cho thấy, hệ thống tồn tại chế độ trượt và trạng thái của hệ

thống $\rightarrow 0$ (hình 2b, hình 3b). Trên hình 4b, thời gian quá độ của hệ thống $T_{qd} = 0,5s$; nhiễu tải M_L được bù hoàn toàn với sai số bám góc không vượt quá $0,005 \text{ rad}$ ở thời điểm có nhiễu.

Trường hợp 2: Mô phỏng với $\varepsilon = 60$.

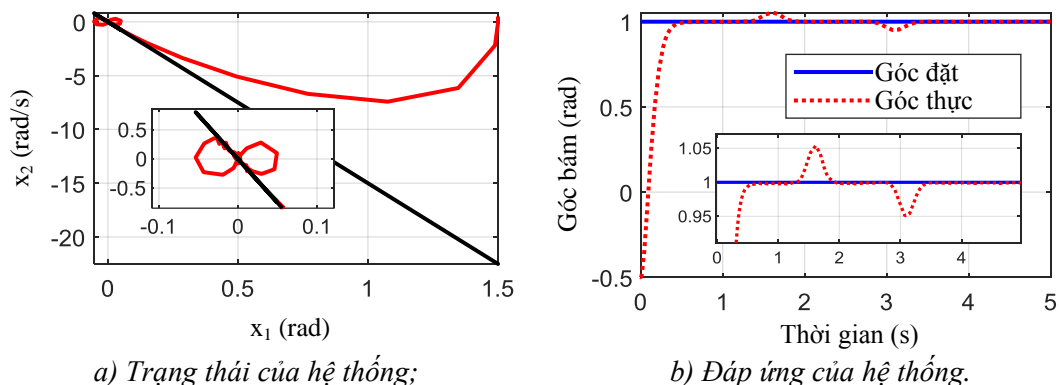


Hình 5. Đáp ứng và trạng thái của hệ với $\theta_d = 1(t)$ khi $\varepsilon = 60$.

Nhận xét: Hệ thống tồn tại chế độ trượt; trạng thái của hệ thống $\rightarrow 0$, song khi xuất hiện nhiễu tải M_L , hình 5b cho thấy, lượng bù nhiễu không đủ để giữ cho hệ thống ở trạng thái cân bằng; hệ thống bị nhiễu đánh bật ra khỏi trạng thái 0, sau đó mới từ từ trở về trạng thái cân bằng. Trên hình 5b, nhiễu tải xuất hiện tại thời điểm $t_1 = 1,5s$ và $t_2 = 3,0s$ đã thể hiện trực quan quá trình này. Nguyên nhân là $\varepsilon = 60$ không thỏa mãn điều kiện $\varepsilon \geq 70$ mà định lý phát biểu.

Trường hợp 3: Mô phỏng với $\varepsilon = 50$.

Hệ thống tồn tại chế độ trượt; trạng thái của hệ thống $\rightarrow 0$, song khi xuất hiện nhiễu tải M_L , đồ thị trên hình 6b cho thấy, lượng bù nhiễu không đủ để giữ cho hệ thống ở trạng thái cân bằng; Hệ thống bị nhiễu đánh bật ra khỏi trạng thái 0, sau đó mới từ từ trở về trạng thái cân bằng. Nguyên nhân là $\varepsilon = 50$ không thỏa mãn điều kiện $\varepsilon \geq 70$ mà định lý phát biểu. So với trường hợp $\varepsilon = 60$ (hình 5b) thì lượng điều khiển bù nhiễu khi $\varepsilon = 50$ (hình 6b) ít hơn, do vậy, hệ thống bị văng khỏi trạng thái cân bằng xa hơn.



Hình 6. Đáp ứng và trạng thái của hệ với $\theta_d = 1(t)$ khi $\varepsilon = 50$.

Nhận xét chung:

- Luật điều khiển (29), (30) với luật tiếp cận mặt trượt (28) đưa hệ thống vào chế độ trượt và đảm bảo trạng thái của hệ thống hội tụ về 0.

- Việc chọn ε phù hợp không chỉ giúp cho hệ thống rơi nhanh vào chế độ trượt mà còn đảm bảo giữ cho hệ thống ở trạng thái cân bằng khi có sự thay đổi của nhiễu tải M_L . Chọn ε càng ngặt thì

trạng thái cân bằng của hệ thống càng được giữ chặt và chất lượng bám của hệ thống càng cao.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một cách tiếp cận mới khi xem xét đối tượng điều khiển sử dụng cơ cấu chấp hành động cơ PMSM và bộ KĐCS đi kèm làm việc ở chế độ kết hợp vị trí – mô men. Cách tiếp cận này tạo thuận lợi cho việc tổng hợp luật điều khiển trực tiếp mô men vòng ngoài thông qua một đầu vào điện áp và vẫn tận dụng được đặc tính phân giải cao của chế độ điều khiển vị trí. Trên cơ sở kết hợp tốc độ tiếp cận mặt trượt truyền thống và tốc độ tiếp cận mặt trượt lũy thừa, luật điều khiển trượt vòng ngoài cho hệ thống bám góc đã được tổng hợp với điều kiện ngặt hơn của thành phần tốc độ tiếp cận mặt trượt không đổi ε . Giải pháp kết hợp các thành phần tốc độ tiếp cận mặt trượt đã đảm bảo tính thích nghi và bền vững cho hệ thống. Kết quả nghiên cứu được chứng minh toán học chặt chẽ và mô phỏng trực quan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Việt Hồng, Nguyễn Vũ, Trần Ngọc Bình, “*Tổng hợp hệ thống điều khiển bền vững cho pháo phòng không 37mm-2N*”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, số 170, tr.127-137, (2015).
- [2]. Vũ Quốc Huy, Trần Ngọc Bình, Nguyễn Văn Đức, “*Điều khiển trượt tựa proxy trong hệ bám của súng pháo phòng không*”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, số Đặc san TĐH, tr. 32-41, (2019).
- [3]. 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 hỏa lực của pháo phòng không Zu23mm-2N cải tiến*”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CN quân sự, số 49, tr. 26-34, (2017).
- [4]. Hung JY, Gao W, Hung JC, “*Variable Structure Control: A Survey*”, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 1, pp. 2-22, (1993).
- [5]. Edwards C, Spurgeon S., “*Sliding Mode Control: Theory and Applications*”, Taylor and Francis, London, (1998).
- [6]. Jinkun Liu and Xinhua Wang, “*Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems: Design, Analysis and MATLAB Simulation*”, Tsinghua University Press, Beijing, (2012).
- [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).
- [8]. Huy Quốc Vũ and Bình Ngọc Trần, “*Synthesis of an Improved Fast Terminal Sliding Mode Controller for Opto-Electronic Observatory in Mobile Vehicle*”, International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, Vol. 9, No. 6, pp. 434-440, (2020).
- [9]. David K., “*Fundamentals of servo motion control*”, Parker Compumotor, (2007).
- [10]. Delta Electronics, ASDA-B2 Series, *User manual*, www.delta.com.tw/product/em/.../manual/DELTA_ASDA-B2_M_EN_20130906.pdf

ABSTRACT

Sliding mode control with exponent sliding surface-reaching law in the tracking drive systems using synchronous servo at torque-position mode

This paper presents the results of the analysis and synthesis of the control law for the tracking drive system using a synchronous motor and its accompanying power amplifier. Considering the synchronous motor and the power amplifier as one object, the sliding mode control law with the constant speed of approaching the sliding surface is added the exponent component, has created the anti-disturbance torque control signal considering the lower bound and upper bound of disturbance. The process of synthesizing control law is guaranteed mathematically based on Lyapunov stability. The simulation in Matlab shows visually the research results.

Keywords: PMSM drive system; Sliding control; Power sliding surface approach law; Lyapunov stability.