

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP ĐIỀU KHIỂN HỆ BÁM ĐIỆN CƠ SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT VÀ BỘ QUAN SÁT NHIỄU

RESEARCH ON SYNTHESIS CONTROL OF TRACKING SYSTEM ELECTROMECHANICAL USING SLIDING MODE CONTROL METHOD AND DISTURBANCE OBSERVER

Trần Đức Chuyển

Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 23/03/2024, chấp nhận đăng ngày 30/05/2024

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp tổng hợp bộ điều khiển cho đối tượng hệ thống truyền động bám điện cơ. Hệ truyền động cơ khí khi xét đến động học của động cơ chấp hành, đây là hệ phi tuyến bậc 3. Luật điều khiển được xây dựng trên cơ sở thuật toán điều khiển trượt và có kết hợp với bộ quan sát nhiễu tác động nhằm tính toán, ước lượng, xây dựng để đánh giá và bù các thành phần nhiễu loạn tác động vào hệ thống. Xét bài toán điều khiển với động cơ AC đồng bộ kích từ nam châm vĩnh cửu trong hệ truyền động điện công nghiệp và quân sự. Thuật toán tổng hợp được kiểm chứng mô phỏng trên Matlab Simulink để minh chứng tính đúng đắn của thuật toán đã đề xuất.

Từ khóa: Điều khiển thông minh, hệ thống truyền động điện, điều khiển bám điện cơ, điều khiển trượt, quan sát nhiễu.

Abstract: This article presents a method for synthesizing a controller for an electric tracking drive system electromechanical. The drive system mechanical when considering the kinematics of the executive motor; This is a three third order nonlinear system. The control law is built on the basis of the sliding mode control algorithm and combined with an impact disturbance observer to calculate, estimate, build to estimate and compensate the components disturbances impact the system. Consider the control problem with a permanent magnet synchronous AC motor in an industrial and military drive system electric. The synthesis algorithm is tested by simulation on Matlab Simulink to demonstrate the correctness of the proposed algorithm.

Keywords: Intelligent control, electric drive system, electromechanical tracking control, sliding mode control, disturbance observer.

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, việc ứng dụng khoa học công nghệ tiên tiến vào lĩnh vực công nghiệp và dân dụng ngày càng phát triển mạnh mẽ. Trong đó, đặc biệt các kỹ thuật điều khiển thông minh, đo lường, giám sát và thu thập dữ liệu; tính toán ước lượng tham số phi tuyến, hệ thống truyền động bám điện cơ (HTB) đã tạo nên những thay đổi đáng kể cho cuộc sống con

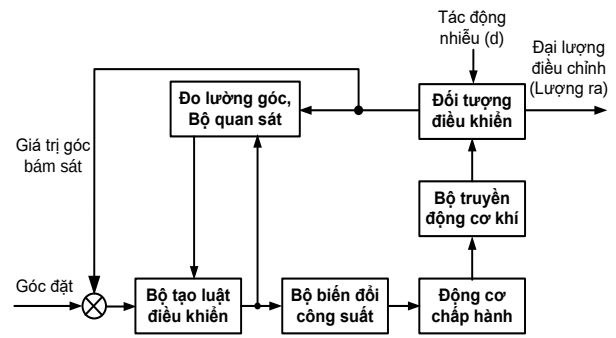
người ở hiện tại và trong tương lai. Một trong những yếu tố đó là sử dụng phương pháp pháp tổng hợp điều khiển hệ phi tuyến trên cơ sở lý thuyết điều khiển hệ thống có cấu trúc biến đổi, đặc biệt là bộ điều khiển (BĐK) trong chế độ trượt được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và có nhiều ưu điểm trong tổng hợp hệ thống phi tuyến [1- 4], đó là: bất biến với nhiễu loạn tác động lên hệ thống và các thành phần

không xác định; kích thước của hệ thống giảm xuống khi xuất hiện chế độ trượt trên mặt trượt. Hệ thống phi tuyến có tính kết tâng có thể ứng dụng phương pháp tổng hợp điều khiển mới: điều khiển trượt kết hợp Backstepping, điều khiển trượt mờ thích nghi Backstepping, điều khiển trượt thích nghi mạng nơ ron và bộ quan sát, điều khiển Feedforward, điều khiển mờ, điều khiển trượt, mạng nơron, kết hợp kỹ thuật học tăng cường trong điều khiển tự động,... Khi kết hợp phương pháp này với điều khiển trong chế độ trượt cho phép dễ dàng tổng hợp cấu trúc mặt trượt, [5, 6, 7]. Phương pháp điều khiển trượt được coi như là có sự ổn định cao trước tác động của nhiễu loạn (bất biến với nhiễu loạn). Với mục đích nâng cao chất lượng điều khiển HTB; trong công nghiệp; khi được đề cập trong [2, 3, 5] khi xét đến tác động của nhiễu loạn, bài báo này trình bày vấn đề nâng cao chất lượng BDK bám vị trí của HTB trên cơ sở điều khiển trong chế độ trượt và bộ quan sát nhiễu với giả thiết các nhiễu tác động biến thiên (do phụ tải, đo lường,...). Tuy nhiên, một trong những hạn chế BDK trượt là hiện tượng dao động trên mặt trượt gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng điều khiển. Trong bài báo này, kỹ thuật hạn chế sự dao động trên mặt trượt được đề xuất để khắc phục những hạn chế trên.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng mô hình động lực học của hệ truyền động

Xét hệ thống HTB có cấu trúc trong Hình 1. Ta xây dựng mô hình biểu diễn toán học cho hệ thống bao gồm: Phương trình động lực học chuyển động phần cơ, phương trình động học của động cơ chấp hành:



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống bám điện cơ

Đây là những HTB như: hệ thống bám của robot công nghiệp, hệ thống bám của máy gia công, máy móc sản xuất công nghiệp,...

Phương trình mô tả chuyển động của đối tượng điều khiển (chuyển động của cơ cấu công tác) có dạng, [2, 3]:

$$J_{eq} \frac{d\omega}{dt} = M_{ct} - M_c \quad (1)$$

trong đó, M_c - mômen cản qui đổi về trục cơ cấu công tác; M_{ct} - mômen đặt lên trục quay của cơ cấu công tác, sinh bởi động cơ điện kích từ nam châm vĩnh cửu thông qua hộp đổi tốc, thanh truyền,...; ω - tốc độ góc của cơ cấu công tác; J_{eq} - mômen quán tính tương đương quy đổi về đầu trục quay của cơ cấu công tác: bao gồm mômen quán tính của rôto động cơ, mômen quán tính của cơ cấu công tác... Ma sát trên các ổ khớp lực ma sát của các phần cơ khí (ma sát trên ổ khớp và phần quay) có dạng rất phức tạp: ma sát nhớt, ma sát khô,... Ta có thể quy đổi về mômen cản tác động lên trục quay phía tải với dạng:

$$M_c = M_t - M_{c0} \text{sign}\varphi + M_{c1}\omega \quad (2)$$

Trong đó, M_t - mômen tải; M_{c0} - hệ số ma sát tĩnh, thành phần ma sát phụ thuộc vào chiều chuyển động; M_{c1} - hệ số ma sát nhớt phụ thuộc vào tốc độ chuyển động. Khi xấp xỉ hóa mômen cản quy đổi lên trục phía tải sinh ra do thành phần ma sát trên các ổ khớp bằng một hàm trơn thì ta cũng có thể xét như một thành

phần không xác định của hệ thống. Các thành phần ảnh hưởng đến mômen quán tính. Trong hệ thống cơ khí truyền động quay còn có sự tham gia của các thành phần chuyển động khác, mà các thành phần này sẽ ảnh hưởng đến mômen quán tính tương đương quy đổi về đầu trục quay của cơ cấu công tác. Đồng thời, sự không đồng trục của các cơ cấu quay cũng ảnh hưởng đến mômen quán tính.

$$J_{eq} = J_{eq0} + \Delta J \quad (3)$$

Giả thiết thành phần J_{eq0} được xác định, ΔJ là thành phần không xác định chính xác được trong quá trình chuyển động của góc quay, nhưng ta biết giá trị giới hạn cực đại của nó:

$$(J_{eq0} + \Delta J) \frac{d\omega}{dt} = M_{ct} - M_c \quad (4)$$

Như vậy, thành phần cản trở chuyển động của cơ cấu góc quay mang tính không xác định là:

$$\Delta M = M_c + \Delta J \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

$$J_{eq0} \frac{d\omega}{dt} = M_c + \Delta M \quad (6)$$

Từ đó ta dựa vào phương trình mômen điện từ sinh ra bởi động cơ chấp hành, ở đây là động cơ đồng bộ kích từ nam châm vĩnh cửu; để tính toán và lập luận theo bài toán cụ thể với cơ cấu công tác và đối tượng điều khiển đầu ra cần điều chỉnh, [3, 6, 7, 8].

Trong bài báo này, tác giả trình bày thuật toán tổng hợp luật điều khiển khi xét đến các thành phần không xác định của mômen cản quy đổi về trục cơ cấu công tác M ; Giả thiết rằng thành phần này là hàm khả vi. Thông qua các bước biến đổi ta có thể đưa thành phần không xác định này về phương trình cuối cùng. Khi đó ta có thể xây dựng luật điều khiển chế áp chúng. Bài toán đặt ra là tổng hợp quy luật của giá trị điện áp đặt vào phần ứng của động cơ; để giá trị góc đầu ra bám sát theo giá trị

góc đầu vào $x_1 \rightarrow x_{1d}$, với giả thiết giá trị góc đầu vào là hàm trơn theo thời gian (có tồn tại đạo hàm đến bậc 3). Giả thiết đo lường đầu ra ta đo được giá trị góc trên cơ cấu công tác.

2.2. Tổng hợp điều khiển trong chế độ trượt

Với mục tiêu là sử dụng phương pháp điều khiển trượt để tổng hợp điều khiển khi đó ta xét bài toán hệ truyền động điện bám sát với hệ bậc 3 có dạng tổng quát như (7).

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1) + x_1 \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) + x_3 \\ \dot{x}_3 = f_3(x_1, x_2, x_3) + bu \\ y = x_1 \end{cases} \quad (7)$$

Trong (6); các hàm phi tuyến khả vi mô tả động học hệ thống và tín hiệu đo được. Bài toán điều khiển được đặt ra như sau: Tổng hợp điều khiển để hệ thống là ổn định tiệm cận theo thuật toán điều khiển trượt, [8, 11].

Khi đó hệ thống ta có thể xét với một hệ thống truyền động điện bám cụ thể bậc ba tương ứng như (7) có dạng như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \sin x_2 + (x_2 + 1)x_3 + d_1 \\ \dot{x}_2 = x_1^5 + x_3 + d_2 \\ \dot{x}_3 = x_1^2 + u + d_3 \\ y = x_1 \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó, d_1, d_2, d_3 lần lượt là thành phần chưa biết của hệ thống. Vấn đề đặt ra: làm cho đầu ra y đảm bảo bám sát theo quỹ đạo mong muốn y_d . Từ (8), đầu ra y được kết nối gián tiếp với u thông qua x . Khi đó ta đi thiết kế BDK như sau: Gọi y_d là quỹ đạo mong muốn, định nghĩa $e = y_d - y$ là sai số bám sát. Cấu trúc điều khiển ở đây được thực hiện là cấu trúc vòng kín, khi đó chỉ có vị trí tĩnh tiến đầu ra là giá trị góc và vận tốc đầu ra của máy công nghiệp được đo lường và phản hồi về để

tạo luật điều khiển.

Lúc đó, biến trượt được chọn như sau:

$$s = \dot{e} + ce \quad (9)$$

với $c > 0$ ta có:

$$\dot{s} = \ddot{e} + c\dot{e} \quad (10)$$

Để có được mối quan hệ của y và u , chúng ta phân biệt y như sau:

$$\dot{y} = \dot{x}_1 = \sin x_2 + (x_2 + 1)x_3 + d_1 \quad (11)$$

Vì phân biểu thức (11) ta có:

$$\begin{aligned} \ddot{y} = \ddot{x}_1 &= \dot{x}_2 \cos x_2 + \dot{x}_2 x_3 + (x_2 + 1)\dot{x}_3 + \dot{d}_1 \\ &= (x_1^5 + x_3 + d_2) \cos x_2 + (x_1^5 + x_3 + d_2)x_3 \\ &\quad + (x_2 + 1)(x_1^2 + u + d_3) + d_1 \\ &= (x_1^5 + x_3)(\cos x_2 + x_3) + (x_2 + 1)x_1^2 \\ &\quad + (x_2 + 1)u + d \end{aligned} \quad (12)$$

Trong đó, thành phần của

$$d = d_2 \cos x_2 + d_2 x_3 (x_2 + 1) d_3 + \dot{d}_1$$

Khi đó chúng ta giả định là $|d| \leq D$

Từ đó để thành phần:

$$f(x) = (x_1^5 + x_3)(\cos x_2 + x_3) + (x_2 + 1)x_1^2 \quad (13)$$

Do đó, phương trình (12) có thể được viết được như sau:

$$\ddot{y} = (x_2 + 1)u + f(x) + d \quad (14)$$

Chúng tỏ rằng, $e = y_d - y$; và biến trượt được chọn là:

$$s(x, t) = ce \quad (15)$$

Trong đó, $c = [c1], c > 0, e = [e]^T$

Phương trình (14) biểu thị mối quan hệ giữa thành phần đầu ra y và đầu vào u .

Khi đó ta chọn điều khiển:

$$u = \frac{1}{x_2 + 1} (v - f + \eta \operatorname{sgn}(s)) \quad (16)$$

trong đó, v là thành phần điều khiển phụ và sẽ

tính toán được thiết kế như sau: $\eta \geq D$.

Chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V = \frac{1}{2} s^2 \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s \cdot \dot{s} = s(\ddot{e} + c\dot{e}) = s(\ddot{y}_d - \ddot{y} + c\dot{e}) \\ &= s(\ddot{y}_d - (x_2 + 1)u - f(x) - d + c\dot{e}) \end{aligned} \quad (18)$$

Từ biểu thức (17), ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s(\ddot{y}_d - (v - f(x) + \eta \operatorname{sign}(s)) - f(x) - d + c\dot{e}) \\ &= s(\ddot{y}_d - v + f(x) - \eta \operatorname{sign}(s) - f(x) - d + c\dot{e}) \end{aligned} \quad (19)$$

Chọn v là:

$$v = \ddot{y}_d + c\dot{e} \quad (20)$$

Từ các biểu thức (18) và (19), ta có:

$$\dot{V} = s(-\eta \operatorname{sign}(s) - d) = ds - \eta |s| \leq (D - \eta)|s| \leq 0 \quad (21)$$

Khi đó, chúng ta có được $\dot{V} \leq 0$

Luật điều khiển đã đề xuất như trên đã đảm bảo tính hội tụ của các biến trạng thái theo lý thuyết Lyapunov. Tuy nhiên, do tín hiệu nhiễu loạn có giá trị không tiền định do vậy để có thông tin về nhiễu trong luật điều khiển trên là điều khó khăn. Sau đây chúng ta sẽ xây dựng bộ quan sát nhiễu như sau.

2.3. Thiết kế bộ quan sát nhiễu

Đối với hệ thống truyền động điện công nghiệp, các dạng máy móc gia công; hay các máy sản xuất công nghiệp tùy thuộc vào loại máy và loại vật liệu gia công sản xuất, trong quá trình vận hành, có nhiều loại nhiễu tác động đến hệ thống như lực ma sát, ảnh hưởng của khe hở khi đảo chiều quay, phản lực) gia công... Trong các loại nhiễu trên, nhiễu ma sát và ảnh hưởng của khe hở, yếu tố đàn hồi,... trong hệ thống truyền động điện có thể được giảm thiểu thông qua công đoạn chế tạo hệ thống máy công nghiệp; còn ảnh hưởng của

phản lực gia công khi máy thực hiện quá trình điều khiển tương tác với vật gia công là thành phần luôn tồn tại và có ảnh hưởng lớn đến chất lượng làm việc của hệ truyền động máy công nghiệp; hơn nữa tùy thuộc vào loại máy móc và loại vật liệu cấu thành lên cơ cấu điều khiển, với yếu tố nhiễu này cũng có rất nhiều đặc trưng khác nhau. Khi HTB làm việc với các trạng thái thay đổi nhỏ hoặc thay đổi yếu tố tác động trong quá trình làm việc mà hệ thống gây ra cũng có độ biến thiên nhỏ theo thời gian, khi đó ta có thể áp dụng bộ quan sát nhiễu được đề xuất như sau [2, 5, 6]: Từ mô hình hệ thống ta tiến hành xây dựng;

$$\ddot{\theta} = bu(t) + f(t) \quad (22)$$

trong đó, θ và $\dot{\theta}$ lần lượt là tín hiệu vị trí và tín hiệu tốc độ, $u(t)$ là đầu vào điều khiển hệ truyền động, $\ddot{\theta}$ là thành phần chưa biết và $f(t)$ là không xác định và bị chặn, $|f(t)| \leq l_f$, thành phần l_f là một hằng số dương.

Từ hệ thống truyền động đã cho ta chọn ta đặt $x_1 = \theta$, $x_2 = \dot{\theta}$; khi đó ta có:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = f(t) + bu(t) \end{cases} \quad (23)$$

Bộ quan sát được tính toán thiết kế như sau:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_1 = x_2 - \frac{k_1}{s}(\hat{x}_1 - \theta) \\ \dot{\hat{x}}_2 = -\frac{k_2}{s^2}(\hat{x}_1 - \theta) \end{cases} \quad (24)$$

Vì vậy ta có:

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \hat{x}_1 = x_1, \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \hat{x}_2 = x_2 \quad (25)$$

Gọi thành phần r là giá trị mong muốn:

$$\text{và } e_1 = x_1 - r, e_2 = x_2 - \dot{r}$$

Vì vậy ta tính toán sai số của hệ thống như sau:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = e_2 \\ \dot{e}_2 = f(t) - \ddot{r} + bu(t) \end{cases} \quad (26)$$

với biến trượt đã được chọn $s = e_2 + ce_1$,

trong đó $c > 0$ là hằng số dương. Hơn nữa, ta ký hiệu thành phần ước lượng quan sát là $\hat{s} = \hat{e}_2 + c\hat{e}_1$, trong đó, $\hat{e}_1 = \hat{x}_1 - r$, $\hat{e}_2 = \hat{x}_2 - \dot{r}$; Vì vậy, ta có:

$$\dot{s}_1 = \dot{e}_2 + c\dot{e}_1 = f(t) - \ddot{r} + bu(t) + ce_2 \quad (27)$$

Chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V = \frac{1}{2}s^2 \quad (28)$$

Vì vậy, vi phân biểu thức (28) ta nhận được:

$$\dot{V} = s.\dot{s} = s(f(t) - \ddot{r} + bu(t) + ce_2) \quad (29)$$

Tín hiệu điều khiển được chọn như sau:

$$u = \frac{1}{b}(\ddot{r} - c\hat{e}_2 - l.\text{sign}(\hat{s})) \quad (30)$$

ở đây, với $l > l_f > 0$.

Sau đó từ (29 và 30):

$$\dot{V} = s.\left(f(t) - \ddot{r} + b\frac{1}{b}(\ddot{r} - c\hat{e}_2 + l.\text{sign}(\hat{s})) + ce_2\right) \quad (31)$$

$$\dot{V} = s(-l.\text{sign}(\hat{s}) + f(t) + c(e_2 - \hat{e}_2)) \quad (32)$$

Từ đó ta tính toán được:

$$\dot{V} = -(\hat{s} + s - \hat{s})l.\text{sign}(\hat{s}) + (\hat{s} + s - \hat{s})f(t) + (\hat{s} + s - \hat{s})c(e_2 - \hat{e}_2) \quad (33)$$

Khi đó,

$$\dot{V} \leq -\hat{s}l.\text{sign}(\hat{s}) + l|s - \hat{s}| + (|f(t)| + c|e_2 - \hat{e}_2|)|\hat{s}| + |s - \hat{s}|(|f(t)| + c|e_2 - \hat{e}_2|) \quad (34)$$

Ta có:

$$\dot{V} = -l|\hat{s}| + l|s - \hat{s}| + (|f(t)| + c|x_2 - \hat{x}_2|)|\hat{s}| + |s - \hat{s}|(|f(t)| + c|x_2 - \hat{x}_2|) \quad (35)$$

Thay số vào và tính toán ta được:

$$\dot{V} \leq -l|\hat{s}| + (l_f + c|x_2 - \hat{x}_2|)|\hat{s}| + |s - \hat{s}|(l + l_f + c|x_2 - \hat{x}_2|) \quad (36)$$

Do sự hội tụ của thành phần quan sát được tính toán ước lượng được nên ta có:

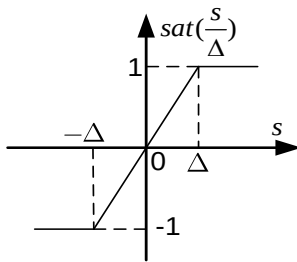
$|x_2 - \hat{x}_2|$ và $|s - \hat{s}|$ bị chặn và đủ nhỏ, do đó ta có: $|s - \hat{s}|(l + l_f + c \cdot |x_2 - \hat{x}_2|)$.

Khi đó, chúng ta có được thành phần $\dot{V} < 0$. Hệ thống đảm bảo tính hội tụ của các biến trạng thái theo lý thuyết Lyapunov. Hệ thống hoàn toàn quan sát được. Như vậy, nhiều tác động có thể ước lượng bằng việc thiết kế bộ quan sát nhiễu và việc bù nhiễu có thể được thực hiện trong điều khiển phản hồi; hệ thống có chứa các thành phần phi tuyến bất định.

2.4. Hạn chế dao động trên mặt trượt

Một hạn chế của chế độ trượt là hiện tượng dao động (Chattering) trên mặt trượt, nó tác động không tốt đến hệ thống và thiết bị truyền động. Để hạn chế dao động trên mặt trượt, ta sử dụng hàm bão hòa Saturation thay cho hàm sign trong luật điều khiển (29). Phương trình mô tả hàm Saturation “hàm bão hòa” được cho như phương trình (36).

$$sat(s) = \begin{cases} 1, & s > \Delta \\ ls, & |s| \leq \Delta, l = 1/\Delta \\ -1, & s < -\Delta \end{cases} \quad (36)$$



Hình 2. Đồ thị hàm bão hòa hạn chế dao động trên mặt trượt

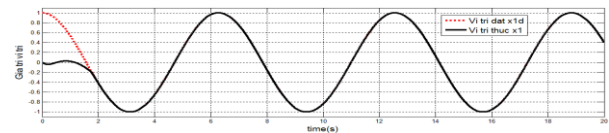
Đồ thị hàm bão hòa nhằm hạn chế dao động trên mặt trượt được biểu diễn như hình 2.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

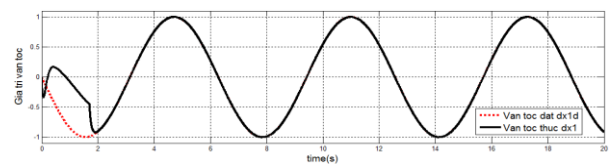
Để thực hiện những đánh giá về chất lượng của BDK đã được đề xuất, tác giả xây dựng mô phỏng thực nghiệm trên Matlab - Simulink cho đối tượng là HTB của hệ truyền động robot công nghiệp; máy công nghiệp (hệ

thống máy gia công công cụ, máy sản xuất công nghiệp,...) thông thường và BDK đã được đề xuất. Tham số động cơ xoay chiều đồng bộ kích từ nam châm vĩnh cửu: $P = 300 \text{ W}$, $n_{dm} = 3000$ vòng/phút, dòng điện $I = 2,5 \text{ A}$, điện áp $U = 220 \text{ V}$, tần số $50 - 60 \text{ Hz}$, bộ mã hóa đếm 2500 S/R ; hộp đổi tốc tỷ số $10:1$, cơ cấu làm việc có mômen quán tính $J = 0,125 \text{ kgm}^2$; hàm tác động là hàm $\sin t$, $c = 15$; $\eta = 3.0$; $\Delta = 0.10$; $l = 5.0$. Ngoài ra các tham số được giả thiết: Đo lường giả thiết chỉ đo được góc quay đầu ra trên cơ cấu công tác. Khi các tham số trạng thái là đo được, và xác định hoàn toàn. Khi chỉ đo lường được đầu ra là góc quay, và luật điều khiển xây dựng nhờ bộ quan sát đã được đề xuất. Chương trình mô phỏng được xây dựng trên Matlab R2021a; được tính toán, thiết kế theo thuật toán điều khiển, bộ quan sát “Observe” được xây dựng với hàm trên S-Function.

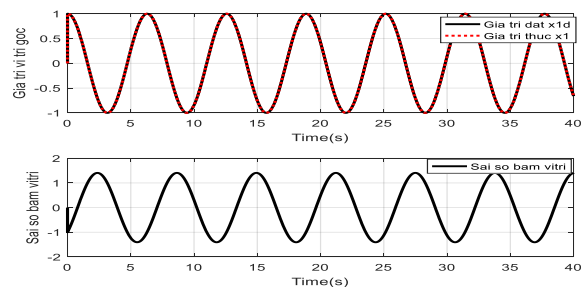
■ Từ đó ta có các kết quả mô phỏng như sau:



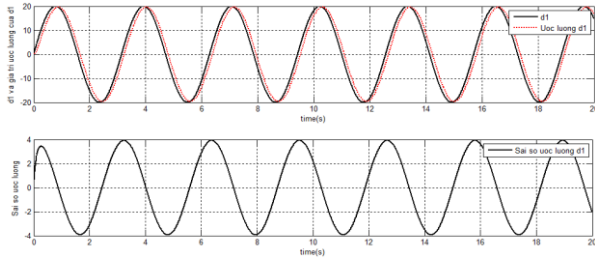
Hình 1. Giá trị vị trí góc đặt và vị trí thực của cơ cấu công tác lần 1



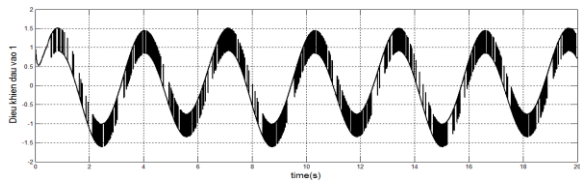
Hình 2. Giá trị vận tốc đặt và vận tốc thực của cơ cấu công tác lần 1



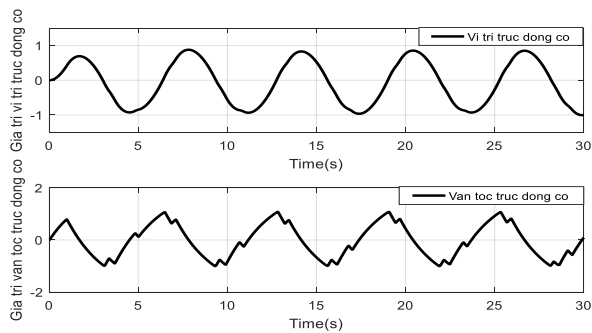
Hình 3. Giá trị đặt và giá trị thực, sai số bám của cơ cấu công tác lần 2



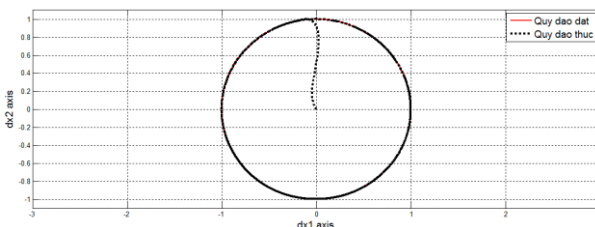
Hình 4. Giá trị ước lượng và sai số của bộ quan sát nhiễu tác động vào đối tượng



Hình 5. Tín hiệu điều khiển $u(t)$ đầu vào



Hình 6. Giá trị vị trí góc và vận tốc trục động cơ chấp hành



Hình 6. Kết quả bám vị trí điểm cuối của cơ cấu công tác

Từ kết quả mô phỏng ở trên cho thấy: khi mô phỏng với giá trị góc đặt và vị trí thực của cơ cấu công tác lần 1 với trạng thái ban đầu có sự dao động từ 0 đến 1.7s; thì tại thời gian này có hệ thống chưa bám sát trong khoảng từ 0 đến 1.7s; sau đó hệ thống luôn bám sát tín hiệu đặt như ở hình 1, hình 2.

Ở hình 3 khi mô phỏng với giá trị góc đặt và vị trí thực của cơ cấu công tác lần 2; khi đã có hiệu chỉnh các tham số đạt được giá trị tối ưu;

từ kết quả này cho thấy x_{1d} , x_1 là lượng ra luôn bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng; sai số bám sát vị trí nhỏ; kết quả mô phỏng ở hình 4 về bộ quan sát, giá trị ước lượng nhiễu $d1$ và sai số ước lượng nhiễu đã thể hiện rõ tác dụng của bộ quan sát luôn cung cấp đầy đủ các thông tin về cho BDK. Tín hiệu điều khiển $u(t)$ đầu vào luôn ở trạng thái làm việc ổn định như hình 5. Giá trị vị trí góc và giá trị vận tốc ở trục động cơ chấp hành như hình 6; và kết quả bám vị trí điểm cuối của cơ cấu công tác cho thấy hệ thống luôn làm việc ổn định theo luật điều khiển trượt đã đề xuất.

Nhận xét đánh giá kết quả của hệ thống từ các kết quả mô phỏng ta có:

- Chất lượng điều khiển của BDK đã đề xuất cao hơn hẳn so với chất lượng của BDK P, I, PI, PID thông thường về thời gian quá độ, độ quá chỉnh và sai số bám sát như ở, [1, 4, 8].
- Vị trí và tốc độ của HTB đã bám được theo vị trí và tốc độ đặt với sai số bám sát nhỏ sau một khoảng thời gian ngắn trong tổng thời gian đáp ứng 20s, do vậy vị trí điểm cuối đã bám sát theo quỹ đạo đặt so với quỹ đạo thực với sai số rất nhỏ, điều này chứng tỏ chất lượng của BDK trượt và bộ quan sát nhiễu đã đáp ứng được yêu cầu điều khiển với độ chính xác cao.
- Hơn nữa trên cơ sở bộ quan sát nhiễu được xây dựng, kết quả cho thấy bộ quan sát đã đánh giá được giá trị của nhiễu tác động với sai số bám sát nhỏ luôn cung cấp đầy đủ các thông tin về cho BDK, từ đó ta thực hiện luật điều khiển trượt kết hợp với bộ quan sát bù nhiễu đảm bảo được tính ổn định của hệ thống với luật điều khiển đã đề xuất ở trong bài báo luôn đạt chất lượng cao.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày việc nghiên cứu tổng hợp HTB cho các đối tượng điều khiển có cấu trúc

thay đổi và phi tuyến bất định nhiều tác động. Đây là những HTB cho các máy công nghiệp như: robot công nghiệp, hệ thống máy công cụ, hệ thống bám vũ khí quân sự,... trên cơ sở BDK trong chế độ trượt và bộ quan sát nhiễu tác động với chất lượng điều khiển cao, sai số bám sát nhỏ. Luật điều khiển được chứng minh dựa vào lý thuyết ổn định của hàm Lyapunov. Kết quả mô phỏng trên cơ sở phần mềm Matlab Simulink đã chứng minh tính đúng đắn của thuật toán được đề xuất.

Thuật toán trên có thể được áp dụng để nâng

cao chất lượng điều khiển bám vị trí góc cho HTB công nghiệp và quân sự trong điều kiện nhiễu loạn tác động đến hệ thống. Trong trường hợp cần xây dựng HTB chất lượng cao thì cần phải ứng dụng các phương pháp điều khiển hiện đại. Mô hình thuật toán đã xây dựng được giúp ích cho những nhà nghiên cứu trong bài toán thiết kế, tính toán các HTB trong công nghiệp và quân sự nhằm hạn chế tối đa những sai sót cũng như đưa ra được những giải pháp nhằm đảm bảo độ chính xác cho hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Doãn Phước, "Lý thuyết điều khiển nâng cao", tr. 35- 62; 151- 186; Nhà Xuất Khoa học và Kỹ thuật; (2018).
- [2] Nguyễn Thanh Tiên, "Ứng dụng điều khiển trượt tổng hợp điều khiển hệ điện cơ (dùng cho đào tạo cao học)", tr. 42- 65; Nhà Xuất Bản Quân Đội Nhân Dân, (2013).
- [3] Trần Đức Chuyển, "Truyền động điện", tr. 11-45, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật (2016).
- [4] Lê Hồng Phương, Nguyễn Thanh Tiên, "Tổng hợp điều khiển truyền động bám góc trên cơ sở điều khiển trong chế độ trượt", Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - Học viện Kỹ thuật quân sự; Số 138; tr. 23-31, tháng 12; (2010).
- [5] Andrzej Bartoszewicz, "Sliding mode control", first published March Printed in India, pp. 139-189; 256-299,.. DOI: 10.1002/acs.996; (2011).
- [6] V. Utkin, J. Guldner, and J. Shi, "Sliding Mode Control in Electrochemical Systems," CRC Press, January; pp. 115-225, 277-298; doi:10.1201/9781420065619; (2017).
- [7] Andrea Bacciotti, "Stability and Control of Linear Systems", Publishing Ltd; Springer Nature Switzerland AG, pp.197. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02405-5>; (2019).
- [8] László K., Ruth B., Jenő H., Csilla Bányász, "Control Engineering: MATLAB Exercises", Publishing by Springer Nature Singapore Pte Ltd, USA, pp.214-256, 260-299; https://doi.org/10.1007/978-981-10-8321-1_1; (2019).
- [9] M. Zaky, E. Touti, and H. Azazi, "Two-Degrees of Freedom and Variable Structure Controllers for Induction Motor Drives" Advances in Electrical & Computer Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 71-80; Doi: 10.4316/AECE.2018.01009. (2018).
- [10] Š. Asif, "Variable structure systems with sliding modes in motion control- A survey," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 7, No. 2, pp. 212-223, (2012).
- [11] T. D. Chuyen, Hoa V. D., P. V. Minh, V. V. Thong, "Design of Robust Adaptive Controller for Industrial Robot Based on Sliding Mode Control and Neural Network", IJMERR ,Vol12, No. 3, May 2023; Pages 145-150; (2023).

Thông tin liên hệ: **Trần Đức Chuyển**

Điện thoại: 0915311662 - Email: tdchuyen@uneti.edu.vn

Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.