

## CONTROL TRACKING ELECTRO - MECHANICAL OF LEAD SCREW SYSTEM USING SERVO MOTOR APPLICATION IN MACHINE TOOLS BASED ON SLIDING MODE CONTROL METHOD

Tran Duc Chuyen\*, Ngo Tien Dung, Tran Cong Minh, Do Minh Quan, Vu Van Canh, Tran Trong Hung

University of Economics - Technology for Industries

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Received:</b> 28/01/2021</p> <p><b>Revised:</b> 26/02/2021</p> <p><b>Published:</b> 28/02/2021</p>	<p>This paper presents the research synthesis method applied in electromechanical tracking system, lead screw control using AC servo motors applied in machine tools, based on the sliding mode control method and the state observer. Control rules are capable of compensating for perturbation components, with a state observation built in to evaluate and compensate for uncertain nonlinear components. Then the chattering reduction techniques of sliding mode surface are proposed to improve the quality systems. The research results were simulated in Matlab Simulink, the experimental and practical process with the lead screw system control application model of machine tools. The research results obtained are also the basis for calculating, designing and manufacturing intelligent electric drive systems for industrial applications.</p>
<p><b>KEYWORDS</b></p> <p>Position control</p> <p>Sliding mode control</p> <p>State observer</p> <p>System tracking electro-mechanical</p> <p>AC servo motor</p>	

## ĐIỀU KHIỂN BÁM ĐIỆN CƠ TRỤC VÍT ME SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ SERVO ỨNG DỤNG TRONG CÁC MÁY CÔNG CỤ TRÊN CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Trần Đức Chuyền\*, Ngô Tiến Dũng, Trần Công Minh, Đỗ Minh Quân, Vũ Văn Cảnh, Trần Trọng Hùng

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p><b>Ngày nhận bài:</b> 28/01/2021</p> <p><b>Ngày hoàn thiện:</b> 26/02/2021</p> <p><b>Ngày đăng:</b> 28/02/2021</p>	<p>Bài báo này trình bày phương pháp tổng hợp nghiên cứu hệ thống bám điện cơ, điều khiển trục vít me sử dụng động cơ AC servo ứng dụng trong các máy công cụ, dựa trên cơ sở phương pháp điều khiển trượt và bộ quan sát trạng thái. Luật điều khiển có khả năng bù được các thành phần nhiễu loạn, với bộ quan sát trạng thái đã được xây dựng để đánh giá và bù các thành phần phi tuyến bất định. Kỹ thuật hạn chế dao động trên mặt trượt được đề xuất để nâng cao chất lượng của hệ thống. Kết quả nghiên cứu được kiểm chứng mô phỏng trên matlab simulink, quá trình thực nghiệm, thực tế với mô hình ứng dụng điều khiển hệ thống trục vít me của các máy công cụ. Các kết quả nghiên cứu trong bài báo cũng là cơ sở để tính toán, thiết kế và chế tạo các hệ truyền động điện thông minh ứng dụng trong công nghiệp.</p>
<p><b>TỪ KHÓA</b></p> <p>Điều khiển vị trí</p> <p>Điều khiển trượt</p> <p>Bộ quan sát trạng thái</p> <p>Hệ bám điện cơ</p> <p>Động cơ AC servo</p>	

\* Corresponding author. Email: tdchuyen@uneti.edu.vn

## 1. Mở đầu

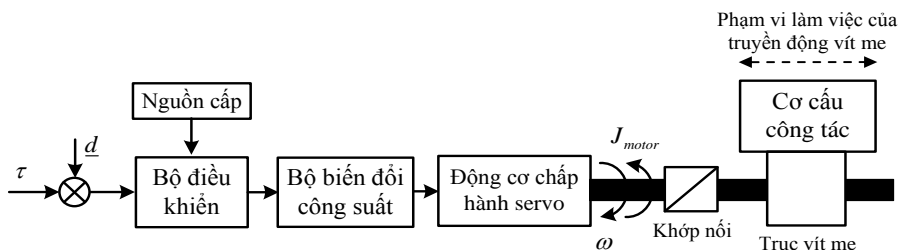
Những hệ truyền động điện cũ của máy tiện trước kia trong công nghiệp thường được ứng dụng bằng các hệ truyền động sử dụng động cơ một chiều với hệ chuyển động chạy dao, hệ truyền động bằng xilanh thủy lực, với một số hãng như Senday, Fuji, .v.v... [1]-[3]. Tuy nhiên các hệ truyền động này thường xuyên thay đổi tốc độ, dừng - hãm - đảo chiều, do đó luôn luôn có hư hỏng, phải sửa chữa, do tồn tại chổi than và cổ góp điện. Vì vậy tính ổn định và độ chính xác để hệ thống làm việc chưa cao so với hệ truyền động điện tự động sử dụng động cơ servo xoay chiều. Hệ truyền động servo luôn đáp ứng được cả các yêu cầu về điều khiển tốc độ thấp, cũng như điều khiển tốc độ cao, với nhiều chế độ làm việc khác nhau như: chế độ dừng, chế độ hãm, chế độ đảo chiều cũng dễ dàng, đặc biệt là hệ truyền động này ít bị hư hỏng và luôn làm việc ổn định chính xác. Hơn nữa hiện nay kỹ thuật điều khiển hiện đại (điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi, điều khiển phi tuyến, điều khiển bền vững) và điều khiển thông minh (điều khiển logic mờ, điều khiển mạng nơron, thuật toán di truyền và trí tuệ nhân tạo) đang phát triển mạnh mẽ. Do đó việc ổn định tốc độ, điều khiển chính xác cho các hệ truyền động điện như: điều khiển trục vít me chuyển động bàn dao, chuyển động ăn dao, chuyển động trục chính, sử dụng động cơ servo thì đây là phương pháp tối ưu cho các máy công cụ điều khiển số CNC [4]-[10].

Trong [11], tác giả đã đề xuất thuật toán giảm sai số bám sát trên trục quay của hệ thống bám điện cơ với bước ren khác nhau và ảnh hưởng của nó đến trục vít me. Tài liệu [12] nghiên cứu thuật toán để đánh giá về hệ thống trục vít me ứng dụng cho hệ thống điều khiển thủy lực. Cả [11] - [12] chỉ nghiên cứu lý thuyết và dừng lại ở việc mô phỏng mà chưa đi vào lập trình điều khiển, thực nghiệm. Như đã đề cập ở trên, hệ thống truyền động điều khiển trục vít me cho các máy công cụ gia công có đặc điểm là trong quá trình làm việc luôn có các nhiễu loạn tác động như lực ma sát, mô men đàn hồi, ảnh hưởng của khe hở khi đảo chiều quay, phản lực .v.v... ảnh hưởng đến chất lượng bộ điều khiển (BĐK) gây sai số khi điều khiển [2], [5], [6], [9], [10], [13]-[15]. Bài báo này trình bày vấn đề nâng cao chất lượng BĐK bám vị trí cho hệ thống điều khiển tự động của trục vít me sử dụng động cơ AC servo ứng dụng trong các máy công cụ. Kết quả nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm sẽ là cơ sở cho việc ứng dụng vào thực tế sản xuất, đánh giá, thiết lập thuật toán điều khiển, thiết kế hệ thống truyền động điện bám trong công nghiệp.

## 2. Xây dựng mô hình hệ thống điều khiển trục vít me

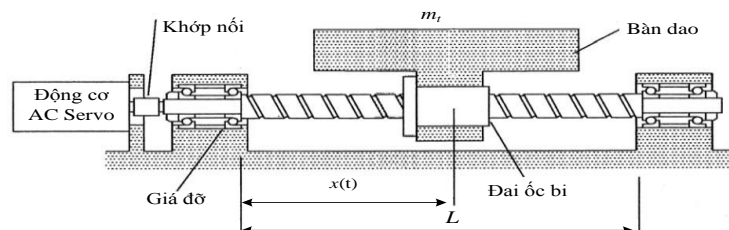
### 2.1. Xây dựng mô hình điều khiển

Đối với các máy công cụ gia công sử dụng động cơ servo điều khiển trục vít me, thì trên trục quay của thiết bị được thực hiện điều khiển riêng biệt, do vậy không mất tính tổng quát khi ta xem xét đến động học của hệ thống truyền động bám vị trí này. Từ đó ta có mô hình cấu trúc điều khiển hệ thống truyền động điện bám điện cơ của máy công cụ gia công được sử dụng động cơ AC servo điều khiển trục vít me bi như hình 1.



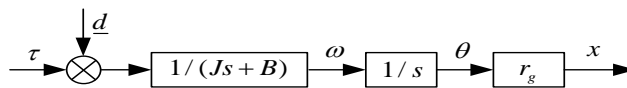
**Hình 1.** Mô hình hệ thống truyền động bám điện cơ điều khiển trục vít me sử dụng động cơ servo

Khi đó ta đi khảo sát mô hình hệ truyền động điện cơ điều khiển hệ thống trục vít me của máy CNC như hình 2, bao gồm: L chiều dài trục vít me bi,  $x(t)$  giá trị điều khiển dịch chuyển của dao,  $m_t$  khối lượng bàn dao gắn vào trục vít me, ngoài ra còn có giá đỡ, khớp nối, đế ngồi, đai ốc,...



**Hình 2.** Hệ thống bàn dao điều khiển trực vít me trong thực tế của máy công cụ CNC

Giả thiết rằng bàn chạy dao di chuyển với vận tốc chuyển động ngang, ma sát giữa trục vít me và đai ốc, hệ thống trục vít me và thanh dẫn được cho là luôn tồn tại các yếu tố phi tuyến bất định. Từ mô hình được mô tả như hình 1; hình 2, nghiên cứu mô hình động lực học hệ thống truyền động bám điện cơ điều khiển trực vít me với đầu vào hệ thống là mô men  $\tau$ , đầu ra là vị trí góc quay tịnh tiến của trục vít me là  $x$ . Sơ đồ khối hệ truyền động từ tín hiệu điều khiển  $\tau$  sang vị trí của hệ thống thiết bị trực vít me  $x$  được thể hiện như hình 3.



**Hình 3.** Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động hệ bám điện cơ của hệ thống trực vít me

Trong đó, mô men của động cơ sẽ sinh ra chuyển động quay của trục động cơ với sự ảnh hưởng của mô men quán tính  $J$  và ma sát nhớt  $B$  [1], [5], [6], [7], [10], [16]. Thành phần  $r_g$  là hệ số chuyển đổi từ tốc độ góc (hoặc vị trí) trục động cơ sang vị trí tịnh tiến của hệ thống trực vít me có quan hệ như sau:

$$\omega(t) = \frac{\dot{x}(t)}{r_g} \quad (1)$$

Từ sơ đồ cấu trúc ta có: 
$$\ddot{x} = -\frac{B\dot{x}}{J} + \frac{r_g\tau}{J} - d \quad (2)$$

Ở đây ta đặt  $a = \frac{B}{J}$ ;  $b = \frac{r_g}{J}$ ;  $u = \tau$ , từ đây ta có phương trình mô tả hệ thống điều khiển trực vít me máy công cụ được mô tả như phương trình sau:

$$\ddot{x} = -ax + bu - d \quad (3)$$

Với tín hiệu điều khiển đầu vào của hệ là mô men đặt vào trục máy, do đó các bước tổng hợp điều khiển trong chế độ trượt được thực hiện như sau:

## 2.2. Tổng hợp điều khiển trong chế độ trượt

Gọi  $x_d$  là quỹ đạo mong muốn, định nghĩa  $e = x_d - x$  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 tịnh tiến đầu ra và vận tốc đầu ra của hệ thống điều khiển trực vít me được đo lường và phản hồi về nhằm tạo luật điều khiển.

Biến trượt được lựa chọn như sau:

$$s = \dot{e} + ce \quad (4)$$

Vì sai số bám sát sẽ hội tụ về không theo dạng hàm số mũ, tốc độ hội tụ phụ thuộc vào việc lựa chọn hệ số với  $c > 0$ , khi đó sai số  $\lim_{t \rightarrow \infty} e = 0$ , sau một khoảng thời gian  $t \geq t_0$  thì sai số bám sát trong phạm vi chấp nhận được của thiết bị. Thay giá trị  $e = x_d - x$  vào (4) và vi phân theo thời gian ta có:

$$\dot{s} = \ddot{e} + c\dot{e} = \ddot{x}_d - \ddot{x} + c\dot{e} = \ddot{x}_d + ax - bu + d + c\dot{e} \quad (5)$$

Trong nghiên cứu này mong muốn các thành phần sai số đánh giá sẽ bằng không. Như vậy phải chọn quy luật đánh giá hằng số trên cơ sở hàm ứng viên Lyapunov cho biểu thức (5) như sau:

$$V_I = \frac{1}{2}s^2 \quad (6)$$

Thực hiện vi phân (6) theo thời gian ta có:

$$\dot{V}_I = s\dot{s} = s(\ddot{x}_d + a\dot{x} - bu + d + ce) \quad (7)$$

Theo nguyên tắc của lý thuyết ổn định hàm Lyapunov, thì lúc này cần lựa chọn tín hiệu điều khiển như sau:

$$u = \frac{1}{b} \left[ \ddot{x}_d + a\dot{x} + ce + d + k \operatorname{sgn}(s) \right] \quad (8)$$

Việc lựa chọn theo (8) là để đảm bảo theo tính chất của hàm Lyapunov âm. Từ đó suy ra:

$$\begin{aligned} \dot{V}_I &= s(\ddot{x}_d + a\dot{x} - b \left[ \frac{1}{b} \left[ \ddot{x}_d + a\dot{x} + ce + d + k \operatorname{sgn}(s) \right] \right] + d + ce) \\ &= s(\ddot{x}_d + a\dot{x} + \ddot{x}_d - a\dot{x} - ce - k \operatorname{sgn}(s) - d + d + ce) = s(-k \operatorname{sgn}(s)) = -k|s| \leq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Luật điều khiển đề xuất như trên đã đảm bảo tính hội tụ của các biến trạng thái theo lý thuyết điều khiển với hàm điều khiển Lyapunov.

### 2.3. Thiết kế và phân tích tính ổn định trên cơ sở bộ quan sát trạng thái

Đối với hệ truyền động trục vít me, tùy thuộc vào loại hình và kích thước trục vít me..., trong quá trình hệ thống vận hành với nhiều điều kiện khác nhau, có nhiều loại nhiễu tác động đến hệ thống như lực ma sát, ảnh hưởng của khe hở, yếu tố đàn hồi và độ cứng của trục vít me, phản lực gia công, ... Nhiễu này có đặc trưng khác nhau làm ảnh hưởng đến quá trình thu nhận tín hiệu từ BDK. Khi trục vít me quay, thành phần nhiễu do phản lực tác động cũng có độ biến thiên nhỏ theo thời gian, khi đó ta có thể áp dụng bộ quan sát trạng thái được đề xuất bởi [5], [13] như sau:

$$\dot{\hat{d}} = c_1(\hat{d} - \dot{x}) \quad (10)$$

$$\dot{\hat{\delta}} = -\hat{d} + bu - c_2(\hat{\delta} - \dot{x}) - a\dot{x} \quad (11)$$

trong đó,  $\hat{d}$  là ước lượng của  $d$  và  $\hat{\delta}$  là ước lượng của  $\dot{x}$ ,  $c_1 > 0$ ,  $c_2 > 0$ , tương tự như trên với mong muốn thành phần sai số đánh giá sẽ dần tiến về không. Ta chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V_2 = \frac{1}{2c_1} \tilde{d}^2 + \frac{1}{2} \tilde{\delta}^2 \quad (12)$$

Vì đối với bộ quan sát thì cần yêu cầu quan sát đúng theo thực tế những thành phần không đo được (cần phải ước lượng các thành phần này) luôn đảm bảo cho hệ thống ổn định (theo lý thuyết ổn định hàm Lyapunov). Với  $\tilde{d} = d - \hat{d}$ ,  $\tilde{\delta} = \dot{x} - \hat{\delta}$ . Vi phân (12) của hàm Lyapunov có dạng:

$$\dot{V}_2 = \frac{1}{c_1} \tilde{d}\dot{\tilde{d}} + \tilde{\delta}\dot{\tilde{\delta}} = \frac{1}{c_1} \tilde{d}(\dot{d} - \dot{\hat{d}}) + \tilde{\delta}(\dot{x} - \dot{\hat{\delta}}) \quad (13)$$

Thay (10), (11) và (2) vào (13) ta nhận được như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \frac{1}{c_1} \tilde{d}(\dot{d} - c_1(\hat{d} - \dot{x})) + \tilde{\delta}(-a\dot{x} + bu - d - (-\hat{d} + bu - c_2(\hat{\delta} - \dot{x}) - a\dot{x})) \\ &= \frac{1}{c_1} \tilde{d}\dot{d} - \tilde{d}(\hat{d} - \dot{x}) + \tilde{\delta}(-d + \hat{d} + c_2(\hat{\delta} - \dot{x})) = \frac{1}{c_1} \tilde{d}\dot{d} + \tilde{d}\tilde{\delta} + \tilde{\delta}(-\tilde{d} - c_2\tilde{\delta}) = \frac{1}{c_1} \tilde{d}\dot{d} - c_2\tilde{\delta}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

Khi nhiễu  $d$  biến thiên nhỏ theo thời gian và giới hạn, với  $c_1$  có giá trị phù hợp, lúc này nhận được  $(1/c_1)\tilde{d} \approx 0$ , ở đây với việc chọn  $c_2$  là phù hợp. Vì vậy ta có:

$$\dot{V}_2 = \frac{1}{c_1} \tilde{d}\dot{d} - c_2\tilde{\delta}^2 \leq 0 \quad (15)$$

Như vậy, nhiều  $d$  có thể ước lượng bằng việc thiết kế bộ quan sát nhiều và để bù nhiễu có thể được thực hiện trong điều khiển phản hồi.

#### 2.4. Thiết kế BDK trong chế độ trượt với bộ quan sát đánh giá thành phần phi tuyến

Tương tự như ở mục 2.2, ở đây chọn biến trượt như biểu thức (4), (5) với  $c > 0$ , ta lựa chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V_3 = \frac{1}{2}s^2 \quad (16)$$

Từ đó thay giá trị  $e = x_d - x$  vào (16) và vi phân theo thời gian biểu thức (16) ta có:

$$\dot{V}_3 = s\dot{s} = s(\ddot{x}_d + a\dot{x} - bu + d + c\dot{e}) \quad (17)$$

Để giảm dao động trên mặt trượt thì có thể xây dựng và lựa chọn tín hiệu điều khiển như sau:

$$u = \frac{1}{b}[\ddot{x}_d + a\dot{x} + c\dot{e} + \hat{d} + k\text{sgn}(s)] \quad (18)$$

Với  $\hat{d}$  là ước lượng của  $d$  và  $\tilde{d} = d - \hat{d}$ . Ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_3 &= s(\ddot{x}_d + a\dot{x} + d + c\dot{e} - b[\frac{1}{b}[\ddot{x}_d + a\dot{x} + c\dot{e} + \hat{d} + k\text{sgn}(s)]]) \\ &= s(\ddot{x}_d + a\dot{x} - \ddot{x}_d - a\dot{x} - c\dot{e} - \hat{d} - k\text{sgn}(s) + d + c\dot{e}) = s(d - \hat{d} - k\text{sgn}(s)) = \tilde{d}s - k|s| \end{aligned} \quad (19)$$

Với hệ số  $k$  được chọn thỏa mãn  $k \geq |\tilde{d}|$ , ta có thể nhận được:

$$\dot{V}_3 = \tilde{d}s - k|s| \leq 0 \quad (20)$$

Hàm Lyapunov của hệ kín đầy đủ có thể biểu diễn như sau:

$$V = V_2 + V_3 = \frac{1}{2c_1}\tilde{d}^2 + \frac{1}{2}\tilde{\delta}^2 + \frac{1}{2}s^2 \quad (21)$$

Vi phân phương trình (21) ta nhận được:

$$\dot{V} = \dot{V}_2 + \dot{V}_3 = \frac{1}{c_1}\tilde{d}\dot{\tilde{d}} + \tilde{\delta}\dot{\tilde{\delta}} + s\dot{s} \quad (22)$$

Thế phương trình (13) và (20) vào (22), ta có:

$$\dot{V} = \dot{V}_2 + \dot{V}_3 = \frac{1}{c_1}\tilde{d}\dot{\tilde{d}} - c_2\tilde{\delta}^2 + \tilde{d}s - k|s| \leq 0 \quad (23)$$

Khi đó, có được giá trị  $\dot{V} \leq 0$ .

#### 2.5. Hạn chế dao động trên mặt trượt

Một hạn chế của chế độ điều khiển trượt là hiện tượng dao động (chattering) trên mặt trượt, nó tác động không tốt đến hệ thống và thiết bị truyền động.

Để làm hạn chế dao động trên mặt trượt, ta sử dụng hàm bão hòa saturation thay cho hàm sign trong luật điều khiển (18), [2]. Hàm saturation được mô tả như phương trình (24) và ở [5].

$$\text{sat}(s) = \begin{cases} 1, & s > \Delta \\ ks, & |s| \leq \Delta, k = 1/\Delta \\ -1, & s < -\Delta \end{cases} \quad (24)$$

Đồ thị hàm bão hòa được biểu diễn như ở [5].

### 3. Mô phỏng đánh giá kết quả và thực nghiệm

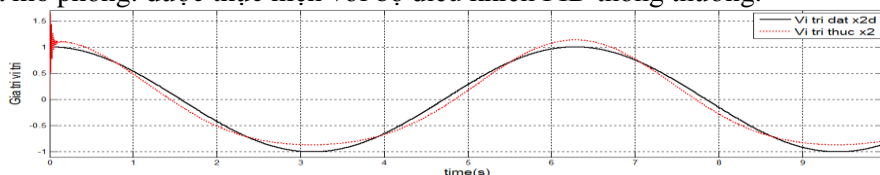
#### 3.1. Mô phỏng đánh giá kết quả

Để có được những đánh giá về chất lượng của bộ điều khiển được đề xuất, các tác giả xây dựng mô phỏng trên matlab simulink cho đối tượng mô hình hệ thống trực vít me bị sử dụng

động cơ điện là loại động cơ AC servo kích từ nam châm vĩnh cửu với bộ điều khiển PID thông thường và bộ điều khiển trượt đã được đề xuất, [8], [9], [13].

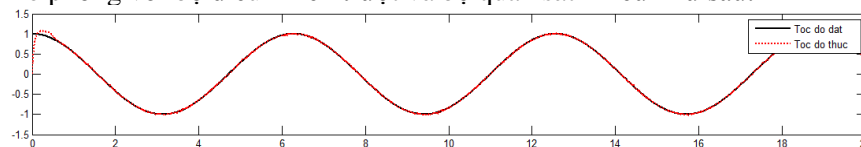
Các tham số  $V_p$ ,  $V_I$  được chọn trên cơ sở phương pháp thực nghiệm Zeigler Nichols. Sau khi chọn được tham số  $V_p$ ,  $V_I$ , ta tính được tham số  $V_p$  và  $d$ . Tuy nhiên do thiết kế theo phương pháp thực nghiệm, nên để nâng cao chất lượng điều khiển: thời gian quá độ ngắn và độ quá điều chỉnh nhỏ, cần hiệu chỉnh thêm hai tham số  $V_p$  và  $d$ . Bộ tham số hiệu chỉnh tìm được là:  $V_p = 0,01$ ;  $d = 0,98$  (với  $T = 0,002$ ). Chất lượng bộ điều khiển PI sau khi tính toán lựa chọn:  $K_P = 0,3$ ;  $K_I = 0,0001$ . Ngoài ra nhóm tác giả sử dụng phần mềm thiết kế BDK PID design để thiết kế bộ điều khiển. Các thông số kỹ thuật gồm: tốc độ 0 - 12 mm/s, tải trọng 95 KgN, khẩu độ dài cố định hành trình toàn trục vít me  $L = 500$  mm, với cự ly di dịch chuyển sang trái của vít me  $L_1 = 19$  cm, dịch chuyển sang phải  $L_2 = 23$  cm, chiều dài cực đại của trục vít me chưa kể đến các khớp nối là 500 mm, chiều dài cực tiểu 5 mm tính theo bước ren của trục vít me. Bề rộng ngoài của hệ thống vít me 120 mm, bề rộng bàn chạy dao 105 mm, chiều dài bàn chạy dao 120 mm. Thời gian di chuyển hết hành trình với tốc độ cực đại  $t = 3,15$  s với các tham số:  $R_u = 10\Omega$ ,  $L_u = 10mH$ ,  $\frac{K}{J} = 1388.61(N/A)/(kgm^2)$ . Động cơ AC Servo có bộ drive panasonic MADDT1207 có tham số: công suất động cơ  $P = 200W$ ,  $n_{đm} = 3000$  vòng/phút, dòng điện  $I = 2A$ , điện áp  $U = 200V$ , tần số 50 - 60Hz, encoder đếm 2500 xung / vòng, đầu trục động cơ có gắn khớp mềm liên kết với hệ thống trục vít me. Cơ cấu công tác với mô men quán tính quy đổi  $J = 0.12kgm^2$ . Chương trình mô phỏng được xây dựng trên matlab simulink. Các khối mô phỏng Ctr, CtrC, observer được xây dựng với các hàm trên S – function. Để đánh giá kết quả, ta thực hiện mô phỏng bám vị trí cho trục của thiết bị điều khiển trục vít me với các tham số được cho như sau:  $r_{g1} = 0,05rad/m$ ,  $J_1 = 0,03kgm^2$ ,  $B_1 = 0,06kgm^2/s$ ,  $k_1 = 4000$ ,  $\Delta = 0.10$ ,  $c = 15$ ,  $k = 50$ .

Kết quả mô phỏng: được thực hiện với bộ điều khiển PID thông thường.

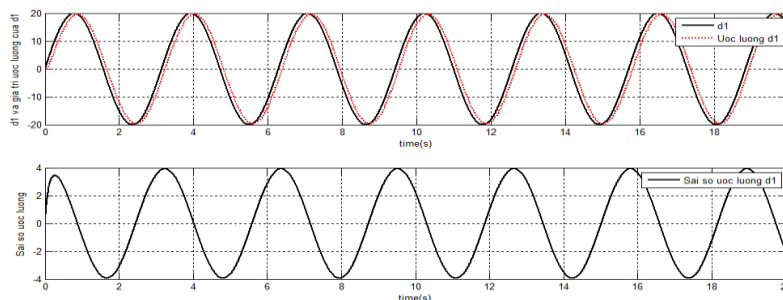


Hình 6. Vị trí trục quay của hệ thống vít me khi dùng PID

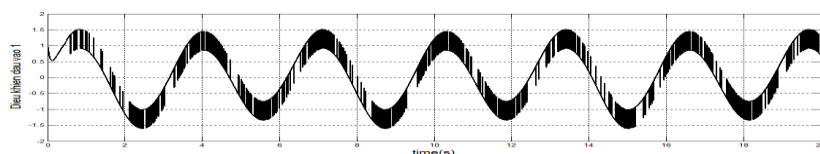
Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển trượt và bộ quan sát nhiễu như sau:



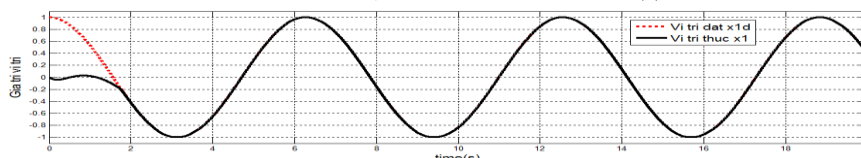
Hình 7. Tốc độ thực và tốc độ đặt của trục vít me



Hình 8. Kết quả ước lượng tín hiệu nhiễu  $d1$  và sai số ước lượng khi hệ thống vít me làm việc



Hình 9. Tín hiệu điều khiển đầu vào  $u_1(t)$



Hình 10. Vị trí thực của trục vít me khi dùng bộ điều khiển trượt đề xuất

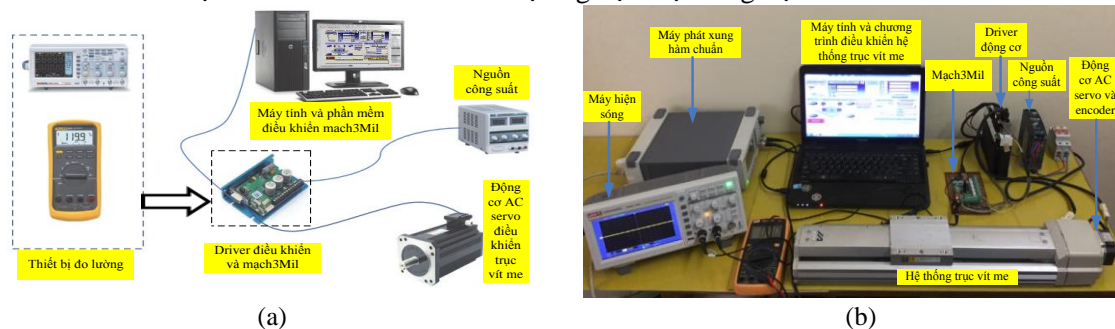
Đánh giá kết quả: so sánh giá trị bám vị trí của trục vít me ta nhận thấy, với BDK PID, thời gian xác lập để hệ thống bám theo được tín hiệu đặt là khoảng 0,7s, độ quá chỉnh là 7%, sai số bám sát lớn nhất là khoảng 12,3% (hình 6), với BDK trượt kết hợp với bộ quan sát trạng thái, ta có thời gian xác lập để hệ thống bám theo được tín hiệu đặt tốc độ và tốc độ thực luôn luôn bám sát giá trị đặt (hình 7), giá trị ước lượng tín hiệu nhiễu d1 và sai số ước lượng cho thấy bộ quan sát làm việc tốt luôn cung cấp đầy đủ thông tin về cho BDK (hình 8). Tương tự, với tín hiệu điều khiển đầu vào  $u_1(t)$  như hình 9 thì chất lượng bám vị trí của hệ thống trục vít me khi sử dụng bộ điều khiển trượt (hình 10) cũng có chất lượng tốt hơn hẳn BDK PID thông thường (hình 6).

Từ kết quả bám quỹ đạo của thiết bị hệ thống trục vít me ta nhận thấy, với BDK PID thông thường, độ quá điều chỉnh vị trí lớn, thời gian quá độ lớn, sai số bám quỹ đạo điểm cuối lớn; đối với bộ điều khiển trượt kết hợp bộ quan sát trạng thái được đề xuất, ta nhận thấy chất lượng bám quỹ đạo có độ chính xác cao, quỹ đạo thực tế của hệ thống trục vít me đã bám theo được quỹ đạo đặt với sai số rất nhỏ ( $\approx 0$ ), thời gian quá độ nhỏ, độ quá điều chỉnh rất nhỏ.

Qua kết quả mô phỏng có các nhận xét như sau: Chất lượng điều khiển của BDK đã đề xuất cao hơn hẳn chất lượng BDK PID thông thường về thời gian quá độ, độ quá chỉnh và sai số bám sát. Vị trí và tốc độ của hệ thống trục vít me đã luôn bám được theo vị trí và tốc độ đặt với sai số bám sát nhỏ, sau một khoảng thời gian ngắn. Vì vậy vị trí của hệ thống điều khiển trục vít me luôn bám sát theo quỹ đạo đặt với sai số rất nhỏ, điều đó chứng tỏ chất lượng của BDK đã đáp ứng được yêu cầu điều khiển với độ chính xác cao cho các hệ thống máy công cụ CNC. Trên cơ sở bộ quan sát trạng thái 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, từ đó ta thực hiện luật điều khiển trượt kết hợp với bù nhiễu đảm bảo được tính ổn định của hệ thống với luật điều khiển đã đề xuất.

### 3.2. Thực nghiệm

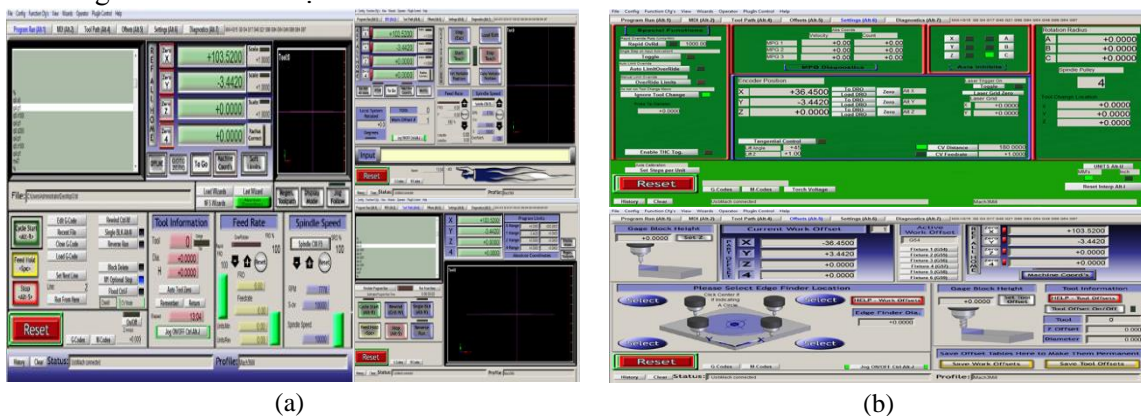
Sau khi xây dựng mô hình mô phỏng off-line trong matlab simulink ta nhận được kết quả minh chứng cho phân phân tích ở trên. Trong nghiên cứu này, đối tượng cụ thể thực nghiệm với hệ thống có cấu trúc hình học như hình 2 và hình ảnh thực nghiệm hệ thống trục vít me như hình 11.



Hình 11. a) Xây dựng mô hình cấu trúc thực nghiệm, b) cấu trúc hệ thống điều khiển trục vít me thực tế

Ở đây các tác giả sử dụng hệ thống trục vít me được điều khiển trên cơ sở mạch điều khiển và phần mềm mạch3Mil và bộ các được thiết kế điều khiển với giao tiếp với máy tính là usb [8].

Cấu trúc hệ thống như hình 11 bao gồm: máy tính cấu hình cao core i5 Toshiba có cài đặt phần mềm mạch3Mil dùng để lập trình điều khiển hệ thống, máy hiện sóng dùng để đo các dữ liệu, hệ thống trục vít me thực tế có chứa động cơ AC servo; có drive và encoder có tham số như trong mô phỏng, máy phát xung - hàm chuẩn dùng để hỗ trợ điều khiển hệ thống, nguồn công suất có chức năng cấp nguồn cho hệ thống điều khiển, ngoài ra còn một số các thiết bị đóng cắt đo lường điều khiển hỗ trợ khác.



**Hình 12.** a) Giao diện chương trình chính lập trình điều khiển hệ thống trục vít me sử dụng phần mềm mạch3Mil, b) Giao diện chương trình điều khiển quan sát quá trình gia công hệ thống

Mạch3 là mạch kết nối giữa phần mềm điều khiển (mach3Mil) trên máy tính và các phần tử điều khiển như: driver điều khiển động cơ AC secvo. Trên bo mạch được trang bị cổng spindle với tín hiệu điều khiển 0-10V DC phù hợp với tín hiệu điều khiển bộ biến tần hoặc bộ khuếch đại điều khiển hệ thống trục vít me. Đây là bo mạch có thể dùng để điều khiển các máy công cụ CNC nhiều trục khác nhau. Ngoài ra mạch điều khiển này còn có nhiệm vụ nhận tín hiệu phản hồi từ các cảm biến và công tác hành trình về phần mềm xử lý. Bo mạch mạch3 do Việt Nam sản xuất [17].

Trên cơ sở lý thuyết đã đưa ra, ta tiến hành thực nghiệm với hệ thống truyền động bám sát của trục vít me thực tế đã nghiên cứu ở trên với các thiết bị đo lường và điều khiển trên mô hình vật lý như hình 11, chương trình điều khiển trên cơ sở phần mềm lập trình điều khiển là phần mềm mạch3Mil với các giao diện như hình 12a và hình 12b, để minh chứng tính đúng đắn của thuật toán vừa tổng hợp. Ở đây các tác giả nghiên cứu đánh giá chất lượng mô hình: với cơ cấu chấp hành được tính đến là động cơ AC servo kích từ nam châm vĩnh cửu được điều khiển hệ thống trục vít me, phần mềm lập trình điều khiển kết nối thời gian thực, ngoài ra còn có kết hợp với các hệ thống đo lường, lọc tín hiệu nhiễu và nhiều thiết bị hiện đại khác.



**Hình 13.** Thực tế vận hành lập trình gia công một số chi tiết trên máy tiện CNC CLK6140D/2

Nhóm nghiên cứu thực hiện gia công một số chi tiết như ở hình 13, trên máy tiện CNC CLK6140D/2 tại xưởng thực tập CNC của Khoa Cơ khí, trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp để hiểu rõ hơn về những ứng dụng điều khiển lập trình trên thực tế máy công cụ.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu tổng hợp được thuật toán điều khiển bám vị trí cho hệ thống điện cơ trục vít me sử dụng động cơ servo trên cơ sở điều khiển trong chế độ trượt và bộ quan sát trạng thái với chất lượng điều khiển cao, sai số bám sát nhỏ. Luật điều khiển được chứng minh dựa vào lý thuyết ổn định Lyapunov. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên cơ sở phần mềm matlab simulink đã chứng minh tính đúng đắn của thuật toán được đề xuất, so với những nghiên cứu trước đó thì thuật toán trên hoàn toàn có thể được áp dụng trong thực tế để nâng cao chất lượng điều khiển cho nhiều thiết bị máy móc gia công trong công nghiệp và dân dụng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. C. Tran, *Electric drive*. Science and Technics Publishing House (in Vietnamese), Hanoi, Vietnam, 2016.
- [2] D. P. Nguyen, *The Advanced control theory*. Science and Technics Publishing House (in Vietnamese), Hanoi, Vietnam, 2016.
- [3] M. C. Vo, Q. H. Pham, and T. M. Tran, *Power electronics*. Science and Technics Publishing House (in Vietnamese), Hanoi, Vietnam, 2007.
- [4] J. Chiasson, *Modeling and high performance control of electric machines*. Wiley-IEEE Press. Published by Inc., Hoboken, New Jersey, Printed in the United States of America, 2005.
- [5] J. Liu, and X. Wang, *Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems*. Tsinghua University, 2012.
- [6] P. Ioannou, and J. Sun, *Robust Adaptive Control*. University of Southern California, 6-2017.
- [7] J. Pyrhönen, V. Hrabovcová, and R. S. Semken, *Electrical Machine Drives Control*. John Wiley & Sons Ltd. United Kingdom, 2016.
- [8] L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, C. Bányász, and C. Engineering, *MATLAB Exercises*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, USA ISSN 1439-2232, 2019.
- [9] M. S. Zaky, M. Khater, Hyasin, and S. S. Shokralla, "Very low speed and zero speed estimations of sensorless induction motor drivers", *Electric Power Systems Research*, vol. 80, pp. 143-151, 2010.
- [10] Z. Li, J. Chen, G. Zhang, and M. Gan, "Adaptive Robust Control of Servo Mechanisms With Compensation for Nonlinearly Parameterized Dynamic Friction," *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 194-202, January 2013.
- [11] A. S. Syriac, and S. S. Chiddarwar, "Dynamic characteristics analysis of a lead screw by considering the variation in thread parameters," *International Conference on Mechanical Power Transmission*, IOP Publishing 2019, pp. 1-7.
- [12] K. Jainil, P. Dipen, S. Nand, J. Patel, and M. Rana, "A Review Work the on Lead Screw," *International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 5, no. 06, pp. 302-304, 2017.
- [13] M. R. Msukwa, E. W. Nshama, and N. Uchiyama, "Adaptive Sliding Mode Control With Feedforward Compensator for Energy-Efficient and High-Speed Precision Motion of Feed Drive Systems," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 43571-43581, March 2020.
- [14] Z. Dong, F. Xu, X. Sun, and W. Liu, "A Laser-Based On-Machine Measuring System for Profile Accuracy of Double-Headed Screw Rotor," *Sensors*, vol. 19, no. 23, 2019, Art. no. 5059.
- [15] M. Jasiewicz, and K. Miądlicki, "Implementation of an Algorithm to Prevent Chatter Vibration in a CNC System," *Materials*, vol. 12, no. 19, 2019, Art. no. 3193.
- [16] T. Zhang, Y. Yu, and Y. Zou, "An Adaptive Sliding-Mode Iterative Constant-force Control Method for Robotic Belt Grinding Based on a One-Dimensional Force Sensor," *Sensors*, vol. 19, no. 7, 2019, Art. no. 1635.
- [17] Software, "Mach3". Online. Available: <https://www.machsupport.com/software/mach3/>. [Accessed Nov. 28, 2020].