

XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT - CUỐN CHIẾU CHO VÒNG TỐC ĐỘ HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐÀI RA ĐA P18 KHI TÍNH ĐẾN CÁC YẾU TỐ PHI TUYẾN CỦA PHẦN CƠ

SYNTHESIS OF SLIDING CONTROLLER ON BASIS LINEAR MATRIX INEQUALITIES FOR AIR-ROD DRIVE SYSTEM

Đặng Tiến Trung¹, Nguyễn Ngọc Tuấn², Trần Xuân Tinh^{3,*},
Dương Văn Thanh³, Trần Thị Nga³

TÓM TẮT

Đài ra đa P18 qua nhiều năm sử dụng cần được nâng cấp bộ điều khiển. Bài báo đã trình bày kết quả xây dựng bộ điều khiển trượt cuốn chiếu cho vòng tốc độ hệ truyền động đài ra đa P18. Các kết quả kiểm nghiệm bằng mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink cho thấy bộ điều khiển này đảm bảo được độ chính xác bám; ổn định tốc độ động cơ; tải; khử được dao động trong điều kiện hệ thống chịu ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến do cấu trúc phần cơ gây ra.

Từ khóa: Điều khiển trượt, tốc độ, ra đa, phi tuyến.

ABSTRACT

P18 radar after many years of use needs a controller upgrade. The paper presents the results of the construction of the rolling slide controller for the P18 radio drive system speed ring. The simulation test results on Matlab-Simulink software show that this controller ensures the grip accuracy; stabilize engine speed, load; suppresses the oscillation under system conditions influenced by nonlinear factors caused by the mechanical structure.

Keywords: Sliding mode control, speed, radar, Nonlinear.

¹Trường Đại học Điện lực

²Học viện Kỹ thuật quân sự

³Học viện Phòng Không Không Quân

*Email: tinhpk79@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/4/2021

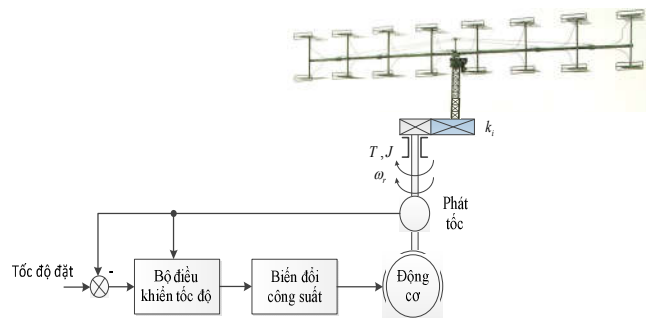
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đài radar P18 là một thành phần quan trọng trong hệ thống radar cảnh giới tầm trung, tầm cao và được trang bị cho các trạm Radar phòng không, được sử dụng để tìm kiếm, phát hiện và xác định cự ly, phương vị của thiết bị bay. Hiện nay, P18 đã qua nhiều năm sử dụng, khí tài đã xuống cấp, độ dơ cơ khí lớn, vì vậy yêu cầu đặt ra là cần nâng cấp, hiện đại hóa P18 để đáp ứng tốt hơn những yêu cầu của chiến tranh công nghệ cao. Hướng nghiên cứu chính là tập trung vào việc khắc phục những nhược điểm

của bộ điều khiển PID hiện có, đó là tính tác động nhanh, độ ổn định tốc độ quay của đài khi có nhiễu phần cơ tác động. Để đáp ứng điều đó cần có bộ điều khiển có tính bền vững cao. Qua khảo sát cho thấy bộ điều khiển trượt - cuốn chiếu cho kết quả tốt ngay cả khi có các yếu tố phi tuyến tác động [3, 4, 5].



Hình 1. Sơ đồ khối chức năng hệ truyền động đài radar P18

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CƠ HỆ

Phương trình mô tả chuyển động của đối tượng điều khiển có dạng:

$$M_{dc} = J_{eq} \frac{d\omega}{dt} + M_c \tag{1}$$

Trong đó:

M_{dc} : Mô men động cơ (N.m);

M_c : Mô men cản (N.m);

J_{eq} : Mô men quán tính của động cơ (kg.m²).

Lực ma sát trên ổ khớp và phần quay có thể quy đổi về mô men cản tác động lên trục quay phía tải [1, 2]:

$$M_{ms} = (M_{c0} \text{sign} \phi + M_{c1} \frac{d\phi}{dt}) \tag{2}$$

Trong đó:

M_{c0} : Hệ số ma sát tĩnh, dấu phụ thuộc vào chiều chuyển động;

M_{c1} : Hệ số ma sát động phụ thuộc vào tốc độ chuyển động.

Trong hệ thống cơ khí truyền động quay còn có sự tham gia của các thành phần chuyển động của anten, thành phần này sẽ ảnh hưởng đến mô men quán tính tương đương quy đổi về đầu trục động cơ. Hoặc là sự không đồng trục của các cơ cấu quay. Giả thiết thành phần ΔJ ta không xác định chính xác được trong quá trình chuyển động của anten nhưng ta biết được giá trị giới hạn cực đại của nó.

Như vậy, các thành phần cản trở chuyển động của cơ cấu góc quay là:

$$M_c = M_{ms} + \Delta J \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

Phương trình mô men điện từ sinh ra bởi động cơ chấp hành kích từ độc lập có dạng:

$$M_{dc} = K_i i_u \quad (4)$$

Thay (4) vào (1) ta có:

$$K_i i_u = J_{eq} \frac{d\omega}{dt} + \Delta J \frac{d\omega}{dt} + M_{ms} \quad (5)$$

Dòng điện phần ứng có phương trình:

$$u = R_u i_u + L_u \frac{di_u}{dt} + e_b \quad (6)$$

$$e_b = K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (7)$$

$$L_u \frac{di_u}{dt} = -R_u i_u - K_b \omega + u \quad (8)$$

Đặt các biến trạng thái:

Góc quay trên trục đầu ra: $x_1 = \phi$

Tốc độ góc trên trục đầu ra: $x_2 = \frac{d\phi}{dt} = \omega_2$

- Dòng điện phần ứng của động cơ: $x_3 = i_u$.

Hệ phương trình trạng thái của cơ hệ:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} x_3 - \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} \\ \dot{x}_3 = -\frac{K_b}{L_u} x_2 - \frac{R_u}{L_u} x_3 + \frac{1}{L_u} u \end{cases} \quad (9)$$

3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN

Trong trường hợp này thì ta có thể coi thành phần không xác định này là đại lượng có thể vi phân được. Tổng hợp điện áp đặt vào phần ứng của động cơ để giá trị góc đầu ra bám sát theo giá trị góc đặt cho trước $x_1 \rightarrow x_{1d}$, góc đặt là hàm trơn theo thời gian (có tồn tại đạo hàm).

Các bước tổng hợp như sau:

Bước 1:

Xét sai số bám sát:

$$e_1 = x_1 - x_{1d} \quad (10)$$

Ta mong muốn $e_1 = x_1 - x_{1d} \rightarrow 0$

Xét vi phân sai số này

$$\dot{e}_1 = \dot{x}_1 - \dot{x}_{1d} \quad (11)$$

$$\dot{e}_1 = x_2 - \dot{x}_{1d} \quad (12)$$

Chọn $x_2 = -\alpha e_1 + \dot{x}_{1d} + e_2$, $\alpha > 0$

Ta nhận được:

$$\dot{e}_1 = -\alpha e_1 + e_2 \quad (13)$$

Nếu $e_2 = 0$ thì $\dot{e}_1 = -\alpha e_1$ hội tụ theo hàm mũ.

Bước 2:

Để $e_2 \rightarrow 0$ xét $e_2 = x_2 + \alpha e_1 - \dot{x}_{1d}$

$$\dot{e}_2 = \dot{x}_2 + \alpha \dot{e}_1 - \ddot{x}_{1d} \quad (14)$$

Thay thế \dot{x}_2 ở (9) vào (14) ta nhận được:

$$\dot{e}_2 = \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} x_3 - \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} + \alpha(-\alpha e_1 + e_2) - \ddot{x}_{1d} \quad (15)$$

$$\dot{e}_2 = -\alpha^2 e_1 + \alpha e_2 + \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} x_3 - \ddot{x}_{1d} - \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} \quad (16)$$

Chọn $\frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} x_3 = -\beta e_2 + \ddot{x}_{1d} + e_3 + \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J}$

$$\dot{e}_2 = -\alpha^2 e_1 - (\beta - \alpha) e_2 + e_3 \quad (17)$$

Tương tự ta mong muốn $e_3 = 0$

Nếu $e_3 = 0$ thì

$$\dot{e}_1 = -\alpha e_1 + e_2 \quad (18)$$

$$\dot{e}_2 = -\alpha^2 e_1 - (\beta - \alpha) e_2 \quad (19)$$

$e_2 \rightarrow 0$, $e_1 \rightarrow 0$ phụ thuộc việc lựa chọn các hệ số β , α .

Bước 3:

$$e_3 = \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} x_3 + \beta e_2 - \ddot{x}_{1d} - \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \dot{e}_3 = & \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \left(-\frac{K_b}{L_u} x_2 - \frac{R_u}{L_u} x_3 + \frac{1}{L_u} u \right) \\ & + \beta [-\alpha^2 e_1 - (\beta - \alpha) e_2 + e_3] - \ddot{x}_{1d} - \frac{d}{dt} \left(\frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \dot{e}_3 = & -\frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \cdot \frac{K_b}{L_u} (-\alpha e_1 + \dot{x}_{1d} + e_2) \\ & - \frac{R_u}{L_u} \left(-\beta e_2 + \ddot{x}_{1d} + e_3 + \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} \right) + \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \cdot \frac{1}{L_u} u \\ & - \alpha^2 \beta e_1 - (\beta - \alpha) \beta e_2 + \beta e_3 - \ddot{x}_{1d} - \frac{d}{dt} \left(\frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

Ta viết dưới dạng:

$$\dot{e}_3 = -\bar{\alpha} e_1 - \bar{\beta} e_2 - \bar{\gamma} e_3 + G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J) + \bar{\chi} u \quad (23)$$

Trong đó:

$$\bar{X} = \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \cdot \frac{1}{L_u} \quad (24)$$

$$\bar{\alpha} = -\frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \cdot \frac{K_b}{L_u} \alpha + \alpha^2 \beta \quad (25)$$

$$\bar{\beta} = \frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \cdot \frac{K_b}{L_u} + -\frac{R_u}{L_u} \beta + (\beta - \alpha) \beta e_2 \quad (26)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{R_u}{L_u} - \beta \quad (27)$$

$$G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J) = -\frac{K_i}{J_{eq} + \Delta J} \cdot \frac{K_b}{L_u} \dot{x}_{1d} - \frac{R_u}{L_u} (\ddot{x}_{1d} - \frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J}) - \ddot{x}_{1d} - \frac{d}{dt} (\frac{M_{ms}}{J_{eq} + \Delta J}) \quad (28)$$

Kết hợp các bước ta được hệ thống trong không gian mới e_1, e_2, e_3 .

$$\dot{e}_1 = -\alpha e_1 + e_2 \quad (29)$$

$$\dot{e}_2 = -\alpha^2 e_1 - (\beta - \alpha) e_2 \quad (30)$$

$$\dot{e}_3 = -\bar{\alpha} e_1 - \bar{\beta} e_2 - \bar{\gamma} e_3 + G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J) + \bar{\chi} u \quad (31)$$

Việc lựa chọn luật điều khiển có thể tiến hành như sau:
 $\bar{\chi} u = -\gamma \text{sign} e_3 \quad (32)$

Khi đó:

$$\dot{e}_3 = -\bar{\alpha} e_1 - \bar{\beta} e_2 - \bar{\gamma} e_3 + G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J) - \gamma \text{sign} e_3 \quad (33)$$

Khi chọn hệ số γ thỏa mãn điều kiện xuất hiện chế độ trượt thì sau khoảng thời gian $t \geq t_0$ có $e_3 = 0$, khi đó nhận được hệ (34) đến (36).

$$\dot{e}_1 = -\alpha e_1 + e_2 \quad (34)$$

$$\dot{e}_2 = -\alpha^2 e_1 - (\beta - \alpha) e_2 \quad (35)$$

$$\dot{e}_3 = 0 \quad (36)$$

Như vậy động học của hệ thống (23) sẽ phụ thuộc vào việc lựa chọn các hệ số, mà không phụ thuộc vào hàm $G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J)$, đảm bảo các thành phần bất biến không ảnh hưởng tới quá trình điều khiển [4, 5].

Xét hàm Lyapunov của (33) dưới dạng:

$$V = \frac{1}{2} e_3^2, V \geq 0, \forall e_3$$

$$\dot{V} = e_3 \dot{e}_3 = e_3 [-\bar{\alpha} e_1 - \bar{\beta} e_2 - \bar{\gamma} e_3 + G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J) - \gamma \text{sign} e_3] \quad (37)$$

Từ đó ta có:

$$\dot{V} = e_3 [-\bar{\alpha} e_1 - \bar{\beta} e_2 - \bar{\gamma} e_3 + G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J) - \gamma \text{sign} e_3] \leq |e_3| [|\bar{\alpha}| |e_1| + |\bar{\beta}| |e_2| + |\bar{\gamma}| |e_3| + G_{\max} - \gamma \text{sign} e_3] \quad (38)$$

Với G_{\max} là giá trị lớn nhất của hàm $G(\dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \Delta J)$

Chọn hệ số γ để đảm bảo $\dot{V} < 0, \forall e_3 \neq 0$, tương đương với việc lựa chọn:

$$\gamma \geq |\bar{\alpha}| |e_{10}| + |\bar{\beta}| |e_{20}| + |\bar{\gamma}| + G_{\max} \quad (39)$$

Trong đó: e_{10}, e_{20} là các giá trị lớn nhất của sai số e_1, e_2 .

Như vậy với luật điều khiển (32) bộ điều khiển tổng hợp được sẽ giúp hệ ổn định bền vững với các nhiễu loạn do phần cơ sinh ra.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

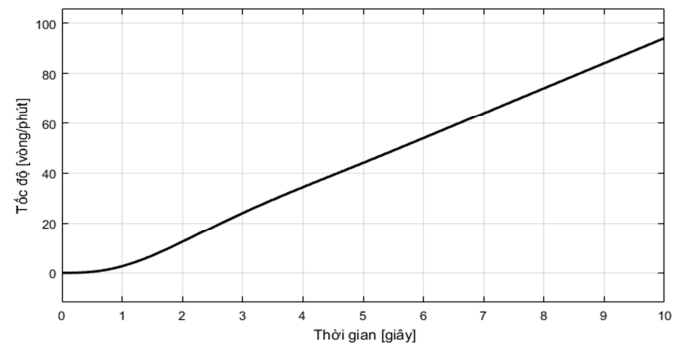
4.1. Tham số mô phỏng

Mô hình mô phỏng xét hệ truyền động quay có động cơ chấp hành một chiều kích từ nam châm vĩnh cửu có công suất động cơ định mức: 4,2kW; tốc độ động cơ định mức (N_{dm}): 1500 vòng/phút; dòng điện định mức: 21,8A; có các tham số $R_u = 5\Omega, L_u = 0,2H, K_b = 0,1V/\text{rad}/\text{sec}, K_i = 0,1\text{Nm}/\text{A}$, tỷ số truyền của hộp đổi tốc $n_1/n_2 = 1/1076$, mô men quán tính của rô to $J_{\text{rotor}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$.

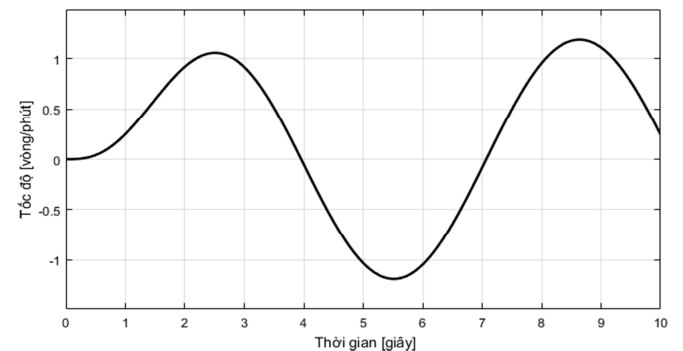
4.2. Kết quả mô phỏng

Tiến hành đánh giá chất lượng của bộ điều khiển thông qua đáp ứng tốc độ của hệ truyền động trong các trường hợp khác nhau.

Khi tín hiệu đầu vào là hàm vận tốc và hàm sin, sai lệch không đáng kể, bộ điều khiển hoạt động tốt (hình 2, 3).



Hình 2. Đáp ứng của động cơ khi tín hiệu vào là hàm vận tốc

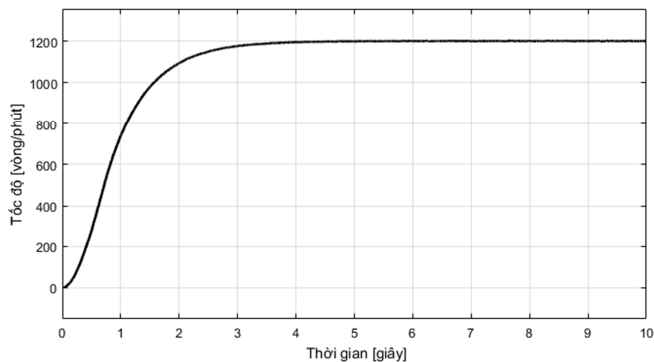


Hình 3. Đáp ứng của động cơ khi tín hiệu vào là hàm sin

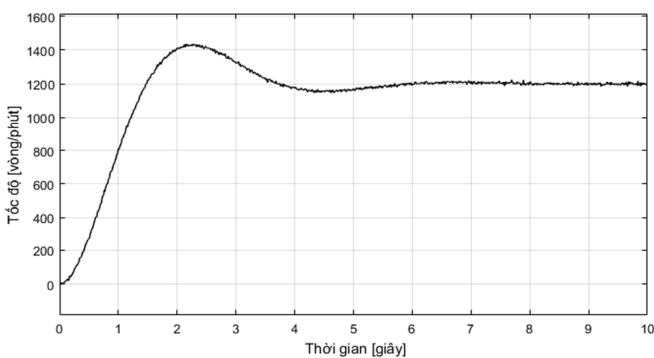
Đặt tốc độ động cơ là 1200 [vòng/phút]. Trong trường hợp không có nhiễu phần cơ, tốc độ động cơ ổn định, sai lệch tính bằng không (hình 4).

Khi hệ thống có tác động của nhiễu bất định do phần cơ gây ra và mô men quán tính lớn $\Delta J = 5J_{eq}$ hình 5.

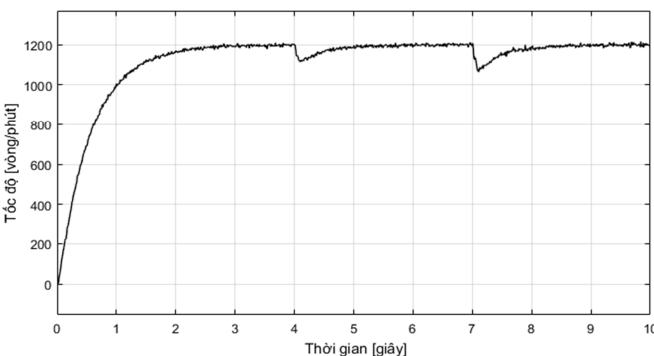
Trường hợp có tác động của mômen cản: tại thời điểm 4 giây và 7 giây $M_c = 100\text{Nm}$ và 200Nm thì đáp ứng đầu ra của tốc độ động cơ như hình 6.



Hình 4. Tốc độ động cơ khi không có nhiều phần cơ



Hình 5. Tốc độ động cơ khi có nhiều phần cơ và mô men quán tính lớn



Hình 6. Tốc độ động cơ khi có mômen cản tác động tại thời điểm 4 giây và 7 giây

Qua trường hợp trên cho thấy tốc độ động cơ hay ăng ten ổn định, không dao động, thời gian quá độ nhỏ, đáp ứng yêu cầu về tính tác động nhanh của hệ thống.

Bảng 1. Độ quá chỉnh và thời gian xác lập trong các trường hợp

TT	ω [vòng/phút]	M_c [Nm]	Độ quá chỉnh	Thời gian quá độ	Sai số xác lập
1	ω là hàm tốc độ	-	-	-	0
2	sin	-	-	-	0
3	1200	0	8,3%	3,5	0
4	1200	100 và 200	0%	2,3	0

4.3. Nhận xét kết quả

Từ các kết quả mô phỏng thấy rằng, bộ điều khiển trượt - cuốn chiếu cho hệ truyền động đài ra đa P18 có tính đến nhiều phần cơ có chất lượng tốt, đáp ứng được yêu cầu của hệ thống. Trong điều kiện chịu ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến như: mô men ma sát, mô men quán tính trên tải,

hệ thống vẫn đảm bảo được độ chính xác trong cả chế độ động và chế độ tĩnh, sai số tĩnh luôn về 0 trong các trường hợp khác nhau. Dao động trong quá trình điều khiển rất nhỏ, thời gian quá độ ngắn giúp nâng cao tính chính xác khi vận hành, tăng khả năng phát hiện mục tiêu, bảo vệ vững chắc bầu trời tổ quốc.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả xây dựng bộ điều khiển trượt - cuốn chiếu cho hệ truyền động đài ra đa cảnh giới P18 của Quân chủng Phòng không - Không quân. Phần trình bày được bắt đầu từ việc xây dựng mô hình cơ hệ, tổng hợp bộ điều khiển trượt, mô phỏng bằng phần mềm Matlab-Simulink. Các kết quả kiểm nghiệm cho thấy:

- Thứ nhất, việc sử dụng bộ trượt - cuốn chiếu làm tăng tính ổn định của hệ thống, đảm bảo độ quá chỉnh trong ngưỡng cho phép.

- Thứ hai, phương pháp này đảm bảo được độ chính xác bám, giảm tối đa sai số và hiện tượng dao động trong điều kiện hệ thống chịu ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến do cấu trúc phức tạp phần cơ gây ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tran Xuan Tinh, Pham Tuan Thanh, Tran Van Tuyen, Dao Sy Luat, 2020. *Design fast terminal sliding mode controller for electric drivetrain multi-motor have contacts friction, elastic*. Journal of Military Science and Technology, Vol 66.
- [2]. Dao Phuong Nam, Tran Xuan Tinh, Pham Tuan Thanh, 2021. *On Finite-Time Output Feedback Sliding Mode Control of a Elastic Multi-Motor System*. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). Vol 12, No 1.
- [3]. Zhao D., Zou T., Li S., 2012. *Adaptive backstepping sliding mode control for leader-follower multi-agent systems*. Control Theory Appl. IET, 6, 1109–1117.
- [4]. Gong X., Hou Z.C., Zhao C.J., 2012. *Adaptive Backstepping Sliding Mode Trajectory Tracking Control for a Quad-rotor*. Int. J. Autom. Comput., 9, 555–560.
- [5]. Dong L, Tang W.C., 2014. *Adaptive backstepping sliding mode control of flexible ball screw drives with time-varying parametric uncertainties and disturbances*. ISA Trans., 53, 110–116.

AUTHORS INFORMATION

Dang Tien Trung¹, Nguyen Ngoc Tuan², Tran Xuan Tinh³, Duong Van Thanh³, Tran Thi Nga³

¹Electric Power University

²Military Technical Academy

³Air Defence - Air Force Academy