

# THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG KÍNH NGẮM QUANG HỌC TRÊN TRỰC THĂNG QUÂN SỰ

## DESIGN SLIDING MODE CONTROLLER FOR OPTICAL VIEWFINDERS DRIVE SYSTEM ON MILITARY HELICOPTER

Nguyễn Ngọc Tuấn<sup>1,\*</sup>, Chaysavanh Inthakham<sup>1</sup>

### TÓM TẮT

Bộ điều khiển hệ truyền động hai kênh cho kính ngắm quang học trên máy bay trực thăng quân sự có vai trò rất quan trọng trong ổn định đường ngắm mục tiêu, tăng xác suất tiêu diệt mục tiêu, hoàn thành nhiệm vụ. Bài báo này trình bày kết quả xây dựng bộ điều khiển trượt cho hệ truyền động kính ngắm quang học. 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 trong điều khiển; ổn định được góc ngắm ngay cả khi chịu tác động của nhiễu loạn, rung lắc từ các phương tiện mang.

**Từ khóa:** Điều khiển trượt, máy bay trực thăng, kính ngắm quang học, hệ truyền động.

### ABSTRACT

The dual-channel powertrain controller for the optical viewfinder on military helicopters plays a very important role in stabilizing the target line of sight, increasing the probability of target destruction, completing the mission. This paper presents the results of building a sliding controller for the optical viewfinder drive system. The test results by simulation on Matlab-Simulink software show that this controller ensures accuracy in control; stabilizes the angle of view even under the impact of disturbances and vibrations from the carrying vehicles.

**Keywords:** Sliding mode controller, helicopter, optical viewfinders, drive system.

<sup>1</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự

\*Email: ngoctuanhvn@gmail.com

Ngày nhận bài: 25/6/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/8/2022

Ngày chấp nhận đăng: 29/8/2022

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

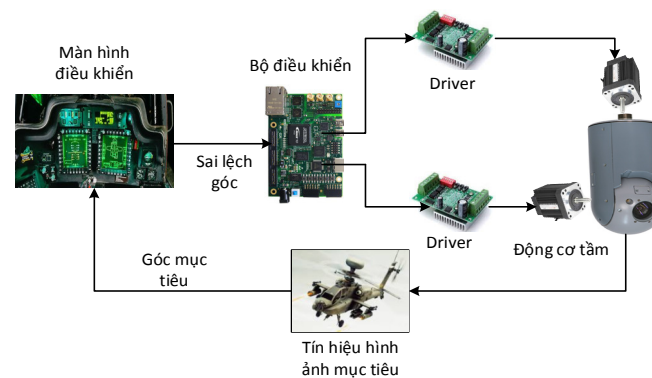
Hệ thống kính ngắm quang điện tử trên máy bay trực thăng cho phép tự động bám bắt và theo dõi một cách chính xác các mục tiêu với cơ chế tự động hoặc điều khiển bằng tay, giúp nâng cao khả năng chiến đấu, tiêu diệt mục tiêu. Trong hệ thống này, đường ngắm cần phải được điều khiển nhanh, chính xác tới mục tiêu cố định hoặc di động trong điều kiện chịu ảnh hưởng của các nhiễu loạn gây ra do rung lắc từ các phương tiện mang [1, 2]. Hiện nay, việc

tính toán bù khử những ảnh hưởng của môi trường làm việc cho hệ truyền động bám của thiết bị này còn chưa giải quyết triệt để yêu cầu bài toán đặt ra, dẫn đến hiệu quả và chất lượng sử dụng chiến đấu của hệ thống chưa cao [2]. Để khắc phục vấn đề này, nhóm tác giả đề xuất sử dụng bộ điều khiển trượt. Đây là bộ điều khiển có tính bền vững cao, cấu trúc đơn giản, đảm bảo độ chính xác khi hệ thống có tham số bất định và nhiễu bên ngoài [3]. Qua khảo sát cho thấy bộ điều khiển trượt tổng hợp được cho kết quả tốt; loại bỏ, bù khử các nhiễu loạn và bất định sinh ra bởi chuyển động vật mang, mất cân bằng...



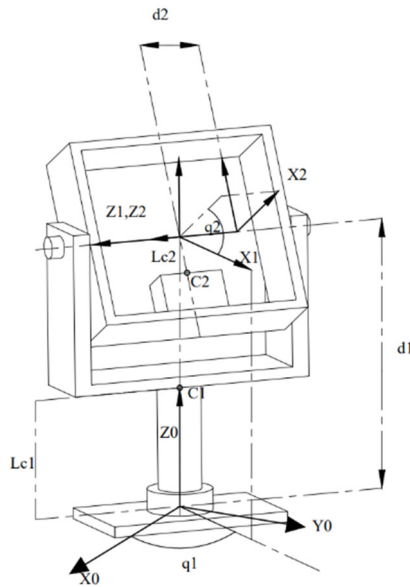
Hình 1. Hệ kính ngắm quang học trên máy bay trực thăng

### 2. MÔ HÌNH HỆ TRUYỀN ĐỘNG KÍNH NGẮM QUANG HỌC



Hình 2. Hệ truyền động hai kênh kính ngắm quang học

Mô hình toán học của hệ khi xét đến các thành phần bất định của hệ thống [2].



Hình 3. Mô hình hệ truyền động hai trục

Trong đó:  $q_1, q_2$ : các biến khớp;  $C_1, C_2$ : tọa độ khối tâm;  $O_2$ : gốc của tọa độ;

$O_2x_2y_2z_2$ : điểm thấu kính camera;  $\dot{q}_1, \dot{q}_2$ : vận tốc góc tại các biến khớp (vận tốc động cơ).

Phần cơ hệ được mô tả trên hình 3, chuyển động tầm và hướng đặt lồng vào nhau. Phương trình động lực học chuyển động hai trục được xây dựng theo quan điểm cơ học hệ nhiều vật, với cách tiếp cận theo phương pháp Euler-Lagrang như sau:

$$M(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + C(\underline{q}, \dot{\underline{q}})\dot{\underline{q}} + D(\underline{t}) = K_i \underline{i} \tag{1}$$

Trong đó:  $\underline{q} = [q_1 \quad q_2]^T, \underline{i} = [i_{u1} \quad i_{u2}]^T$ ; Các thành phần ma trận hệ số:

$$M(.) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}; C(.) = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}; D = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}; K_i = \begin{bmatrix} k_{ia} & 0 \\ 0 & k_{ib} \end{bmatrix}$$

Động học của động cơ chấp hành:

$$\dot{\underline{i}} = -R \underline{i} - K_{emf} \dot{\underline{q}} + B \underline{u} \tag{2}$$

Với các hệ số điện trở phản ứng, điện cảm phản ứng, hệ số phản sức điện động:

$$R = \begin{bmatrix} R_a & 0 \\ L_a & 0 \\ 0 & R_b \\ & L_b \end{bmatrix}; K_{emf} = \begin{bmatrix} K_{ma} & 0 \\ L_a & 0 \\ 0 & K_{mb} \\ & L_b \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ L_a & 0 \\ 0 & 1 \\ & L_b \end{bmatrix}; \underline{u} = \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \end{bmatrix}$$

Đặt các véc tơ biến trạng thái:

$$\underline{x}_1 = \underline{q}, \underline{x}_2 = \dot{\underline{q}}, \underline{x}_3 = \underline{i}, \underline{u} = [u_a \quad u_b]^T$$

Khi tính đến các thành phần nhiễu và bất định:

$$M(\underline{x}_1) = M_0(\underline{x}_1) + \Delta M(\underline{x}_1); C(\underline{x}_1, \underline{x}_2) = C_0(\underline{x}_1, \underline{x}_2) + \Delta C(\underline{x}_1, \underline{x}_2)$$

Ta nhận được:

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}}_1 = \underline{x}_2 \\ \dot{\underline{x}}_2 = M_0^{-1}(\underline{x}_1)[K_i \underline{x}_3 - C_0(\underline{x}_1, \underline{x}_2)\underline{x}_2 + F(\cdot)] \\ \dot{\underline{x}}_3 = R \underline{x}_3 + K_{emf} \underline{x}_2 + B \underline{u} \end{cases} \tag{3}$$

Trong đó, thành phần bất định về tham số và nhiễu:

$$F(\cdot) = -\Delta C(\underline{x}_1, \underline{x}_2)\underline{x}_2 - \Delta M(\underline{x}_1)\dot{\underline{x}}_2 - D$$

### 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Sử dụng phương pháp tổng hợp cuốn chiếu kết hợp với bù thành phần bất định và nhiễu để đảm bảo sai số bám sát ổn định tại điểm cân bằng.

*Bước 1: Xây dựng vòng phản hồi vị trí*

Xét sai số bám sát:  $e_1 = x_1 - x_{1d}$ . Vi phân sai số:  $\dot{e}_1 = \dot{x}_1 - \dot{x}_{1d}$ , để đảm bảo  $e_1 \rightarrow 0$  chọn  $x_{2d} = -k_1 e_1 + \dot{x}_{1d} + \alpha(e_1)$ , với ma trận hằng số  $k_1 > 0$ , trong đó  $\alpha(e_1)$  là thành phần được thiết kế bổ sung để bảo đảm tăng tốc độ hội tụ của  $e_1 \rightarrow 0$ . Sai số giữa giá trị lựa chọn và giá trị thực  $x_2$  là  $e_2$ , và:

$$e_2 = x_2 + k_1 e_1 - \dot{x}_{1d} - \alpha(e_1) \tag{4}$$

Như vậy ta nhận được:

$$\dot{e}_1 = -k_1 e_1 + \alpha(e_1) + e_2 \tag{5}$$

Trong (5) nếu  $e_2 = 0$  thì  $\dot{e}_1 = -k_1 e_1 + \alpha(e_1)$  hội tụ về 0 theo dạng hàm đã được thiết kế trước. Chọn:

$$\alpha(e_1) = -k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1), \text{diag}(k_{e1}) > 0 \tag{6}$$

Khi đó, thay (6) vào (5) ta được:

$$\dot{e}_1 = -k_1 e_1 - k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) + e_2 \tag{7}$$

*Bước 2: Xây dựng vòng phản hồi tốc độ*

Thành phần  $e_2$  trong (4) được xem là sai số tốc độ. Mục tiêu của bước này là đảm bảo  $e_2 \rightarrow 0$  nhanh nhất có thể. Xét vi phân của  $e_2$ :

$$\dot{e}_2 = \dot{x}_2 + k_1 \dot{e}_1 - \ddot{x}_{1d} - \frac{d}{dt} \alpha(e_1) \tag{8}$$

Thế phương trình thứ 2 của hệ (3) vào (8) ta nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{e}_2 = M_{x_1}^0(\underline{x}_1)^{-1} [ & x_3 - C_{x_1}^0(\underline{x}_1, \underline{x}_2)\underline{x}_2 - G_{x_1}^0(\underline{x}_1) + F(\cdot) ] \\ & + k_1(-k_1 e_1 + \alpha(e_1) + e_2) - \ddot{x}_{1d} - \frac{d}{dt} \alpha(e_1) \end{aligned} \tag{9}$$

Lựa chọn biến điều khiển ảo, với đánh giá bất định  $\hat{F}(\cdot)$  có dạng:

$$\begin{aligned} x_3 = C_{x_1}^0(\underline{x}_1, \underline{x}_2)\underline{x}_2 + G_{x_1}^0(\underline{x}_1) - \hat{F}(\cdot) \\ + M_{x_1}^0(\underline{x}_1) \left( \ddot{x}_{1d} + \frac{d}{dt} \alpha(e_1) - k_2 e_2 + e_3 + \alpha_2(e_2) \right) \end{aligned} \tag{10}$$

Với  $e_3$  là sai khác của  $x_{3d}$  (lựa chọn) và  $x_3$  thực tế, ma trận hệ số dương  $k_2 = \begin{bmatrix} k_{21} & 0 \\ 0 & k_{22} \end{bmatrix}$ . Khi đó ta nhận được:

$$\dot{e}_2 = -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 + \alpha_2(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \quad (11)$$

Trong đó:  $\tilde{F}(t) = F(\cdot) - \hat{F}(t)$ ;  $\alpha(e_2) = -k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2)$

Lựa chọn các hệ số  $k_{e2}$  phù hợp để bảo đảm  $e_2 \rightarrow 0$  sau khoảng thời gian hữu hạn.

**Bước 3: Xây dựng vòng phản hồi dòng điện**

Trên cơ sở (11) mong muốn  $e_3 \rightarrow 0$ .

$$e_3 = M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d}{dt} \alpha(e_1) - k_2 e_2 + \alpha_2(e_2) \right) \quad (12)$$

Xét vi phân của (12) có:

$$\dot{e}_3 = \frac{d}{dt} M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] + M_0^{-1}(x_1) \left[ \dot{x}_3 - \frac{d}{dt} (C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot)) \right] - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d^2}{dt^2} \alpha(e_1) - k_2 \dot{e}_2 + \frac{d}{dt} \alpha_2(e_2) \right) \quad (13)$$

Thay thế các phương trình có liên quan vào (13) được:

$$\dot{e}_3 = \frac{d}{dt} M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] + M_0^{-1}(x_1) \left[ R x_3 + K_{emf} x_2 + B u - \frac{d}{dt} (C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot)) \right] - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d^2}{dt^2} \alpha(e_1) - k_2 \dot{e}_2 + \frac{d}{dt} \alpha_2(e_2) \right) \quad (14)$$

Như vậy hệ phương trình sai số có dạng:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = -k_1 e_1 - k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) + e_2 \\ \dot{e}_2 = -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 - k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \\ \dot{e}_3 = \frac{d}{dt} M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] + M_0^{-1}(x_1) \left[ R x_3 + K_{emf} x_2 + B u - \frac{d}{dt} (C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot)) \right] - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d^2}{dt^2} \alpha(e_1) - k_2 \dot{e}_2 + \frac{d}{dt} \alpha_2(e_2) \right) \end{cases} \quad (15)$$

Luật điều khiển được thiết kế cho (15) để bảo đảm  $e_1 \rightarrow 0$

Xét cấu trúc mặt trượt cơ bản cho hệ con bậc 2,  $(e_1, e_2) \rightarrow 0$  nhận được từ hai phương trình đầu của (15).

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = -k_1 e_1 - k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) + e_2 \\ \dot{e}_2 = -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 - k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \end{cases} \quad (16)$$

Lựa chọn véc tơ mặt trượt theo dạng trượt đầu cuối:

$$s_1 = e_1 + \beta e_2^{\frac{p}{q}}; \quad s_1 = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{12} \end{bmatrix}; \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_{11} & 0 \\ 0 & \beta_{12} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Trong đó:  $\beta > 0$ ,  $p, q$  là các số nguyên dương lẻ, và thỏa mãn  $q > p > 0$ . Có nghĩa là  $0 < \frac{p}{q} < 1$ , vi phân (17) có:

$$\begin{aligned} \dot{s}_1 &= -k_1 e_1 - k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) + e_2 \\ &+ \frac{p}{q} \beta e_2^{\frac{p-1}{q}} \left[ -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 - k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Kết hợp phương trình vi phân của véc tơ mặt trượt (18) với phương trình thứ 3 trong hệ (15), để có hệ con thứ hai  $(s_1, e_3) \rightarrow 0$ :

$$\begin{cases} \dot{s}_1 = -k_1 e_1 - k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) + e_2 + \frac{p}{q} \beta e_2^{\frac{p-1}{q}} \left( -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 - k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \right) \\ \dot{e}_3 = \frac{d}{dt} M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] + M_0^{-1}(x_1) \left[ R x_3 + K_{emf} x_2 + B u - \frac{d}{dt} (C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot)) \right] - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d^2}{dt^2} \alpha(e_1) - k_2 \dot{e}_2 + \frac{d}{dt} \alpha_2(e_2) \right) \end{cases} \quad (19)$$

Xây dựng mặt trượt mới cho (19) với cấu trúc:

$$s_2 = s_1 + \beta_2 e_3^{\frac{p}{q}}; \quad \beta_2 = \begin{bmatrix} \beta_{21} & 0 \\ 0 & \beta_{22} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Tương tự trên, vi phân của (20), thế các phương trình có liên quan vào ta nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{s}_2 &= -k_1 e_1 - k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) + e_2 + \frac{p}{q} \beta e_2^{\frac{p-1}{q}} \left( -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 - k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \right) \\ &+ \frac{d}{dt} M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] \\ &+ \frac{p}{q} \beta_2 e_3^{\frac{p-1}{q}} \left[ R x_3 + K_{emf} x_2 + B u - \frac{d}{dt} (C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot)) - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d^2}{dt^2} \alpha(e_1) - k_2 \dot{e}_2 + \frac{d}{dt} \alpha_2(e_2) \right) \right] \end{aligned} \quad (21)$$

Lựa chọn điều khiển  $Bu$  để bảo đảm  $s_2 \rightarrow 0$ , khi đó

$$\begin{cases} s_1 \rightarrow 0 \\ e_3 \rightarrow 0 \end{cases}, \text{ dẫn đến } \begin{cases} e_1 \rightarrow 0 \\ e_2 \rightarrow 0 \end{cases}$$

Thành phần điều khiển tương đương được xác định trên cơ sở  $\dot{s}_2 = 0$ :

$$\begin{aligned} \left[ \frac{p}{q} \beta_2 e_3^{\frac{p-1}{q}} \right]^{-1} M_0^{-1}(x_1) B u_{eq} &= k_1 e_1 + k_{e1} |e_1|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_1) - e_2 \\ &- \frac{p}{q} \beta e_2^{\frac{p-1}{q}} \left( -k_1^2 e_1 - (k_2 - k_1) e_2 - k_{e2} |e_2|^{\frac{1}{2}} \text{sgn}(e_2) + \tilde{F}(t) + e_3 \right) \\ &- \frac{d}{dt} M_0^{-1}(x_1) \left[ x_3 - C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot) \right] \\ &- \frac{p}{q} \beta_2 e_3^{\frac{p-1}{q}} \left[ R x_3 + K_{emf} x_2 + B u - \frac{d}{dt} (C_{x_1}^0(x_1, x_2) x_2 - G_{x_1}^0(x_1) + \hat{F}(\cdot)) - \left( \ddot{x}_{id} + \frac{d^2}{dt^2} \alpha(e_1) - k_2 \dot{e}_2 + \frac{d}{dt} \alpha_2(e_2) \right) \right] \end{aligned} \quad (22)$$

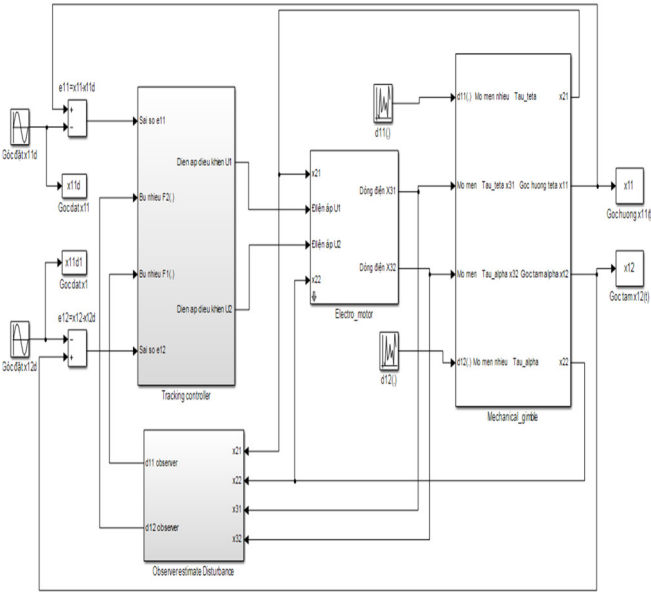
Thành phần điều khiển chuyển mạch được thiết kế bảo đảm kháng nhiễu và các yếu tố bất định trong không gian điều khiển.

$$\left[ \frac{p}{q} \beta_2 e_3^{p-1} \right]^{-1} M_0^{-1}(x_1) B(\cdot) u_{sw} = -K_{sw}(t) \sqrt{|s_2|} \text{sign}(s_2) \quad (23)$$

**4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ**

**4.1. Tham số mô phỏng**

Mô hình mô phỏng đánh giá chất lượng của bộ điều khiển bằng phần mềm Matlab-Simulink như hình 4.

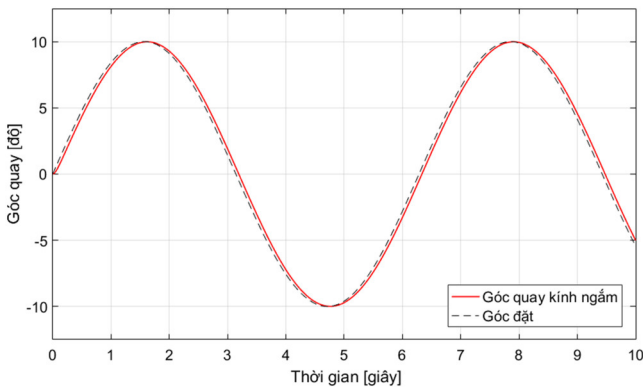


Hình 4. Mô hình mô phỏng hệ truyền động kính ngắm quang học

**4.2. Kết quả mô phỏng**

Kiểm tra chất lượng của bộ điều khiển thông qua đáp ứng góc ngắm của hệ truyền động trong các trường hợp khác nhau.

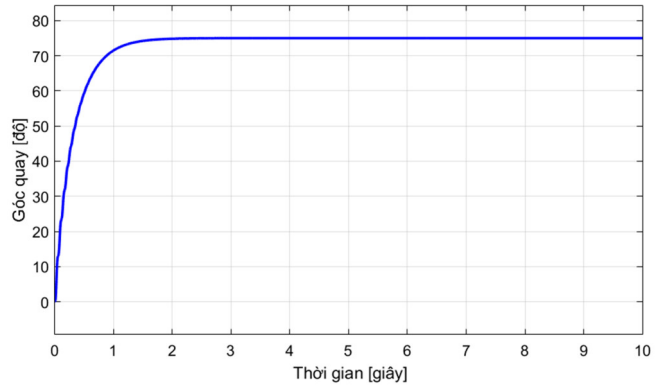
+ Trường hợp 1: Góc hướng đặt là hàm sin có biên độ là 10 độ.



Hình 5. Đáp ứng góc quay hướng với tín hiệu đặt là hàm sin

Trong trường hợp này hệ thống bám ổn định với sai số 0,2%.

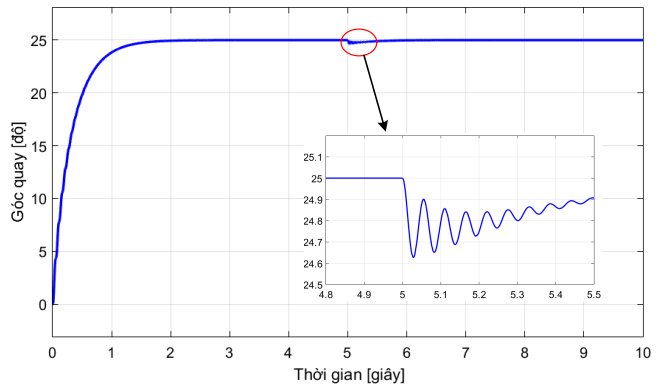
+ Trường hợp 2: Góc hướng đặt 75 độ, với momen tải ban đầu là 3Nm.



Hình 6. Đáp ứng góc quay hướng với momen tải là 3 Nm

Trường hợp có momen tải, thời gian quá độ là 1 giây, sai số xác lập bằng 0, hệ ổn định

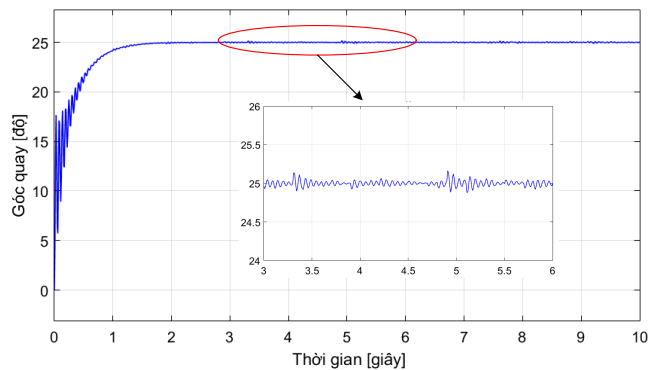
+ Trường hợp 3: Góc tầm đặt là 25 độ, với momen tải ban đầu là 3Nm tăng lên 10Nm tại thời điểm 5 giây.



Hình 7. Đáp ứng góc tầm khi tải thay đổi

Với trường hợp 3, khi momen tải thay đổi, không có nhiễu, tốc độ đáp ứng của hệ nhanh, dao động nhỏ, sai số 0,4 độ, hệ ổn định.

+ Trường hợp 4: Góc đặt là 25 độ, với nhiễu ngẫu nhiên trong khoảng 2Nm tác động lên hệ thống.



Hình 8. Đáp ứng tốc độ của động cơ chấp hành trường hợp có nhiễu

Trường hợp có nhiễu hệ dao động mạnh trong quá trình quá độ, nhưng ổn định sau 1,2 giây, sai số xác lập 0,3 độ.

**4.3. Nhận xét kết quả**

Qua kết quả mô phỏng ta thấy, bộ điều khiển trượt đã đáp ứng tốt yêu cầu của hệ thống, đó là tính tác động

nhanh, bám tốt tín hiệu điều khiển, ổn định được góc đặt trong các trường hợp khác nhau. Quá trình điều khiển êm ái, không có độ quá chỉnh, đảm bảo yêu cầu chất lượng ngắm, bám của khí tài quang.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả xây dựng bộ điều khiển trượt cho hệ truyền động kính ngắm quang học hai kênh tầm và hướng trang bị trên máy bay trực thăng. Phần trình bày được bắt đầu từ việc xây dựng mô hình cơ hệ, tổng hợp bộ điều khiển, mô phỏng bằng phần mềm Matlab-Simulink. Các kết quả kiểm nghiệm cho thấy:

- Thứ nhất, việc sử dụng bộ điều khiển trượt làm tăng tính ổn định của hệ thống, đảm bảo độ chính xác khi bám, tăng khả năng tiêu diệt mục tiêu của thiết bị bay.

- Thứ hai, phương pháp này đã giúp giảm tối đa sai số và hiện tượng dao động trong điều kiện hệ thống chịu ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến, nhiễu loạn, rung động về tải trong quá trình bay.

---

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tran Ngoc Binh, Vu Quoc Huy, Nguyen Vu, 2017. *Improving quality on light of sight stabilization and target tracking system for fire control system of ZU23MM-2M*. Journal of Military Science and Technology, 49, 25-34.

[2]. Ngo Manh Tien, et al., 2017. *Tracking control for electro-optical tracking system in vibration environment based on self-tuning fuzzy PID control*. Journal of Military Science and Technology, ACMEC, 158-167.

[3]. M. S. Rahmat, et al., 2016. *Sliding Mode Control of Target Tracking System for Two Degrees of Freedom Gun Turret Model*. Advances in Military Technology Vol. 11, No. 1, 13-28.

[4]. Maher Abdo, et al., 2014. *Modeling Control and Simulation of Two Axes Gimbal Seeker Using Fuzzy PID*. ICEE, pp. 1342, 2014.

---

## AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Ngoc Tuan, Chaysavanh Inthakham**

Military Technical Academy