

## Điều khiển góc nghiêng Pitch dựa trên quan sát nhiễu bất định cho hệ thống động cơ thủy lực trong tua-bin gió

Nghiêm Xuân Thuộc<sup>1\*</sup>, Trần Đức Thuận<sup>2</sup>, Nguyễn Việt Anh<sup>1</sup>,  
Hoàng Quốc Xuyên<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Quỳnh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Đại học Công nghiệp Hà Nội, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam;

<sup>2</sup>Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Số 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

\*Email: xuanthuocudonghoa@gmail.com

Nhận bài: 15/01/2024; Hoàn thiện: 02/3/2024; Chấp nhận đăng: 08/4/2024; Xuất bản: 22/04/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.94.2024.39-47>

### TÓM TẮT

Nội dung bài báo trình bày mô hình động cơ servo thủy lực truyền động cánh quạt tua-bin gió dưới tác động của tổng nhiễu bất định gồm sai số mô hình, mô men tải gió và mô men ma sát, từ đó, áp dụng các bộ điều khiển và quan sát nhiễu bất định để tăng độ chính xác, bền vững trong quá trình điều khiển hoạt động góc nghiêng Pitch của cánh quạt tua-bin gió. Cấu trúc điều khiển kết hợp bộ quan sát nhiễu và bộ điều khiển trượt mặt động (DSC - Dynamic Surface Control) được đề xuất, trong đó, bộ quan sát được thiết kế để hạn chế những ảnh hưởng do thành phần nhiễu bất định gây ra cho hệ thống tua-bin gió. Kết quả mô phỏng và thực hiện so sánh bộ điều khiển đề xuất với các bộ điều khiển cuộn chiều (BSP-Backstepping) và điều khiển trượt mặt động đã minh chứng sự cải thiện về chất lượng điều khiển và được đánh giá định tính dựa trên căn bậc hai độ lệch bình phương trung bình (RMSE-Root Mean Square Error).

**Từ khóa:** Động cơ servo thủy lực; Góc nghiêng Pitch; Bộ quan sát nhiễu bất định; Điều khiển trượt mặt động; Điều khiển cuộn chiều; Mạng no-ron cơ sở xuyên tâm.

### 1. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, tua-bin gió có tốc độ thay đổi (Variable-Speed Wind Turbines) đã phát triển nhanh chóng, chiếm ưu thế trong các ứng dụng năng lượng gió quy mô lớn do một số ưu điểm nổi trội, chất lượng điện năng được nâng cao, hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao hơn và chi phí vận hành so với các tua-bin gió có tốc độ cố định sẽ thấp hơn. Tua-bin có tốc độ thay đổi thường ứng dụng phương pháp điều khiển góc nghiêng Pitch để thay đổi đặc tính khí động học của tua-bin gió, giảm tải cơ học, hạn chế dao động công suất đầu ra, hạn chế dao động mô men xoắn khi xảy ra sự cố tốc độ gió. Điều khiển góc nghiêng Pitch cho phép tua-bin gió hoạt động trong vùng tải cục bộ với hiệu suất cao, từ đó, giúp tua-bin gió hoạt động hiệu quả và khai thác tối đa năng lượng gió. Do đó, phương pháp điều khiển góc nghiêng Pitch sẽ tối ưu hóa đặc tính khí động học và cơ học của tua-bin gió, nâng cao và cải thiện hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch tiên tiến hơn có tầm quan trọng đặc biệt đối với độ tin cậy và độ ổn định của hệ thống tua-bin gió hiện đại [1, 2].

Hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch hiện nay gồm hai loại cơ bản: Loại điện cơ và loại thủy lực [3]. Hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch điện cơ thường sử dụng một động cơ servo điện để xoay nghiêng cánh tua-bin gió. Mặc dù hệ thống này có vẻ tương đối chính xác và nhỏ gọn, nhưng nó có nhược điểm là mô men xoắn hạn chế, phạm vi hoạt động hạn chế và tỷ lệ công suất trên khối lượng tương đối thấp. Hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch thủy lực sử dụng xi lanh thủy lực làm cơ cấu truyền động, hệ thống này đang dùng phổ biến trong các tua-bin gió công suất lớn, vì có đặc tính là mật độ công suất cao, khe hở nhỏ và độ tin cậy cao. Hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch được dẫn động bởi xi lanh thủy lực chuyển đổi chuyển động tuyến tính của xi lanh thủy lực thành chuyển động xoay tròn các cánh bằng cơ cấu trượt tay quay, từ đó, điều khiển góc nghiêng Pitch. Nhìn chung, hệ thống này có một số ưu điểm như khả năng chịu tải lớn, độ tin cậy cao, khả năng tự làm mát và độ bền vượt trội. Tuy nhiên, độ chính xác điều khiển góc nghiêng Pitch của hệ

thống thủy lực tương đối thấp do sự biến đổi phi tuyến giữa chuyển vị của piston thủy lực và góc nghiêng Pitch, cơ cấu trượt tay quay sẽ làm phức tạp cơ cấu điều khiển góc nghiêng Pitch và dễ xảy ra lỗi [4, 5]. Để khắc phục những hạn chế của hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch xi lanh thủy lực, nội dung bài báo sẽ tập trung phân tích ưu điểm động cơ thủy lực làm cơ cấu chấp hành. Hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch sử dụng động cơ thủy lực dẫn động các bánh răng dẫn động, có cấu trúc đơn giản hơn và độ tin cậy cao hơn so với sử dụng xi lanh thủy lực [6].

Một số bộ điều khiển góc nghiêng Pitch gần đây được trình bày để nâng cao độ chính xác khi điều khiển. Bộ điều khiển góc nghiêng Pitch sử dụng phương pháp tỷ lệ-tích phân được đề xuất bởi Zhang và cộng sự cho hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch thủy lực với mô hình động lực học bậc hai [7]. Tuy nhiên, quy trình thiết kế bộ điều khiển dựa trên biểu diễn hàm truyền tuyến tính của hệ mà không xem xét động lực học hệ thống phi tuyến hoặc bất định. Bộ điều khiển góc nghiêng Pitch sử dụng phương pháp thích nghi được thiết kế theo [8] để giới hạn công suất đầu ra ở giá trị định mức dựa trên các mạng nơ-ron cơ sở xuyên tâm RBF (Radial Basis Function) được sử dụng để ước lượng động lực học phi tuyến của tua-bin gió có tốc độ thay đổi. Tuy nhiên, mạng nơ-ron RBF thường đòi hỏi tính toán tốc độ nhanh và không thể thực hiện trong thời gian thực. Bộ điều khiển góc nghiêng logic mờ đã được trình bày trong [9] để làm giảm sự biến động gây ra bởi tốc độ gió khác nhau để điều chỉnh công suất đầu ra. Tuy nhiên, bộ điều khiển góc nghiêng Pitch sử dụng phương pháp logic mờ nhạy cảm với bất kỳ sự thay đổi nào của tập mờ.

Nội dung bài báo xây dựng mô hình toán học động cơ servo thủy lực truyền động cánh quạt tua-bin gió dưới tác động của tổng nhiễu bất định gồm sai số mô hình, mô men tải gió và mô men gây ra bởi ma sát. Ngoài ra, các bộ điều khiển và bộ quan sát nhiễu bất định để tăng độ chính xác, tăng độ bền vững điều khiển góc nghiêng Pitch của tua-bin gió. Những nội dung chính của bài báo bao gồm:

(i) Mô hình động cơ servo thủy lực truyền động cánh quạt tua-bin gió được phân tích dưới tác động của tổng nhiễu bất định gồm sai số mô hình, mô men tải gió và mô men gây ra bởi ma sát, bộ điều khiển đề xuất sử dụng bộ điều khiển và quan sát nhiễu bất định để tăng độ chính xác và bền vững trong quá trình điều khiển góc nghiêng Pitch của tua-bin gió.

(ii) Xây dựng bộ điều khiển góc nghiêng Pitch sử dụng điều khiển trượt mặt động kết hợp với bộ quan sát nhiễu bất định cho hệ thống động cơ thủy lực để nâng cao khả năng bám góc nghiêng của cánh quạt tua-bin gió và tăng độ chính xác.

## 2. NỘI DUNG

### 2.1. Mô hình hệ thống động cơ thủy lực cho tua-bin gió

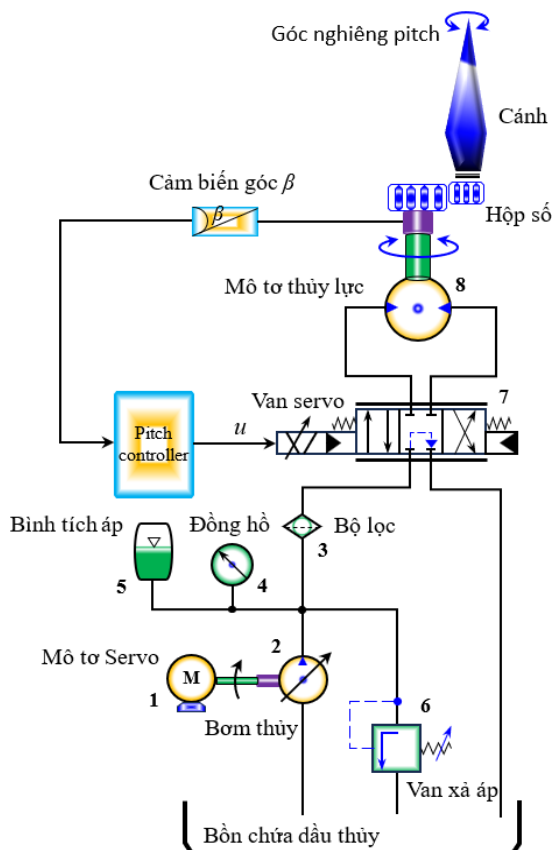
Để tua-bin gió tối ưu hóa động năng của gió, các cánh của tua-bin gió sẽ được xoay nghiêng một góc tối ưu, gọi là góc nghiêng Pitch. Hệ thống truyền động của động cơ thủy lực thực hiện điều khiển góc nghiêng Pitch, cấu trúc có dạng như hình 1. Trong sơ đồ cấu trúc, điện áp đầu vào điều khiển van servo ( $u$ ) liên hệ với độ mở của van theo biểu thức.

$$x_v = k_v u \quad (1)$$

Trong đó,  $k_v$  là hệ số khuếch đại của van servo, có giá trị dương. Tốc độ dòng thủy lực chảy qua van được xác định như sau.

$$Q = C_d W x_v \sqrt{(p_s - p_L \text{sign}(x_v)) / \mu} \quad (2)$$

Trong đó:  $Q, C_d, \mu$  tương ứng tốc độ của dòng chảy, hệ số xả của van, mật độ khối lượng của dòng thủy lực.  $p_s, p_L$  tương ứng áp suất bơm, áp suất chênh lệch trong buồng động cơ thủy lực. Khi xét khả năng nén của chất lỏng thủy lực, phương trình mô tả động cơ thủy lực.



Hình 1. Cấu trúc của hệ thống thủy lực điều khiển góc nghiêng Pitch.

$$Q = D_{hm}\dot{\varphi}_{hm} + C_{hm}p_L + \frac{V_{hm}}{4K}\dot{p}_L \quad (3)$$

Trong đó,  $D_{hm}$  là độ dịch chuyển thể tích,  $\varphi_{hm}$  là độ dịch góc của động cơ thủy lực,  $C_{hm}$  là hệ số rò rỉ,  $V_{hm}$  là thể tích buồng chứa,  $K$  là mô đun khối chất lỏng. Khi chịu tác động của các luồng gió bên ngoài và ma sát, động lực học của hệ thống động cơ thủy lực được xác định.

$$p_L D_{hm} = J_{hm}\ddot{\varphi}_m + \rho\dot{\varphi}_{hm} + \tau_w + \tau_f \quad (4)$$

Trong đó,  $\tau_w, \tau_f$  tương ứng mô men tải gió bên ngoài và mô men ma sát.  $J_{hm}$  là mô men quán tính của trục động cơ thủy lực,  $\rho$  là hệ số giảm chấn nhớt. Góc nghiêng Pitch  $\beta$  được tính.

$$\beta = \varphi_m / r \quad (5)$$

Trong đó,  $r$  là hệ số tỉ lệ bán răng của hộp số. Kết hợp các phương trình (1)-(5), mô hình toán học hệ thống động cơ thủy lực điều khiển góc nghiêng Pitch của tua-bin gió được tổng hợp như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = f_1x_2 + f_2x_3 + d_2 \\ \dot{x}_3 = g_1x_2 + g_2x_3 + g_3.u.\sqrt{p_s - x_3}\text{sign}(x_v) + d_3 \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó,  $[x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [\beta \ \dot{\beta} \ p_L]^T$  là ma trận các biến trạng thái,  $u$  là điện áp điều khiển,  $d_2, d_3$  là các thành phần nhiễu bất định tác động vào hệ thống và có dạng.

$$\begin{cases} d_2 = \frac{-\tau_w - \tau_f}{J_{hm} \cdot r} + \Delta f_2 \\ d_3 = \Delta f_3 \end{cases} \quad (7)$$

Với  $\Delta f_2, \Delta f_3$  đặc trưng cho các thành phần phi tuyến và bất định có trong hệ thống. Giá trị các hàm phi tuyến gồm:  $f_1 = -\frac{\rho}{J_{hm} r}$ ;  $f_2 = \frac{D_{hm}}{J_{hm} r}$ ;  $g_1 = -\frac{4KD_{hm} \cdot r}{V_{hm}}$ ;  $g_2 = -\frac{4KC_{hm}}{V_{hm}}$ ;  $g_3 = -\frac{4KC_d Wk_v}{V_{hm} \sqrt{\mu}}$ .

**Giả sử 1.** Các yếu tố nhiễu loạn  $d_2, d_3$  tồn tại trong mô hình phụ thuộc vào các trạng thái của hệ thống nhưng có biến đổi chậm theo thời gian. Thêm vào đó, các yếu tố nhiễu này cùng với đạo hàm giá trị nhiễu theo thời gian của chúng tồn tại giá trị hữu hạn, tức là  $|d_2| \leq M_1, |d_3| \leq M_2, |\dot{d}_2| \leq N_1, |\dot{d}_3| \leq N_2$ , ( $M_1, M_2, N_1, N_2 > 0$ ).

Phương trình (6) là mô hình toán học hệ thống động cơ thủy lực của tua-bin gió, phương trình (6) là cơ sở để xây dựng cấu trúc điều khiển bền vững cho đối tượng.

## 2.2. Bộ điều khiển trượt mặt động tích hợp quan sát nhiễu bất định

Bộ điều khiển trượt mặt động tích hợp quan sát nhiễu bất định, sẽ sử dụng một bộ quan sát phi tuyến được thiết kế để hạn chế tác động từ các thành phần nhiễu loạn xuất hiện trong hệ thống. Sau đó, bộ quan sát được tích hợp vào bộ điều khiển trượt mặt động để tạo thành một hệ thống điều khiển hoàn chỉnh cho hệ thống động cơ thủy lực. Trước tiên, sai lệch quan sát được định nghĩa.

$$\tilde{d}_2 = d_2 - \hat{d}_2; \tilde{d}_3 = d_3 - \hat{d}_3 \quad (8)$$

Với  $\hat{d}_2, \hat{d}_3$  là các giá trị nhiễu quan sát được,  $d_2$  là tổng nhiễu và bất định,  $d_3$  là thành phần bất định mô hình. Để quan sát được các thành phần nhiễu hiệu quả và bù vào bộ điều khiển để tăng độ chính xác, cấu trúc điều khiển đề xuất luật quan sát là hệ phương trình sau.

$$\begin{cases} \dot{\hat{d}}_2 = \frac{1}{\kappa_2} (\dot{x}_2 - f_1 x_2 - f_2 x_3 - \hat{d}_2) \\ \dot{\hat{d}}_3 = \frac{1}{\kappa_3} (\dot{x}_3 - g_1 x_2 - g_2 x_3 - g_3 u \sqrt{p_s - x_3} \text{sign}(x_v) - \hat{d}_3) \end{cases} \quad (9)$$

Trong đó,  $1/\kappa_2, 1/\kappa_3$  là các độ lợi quan sát. Xem xét mô hình hệ thống ở phương trình (6) và bộ quan sát ở (9), cùng với giả sử 1, sai lệch quan sát được giới hạn bởi điều kiện:

$$|\tilde{d}_n| \leq N_n \kappa_n + e^{-\kappa_n} |\tilde{d}_n(0)|, n = 2, 3.$$

Sai lệch bám đầu ra của hệ thống được định nghĩa là  $e_1 = x_1 - y_d$ , trong đó,  $y_d$  là góc nghiêng Pitch tham chiếu,  $x_{2d}, x_{3d}$  là những tín hiệu điều khiển ảo. Trong bộ điều khiển đề xuất, sử dụng hai bộ lọc thông thấp bậc nhất cho quá trình tạo ra hai tín hiệu ảo  $x_{2d}, x_{3d}$  để hạn chế tác động từ các thành phần phân đạo hàm xuất hiện trong quá trình tính toán. Các bộ lọc này được biểu diễn như sau.

$$\tau_1 \dot{\hat{x}}_{2d} + \hat{x}_{2d} = x_{2d}, \tau_2 \dot{\hat{x}}_{3d} + \hat{x}_{3d} = x_{3d} \quad (10)$$

Trong đó,  $\tau_2, \tau_3$  là hằng số thời gian của bộ lọc.  $\hat{x}_{2d}, \hat{x}_{3d}$  là tín hiệu đầu ra của bộ lọc. Các tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ lọc đều có cùng giá trị ban đầu:  $\hat{x}_{2d}(0) = x_{2d}(0), \hat{x}_{3d}(0) = x_{3d}(0)$ . Sai lệch của các trạng thái trong hệ thống được xác định như sau.

$$e_2 = x_2 - \hat{x}_{2d}, e_3 = x_3 - \hat{x}_{3d} \tag{11}$$

**Định lý 1.** Khi xét hệ thống thủy lực điều khiển góc nghiêng Pitch ở phương trình (6) và bộ quan sát ở phương trình (9). Nếu các tín hiệu điều khiển ảo và tín hiệu điều khiển được thiết kế dưới dạng:

$$\begin{cases} \dot{x}_{2d} = -k_1 e_1 + \dot{y}_d - k_2 \tanh(e_1) \\ \dot{x}_{3d} = f_2^{-1}(-f_1 x_2 + \dot{\hat{x}}_{2d} - k_3 e_2 - k_4 \tanh(e_2) - \hat{d}_2) \\ u = g_3^{-1}(-g_1 x_2 - g_2 x_3 + \dot{\hat{x}}_{3d} - k_5 e_3 - k_6 \tanh(e_3) - \hat{d}_3) \end{cases} \tag{12}$$

Khi đó, sai lệch bám của đầu ra hội tụ về không và hệ thống hoạt động ổn định, với  $k_i (i = 1 \div 6)$  là các tham số điều khiển. Để kiểm chứng tính ổn định của toàn bộ hệ thống vòng kín, hàm Lyapunov được chọn như sau

$$V = 0.5 \sum_{j=1}^3 e_j^2 + 0.5 \tilde{d}_2^2 + 0.5 \tilde{d}_3^2 + 0.5 \tilde{\chi}_2^2 + 0.5 \tilde{\chi}_3^2 \tag{13}$$

Trong đó,  $\tilde{\chi}_2, \tilde{\chi}_3$  là sai lệch của các bộ lọc thông thấp bậc nhất, được xác định như sau.

$$\tilde{\chi}_2 = \hat{x}_{2d} - x_{2d}, \tilde{\chi}_3 = \hat{x}_{3d} - x_{3d} \tag{14}$$

Thực hiện đạo hàm phương trình (13) và áp dụng kết quả ở phương trình (6).

$$\begin{aligned} \dot{V} &= e_1 \dot{e}_1 + e_2 \dot{e}_2 + e_3 \dot{e}_3 + \tilde{d}_2 \dot{\tilde{d}}_2 + \tilde{d}_3 \dot{\tilde{d}}_3 + \tilde{\chi}_2 \dot{\tilde{\chi}}_2 + \tilde{\chi}_3 \dot{\tilde{\chi}}_3 \\ &= e_1 (x_2 - \dot{y}_d) + e_2 (f_1 x_2 + f_2 x_3 + d_2 - \dot{x}_{2d}) + \tilde{d}_2 \dot{\tilde{d}}_2 + \tilde{d}_3 \dot{\tilde{d}}_3 + \tilde{\chi}_2 \dot{\tilde{\chi}}_2 + \tilde{\chi}_3 \dot{\tilde{\chi}}_3 \\ &\quad + e_3 (g_1 x_2 + g_2 x_3 + g_3 u \sqrt{p_s - x_3 \text{sign}(x_v)} + d_3 - \dot{x}_{3d}) \end{aligned} \tag{15}$$

Sau khi thực hiện biến đổi, phương trình (15) sẽ rút gọn như sau:

$$\dot{V} \leq -\lambda e_1^2 - \eta_1 \tilde{\chi}_2^2 - \eta_2 \tilde{\chi}_3^2 + \eta_3 - \lambda \left( e_n - \frac{1}{2\lambda} \tilde{d}_n \right)^2 - \gamma_n \left( |\tilde{d}_n| - \frac{1}{2\gamma_n} N_n \right)^2 + \frac{1}{4\gamma_n} N_n^2 \tag{16}$$

Trong đó,  $\gamma_n = 1/\kappa_n - 1/4\lambda$ . Chọn  $\kappa_n$  có giá trị lớn và thỏa mãn  $\kappa_n < 4\lambda$  thì hệ thống sẽ ổn định tiệm cận và sai lệch bám đầu ra sẽ hội tụ tiệm cận về điểm 0.

### 3. MÔ PHỎNG

**Bảng 1.** Thông số mô hình động cơ Servo điện thủy lực trong tua-bin gió [12].

Tham số	Giá trị	Đơn vị
$k_v$	200	-
$C_d$	0.63	-
$K$	$6.86 \times 10^8$	Pa
$\mu$	947	$\text{kg/m}^3$
$V_{hm}$	$4 \times 10^{-4}$	$\text{m}^3$
$D_{hm}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$\text{m}^3/\text{rad}$

$J_{hm}$	$4 \times 10^3$	$\text{kg/m}^2$
$C_{hm}$	$3.2 \times 10^{-12}$	$\text{m}^5/(\text{N}\cdot\text{s})$
$\rho$	32	$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}$
$W$	0.01	m
$p_s$	$20 \times 10^6$	Pa

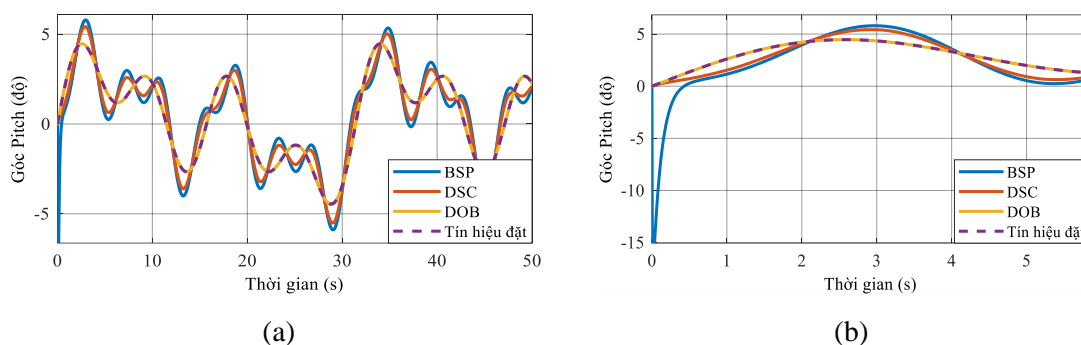
Để kiểm chứng sự hiệu quả của các thuật toán đã trình bày, thực hiện tiến hành mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink với tham số mô hình động cơ servo thủy lực và góc nghiêng Pitch mong muốn có biên độ và tần số thay đổi, khi sử dụng công thức lượng giác  $y_d = 2(\sin(0.8t) + \sin(0.4t) + \sin(0.2t))$  dựa trên tài liệu tham khảo [10].

Để kiểm chứng khả năng bám quỹ đạo của thuật toán điều khiển đã đề xuất kết hợp điều khiển trượt mặt động và bộ quan sát nhiễu bất định, hệ thống điều khiển đề xuất này được đặt tên là DOB để so sánh với hai bộ điều khiển khác là Backstepping (BSP) và bộ điều khiển trượt mặt động (DSC), BSP và DSC là 2 bộ điều khiển phổ biến và được sử dụng trong nhiều nghiên cứu ở nhiều lĩnh vực khác nhau, đặc biệt là trong điều khiển hệ thống servo thủy lực.

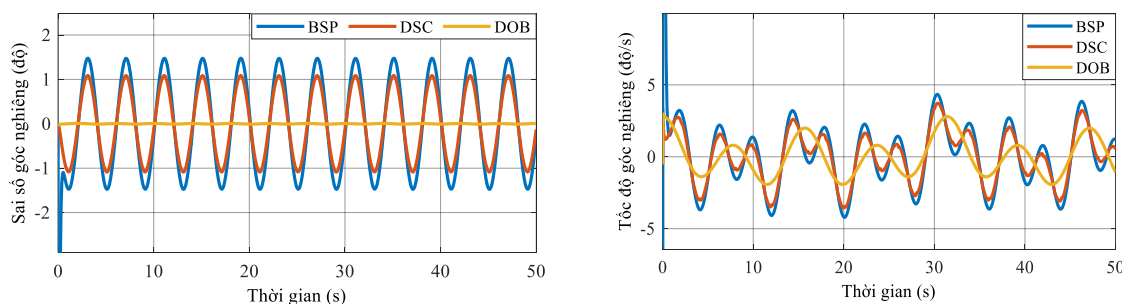
Để kiểm chứng khả năng bám quỹ đạo của thuật toán điều khiển đã đề xuất kết hợp điều khiển trượt mặt động và bộ quan sát nhiễu bất định (DOB - Disturbance Observer) để so sánh với hai bộ điều khiển khác là Backstepping (BSP) và bộ điều khiển trượt mặt động (DSC). Để kiểm chứng sự hiệu quả khi sử dụng bộ quan sát nhiễu bất định đã đề xuất DOB, tổng nhiễu bất định  $d_2, d_3$  được định nghĩa như sau:

$$d_2 = -3 \times 10^3 \sin(\pi t / 2), \quad d_3 = -3 \times 10^3 \sin(3\pi t / 10) \quad (17)$$

Từ các tham số mô phỏng, giá trị góc nghiêng Pitch mong muốn và các định nghĩa về tổng nhiễu bất định, kết quả kiểm chứng thể hiện từ hình 2 đến hình 9 như sau:



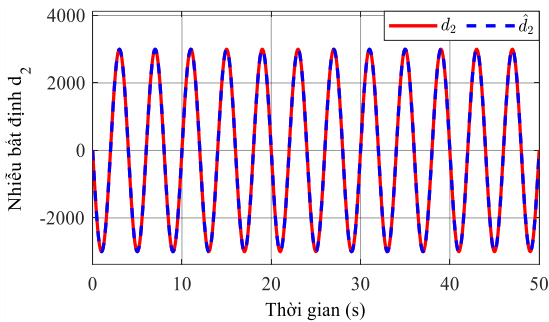
Hình 2. So sánh (a) đáp ứng góc nghiêng Pitch của các bộ điều khiển (b) đáp ứng ban đầu.



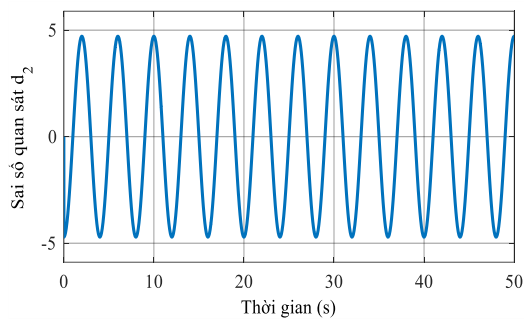
Hình 3. So sánh sai số đáp ứng góc nghiêng Pitch của các bộ điều khiển.

Hình 4. So sánh đáp ứng tốc độ góc nghiêng Pitch của các bộ điều khiển.

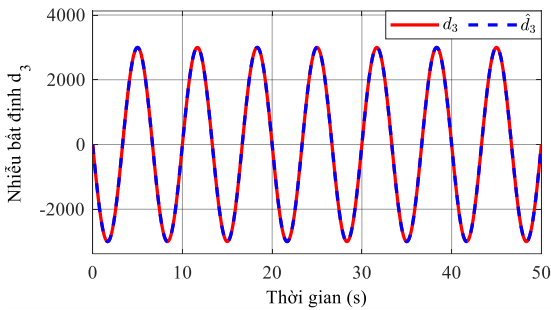
Khi lượng đặt vị trí góc đầu vào và tổng nhiễu bất định được xác định theo (17), các đáp ứng đầu ra của hệ thống được kiểm chứng từ hình 2 đến hình 4, khi thực hiện so sánh đáp ứng và sai số góc nghiêng Pitch của bộ điều khiển BSP, DSC với bộ điều khiển được đề xuất gồm bộ điều khiển trượt mặt động và bộ quan sát nhiễu bất định như trong hình 2 và hình 3. Đã minh chứng sự cải thiện đáp ứng vị trí góc nghiêng Pitch khi có tác động của nhiễu bất định với DOB là tốt nhất, sai số được cải thiện sẽ nhỏ hơn BSP và DSC. Để đạt được kết quả như vậy, bộ điều khiển DSC đã được nâng cấp khi áp dụng thêm bộ quan sát nhiễu bất định, trong đó đáp ứng quan sát tổng nhiễu bất định và sai số quan sát được kiểm chứng từ hình 5 đến hình 8. Có thể thấy bộ quan sát đã hoạt động hiệu quả khi quan sát tốt thành phần nhiễu bất định không biết trước tác động vào hệ thống động cơ thủy lực. Từ đó giúp DOB (Disturbance Observer) bám giá trị đặt góc nghiêng Pitch chính xác hơn, giảm thiểu tác động của nhiễu bất định bên ngoài cũng như ảnh hưởng do sự bất định thông số mô hình giữa thực tế và mô hình lý tưởng.



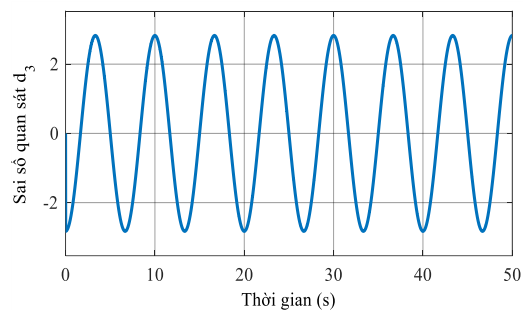
**Hình 5.** Đáp ứng quan sát nhiễu bất định  $d_2$ .



**Hình 6.** Sai số quan sát nhiễu bất định  $d_2$ .



**Hình 7.** Đáp ứng quan sát nhiễu bất định  $d_3$ .

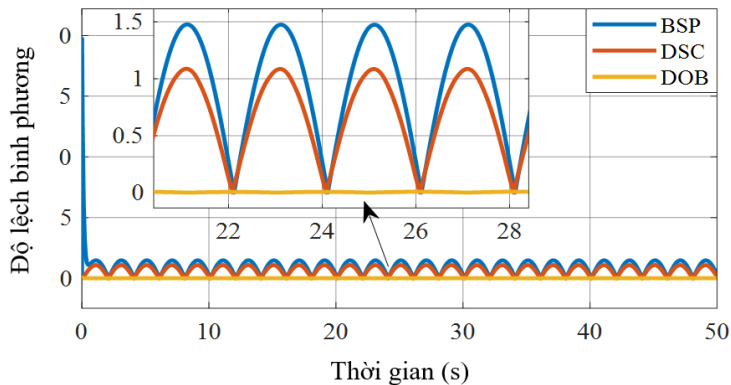


**Hình 8.** Sai số quan sát nhiễu bất định  $d_3$ .

Có thể thấy, bộ quan sát đã hoạt động hiệu quả khi quan sát tốt thành phần nhiễu bất định tác động vào hệ thống động cơ thủy lực, trong đó, sai số quan sát lớn nhất chia cho giá trị sai số bất định lớn nhất là 0.143% khi quan sát  $d_2$  và 0.071% khi quan sát  $d_3$ . Từ đó giúp DOB bám giá trị đặt góc nghiêng Pitch chính xác hơn, giảm thiểu tác động của nhiễu bất định bên ngoài cũng như ảnh hưởng do sự bất định thông số mô hình giữa thực tế và mô hình lý tưởng. Kết quả sánh các bộ điều khiển với nhau cho hệ thống điều khiển góc nghiêng Pitch cho động cơ thủy lực, giá trị căn bậc hai của độ lệch bình phương trung bình RMSE được sử dụng, kết quả được trình bày như trong hình 9 và bảng 2. Từ đó, có thể thấy khi kết hợp bộ quan sát trượt mặt động và bộ quan sát bất định đạt được kết quả tốt nhất khi so sánh với BSP và DSC.

**Bảng 2.** Giá trị của căn bậc hai độ lệch bình phương trung bình RMSE.

<b>Bộ điều khiển</b>	<b>BSP</b>	<b>DSC</b>	<b>DOB</b>
<b>Giá trị lớn nhất của RMSE</b>	0.26410	0.12790	0.0079



Hình 9. Sai số quan sát nhiễu bất định  $d_3$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Nội dung đề xuất cấu trúc điều khiển gồm bộ quan sát nhiễu và bộ điều khiển trượt mặt động đã cải thiện chất lượng điều khiển. Bộ quan sát được thiết kế để hạn chế những tác động do thành phần nhiễu gây ra đối với hệ thống tua-bin gió. Ngoài ra, bộ điều khiển kết hợp ưu điểm của phương pháp điều khiển trượt với bộ lọc thông thấp bậc nhất để điều khiển chính xác góc nghiêng Pitch của tua-bin gió bám quỹ đạo đặt. Cấu trúc đề xuất đảm bảo sự ổn định cho toàn bộ hệ thống tua-bin gió thông qua lý thuyết ổn định Lyapunov.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Aleem, S. Bhattacharya, J. Mendoza, and G. Prakhya, "Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines". Elsevier, (2023). doi: <https://doi.org/10.1016/C2021-0-00258-3>.
- [2]. R. Nash, R. Nouri, and A. Vassel-be-hagh, "Wind turbine wake control strategies: A review and concept proposal," Energy Convers. Manag., vol. 245, no. April, p. 114581, (2021), doi: 10.1016/j.enconman.2021.114581.
- [3]. X. X. Yin, Y. G. Lin, W. Li, Y. J. Gu, P. F. Lei, and H. W. Liu, "Adaptive back-stepping pitch angle control for wind turbine based on a new electro-hydraulic pitch system," Int. J. Control, vol. 88, no. 11, pp. 2316–2326, (2015), doi: 10.1080/00207179.2015.1041554.
- [4]. X. Yin, W. Zhang, Z. Jiang, and L. Pan, "Adaptive robust integral sliding mode pitch angle control of an electro-hydraulic servo pitch system for wind turbine," Mech. Syst. Signal Process., vol. 133, p. 105704, (2019), doi: 10.1016/j.ymsp.2018.09.026.
- [5]. A. Shourangiz-Haghighi et al., "Developing More Efficient Wind Turbines: A Survey of Control Challenges and Opportunities," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 14, no. 4, pp. 53–64, (2020), doi: 10.1109/MIE.2020.2990353.
- [6]. T. Salic, J. F. Charpentier, M. Benbouzid, and M. Le Boulluec, "Control Strategies for Floating Offshore Wind Turbine: Challenges and Trends," Electronics, vol. 8, no. 10, p. 1185, (2019), doi: 10.3390/electronics8101185.
- [7]. D. Zhang, P. Cross, X. Ma, and W. Li, "Improved control of individual blade pitch for wind turbines," Sensors Actuators, A Phys., vol. 198, pp. 8–14, (2013), doi: 10.1016/j.sna.2013.04.020.
- [8]. H. Jafarnejadsani, J. Pieper, and J. Ehlers, "Adaptive control of a variable-speed variable-pitch wind turbine using radial-basis function neural network," IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 21, no. 6, pp. 2264–2272, (2013), doi: 10.1109/TCST.2012.2237518.
- [9]. I. Poultagari, R. Shahnazi, and M. Sheikhan, "RBF neural network based PI pitch controller for a class of 5-MW wind turbines using particle swarm optimization algorithm," ISA Trans., vol. 51, no. 5, pp. 641–648, (2012), doi: 10.1016/J.ISATRA.2012.06.001.
- [10]. H. Ren, G. Deng, B. Hou, S. Wang, and G. Zhou, "Finite-Time Command Filtered Backstepping Algorithm-Based Pitch Angle Tracking Control for Wind Turbine Hydraulic Pitch Systems," IEEE Access, vol. 7, pp. 135514–135524, (2019), doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941891

**ABSTRACT**

**Pitch angle control based on uncertainty observation  
for hydraulic motor system in wind turbine**

*This article presents a model of a servo hydraulic motor driving a wind turbine blade under the influence of total uncertainty including model error, wind load moment and moment caused by friction, thereby Apply uncertainty controllers and monitors to increase accuracy and stability in the process of controlling the pitch angle of the propeller. A control structure combining a disturbance observer and a Dynamic Surface Sliding Controller (DSC) has been proposed, in which the observer is designed to deal with the harmful effects that the uncertain disturbance component causes to the system. Wind turbine system, the accuracy of the control system is significantly improved thanks to the appearance of the observer. The proposed control structure ensures stability for the entire wind turbine system through verification using Lyapunov stability theory. Numerical simulations were performed comparing the proposed controller with Backstepping controllers (BSP) and dynamic surface sliding controls, clearly showing a clear improvement in control quality.*

**Keywords:** Servo hydraulic motor; Pitch angle; Uncertainty disturbance observer; Dynamic surface controller; Backstepping; Disturbance observer; Radial basis function.