

IMPROVING CONTROL QUALITY OF WIN ELECTRICAL DRIVE SYSTEM BASED ON INTELLIGENT CONTROLLERS USING BRUSHLESS DC PERMANENT MAGNET GENERATOR

Tran Duc Chuyen^{1*}, Lai Thi Thanh Hoa²

¹Faculty of Electrical Engineering - University of Economics - Technology for Industries

²TNU - University of Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 24/8/2021 Revised: 14/10/2021 Published: 15/10/2021	This paper presents research on improving control the quality of wind electrical drive systems, based on intelligent controllers using Brushless DC permanent magnet generators (BLDCG: Brushless DC Permanent Magnet Generator). For application to wind electrical systems small power, based on intelligent controller adaptive sliding mode and neural networks taking into account the nonlinear disturbances friction torque estimator. Research results on PSCAD and Matlab Simulinks software show that the control method not only has the effect of compensating for nonlinear factors (synthetic disturbance moment: frictional moment, drag moment) but also has the ability to better anti-interference, helping the wind electrical drive system to have a stable state and bring high efficiency. Moreover, the use of available wind energy will be better, especially while the wind speed is low, the system still works stably.
KEYWORDS Wind electrical system BLDCG Adaptive sliding mode control Wind electric drive Intelligent control	

NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN GIÓ TRÊN CƠ SỞ BỘ ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH SỬ DỤNG MÁY PHÁT ĐIỆN BLDCG

Trần Đức Chuyển^{1*}, Lại Thị Thanh Hoa²

¹Khoa Điện - Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 24/8/2021 Ngày hoàn thiện: 14/10/2021 Ngày đăng: 15/10/2021	Bài báo này trình bày nghiên cứu nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ thống truyền động điện gió, trên cơ sở bộ điều khiển thông minh sử dụng máy phát điện nam châm vĩnh cửu một chiều không chổi than (BLDCG: Brushless DC Permanent Magnet Generator). Nhằm ứng dụng cho hệ thống điện gió công suất nhỏ, trên cơ sở điều khiển thông minh trượt thích nghi và mạng nơron có tính đến bộ ước lượng mômen ma sát nhiễu phi tuyến. Kết quả nghiên cứu trên phần mềm PSCAD và Matlab Simulinks cho thấy, phương pháp điều khiển không chỉ có tác dụng bù yếu tố phi tuyến (mômen nhiễu tổng hợp: mômen ma sát, mômen cản) tốt hơn mà còn có khả năng chống nhiễu tốt hơn, giúp cho hệ thống truyền động điện gió có trạng thái ổn định và đem lại được hiệu suất cao. Hơn nữa, việc sử dụng năng lượng gió sẵn có sẽ tốt hơn, đặc biệt là trong khi tốc độ gió thấp hệ thống vẫn làm việc ổn định.
TỪ KHÓA Hệ thống điện gió BLDCG Điều khiển thích nghi trượt Truyền động điện gió Điều khiển thông minh	

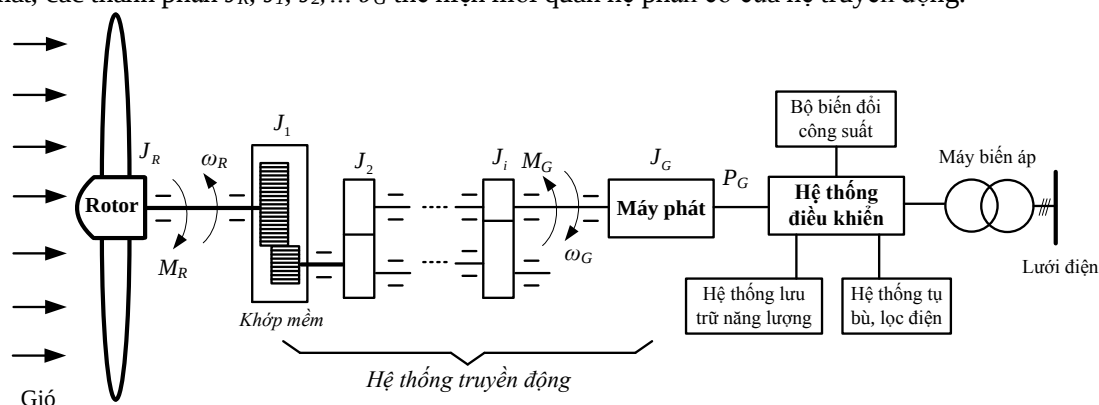
DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4924>

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

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, việc cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch thiên nhiên; dầu mỏ, cùng với ảnh hưởng của hiệu ứng nhà kính dẫn đến một nhu cầu cấp thiết về xây dựng và sử dụng năng lượng tái tạo. Trong số các nguồn năng lượng tái tạo mới, nhờ có sự phát triển nhanh chóng của công nghệ kỹ thuật điện - điện tử, điện tử công suất; thì năng lượng mặt trời và năng lượng gió đang ngày càng trở nên phổ biến hơn hết, các nguồn năng lượng này đã được thay thế nguồn năng lượng hóa thạch truyền thống. Đây là một lựa chọn phù hợp của nhiều nước trên thế giới [1]-[4]. Trong đó, gió là một dạng năng lượng sạch vô tận, đó là các hệ thống tuabin gió được sử dụng ở nhiều nước trên thế giới và Việt nam. Tuabin gió chuyển đổi động năng bên trong tuabin gió thành cơ năng, cơ năng được đưa đến máy phát điện chuyển đổi thành điện năng [3]-[8].

Trong bài báo này, nghiên cứu về mô hình tuabin gió có sơ đồ cấu trúc như hình 1: M_R mômen của rotor, ω_R tốc độ rotor, bộ khớp mềm thay đổi tỷ số truyền, kết nối với hệ thống truyền động có kết cấu cơ khí vững chắc, M_G mômen cản máy phát, ω_G tốc độ quay máy phát, P_G công suất máy phát, các thành phần $J_R, J_1, J_2, \dots, J_G$ thể hiện mối quan hệ phân cơ của hệ truyền động.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc động học thể hiện mối quan hệ các phần tử trong phần cơ của một hệ thống truyền động điện tuabin điện gió

Trên cơ sở đó, các tác giả đề xuất một hệ thống năng lượng tái tạo, điện gió sử dụng máy phát BLDCG, trên cơ sở phương pháp điều khiển trượt thích nghi có kết hợp mạng nơron để đánh giá thành phần phi tuyến bất định dưới tác động nhiễu loạn đến hệ thống truyền động cơ điện này. Tính ổn định của hệ thống được phân tích bằng lý thuyết ổn định của Lyapunov và hiệu quả của phương pháp này được minh chứng bằng mô phỏng. Kết quả nghiên cứu cho thấy, phương pháp điều khiển không chỉ có tác dụng bù yếu tố phi tuyến như mômen ma sát, mômen cản tốt hơn mà còn có khả năng chống nhiễu tốt, giúp cho hệ thống truyền động cơ điện này làm việc ổn định và đem lại được hiệu suất cao cho hệ thống điện gió đã đề xuất, [3], [4], [6]-[8]. Những nghiên cứu ở các công trình trước đây như [9], [10], đưa ra giải pháp tính toán, phân tích để thực hiện mô phỏng hệ thống một số loại tuabin gió khác nhau. Ở [11] thì đi nghiên cứu về công nghệ sản xuất điện gió ngoài khơi, còn [12] đi nghiên cứu về sự thay đổi tốc độ gió khi sử dụng máy phát PMSG, tuy nhiên ở đây đã nghiên cứu mô phỏng về tuabin điện gió mà chưa đi đánh giá các yếu tố nhiễu tác động vào hệ thống. Ngoài ra ở [13], [14] đã đi nghiên cứu về hệ thống điện gió BLDCG nhưng mới chỉ dừng lại ở thiết kế và mô phỏng hệ thống mà chưa đi đánh giá yếu tố phi tuyến của hệ thống truyền động điện gió này.

Phần còn lại của bài viết này được tổ chức như sau: phần thứ hai của bài viết này thiết lập mô hình điều khiển tuabin gió sử dụng BLDCG của hệ thống. Trong đó đi phân tích tính toán các biểu thức phần điện của tuabin gió, và từ đó đi thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi có tính đến yếu tố phi tuyến (sử dụng mạng nơron để ước tính mômen ma sát; mômen tải, từ đó chứng minh tính ổn định của bộ điều khiển) cho hệ thống truyền động tuabin gió BLDCG. Phần thứ ba của

bài viết này là xây dựng mô hình mô phỏng trên Matlab Simulink và PSCAD, để mô phỏng bộ điều khiển và cuối cùng so sánh đánh giá kết quả mô phỏng của bộ điều khiển trượt thích nghi để phân tích hiệu suất. Phần cuối cùng là kết luận đánh giá và tài liệu tham khảo.

2. Thiết kế bộ điều khiển thông minh cho hệ thống truyền động điện gió sử dụng máy phát điện BLDCG

2.1. Phân tích hệ thống truyền động tuabin gió BLDCG và các biểu thức phân điện

Việc nghiên cứu, phân tích các yếu tố phân điện cho hệ thống tuabin gió BLDCG được thực hiện trên cơ sở tính toán như sau:

$$\hat{E}_e = k_e \Omega; \quad \hat{I} = \hat{P}_{em} / 2\hat{E}; \quad \hat{M}_{em} = 2k_e \hat{I}; \quad \Omega = (\lambda_{opt} v_w) / R_{wt}; \quad \lambda_{opt} = (\Omega R_{wt}) / v_w \quad (1)$$

$$\hat{P}_{em} = \begin{cases} 0, & v_w < v_{in}, v_w \geq v_{max} \\ \frac{\pi}{2} \tau_{air} R_{wt}^5 \frac{C_{p-opt}}{\lambda_{opt}^3} \Omega^3 - \hat{P}_{mech}, & v_{in} \leq v_w \leq v_b \\ P_b - \hat{P}_{mech}, & v_b < v_w < v_{max} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó, λ_{opt} hệ số tỷ lệ tốc độ ban đầu, Ω Tốc độ cơ học quay của tuabin/ máy phát [rad/s], τ_{air} là mật độ không khí [kg/m³], R_{wt} bán kính của các cánh rôto tuabin gió [m], k_e hệ số điện áp Back-EMF, v_w là tốc độ gió [m/s], P_{mech} công suất tổn thất phần cơ [W], P_b công suất danh định máy phát điện [W], C_p hệ số công suất của tuabin gió, v_{in} tốc độ gió cut - in [m/s], v_b tốc độ gió cơ bản/ định mức [m/s], v_{max} tốc độ gió cut - off [m/s].

$$v_{ph}(t) = R_{ph} i_{ph}(t) + (L_{ph} - M_{hc}) \frac{di_{ph}(t)}{dt} + e_{ph}(t) + v_n(t) \quad (3)$$

$$v_n(t) = \frac{1}{3} (\sum v_{abc}(t) - \sum e_{abc}(t)) \quad (4)$$

$$i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) = 0 \quad (5)$$

Trong đó, v_{ph} điện áp pha đến trung tính [V], R_{ph} điện trở pha [Ω], i_{ph} dòng điện pha [A], L_{ph} độ tự cảm pha [H], M_{hc} thành phần hồ cảm pha với nhau [H], e_{ph} điện áp back - EMF [V], v_n điện áp trung tính [V].

Khi đó, điện áp back-EMF hình thang của máy phát điện phụ thuộc vào vị trí rôto θ_r được xác định và biết rằng mỗi pha có độ dịch chuyển 120 độ, ta có điện áp của mỗi pha như sau:

$$e_a(\theta_r) = \begin{cases} (6\hat{E}/\pi)\theta_r, & 0 < \theta_r < \pi/6 \\ \hat{E}, & \pi/6 < \theta_r < 5\pi/6 \\ -(6\hat{E}/\pi)\theta_r + 6\hat{E}, & 5\pi/6 < \theta_r < 7\pi/6 \\ -\hat{E}, & 7\pi/6 < \theta_r < 11\pi/6 \\ (6\hat{E}/\pi)\theta_r - 12\hat{E}, & 11\pi/6 < \theta_r < 2\pi \end{cases}, \quad e_b(\theta_r) = \begin{cases} -\hat{E}, & 0 < \theta_r < \pi/2 \\ (6\hat{E}/\pi)\theta_r - 4\hat{E}, & \pi/2 < \theta_r < 5\pi/6 \\ \hat{E}, & 5\pi/6 < \theta_r < 9\pi/6 \\ (6\hat{E}/\pi)\theta_r + 12\hat{E}, & 9\pi/6 < \theta_r < 11\pi/6 \\ -\hat{E}, & 11\pi/6 < \theta_r < 2\pi \end{cases} \quad (6)$$

$$e_c(\theta_r) = \begin{cases} \hat{E}, & 0 < \theta_r < \pi/6 \\ -(6\hat{E}/\pi)\theta_r + 2\hat{E}, & \pi/6 < \theta_r < \pi/2 \\ \hat{E}, & \pi/2 < \theta_r < 7\pi/6 \\ (6\hat{E}/\pi)\theta_r - 8\hat{E}, & 7\pi/6 < \theta_r < 9\pi/6 \\ \hat{E}, & 9\pi/6 < \theta_r < 2\pi \end{cases}$$

Từ đó, ta có được công suất và mômen của tuabin điện gió được tính toán như sau:

$$P_{em}(t) = e_a(t) i_a(t) + e_b(t) i_b(t) + e_c(t) i_c(t) \quad (7)$$

Quá trình thực hiện của tuabin gió làm việc có thể nhận thấy rằng, công suất khai thác tối ưu thay đổi theo sự thay đổi của tốc độ gió. Các khu vực hoạt động của tuabin gió có thể được phân loại dựa trên tốc độ gió, dẫn đến ba khu vực chính: điều khiển tốc độ thấp, hệ thống theo dõi điểm công suất tối đa; hay hệ thống đo tốc độ máy phát và hệ thống điều khiển tốc độ cao.

2.2. Thiết kế bộ điều khiển thông minh trượt thích nghi kết hợp mạng nơron để đánh giá yếu tố phi tuyến cho hệ thống truyền động của tuabin điện gió BLDCG

Bộ truyền động được sử dụng để truyền công suất từ rotor đến máy phát, khi đó đối với việc kết nối phần cơ điện giữa tuabin gió và máy, sử dụng quy ước máy phát điện, ta có:

$$u(t) = E + Ri_d(t) + L.(di_d(t)/dt) \quad (8)$$

$$M_e - M_L = J.(d\omega/dt) \quad (9)$$

Trong đó, ta đặt $M_e = C_m i_d(t)$ là thành phần mômen điện từ, $E = C_e \omega(t)$ là sức điện động cảm ứng, C_e hệ số sức điện động, C_m là hệ số mômen điện từ. Khi đó ta có được hàm truyền hệ hở của hệ thống như sau:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{1/C_e}{\xi_l \xi_m s^2 + \xi_m s + 1} \quad (10)$$

Trong đó, $\xi_m = RJ/C_e C_m$ là hằng số thời gian điện cơ và $\xi_l = L/R$ hằng số thời gian điện từ. Khi đó từ mô hình của hệ thống truyền động ta có hàm truyền như sau:

$$H_p(s) = K_p/(Ts+1) \quad (11)$$

Trong đó, K_p là hệ số khuếch đại và T là hằng số thời gian. Trong các trường hợp bình thường, thời gian trễ của linh kiện transistor trường nhỏ hơn nhiều so với thời gian trễ của bộ điều khiển, do đó, hàm truyền toán học của điều khiển có thể được đơn giản hóa như sau:

$$H_p(s) = K_p \quad (12)$$

Từ cánh quạt gió được nối với nhau bằng hộp đổi tốc (hệ truyền động) đến trục tuabin máy phát, do đó mối quan hệ gần đúng giữa góc quay của cánh quạt và góc của tuabin máy phát là:

$$d\theta/dt = \omega/i \quad (13)$$

Trong đó, θ là góc nghiêng của cánh quạt lấy gió và i là tỷ số tăng hoặc giảm hộp đổi tốc của hệ thống truyền động. Khi đó, hàm truyền của hộp đổi tốc được biểu diễn như sau:

$$\theta(s) = \omega(s)/is \quad (14)$$

Khi có tuabin điện gió làm việc thì hệ thống truyền động có tính đến yếu tố ma sát như sau:

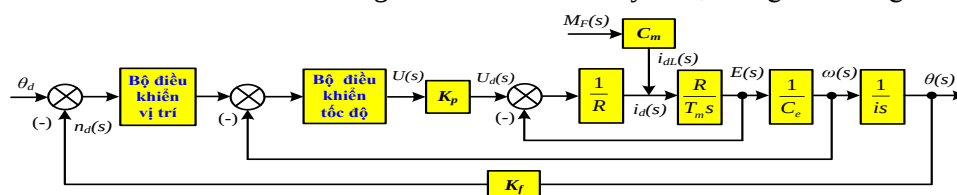
$$M_F(\omega) = M_{cl}.sign(\omega) + (M_{ms} - M_{cl})e^{-|\omega/\omega_s|} + \mu\omega \quad (15)$$

Trong đó, M_F mômen ma sát của hệ, M_{cl} là mômen ma sát Coulomb, M_{ms} là mômen ma sát nhớt, ω là vận tốc góc của trục đầu ra máy phát, ω_s là stribeck theo tốc độ và μ là hệ số ma sát nhớt.

Theo phân tích ở trên thì hệ thống làm việc, giả sử khi vận tốc gió thay đổi về mức yếu gần về 0, hàm truyền vòng hở của hệ thống được viết như sau:

$$H = H_p \cdot \frac{\omega(s)}{U(s)} \cdot \frac{\theta(s)}{\omega(s)} = \frac{K_p/(C_e \cdot i)}{\xi_l \xi_m s^3 + \xi_m s^2 + s} \quad (16)$$

Từ đó ta có sơ đồ khối điều khiển tổng thể cấu trúc hàm truyền hệ thống như trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc hàm truyền của hệ thống

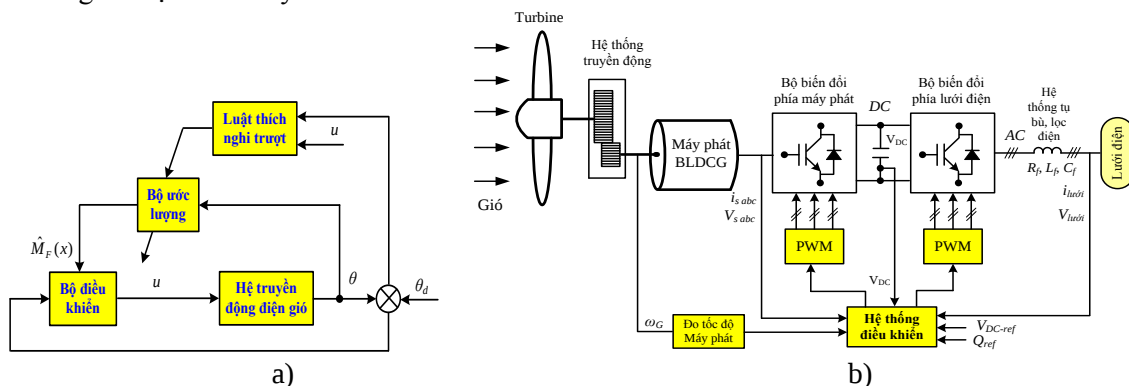
Trong hình 2, M_F là thành phần tổng hợp gồm có yếu tố (mômen nhiều do ma sát và các nhiễu tải khác như mômen cản) đối với trục và hệ thống truyền động của tuabin điện gió này.

Lấy $x = [x_1, x_2] = [\theta, \dot{\theta}]$, đối với hệ thống truyền động này, với $\xi_l \ll \xi_m$ khi đó hệ thống được đơn giản hóa thành hệ thống bậc hai. Ở đây ta tính đến yếu tố nhiễu loạn là M_F , khi đó mô hình hệ thống có thể được biểu diễn bằng biểu thức (17) như sau:

$$\ddot{\theta} = -\frac{1}{\xi_m} \dot{\theta} + \frac{K_p}{\xi_m C_e i} (u - M_F(x)) + d(t) = f(x) + p(u - M_F(x)) + d(t) \quad (17)$$

Trong đó, $d(t)$ là nhiễu bên ngoài, $d(t) < D$, D là hằng số, $M_F(x)$ là yếu tố nhiễu trong hệ truyền động và thành phần $f(x) = -\frac{1}{\xi_m} \dot{\theta}$; $p = \frac{K_p}{\xi_m C_e i}$.

Từ đó ta có sơ đồ khối cấu trúc điều khiển hệ thống truyền động điện gió như hình 3a. Trên cơ sở điều khiển thích nghi trượt được sử dụng để thực hiện điều khiển bám vị trí nhằm khắc phục các yếu tố phi tuyến bất định của mô hình hệ thống và khả năng xảy ra nhiễu bên ngoài tác động. Do đó để bù thành phần nhiễu tác động M_F , trên cơ sở mô hình đã lựa chọn. Bộ ước lượng ở đây sử dụng phương pháp RBF-NN (mạng nơron RBF) được sử dụng để tính toán ước lượng thành phần phi tuyến bất định. Luật thích nghi được sử dụng để chỉnh định các trọng số của mạng nhằm đạt được sự ổn định toàn cục cho hệ thống điều khiển [1]-[7]. Và sơ đồ cấu trúc tổng thể hệ thống tuabin gió được trình bày như hình 3b.



Hình 3. a) Sơ đồ khối cấu trúc hệ thống điều khiển; b) Sơ đồ điều khiển tối ưu hóa chuyển đổi năng lượng gió tự nhiên thành điện năng

Đối với bộ ước lượng M_F trong bài báo này thì hàm Gauss được sử dụng làm lớp ẩn của mạng RBF và đầu ra của mạng nơron có thể được biểu thị dưới dạng:

$$\nabla = \sum_{j=1}^m \mathcal{G}_j h_j + \mu = W^T H + \mu \quad (18)$$

$$\text{Trong đó, } h_j = \exp\left(-\frac{\|X - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (19)$$

Ở trong (18, 19), c_j là tâm của hàm Gauss; σ_j đại diện cho chiều rộng của hàm Gauss; $\mathcal{G}_j$ là trọng số từ lớp ẩn đến lớp đầu ra của mạng; μ là hệ số bias mạng nơron. Trong bài báo này, mạng nơron được sử dụng để tính gần đúng mômen nhiễu M_F . Do đó, mômen nhiễu này có thể được biểu thị bằng đầu ra của mạng nơron như sau:

$$M_F(x) = W^{*T} h(x) + \varepsilon \quad (20)$$

Trong đó, W^* là trọng số của mạng nơron, ε là sai số xấp xỉ mạng nơron lý tưởng và $|\varepsilon| \leq \varepsilon_{max}$. Lấy giá trị ước lượng của W^* là $\hat{W}$ thì giá trị ước lượng của $M_F(x)$ được biểu thị như sau:

$$\hat{M}_F(x) = \hat{W}^{*T} h(x) \quad (21)$$

Khi đó, sai số ước tính của hàm trọng lượng mạng nơron sẽ là $\tilde{W} = W^* - W$. Ta đặt $x_1 = \theta$, tín hiệu đặt vị trí góc lý tưởng là θ_d , khi đó sai số vị trí góc là $e = \theta_d - \theta$ và hàm chức năng trong chế độ trượt của hệ thống sẽ là:

$$s = \dot{e} + ce \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \ddot{e} + c\dot{e} = \ddot{\theta}_d - \ddot{\theta} + c\dot{e} \\ &= \ddot{\theta}_d - f(x) - p(u - M_F(x) - d(t) + ce) \end{aligned} \quad (23)$$

Từ đó ta có luật điều khiển trong chế độ trượt có dạng sau:

$$u = \frac{1}{p} (f(x) - \ddot{\theta}_d + c\dot{e} + \eta \text{sign}(s)) + \hat{M}_F(x) \quad (24)$$

Trong đó, $\eta \geq D + p\varepsilon_{\max}$. Từ các phương trình trên ta biến đổi (23) như sau:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \ddot{\theta}_d - f(x) - p(u - M_F(x)) - d(t) + ce \\ &= \ddot{\theta}_d - f(x) - p\left(\left(\frac{1}{p}(f(x) - \ddot{\theta}_d + c\dot{e} + \eta \text{sign}(s) + \hat{M}_F(x)) - M_F(x)\right) - d(t) + ce\right) \\ &= -\eta \text{sign}(s) + p(\hat{M}_F(x) - M_F(x)) + d(t) \\ &= -\eta \text{sign}(s) + p\tilde{M}_F(x) + d(t) = -\eta \text{sign}(s) + p(\tilde{W}^T h - \varepsilon) + d(t) \end{aligned} \quad (25)$$

Khi đó, ta đi tìm sự ổn định của bộ điều khiển trên cơ sở xác định hàm Lyapunov như sau:

$$V = \frac{1}{2} s^2 + \frac{1}{2\delta} \tilde{W}^T \tilde{W} \quad (26)$$

Trong đó, δ là độ lợi của luật thích nghi và $\delta > 0$. Từ đó ta lấy đạo hàm theo thời gian và đơn giản hóa biểu thức (26) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s\dot{s} + \delta \tilde{W}^T \dot{\tilde{W}} = s(-\eta \text{sign}(s) + p(\tilde{W}^T h - \varepsilon) + d(t)) + \frac{1}{\delta} \tilde{W}^T \dot{\tilde{W}} \\ &= -\eta |s| + sd(t) - sp\varepsilon + \tilde{W}^T (sph + \delta \dot{\tilde{W}}) \end{aligned} \quad (27)$$

Từ đó ta có luật thích nghi sẽ là:

$$\dot{\tilde{W}} = -\frac{1}{\delta} sph(x) \quad (28)$$

Thay biểu thức (28) vào (27) và đơn giản ta có:

$$\dot{V} = -\eta |s| + s(d(t) - p\varepsilon) \leq 0 \quad (29)$$

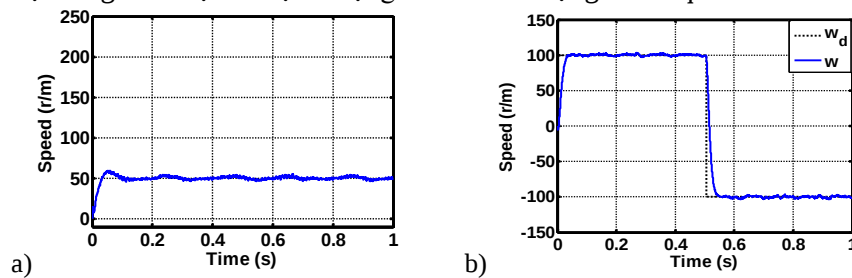
Cuối cùng, ta lựa chọn $\dot{V} \equiv 0$, theo định lý của LaSalle [2], [5], khi $t \rightarrow \infty$, $s \rightarrow 0$. Do đó, bộ điều khiển được thiết kế và tính toán cho hệ thống điều khiển này là ổn định.

3. Kết quả nghiên cứu

Nghiên cứu khảo sát một loại tuabin gió BLDCG với các tham số như sau [1], [7], [8]: công suất tối đa $P = 6$ kW, $I = 5,5$ A, số cặp cực $p = 6$, đường kính roto bên ngoài 215 [mm], điện trở pha $R_{ph} = 0,045\Omega$, điện cảm pha $L_{ph} = 1,531$ [mH], điện áp DC - bus là $V_{dc} = 150$ V, mômen điện từ $M_{em} = 20$ [Nm], mômen quán tính $J = 0,001$ (kg.m²), tốc độ tuabin gió định mức 490 [vòng/phút] đến 650 [vòng/phút]; tương đương với tốc độ gió 9,3 [m/s] đến 15 [m/s], tại các thời điểm ($v_{in} = 2$ m/s, $v_n = 9,3$ m/s và $v_{max} = 25$ m/s). Phía tuabin gió: $R_{wt} = 1,5$ [m], hệ số ma sát $f_{wt} = 0,025$ [Nm/rad], hệ số công suất tối ưu $C_{p-opt} = 0,43$; tỷ lệ tốc độ đầu tip tối ưu $\lambda_{opt} = 6,9$. Với tín hiệu góc lý tưởng θ_d , giả sử nhiễu tác động là mômen ma sát; mômen cản..., cấu trúc mạng nơron RBF là 1-5-1, hàm Gauss với $c_i = [-1, -0,5, 0, 0,5, 1]$; $\sigma_j = 1$, trọng lượng ban đầu của mạng là

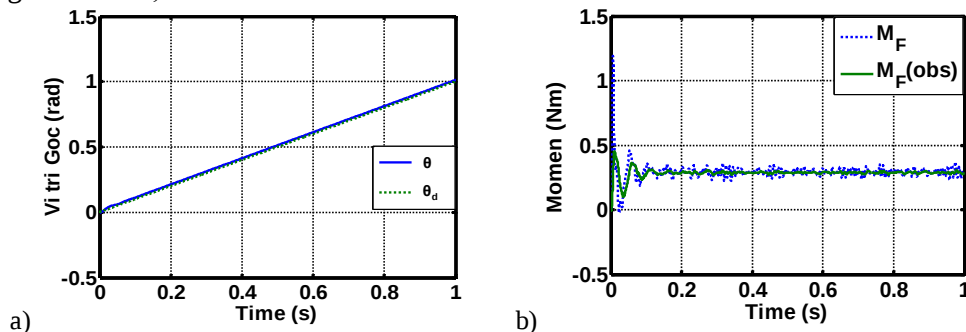
0 và độ lợi thích nghi là $\delta = 0,1$; $L_f = 0,85$ mH; $C_f = 4700\mu\text{F}$, tần số làm việc $f = (1-30)$ (kHz), tần số phía lưới điện $f_{ac} = 50\text{Hz}$.

Trên cơ sở bộ điều khiển đã đề xuất ở trên, hình 3a, cấu trúc hệ thống điều khiển hình 3b; và xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống trên Matlab Simulink để đánh giá thành phần phi tuyến bất định với nhiều tổng hợp là M_F . Mô phỏng với tốc độ của tuabin gió: tốc độ đặt và tốc độ thực là 50 vòng/phút như hình 4a), nghiên cứu khi tính đến khả năng làm việc của hệ thống khi thay đổi tốc độ của tuabin từ 100 đến -100 vòng/phút như hình 4b), với mô hình đầy đủ có kể đến phần cơ của hệ thống. Hệ thống làm việc ổn định lượng ra bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng.



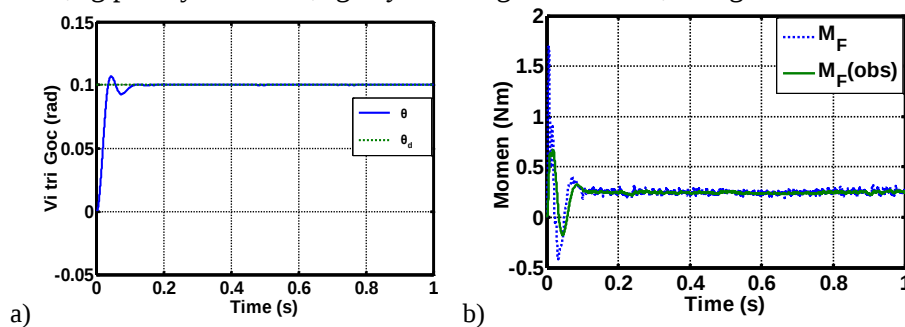
Hình 4. Mô phỏng hệ thống tuabin gió với vòng điều chỉnh tốc độ: a) Khi tốc độ 50 vòng/ phút; b) Khi tốc độ 100 vòng/phút

Mô phỏng vòng điều chỉnh vị trí với phản ứng của hệ thống khi góc đặt vào thay đổi theo quy luật hàm $\theta_d = V.t$, ($V = 1\text{rad/s}$) mômen nhiễu không đổi $M_F = 5\text{Nm}$. Sai số bám sát nhỏ, ta thấy bộ ước lượng phi tuyến cho đáp ứng với thời gian khá nhanh; cung cấp đầy đủ thông tin về cho hệ thống điều khiển, như hình 5.



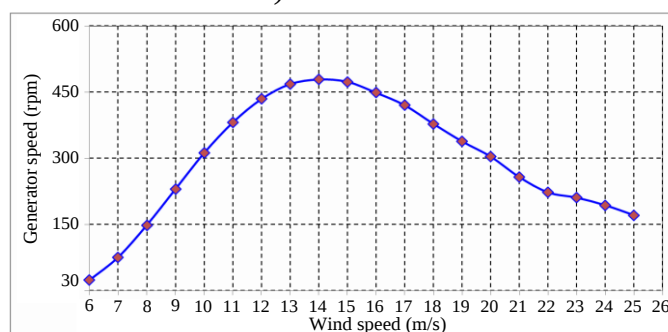
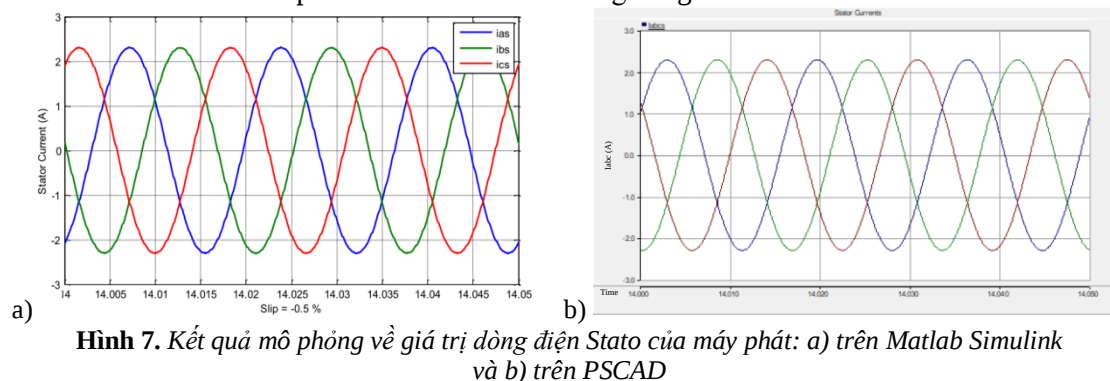
Hình 5. Mô phỏng hệ thống tuabin gió với vòng điều chỉnh vị trí với $\theta_d = V.t$: a) Đáp ứng theo vị trí góc; b) Giá trị ước lượng $\hat{M}_F$ với hàm $V.t$

Mô phỏng vòng điều chỉnh vị trí với phản ứng của hệ thống khi góc đặt vào thay đổi theo quy luật hàm $\theta_d = 0,1$ rad, ($V = 1\text{rad/s}$) mômen nhiễu thay đổi $M_{Fmax} = 0,5\text{Nm}$. Sai số bám sát nhỏ, ta thấy bộ ước lượng phi tuyến ước lượng đầy đủ thông tin về cho hệ thống điều khiển như hình 6.

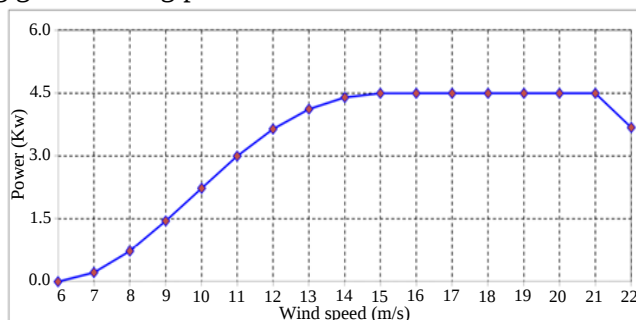


Hình 6. Mô phỏng hệ thống tuabin gió với vòng điều chỉnh vị trí: a) Đáp ứng theo vị trí góc; b) Giá trị ước lượng $\hat{M}_F$ với $V = 1\text{rad/s}$

Tiến hành mô phỏng hệ thống trên phần mềm PSCAD và matlab về giá trị dòng điện các pha đầu ra của stato máy phát tuabin điện gió ta có kết quả như hình 7. Khi đó ta thấy cả trên phần mềm Matlab simulink và phần mềm PSCAD là tương đồng nhau.



Khi $V_{\text{wind}} < 14$ m/s thì tốc độ máy phát tuabin gió nhỏ hơn 480 vòng/phút; khi $V_{\text{wind}} = 14$ m/s thì tốc độ máy phát của tuabin gió là 480 vòng/phút; khi $V_{\text{wind}} > 14$ m/s thì hệ thống có tốc độ máy phát giảm xuống gần 170 vòng/phút.



Hình 9. Kết quả mô phỏng với đường cong công suất của tuabin gió với tốc độ gió từ 6 m/s đến 22 m/s

Khi $v_{\text{wind}} < 14$ m/s thì công suất đầu ra của máy phát nhỏ hơn 4,5kW; khi $v_{\text{wind}} = 14$ m/s thì hệ thống có công suất đầu ra của máy phát điện là ổn định ở giá trị 4,5kW. Tại thời điểm sau 21 m/s thì tua bin gió vào vùng cut off (vùng bảo vệ tua bin gió - van bảo vệ đóng lại), các đường cong thay đổi và có chiều hướng quay trở lại vị trí giảm, nhưng sau đó làm việc ổn định tại 14 m/s.

So sánh với kết quả các công trình đã nghiên cứu ở tài liệu [13], [14], kết quả của bài báo có chất lượng cao hơn, cụ thể được minh chứng ở các kết quả nghiên cứu mô phỏng từ hình 4 đến hình 6 trên cơ sở thuật toán đã đề xuất và mô phỏng trên PSCAD ở hình 7, hình 8 để đánh giá khả năng làm việc, hiệu suất của tuabin điện gió này. Các kết quả nghiên cứu là cơ sở để thực hiện thành công những nghiên cứu tính toán, thiết kế chế tạo, thiết lập thuật toán điều khiển cho

hệ thống tuabin điện gió với công suất vừa và nhỏ nhằm ứng dụng vào thực tế trong công nghiệp và dân dụng ở nước ta hiện nay đang có nhu cầu cao về năng lượng mới và tái tạo.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc nghiên cứu nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ thống truyền động điện gió sử dụng tuabin gió BLDCG trên cơ sở phương pháp điều khiển trượt thích nghi có tính đến bộ ước lượng phi tuyến. Vấn đề nghiên cứu này đã đem lại sự ổn định công suất đầu ra của máy phát điện tuabin gió bằng cách sử dụng bộ điều khiển đã được đề xuất, cùng với bộ biến đổi công suất AC/DC và DC/AC nhằm điều khiển tối ưu công suất đầu ra khi tốc độ gió đầu vào thay đổi. Các kết quả nghiên cứu đạt được cho thấy tính đúng đắn của mô hình động lực học, mô hình toán học hệ thống tuabin gió trong bài báo mà tác giả đã lựa chọn nghiên cứu như trên hoàn toàn có thể ứng dụng vào trong thực tế để nâng cao chất lượng điều khiển cho các tuabin điện gió trong ngành công nghiệp sản xuất điện năng ở trên thế giới và ở Việt Nam hiện nay. Vấn đề này đã đem lại những lợi ích kinh tế lớn trong lĩnh vực sản xuất điện năng, và trong quá trình làm việc thì hệ thống này luôn luôn đáp ứng được sự làm việc ổn định về công suất đầu ra của máy phát để hòa vào lưới điện trong công nghiệp và trong dân dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] A. Emadi, "Advanced Electric Drive Vehicles". Publishing by Publishing by CRC of Taylor & Francis Group, Springer International Publishing, USA, 2016.
- [2] A. Bacciotti, *Stability and Control of Linear Systems*. Publishing Ltd, Springer Nature Switzerland AG, 2019.
- [3] B. Q. Khanh and V. L. Nguyen, *Electric drive base*. Science and Technics Publishing House (in Vietnamese), Hanoi, Vietnam, 2015.
- [4] D. C. Tran, *Electric drive*. Science and Technics Publishing House (in Vietnamese), Hanoi, Vietnam, 2016.
- [5] D. P. Nguyen, *The Advanced control theory*. Science and Technics Publishing House (in Vietnamese), Hanoi, Vietnam, 2016.
- [6] A. Bartoszewicz, *Sliding mode control*. First published March Printed in India, 2011.
- [7] D. Hanselman, *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. Second edition - Version2. Magna Physics Publishing, USA, 2006.
- [8] L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, and C. Bányász, *Control Engineering: MATLAB Exercises*. Publishing by Springer Nature Singapore Pte Ltd, USA, ISSN 1439-2232, 2019.
- [9] A. Popenda, "Modeling of BLDC motor energized by different converter systems," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. R. 94 NR, pp. 81-84, 2018.
- [10] Youness, D. Aziz, and E. G. Abdelaziz, *Implementation and validation of backstepping control for PMSG wind turbine using dSPACE controller board*, Published by Elsevier Ltd, pp. 807-821, Energy Reports, 5-2019.
- [11] I. Erlich, F. Shewarega, C. Feltes, F. W. Koch, and J. Fortmann, "Offshore wind power generation technologies," *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, pp. 891-905, 2013.
- [12] A. Rolan, A. Luna, G. Vazquez, D. Aguilar, and Azevedo, "Modeling of a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Korea, July 5-8, 2009, pp. 734-739.
- [13] A. Laczko (Zaharia), Stéphane Brisset, Mircea M. adulescu, "Design of a brushless DC permanent magnet generator for use in micro-wind turbine applications," *The 14th International Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism (OIPE)*, Rome, Italy, 13-15 September 2016.
- [14] A. A. Laczko, M. V. Zaharia, M. M. Radulescu, and S. Brisset, "Modeling and simulation of a brushless DC permanent-magnet generator-based wind energy conversion system," *2015 International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, 2015, pp. 978-985.