

Ứng dụng mạng nơ-ron mờ hồi quy trong điều khiển góc cánh tuabin gió

Nguyễn Thị Xuân Nhi¹, Nguyễn Chí Ngôn^{2*}, Nguyễn Nhật Tiến², Trần Thành Luân³

¹Trường Cao đẳng nghề Vĩnh Long;

²Trường Đại học Cần Thơ;

³Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long.

*Email: ncngon@ctu.edu.vn

Nhận bài: 21/02/2022; Hoàn thiện: 15/3/2022; Chấp nhận đăng: 25/5/2022; Xuất bản: 28/6/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.80.2022.3-12>

TÓM TẮT

Ngày nay, năng lượng tái tạo đã và đang phát triển mạnh mẽ, trong đó, phải kể đến năng lượng gió. Tuy nhiên, việc sử dụng nguồn năng lượng này còn phụ thuộc nhiều vào thiên nhiên do cường độ gió thay đổi liên tục, làm công suất phát từ tuabin không ổn định. Điều đó gây ảnh hưởng lớn đến hệ thống điện. Bài báo này trình bày một giải pháp điều khiển giám sát góc cánh của tuabin gió để giữ ổn định công suất phát điện, dưới tác động của gió lớn, nhằm duy trì điện áp lưới ở giá trị định mức. Giải thuật điều khiển góc cánh dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy được kiểm nghiệm thông qua mô hình mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink, trong điều kiện giả lập sự thay đổi của tốc độ gió.

Từ khóa: Điều khiển giám sát; Điều khiển góc cánh; Mạng nơ-ron mờ hồi quy; Mô phỏng MATLAB; Tuabin điện gió.

1. MỞ ĐẦU

Ngành năng lượng đóng vai trò quan trọng trong quá trình phát triển kinh tế xã hội, nhất là phát triển công nghiệp. Việc tiếp cận nguồn năng lượng tin cậy, giảm thiểu chi phí là yếu tố quan trọng để tăng trưởng kinh tế bền vững. Tuy nhiên, việc sử dụng quá mức các nguồn năng lượng hóa thạch dẫn đến nhiều hệ lụy về biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường ngày càng tăng. Năng lượng tái tạo đang trở thành nguồn năng lượng tin cậy trong thời gần, đây đặc biệt là năng lượng gió. Ở Việt Nam với lợi thế đường biển dài và tốc độ gió trung bình ở độ cao 65 m, từ Biển Đông Việt Nam hằng năm lớn hơn 6 m/s. Rõ ràng việc phát triển năng lượng gió ở Việt Nam có nhiều triển vọng, nhất là vùng duyên hải miền Trung, Tây Nguyên và các đảo.

Các tuabin phát điện gió thường chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như mưa, gió, bão, ... nên yêu cầu kiểm soát tính ổn định của máy phát luôn là một thách thức lớn [1]. Khi tốc độ gió thay đổi, nhất là gió lớn có tốc độ vượt 12m/s, bộ điều khiển cần phải kiểm soát góc cánh để duy trì công suất phát nhằm đạt được hiệu suất phát điện tối đa [2] và giảm thiểu hư hỏng hệ truyền động cơ khí. Để có được công suất truyền tải lớn nhất thì rôto cần chạy với tốc độ định mức [3, 4]. Vì vậy, khi tốc độ gió lớn hơn tốc độ định mức, góc nghiêng được tăng lên để giữ tốc độ rôto ở giá trị định mức nhằm đạt được công suất phát cực đại. Để giải quyết vấn đề này, bộ điều khiển PID truyền thống được nhiều nghiên cứu triển khai [5-7]. Điểm bất lợi cơ bản của bộ điều khiển PID là vấn đề cố định tham số, nên khi thực hiện kiểm soát tuabin gió với hệ động lực học bị tác động bởi các yếu tố thời tiết, nó tỏ ra kém linh hoạt. Vấn đề này được các nghiên cứu [2-4] khắc phục bằng cách tăng cường thêm vòng điều khiển [4] hoặc sử dụng mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm RBF (Radial Basis Function Neural Network [8]) để tổ chức thành bộ điều khiển PID một nơ-ron [2]. Nhờ cơ chế huấn luyện trực tuyến, tham số bộ điều khiển PID một nơ-ron được thay đổi thích ứng với sự biến thiên của tốc độ gió tác động lên đối tượng. Tuy nhiên, khi tổ chức mạng RBF thành bộ PID một nơ-ron, qua khảo sát cho thấy ở trạng thái xác lập, sai biệt giữa tín hiệu tham khảo và đáp ứng hầu như không thay đổi nữa nhưng cơ chế cập nhật tham số bộ điều khiển vẫn còn tiếp tục diễn ra theo chiều hướng gia tăng. Đến khi tốc độ gió hay điều kiện tác động khác thay đổi, giải thuật lại phải cập nhật bộ tham số này theo chiều hướng giảm trở lại. Điều này làm cho bộ điều khiển trở nên phản ứng chậm.

Những năm gần đây, mạng nơ-ron mờ hồi quy RFNN (Recurrent Neural Fuzzy Networks) đã được một số nghiên cứu triển khai thành công trong việc kiểm soát đối tượng phi tuyến [9-11]. Bằng sự kết hợp giữa các lớp nơ-ron và lớp mờ hóa, tính phi tuyến của mạng RFNN được tăng cường hơn [12], phù hợp với việc nhận dạng và điều khiển trực tuyến đối tượng. Nghiên cứu này đề xuất một giải pháp ứng dụng mạng RFNN để điều khiển góc cánh tuabin gió nhằm giữ ổn định công suất máy phát, thực hiện thông qua mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink.

Nội dung còn lại của bài báo được cấu trúc như sau: Phần 2 trình bày về phương pháp xây dựng bộ điều khiển và kết quả mô phỏng kiểm chứng giải thuật đề xuất; và cuối cùng, phần 3 là kết luận và đề nghị của nghiên cứu.

2. THIẾT KẾ HỆ ĐIỀU KHIỂN

2.1. Nghiên cứu điều khiển góc cánh tuabin gió

Điều khiển góc cánh tuabin là gió cho phép điều khiển công suất cơ học tạo ra từ việc xoay cánh tuabin và được sử dụng cho các tuabin gió có tốc độ thay đổi. Với tốc độ gió thay đổi theo thời gian, tuabin gió có ba trường hợp hoạt động chính, gồm: vùng dưới tốc độ gió định mức, vùng tốc độ gió định mức và vùng trên tốc độ gió định mức.

- Trường hợp 1: Khi tốc độ gió dưới tốc độ cho phép phát công suất định mức, góc nghiêng cánh tuabin sẽ phải được điều khiển sao cho nhận được năng lượng gió lớn nhất [4].

- Trường hợp 2: Khi vùng tốc độ gió hoạt động ở giá trị định mức, lúc này, tốc độ quay của rotor là định mức. Công suất phát ra ở trường hợp này được chuyển hóa thành năng lượng đạt hiệu suất cao [5].

- Trường hợp 3: Khi tốc độ gió cao hơn tốc độ gió cho phép phát công suất định mức. Lúc này, hệ thống sẽ điều khiển góc cánh tuabin gió làm cho cánh tuabin hướng đón ít gió hơn. Giữ cho máy phát điện có thể phát được công suất định mức.

Công nghệ tuabin gió đang ngày càng tiến bộ đòi hỏi hệ thống điều khiển phải mạnh mẽ hơn, cải thiện tốt hơn công suất phát và tin cậy hơn để đạt lợi nhuận cao hơn [13]. Có nhiều nghiên cứu đã ứng dụng kỹ thuật điều khiển vào kiểm soát tuabin gió. Trong đó, mạng nơ-ron nhân tạo có khả năng mô hình hóa các hệ thống phi tuyến, có khả năng thích nghi và đáp ứng tốt, nên đã được ứng dụng.

Trong nghiên cứu này, mạng nơ-ron mờ hồi quy được sử dụng, để điều khiển góc cánh của tuabin gió. Hệ thống điều khiển sẽ được mô phỏng trên MATLAB để điều khiển góc cánh quạt ở trường hợp 1 và 3 làm cho công suất máy phát điện sẽ được giữ ổn định tại giá trị định mức.

2.2. Mô hình tuabin gió

Mô hình tuabin gió thông thường bao gồm 3 thành phần: hệ thống khí động học, hộp số và máy phát điện. Năng lượng khí động học P_t được xác định bởi (1) [14].

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_v^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

trong đó, hiệu suất chuyển đổi năng lượng C_p là một hàm của λ và góc cánh β .

$$C_p = (\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \beta^{c_5} - c_6 \right) e^{-c_7/\lambda_i} \quad (2)$$

$$\lambda_i = \left(\frac{1}{\lambda + c_8 \beta} - \frac{c_9}{\beta^3 + 1} \right)^{-1} \quad (3)$$

Các giá trị từ $c_1 - c_9$ là hệ số động học của mô hình tuabin gió [6], có các giá trị như sau:

$$c_1 = 0.73 \quad c_2 = 151 \quad c_3 = 0.58$$

$$\begin{array}{lll} c_4 = 0.002 & c_5 = 2.14 & c_6 = 13.2 \\ c_7 = 18.4 & c_8 = 0.02 & c_9 = 0.003 \end{array}$$

Hệ số λ được tính theo công thức:

$$\lambda = \frac{R\Omega_r}{V_v} \quad (4)$$

Với R là bán kính quạt (m), Ω_r là vận tốc rotor (rad/s) và V_v là vận tốc gió (m/s).

Ở công thức (4), khi tốc độ gió thay đổi theo thời gian thì hệ số công suất λ cũng thay đổi, làm cho hệ số công suất C_p cũng bị thay đổi. Ta có quan hệ giữa mô men tác động T_t và với công suất động học P_t :

$$P_t = T_t \Omega_r \quad (5)$$

$$T_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V_v^2 C_t(\lambda, \beta) \quad (6)$$

trong đó, hệ số mô men C_t được tính:

$$C_t(\lambda, \beta) = \frac{C_p(\lambda, \beta)}{\lambda} \quad (7)$$

Thế (7) vào (6) ta được (8):

$$T_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V_v^2 \frac{C_p(\lambda, \beta)}{\lambda} \quad (8)$$

Động lực của hệ thống truyền động được mô hình hóa như (9) [8]:

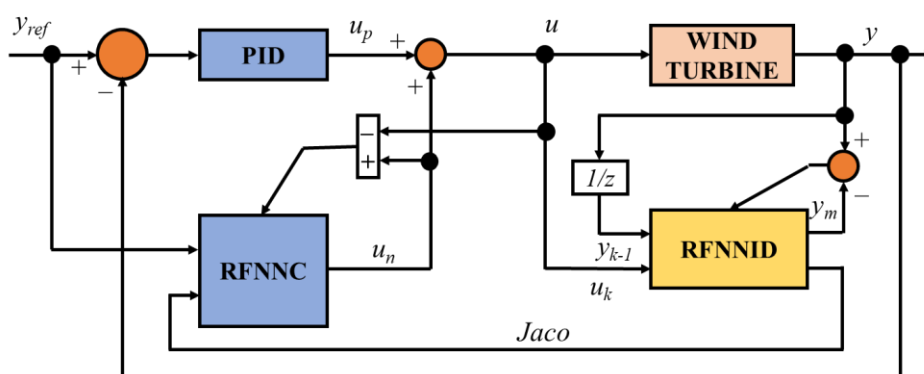
$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{1}{2H} (T_e - T_t) - \frac{F}{2H} \quad (9)$$

Hệ thống truyền động của cánh tua-bin bao gồm: hệ thống cơ khí và thủy lực. Hàm truyền của mô hình hệ truyền động cánh tua-bin [6] được cho bởi (10):

$$G_p(s) = \frac{1}{\tau_\beta s + 1} \quad (10)$$

trong đó, τ_β là hằng số thời gian cơ học.

2.3. Thiết kế bộ điều khiển



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý điều khiển dùng mạng RFNN cho tuabin gió.

Sơ đồ nguyên lý của bộ điều khiển được trình bày trên hình 1. Bộ điều khiển PID được kết hợp với bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy, gọi là RFNNC, được xây dựng dựa theo

[8]. Mô hình đối tượng được nhận dạng bằng một mạng nơ-ron mờ hồi quy khác, gọi là RFNNID, để xác định độ nhạy của đối tượng hay còn được gọi là thông tin Jacobian, được xây dựng dựa theo [9-10, 12].

Trong hình 1, cánh quạt gió được kiểm soát bởi bộ điều khiển PID. Tuy nhiên, để tinh chỉnh và nâng cao tính linh hoạt nhằm nhận những tín hiệu dao động, biến thiên nên bộ điều khiển RFNNC được đưa thêm vào. Giải thuật này cần thông tin Jacobian nên bộ nhận dạng RFNNID cũng được xây dựng và huấn luyện trực tuyến để cung cấp kịp thời thông tin về sự biến đổi của đối tượng cho bộ điều khiển.

Cấu trúc bộ nhận dạng RFNNID:

Bộ nhận dạng mô hình đối tượng dùng mạng nơ-ron hồi quy nhiều lớp, gọi tắt là bộ nhận dạng RFNNID, được triển khai theo [12]. Bộ nhận dạng RFNNID được xây dựng gồm 4 lớp, với lớp vào có 2 nút, lớp mờ hóa có 10 nút, lớp luật mờ gồm 25 nút và lớp ra có 1 nút. Gọi O_i^k tương ứng là ngõ ra của nút thứ i thuộc lớp thứ k , ta có thể mô tả cấu trúc bộ nhận dạng RFNNID như sau [12]:

- *Lớp 1 – Lớp vào:* Lớp này có 2 nút, nhiệm vụ của nó là chuyển tải các giá trị ngõ vào đến lớp kế tiếp. Ngõ ra của nút thứ i ở lớp vào được mô tả như (11).

$$O_i^1(k) = x_i^1(k) + \theta_i^1 O_i^1(k-1), i = 1, 2 \quad (11)$$

trong đó: θ_i^1 là trọng số kết nối tại thời điểm hiện tại k . Ngõ vào của bộ nhận dạng RFNNID là tín hiệu điều khiển hiện tại và ngõ ra quá khứ của đáp ứng:

$$\left[x_1^1(k), x_2^1(k) \right]^T = \left[u(k), y(k-1) \right]^T \quad (12)$$

- *Lớp 2 – Lớp mờ hóa:* Lớp này gồm (2x5) nút, mỗi nút thể hiện bởi một hàm liên tục thuộc dạng Gauss với trị trung bình m_{ij} và độ lệch chuẩn σ_{ij} và được xác định như (13).

$$O_{ij}^2(k) = \exp \left\{ -\frac{(O_i^1(k) - m_{ij})^2}{(\sigma_{ij})^2} \right\}, i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, 5 \quad (13)$$

Ở mỗi nút trên lớp mờ hóa có 2 tham số được tự động điều chỉnh trong quá trình huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng RFNNID, đó là m_{ij} và σ_{ij} .

- *Lớp 3 – Lớp luật:* Lớp này gồm (5x5) nút. Ngõ ra của nút thứ q trong lớp này được xác định:

$$O_q^3(k) = \prod_i O_{iq}^2(k), i = 1, 2, \dots, 5; q_i = 1, 2, \dots, 5 \quad (14)$$

- *Lớp 4 – Lớp ra:* Gồm 1 nơ-ron tuyến tính với ngõ ra xác định như sau:

$$O_i^4(k) = \sum_j w_{ij}^4 O_j^3(k), i = 1; j = 1, 2, \dots, 25 \quad (15)$$

Trong đó, w_{ij} là trọng số kết nối từ lớp luật thứ j lên lớp ra i . Ngõ ra của lớp này cũng là ngõ ra của bộ nhận dạng RFNNID:

$$y_m(k) = O_1^4(k) = \hat{f}[x_1(k), x_2(k)] = \hat{f}[u(k), y(k-1)] \quad (16)$$

Giải thuật huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng RFNNID:

Mục tiêu của giải thuật huấn luyện trực tuyến bộ nhận dạng RFNNID là điều chỉnh bộ trọng số và các tham số của các hàm liên thuộc trên lớp mờ hóa để cực tiểu hàm chi phí (17):

$$E(k) = \frac{1}{2} [y(k) - y_m(k)]^2 = \frac{1}{2} [y(k) - O_1^4(k)]^2 \quad (17)$$

trong đó, $y(k)$ là đáp ứng của đối tượng, $y_m(k)$ là ngõ ra của bộ nhận dạng.

Sử dụng thuật toán lan truyền ngược (back propagation) sai số, bộ trọng số kết nối của mạng RFNN sẽ được điều chỉnh theo nguyên tắc sau:

$$W(k) = W(k-1) + \Delta W(k) = W(k-1) + \eta \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial W} \right) \quad (18)$$

trong đó, $\eta \in (0, 1)$ là hằng số tốc độ học và W là tham số cần điều chỉnh trong quá trình huấn luyện bộ nhận dạng RFNNID.

Gọi $e(k) = y(k) - y_m(k)$ và $W = [\theta, m, \sigma, w]^T$ là sai số huấn luyện và vector tham số của bộ nhận dạng RFNNID, thì gradient của $E(.)$ trong (18) theo W được xác định như sau [8-12]:

$$\frac{\partial E(k)}{\partial W} = -e(k) \frac{\partial y_m(k)}{\partial W} = -e(k) \frac{\partial O_1^4(k)}{\partial W} \quad (19)$$

Với nguyên tắc này, bộ trọng số của từng lớp mạng được cập nhật như sau [8-12]:

$$w_{ij}^4(k+1) = w_{ij}^4(k) + \eta^w \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial w_{ij}^4} \right) = w_{ij}^4(k) + \eta^w e(k) O_i^3 \quad (20)$$

$$m_{ij}(k+1) = m_{ij}(k) + \eta^m \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial m_{ij}} \right) = m_{ij}(k) + \eta^m \sum_k e(k) w_{ik}^4 O_k^3 \frac{2[O_{ij}^1(k) - m_{ij}]}{(\sigma_{ij})^2} \quad (21)$$

$$\sigma_{ij}(k+1) = \sigma_{ij}(k) + \eta^\sigma \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial \sigma_{ij}} \right) = \sigma_{ij}(k) + \eta^\sigma \sum_k e(k) w_{ik}^4 O_k^3 \frac{2[O_{ij}^1(k) - m_{ij}]^2}{(\sigma_{ij})^3} \quad (22)$$

$$\theta_i^1(k+1) = \theta_i^1(k) + \eta^\theta \left(-\frac{\partial E(k)}{\partial \theta_i^1} \right) = \theta_i^1(k) + \eta^\theta \sum_k e(k) w_{ik}^4 O_k^3 \frac{(-2)[O_{ij}^1(k) - m_{ij}] O_{ij}^1(k-1)}{(\sigma_{ij})^2} \quad (23)$$

trong đó, $\eta_{s=w,m,\sigma,\theta}^s$ là các hằng số tốc độ học. Ngoài việc ước lượng ngõ ra của đối tượng $y_m(k)$, bộ nhận dạng RFNNID còn phải ước lượng thông tin Jacobian $\partial y(k) / \partial u(k)$ để huấn luyện trực tuyến bộ điều khiển RFNNC. Thông tin này được xác định như (24) [9, 12].

$$Jaco(k) = \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} = \sum_q w_{ij}^4 \left\{ \sum_s \frac{\partial O_q^3}{\partial O_{qs}^2} \frac{(-2)[O_{ij}^1(k) - m_{ij}]}{(\sigma_{ij})^2} \right\} \quad (24)$$

Bộ điều khiển giám sát PID-RFNN

Bộ điều khiển giám sát này gọi tắt là bộ điều khiển PID-RFNNC, được dựa trên nguyên tắc điều khiển giám sát kết hợp bộ điều khiển PID truyền thống và bộ điều khiển RFNNC hình 2 [8].

Tham số bộ điều khiển PID được sử dụng là bộ giá trị đã làm tròn ($K_p=120, K_i=0.5, K_d=10$), được sử dụng từ kết quả hội tụ của bộ điều khiển PID một nơ-ron trong [2], trên cùng mô hình tuabin gió, nhằm đánh giá chất lượng giữa kiểu điều khiển PID độc lập và kiểu điều khiển giám sát PID-RFNNC. Tín hiệu điều khiển giám sát trong sơ đồ hình 2 được xác định:

$$u(k) = u_n(k) + u_p(k) \quad (25)$$

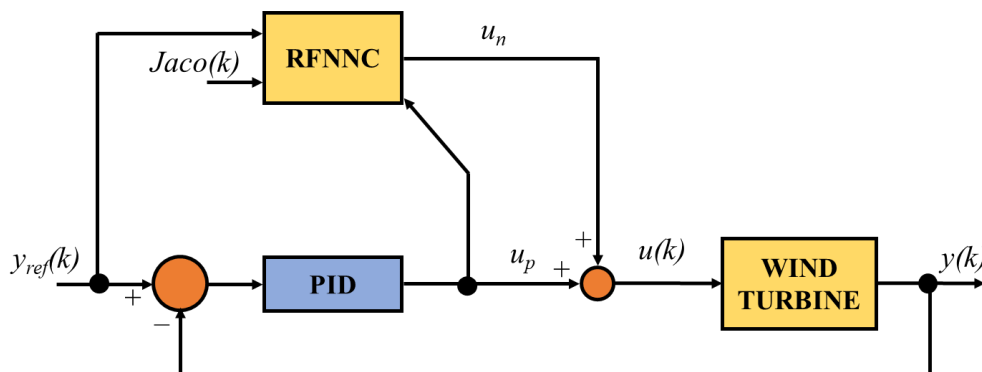
trong đó, $u_p(k)$ là tín hiệu điều khiển PID và là $u_n(k)$ tín hiệu điều khiển giám sát RFNNC.

Tín hiệu điều khiển giám sát $u_n(k)$ chính là ngõ ra của mạng RFNNC, được xác định theo (16). Trong khi tín hiệu điều khiển PID $u_p(k)$ được xác định như sau:

$$u_p(k) = K_p \tilde{e}(k) + K_d d\tilde{e}(k) + K_i i\tilde{e}(k) \quad (26)$$

$$\tilde{e}(k) = y_{ref}(k) - y(k)$$

trong đó, $d\tilde{e}(k)$ và $i\tilde{e}(k)$ lần lượt là đạo hàm và tích phân của sai biệt $\tilde{e}(k)$ trong (26).



Hình 2. Nguyên lý điều khiển giám sát PID-RFNNC.

Cấu trúc của mạng RFNNC được thực hiện giống như cấu trúc của bộ nhận dạng RFNNID. Tuy nhiên, ngõ vào của bộ RFNNC sử dụng trực tiếp tín hiệu tham khảo $y_{ref}(k)$ và thông tin Jacobian (24) tại thời điểm k do bộ RFNNID cung cấp, dựa theo thiết kế của [12]. Hai ngõ vào của bộ RFNNC không sử dụng (12) mà được thay bằng (27). Ngoài ra, hàm mục tiêu huấn luyện mạng RFNNC được thực hiện theo [8], bằng cách thay (17) bởi (28).

$$\left[x_1^1(k), x_2^1(k) \right]^T = \left[y_{ref}(k), Jaco(k) \right]^T \quad (27)$$

$$E(k) = \frac{1}{2} [u_n(k) - u(k)]^2 \quad (28)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

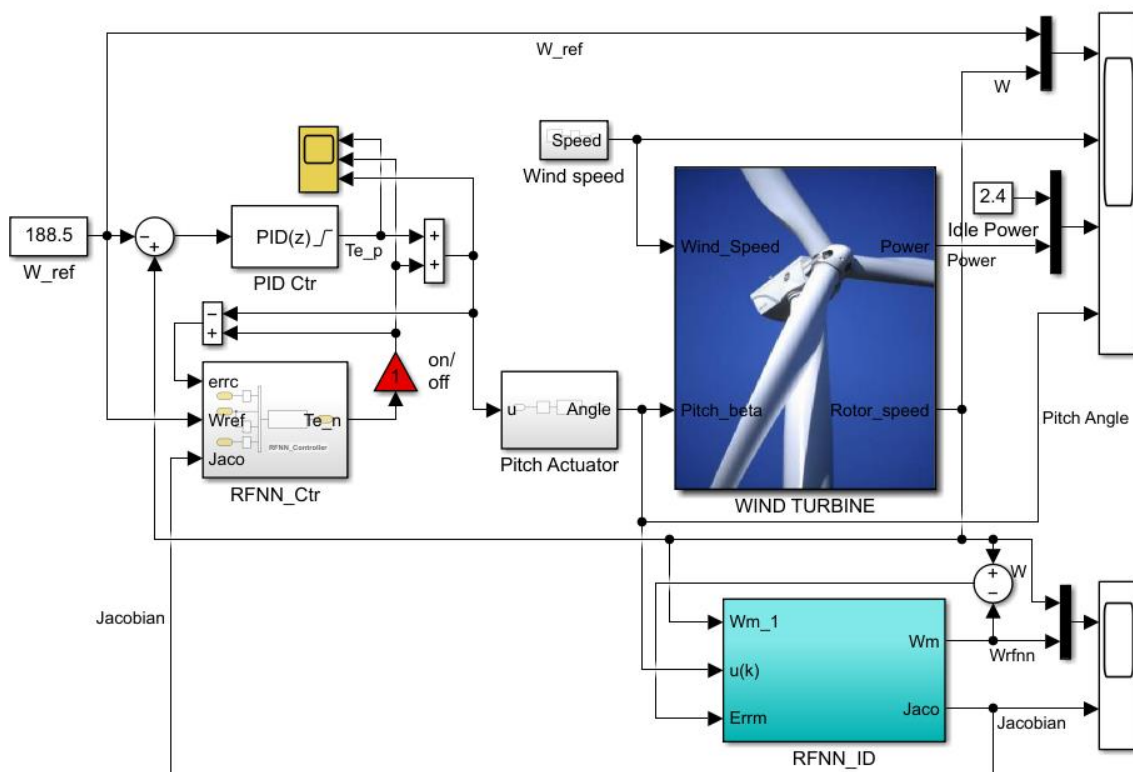
Mô hình mô phỏng để kiểm chứng phương pháp điều khiển góc cánh với bộ điều khiển sử dụng mạng nơ-ron mờ hồi quy (hình 3) được thực hiện dựa trên mô hình tuabin 2,4 MW của hãng Mitsubishi, với tên phiên bản MWT 92 và bộ thông số của tuabin được thể hiện trong bảng 1. Các tham số khởi tạo của quá trình huấn luyện cho bộ nhận dạng mạng nơ-ron mờ hồi quy RFNN được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 1. Thông số tuabin Mitsubishi MWT 92.

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Đường kính rotor	42	m
Tốc độ gió định mức	12,5	m/s
Tỉ số truyền của hộp số	100	-
Tốc độ máy phát định mức	1800	rpm
Công suất định mức	2,4	MW
Mô-men máy phát định mức	12732	Nm

Bảng 2. Các tham số khởi tạo bộ nhận dạng RFNN.

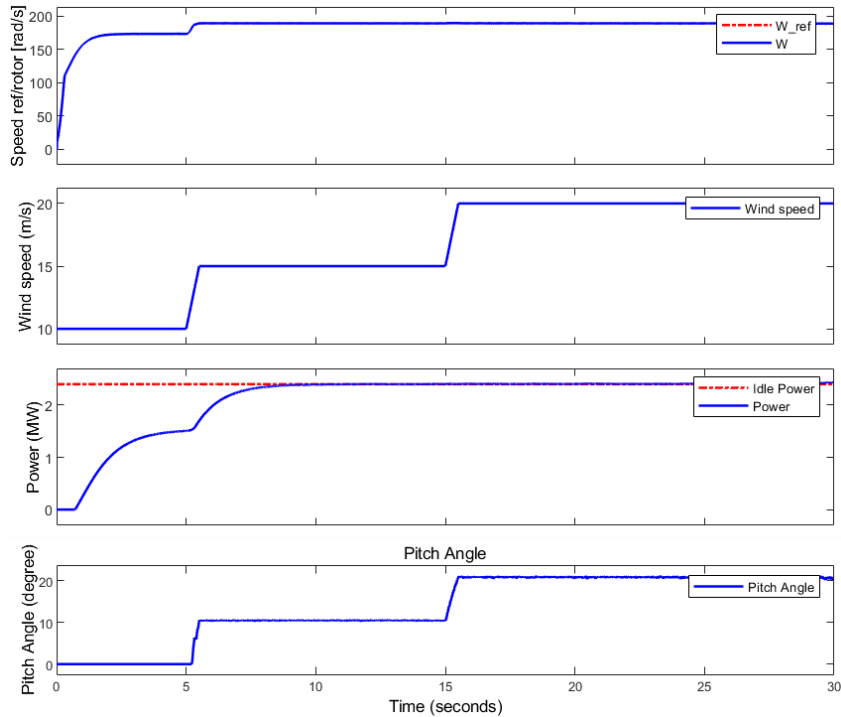
Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
η	Tốc độ học	0.01
c_i	Véc-tơ tâm	$\begin{bmatrix} -1.5 & -0.75 & 0 & 0.75 & 1.5 \\ -1.5 & -0.75 & 0 & 0.75 & 1.5 \end{bmatrix}$
b_i	Ngưỡng kích hoạt	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$
$[w]^T$	Trọng số giữa lớp 3 và 4 (25x1)	$[0.1 \ 0.1 \ \dots \ 0.1]^T$
w_i	Trọng số giữa lớp 2 và 3	$\begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$



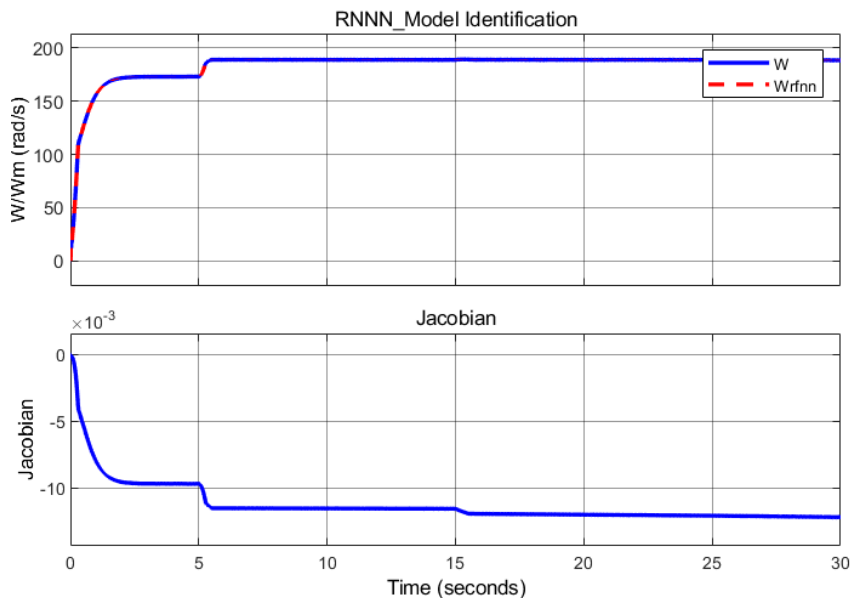
Hình 3. Mô phỏng bộ điều khiển góc cánh dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy trên MATLAB.

Kết quả mô phỏng đã thể hiện thông qua việc giữ ổn định tốc độ và công suất của máy phát được minh họa trên hình 4. Trong đó, tốc độ gió được giả lập ở cấp dưới định mức ở 10 m/s, sau đó tăng lên trên định mức tại 15 m/s và tiếp tục nâng lên mức gió mạnh 20 m/s (hình 3). Mô phỏng sẽ chứng minh công suất phát của tuabin sẽ được giữ ổn định tại 2,4 MW dù tốc độ gió

biến động. Ngoài ra, có thể thấy được mạng nơ-ron mờ hồi quy RFNN có thể nhận dạng tốt mô hình của đối tượng, từ đó tính toán được thông tin Jacobian (hình 5).



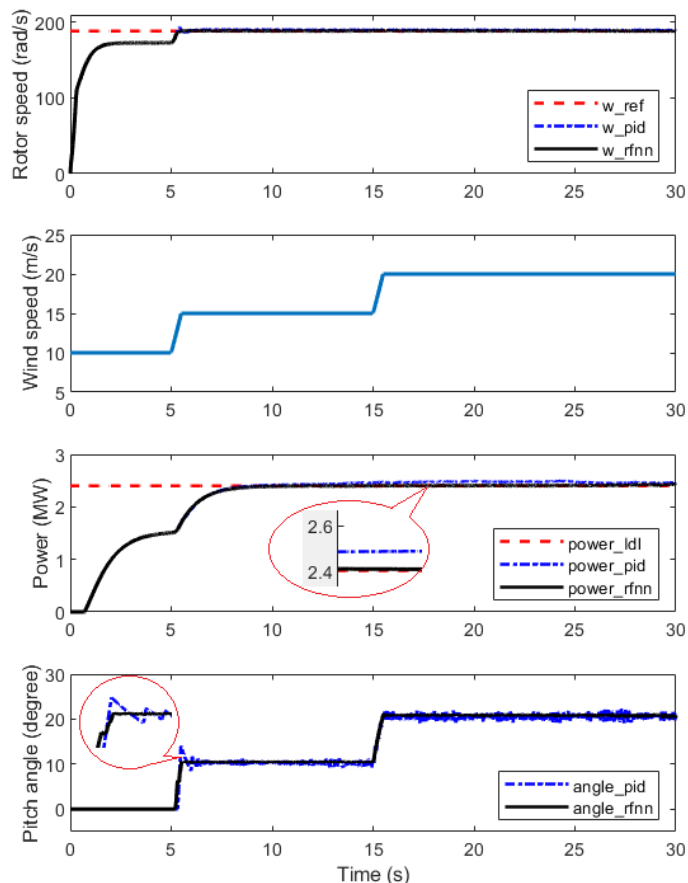
Hình 4. Đánh giá các giá trị vào và ra của hệ thống.



Hình 5. Kết quả của bộ nhận dạng tốc độ gió và thông tin Jacobian của mạng nơ-ron mờ hồi quy.

Với bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy, làm cho công suất và đáp ứng tốc độ của máy phát được giữ ổn định tại giá trị định mức 2,4 MW. Khi tốc độ gió tác động lớn hơn 12 m/s, giá trị góc cánh của tuabin được kiểm soát một cách linh hoạt. Khi đó, bộ điều khiển sẽ tự điều chỉnh các thông số dựa theo thông tin Jacobian trả về từ bộ nhận dạng mạng nơ-ron mờ hồi quy

RFNN, nhằm thích nghi với sự biến đổi của hệ thống, từ đó cho thấy hiệu quả của giải thuật điều khiển được áp dụng.



Hình 6. So sánh điều khiển PID truyền thống và điều khiển kết hợp mạng RFNN.

Hình 6 trình bày kết quả so sánh giữa tình huống kiểm soát góc cánh tuabin gió với bộ điều khiển PID độc lập có tham số ($K_p=120$, $K_i=0.5$, $K_d=10$) và tình huống điều khiển giám sát PID-RFNNC. Kết quả cho thấy, khi tốc độ gió lớn hơn 20m/s, bộ điều khiển PID truyền thống không thể giữ ổn định công suất phát tại 2,4 MW tốt như bộ điều khiển giám sát.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp thiết kế bộ điều khiển góc cánh của tuabin gió sử dụng mạng nơ-ron mờ hồi quy, nhằm giữ ổn định tốc độ và công suất máy phát dựa trên các kịch bản thay đổi về tốc độ gió. Từ đó cho thấy, cơ chế tự chỉnh bằng giải thuật huấn luyện trực tuyến ngay trong quá trình vận hành mà bộ điều khiển dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy đã tinh chỉnh được đáp ứng của hệ thống. Giải thuật huấn luyện bộ điều khiển giám sát sử dụng thông tin về độ nhạy của đối tượng, gọi là thông tin Jacobian, để cập nhật các tham số của nó. Thông tin Jacobian này được nhận diện bởi một mạng nơ-ron mờ hồi quy thứ hai, cũng được huấn luyện trực tuyến. Như vậy, nhờ các giải thuật huấn luyện trực tuyến mà bộ nhận dạng và bộ điều khiển đã giám sát kịp thời sự thay đổi của đối tượng, từ đó điều chỉnh tín hiệu điều khiển phù hợp, giúp tuabin quay ổn định và giữ vững công suất phát. Ngoài ra, kết quả mô phỏng cũng cho thấy, bộ điều khiển giám sát dùng mạng nơ-ron mờ hồi quy cho đáp ứng tốt hơn bộ điều khiển PID truyền thống. Trong thời gian tới, giải thuật đề xuất sẽ được tiếp tục kiểm nghiệm trên thiết bị thực tế để đánh giá toàn diện hơn khả năng điều khiển của nó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. F. Odgaard, J. Stoustrup and M. Kinnaert, “*Fault-tolerant control of wind turbines: A benchmark model*,” IEEE Trans. Control Syst. Technol, **Vol. 21**, No. 4, pp. 1168-1182, (2013).
- [2]. N. C. Ngon and N. M. Hoang, “*Improvement of power output of the wind turbine by pitch angle control using RBF neural network*,” International Journal of Mechanical Engineering and Technology, **Vol. 10**, Issue 10, pp. 64-74, (2019).
- [3]. H. Jafarnejadsani, J. Pieper and J. Ehlers, “*Adaptive Control of a Variable Speed Variable-Pitch Wind Turbine Using Radial-Basis Function Neural Network*,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, **Vol. 21**, No. 6, pp. 2264-2272, (2013).
- [4]. A. H. Norouzi and A. M. Sharaf, “*Two control schemes to enhance the dynamic performance of the STATCOM and SSSC*,” IEEE Trans. on Power Delivery, **Vol. 20**, No. 1, pp. 435-442, (2005).
- [5]. F. D. Bianchi, H. D. Battista and R. J. Mantz, “*Wind Turbine Control Systems*,” Springer, London, 208 p., ISBN: 978-1-84996-611-5, (2007).
- [6]. A. Hwas and R. Katebi, “*Wind turbine control using PI pitch angle controller*,” IFAC Proceedings Volumes, **Vol. 45**, Issue 3, pp. 241-246, (2012).
- [7]. S. Behera, B. Subudhi and B. B. Pati, “*Design of PI controller in pitch control of wind turbine: A comparison of PSO and PS algorithm*,” Inter. J. of Renewable Energy Research (IJRER), **Vol. 6**, pp. 271-281, (2016).
- [8]. J. Liu, “*Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems - Design, Analysis and Matlab Simulation*,” Springer Berlin, 365 p., ISBN: 978-3-642-43455-6, (2015).
- [9]. N. C. Ngon and D. Tin, “*Adaptive single neural PID control based on recurrent fuzzy neural network: An application to ball and beam control system*,” Can Tho University Journal of Science, No. 20a, pp. 169-175, (2011).
- [10]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Loc, C. N. Nguyen, “*Delta Robot Control Using Single Neuron PID Algorithms Based on Recurrent Fuzzy Neural Network Identifiers*,” International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, **Vol. 9**, No. 10, pp. 1411-1418, (2020).
- [11]. L. M. Thanh, L. H. Thuong, P. T. Tung, and C. N. Nguyen, “*Improvement of PID Controllers by Recurrent Fuzzy Neural Networks for Delta Robot*,” Springer Singapore, in Intelligent Communication, Control and Devices, pp.263-275, (2021).
- [12]. L. C. Hung, T. C. Cheng, “*Identification and control of dynamic systems using recurrent fuzzy neural networks*,” IEEE Transactions on Fuzzy Systems, **Vol. 8**, No. 4, pp. 349-366, (2000).
- [13]. B. Boukhezzer and H. Siguerdidjane, “*Nonlinear Control of Variable Speed Wind Turbines without wind speed measurement*,” Proc. of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, pp. 3456-3461, doi: 10.1109/CDC.2005.1582697, (2005).
- [14]. G. Abad, J. Lopez, M. Rodriguez, L. Marroyo and G. Iwanski, “*Doubly fed induction machine: modeling and control for wind energy generation*,” Wiley-IEEE Press, 625 p., ISBN: 978-0-470-76865-5, (2011).

ABSTRACT

**An application of recurrent fuzzy neural networks
in wind turbine pitch angle control**

Nowadays, renewable energy has been developing strongly, including wind energy. However, the use of this energy source is still dependent on nature conditions because the wind intensity changes continuously, making the power generated from the turbine is unstable. That has a huge impact on the electrical system. This paper presents a solution to control and monitor the pitch angle of the wind turbine to generate the rated power aiming to maintain the grid voltage at a stable level. A supervisory controller using recurrent neural fuzzy networks is proposed and tested on MATLAB/Simulink, under the condition of changing wind speeds.

Keywords: MATLAB simulation; Pitch angle control; Recurrent fuzzy neural network; Wind turbine; Supervisory control.