

DOI:10.22144/ctu.jvn.2020.106

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP KẾT HỢP HIỆU QUẢ CÁC TUA BIN GIÓ PMSG

Nguyễn Thái Sơn^{1*}, Lê Quang Thế², Nguyễn Hoàng Nhan², Đào Minh Trung¹,
 Quách Ngọc Thịnh¹, Trần Nguyễn Phương Lan¹, Trần Hữu Danh¹ và Trịnh Thị Anh Tâm²

¹Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

²Lớp Kỹ thuật Điện K42, Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

²Công ty Cổ phần Thông tin và Thẩm định giá Tây Nam Bộ, thành phố Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Thái Sơn (email: thaison@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 28/04/2020

Ngày nhận bài sửa: 23/06/2020

Ngày duyệt đăng: 28/10/2020

Title:

A study on effective solutions in combining PMSG wind turbines

Từ khóa:

Kết hợp tua bin gió, PMSG, tua bin gió

Keywords:

PMSG, Wind turbine, Wind turbine combination

ABSTRACT

This study is performed in order to explore the advantages and disadvantages of combining wind turbines at DC bus and AC bus. The research model that is designed by using MATLAB/Simulink software consists of five permanent magnetic synchronous generator (PMSG) wind turbines connected in parallel. Each wind turbine has the capacity of 200 W. When the wind speed is 12 m/s, the simulation results show that total active power of the wind turbines connected at DC bus ($P_T = 787$ W) is higher than that connected at AC bus ($P_T = 720$ W). In addition, when the wind speed is variable, the average efficiency of each turbine at DC bus (99.54%) is better than that connected at AC bus (97.64%). It can be seen that the total output power of wind turbines connected at AC bus is not maximum power because the frequencies of AC voltage generated by wind turbines depend on the wind speed, while the total output power of wind turbines connected at DC bus is not affected when wind turbine operates at different wind speeds. Thus, the connection of wind turbines at AC bus is ineffective.

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm tìm hiểu những ưu điểm và nhược điểm khi kết hợp các tua bin gió ở bus DC và bus AC. Được mô phỏng bằng phần mềm MATLAB/Simulink, mô hình gồm 5 tua bin gió PMSG được nối song song và với mỗi tua bin gió có công suất 200W. Khi mô phỏng ở tốc độ gió không đổi là 12 m/s, kết quả nghiên cứu cho thấy kết nối các tua bin gió ở bus DC cho ra công suất lớn hơn ($P_T=787$ W) so với công suất ở bus AC ($P_T = 720$ W). Khi mô phỏng ở tốc độ gió thay đổi, kết hợp các tua bin gió ở bus DC, hiệu suất kết hợp trung bình đạt 99.54%, cao hơn so với hiệu suất khi kết hợp tại bus AC là 97.64%. Có thể thấy rằng tổng công suất đầu ra của các tuabin gió được kết nối tại bus AC không phải là công suất cực đại vì tần số của điện áp AC được tạo ra bởi các tuabin gió phụ thuộc vào tốc độ gió, trong khi tổng công suất đầu ra của các tuabin gió được kết nối ở bus DC không bị ảnh hưởng khi tuabin gió hoạt động ở các tốc độ gió khác nhau. Do đó, việc kết nối các tuabin gió ở bus AC là không hiệu quả.

Trích dẫn: Nguyễn Thái Sơn, Lê Quang Thế, Nguyễn Hoàng Nhan, Đào Minh Trung, Quách Ngọc Thịnh, Trần Nguyễn Phương Lan, Trần Hữu Danh và Trịnh Thị Anh Tâm, 2020. Nghiên cứu giải pháp kết hợp hiệu quả các tua bin gió PMSG. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 56(5A): 1-9.

1 GIỚI THIỆU

Nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng do sự phát triển của các ngành công nghiệp. Điện năng ngày nay được sản xuất chủ yếu bằng các dạng năng lượng như thủy năng, nhiệt năng, năng lượng hạt nhân. Sản xuất điện năng bằng các dạng năng lượng trên gây ảnh hưởng rất lớn đến môi trường đồng thời nhiên liệu hóa thạch cũng ngày càng cạn kiệt. Việc sử dụng năng lượng hóa thạch gây phát thải 56,6% lượng khí thải greenhouse gas (trong đó có CO₂) (Sen and Ganguly, 2017). Nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng đòi hỏi phải tìm một dạng năng lượng mới vừa có thể sử dụng lâu dài vừa không làm ảnh hưởng đến môi trường. Một trong những dạng năng lượng có thể đáp ứng được yêu cầu trên là năng lượng gió. Năng lượng gió đã được con người sử dụng từ rất lâu bằng việc ứng dụng gió để xay các loại lương thực hoặc các máy bơm nước bằng sức gió. Nhưng việc sử dụng năng lượng gió để sản xuất điện năng chỉ mới được quan tâm gần đây. Năng lượng gió là một dạng năng lượng sạch, miễn phí và gần như vô tận nhưng việc sử dụng nó để sản xuất điện năng đòi hỏi cần phải có nhiều kiến thức về nó cũng như các trang thiết bị. Đến năm 2016, điện gió đã đáp ứng ít nhất 5% tổng nhu cầu điện năng hàng năm tại 24 quốc gia và hơn 10% tại 13 quốc gia. Việt Nam nằm trong khu vực cận nhiệt đới gió mùa với bờ biển dài hơn 3.000 km, có thuận lợi cơ bản để phát triển năng lượng gió (Lương Duy Thành và ctv., 2015). Trong chương trình đánh giá về năng lượng cho châu Á, Ngân hàng Thế giới đã có một khảo sát chi tiết về năng lượng gió khu vực Đông Nam Á, trong đó Việt Nam có tiềm năng gió lớn nhất với tổng tiềm năng điện gió của Việt Nam ước đạt 513.360 MW tức là bằng hơn 200 lần công suất của thủy điện Sơn La và hơn 10 lần tổng công suất dự báo của ngành điện vào năm 2020 (Hoàng Thị Thu Hương, 2014). Năng lượng gió Việt Nam năm 2030 có thể đạt 12-15 GW trên bờ, 10-12 GW ngoài khơi (Duong, 2019). Để sản xuất sản lượng điện năng cao, chúng ta cần phải kết hợp nhiều tua bin gió lại với nhau. Khi kết hợp các tua bin gió, chúng ta phải lựa chọn phương pháp kết hợp trên bus DC (Amin and Mohammed, 2011) hoặc kết hợp trên bus DC lẫn bus AC (Bo et al., 2010). Đề tài mô phỏng Wind farm có công suất 1.000 W bằng cách kết hợp 5 tua bin gió PMSG (mỗi tua bin có công suất 200 W) theo hai cách khác nhau là kết hợp các tua bin gió ở điện áp một chiều (DC) và điện áp xoay chiều (AC) để đưa ra phương pháp kết hợp hiệu quả cho cụm tua bin gió.

2 PHƯƠNG PHÁP VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

2.1 Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu dựa trên công thức toán học, một số tài liệu liên quan đến mô hình Wind farm để xây dựng các mô hình toán học. Tua bin gió PMSG trong nghiên cứu này được mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink. Mô hình gồm 5 tua bin gió 200 W được kết nối với nhau theo hai phương pháp là kết hợp ở điện áp AC và DC để đưa ra phương pháp kết hợp hiệu quả cho cụm tua bin gió.

2.2 Phạm vi nghiên cứu

Yêu cầu đặt ra của nghiên cứu này là so sánh hiệu quả kết hợp các tua bin gió PMSG theo hai phương pháp kết hợp ở điện áp AC và DC để đưa ra phương pháp kết hợp hiệu quả cho cụm tua bin gió.

3 MÔ HÌNH TOÁN HỌC

3.1 Tua bin gió

Gió được đặc trưng bởi tốc độ và hướng gió, bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố như vị trí địa lý, đặc điểm khí hậu, độ cao trên mặt đất và địa hình bề mặt. Các tua bin gió tương tác với gió, hấp thụ một phần năng lượng động học của gió và chuyển nó thành năng lượng sử dụng được. Năng lượng động học trong không khí của một vật thể có khối lượng m và di chuyển với vận tốc v bằng:

$$k_e = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

Trong đó: k_e là động năng (J), m là khối lượng của vật thể (kg), v là tốc độ dòng chảy trong 1 giây (m/s).

Đối với một dòng chảy qua khu vực ngang A thì tốc độ dòng chảy là:

$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad (2)$$

Trong đó: ρ là mật độ không khí (kg/m³), A là diện tích quét ngang của tua bin (m²), v là vận tốc gió (m/s).

Khi không khí đi ngang qua khu vực A năng lượng không khí có thể được ước tính là (Borkar and Kulkarni, 2015):

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3)$$

Trong đó: v là vận tốc gió (m/s), ρ là mật độ không khí (kg/m³), A là diện tích quét ngang của tua bin (m²).

Trong các trường hợp thực tế, tua bin gió sẽ luôn có một hệ số công suất nhỏ hơn hệ số Betz. Công suất thu được từ gió cho mục đích mô phỏng được đưa ra bởi Barakati (2011):

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p(\lambda, \beta) \quad (4)$$

Trong đó: P_m là công suất cơ (w), λ là tỷ lệ tốc độ đầu cánh, β là góc lật cánh (deg).

Hệ số công suất không phải là một giá trị tĩnh, công thức cơ bản về hệ số công suất sử dụng cho mục đích mô phỏng có thể được định nghĩa như là một hàm của tỷ lệ tốc độ đầu cánh và góc lật cánh như sau (Hassan and Said, 2017):

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \cdot \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \cdot \beta - c_4 \right) \cdot e^{-\frac{c_5}{\lambda_i}} + c_6 \cdot \lambda \quad (5)$$

Trong đó các giá trị $c_1 = 0,5176$; $c_2 = 116$; $c_3 = 0,4$; $c_4 = 5$; $c_5 = 21$; $c_6 = 0,0068$.

Tỷ lệ tốc độ λ_i được cho bởi công thức sau (Alaboudy *et al.*, 2013):

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (6)$$

Tỷ lệ tốc độ đầu cánh được thể hiện bằng công thức sau (Rolan *et al.*, 2009; Hassan and Said, 2017):

$$\lambda = \frac{\text{tốc độ đầu cánh}}{\text{tốc độ gió}} = \frac{r \cdot \omega_r}{v_{wind}} \quad (7)$$

Trong đó: r là bán kính khu vực được bao phủ bởi các cánh quạt (m), ω_r là tốc độ góc của rotor (rad/s) v_w là vận tốc gió (m/s).

Moment cơ của tua bin gió được biểu diễn bởi công thức (Eid *et al.*, 2006; Omijeh *et al.*, 2013):

$$\tau_w = \frac{P_m}{\omega_r} \quad (8)$$

Trong đó: τ_w là moment cơ sản sinh ra bởi tua bin (N.m), ω_r là tốc độ của rotor (rad/s).

3.2 Máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG)

Máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống phát điện gió trực tiếp để chuyển đổi cơ sang điện. Trước khi phát triển mô hình toán học của PMSG, một số giả định quan trọng cần được lưu ý:

- Hiệu ứng giảm chấn ở nam châm và rotor không đáng kể;
- Các hiệu ứng bão hòa từ được bỏ qua;
- Dòng điện từ xoáy và dòng từ trễ bị bỏ qua;
- Lực điện động (EMF) gây ra trong cuộn dây stator là dạng sóng sin;
- Các cuộn dây stator được phân bố theo chu kỳ không khí.

Máy phát điện ba pha đồng bộ nam châm vĩnh cửu hoạt động trong chế độ ba pha nên gặp nhiều khó khăn trong việc xác định phương trình làm việc của máy phát cũng như trong việc mô hình hóa và mô phỏng. Để khắc phục nhược điểm này, việc phân tích được chuyển từ hệ trục tọa độ abc sang hệ trục tọa độ dq. Phương trình chuyển cơ sở qua lại được đưa ra như bên dưới (Patel *et al.*, 2015):

$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} = [T_{dq}] \cdot \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

Phương trình chuyển từ hệ tọa độ dq sang hệ tọa độ abc:

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = [T_{dq}]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

f có thể đại diện cho điện áp (V), dòng điện (I), hay từ thông (λ). Trong đó:

$$[T_{dq0}(\theta_e)] = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & \cos(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_e + \frac{\pi}{3}) \\ \sin \theta_e & \sin(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_e + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[T_{dq0}(\theta_e)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & \sin \theta_e & 1 \\ \cos(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta_e + \frac{\pi}{3}) & \sin(\theta_e + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Trong đó: θ_e là từ thông (Wb).

Phương trình mô hình điện động cho PMSG trong hệ tọa độ dq (Kumar *et al.*, 2009) được đưa ra như sau:

$$V_d = R_s \cdot i_d + L_d \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega_e \cdot L_q \cdot i_q \quad (13)$$

$$V_q = R_s \cdot i_q + L_q \cdot \frac{di_q}{dt} - \omega_e \cdot L_d \cdot i_d + \omega_e \cdot \lambda_0 \quad (14)$$

Trong đó:

R_s : điện trở stator (Ω)

L_d, L_q : lần lượt là điện cảm máy phát trong hệ tọa độ dq (H)

λ_0 : thông lượng từ thông vĩnh cửu (Wb)

ω_e : vận tốc góc điện (rad/s)

$$\omega_e = \omega_m \cdot p \quad (15)$$

Với p là số cặp cực của máy phát điện

ω_m : vận tốc góc cơ (rad/s)

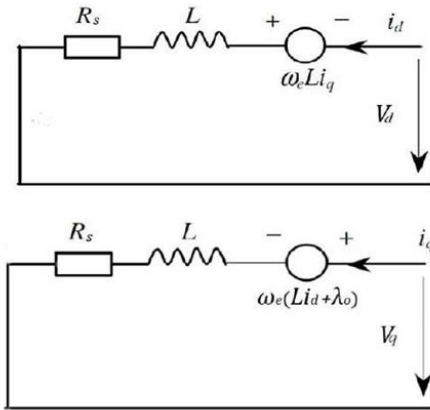
i_d, i_q là dòng điện tạo ra được đo theo hệ trục tọa độ dq (A)

Trong PMSG loại cực tròn ta có thể xem như $L_d = L_q = L$ nên có thể viết lại như sau (Chinchilla *et al.*, 2006):

$$V_d = R_s \cdot i_d + L \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega_e \cdot L \cdot i_q \quad (16)$$

$$V_q = R_s \cdot i_q + L \cdot \frac{di_q}{dt} - \omega_e \cdot L \cdot i_d + \omega_e \cdot \lambda_0 \quad (17)$$

Mạch điện tương đương cho cả trục d và q từ các phương trình trên được đưa ra như Hình 1.



Hình 1: Mô hình tương đương trong hệ tọa độ dq của máy phát PMSG

Công suất điện của máy phát PMSG được biểu diễn theo công thức sau (Mahersi *et al.*, 2013):

$$P_{dq} = \frac{3}{2} \cdot (V_d \cdot i_d + V_q \cdot i_q) \quad (18)$$

Phương trình moment điện từ được đưa ra như sau (Kumar *et al.*, 2015):

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot p \cdot [\lambda_0 \cdot i_q] \quad (19)$$

Trong đó: p là số đôi cực, λ_0 là thông lượng từ thông vĩnh cửu (Wb), i_q là dòng điện tạo ra được đo theo hệ trục tọa độ dq (A).

Dòng điện và điện áp ngõ ra tỷ lệ với moment điện từ và tốc độ rotor (Kariyawasam *et al.*, 2013):

$$T_e = k_T I_a \quad (20)$$

$$E = k_e \omega_m \quad (21)$$

Trong đó: k_T là hằng số moment điện từ, I_a là dòng điện ngõ ra (A), k_e là hằng số của suất điện động, ω_m là tốc độ cơ (rad/s).

Mối quan hệ giữa tần số điện áp ngõ ra và vận tốc góc cơ của máy phát được thể hiện qua công thức bên dưới:

$$f_e = \frac{p \cdot \omega_m}{2\pi} = \frac{p}{2\pi} \cdot N \cdot \frac{2\pi}{60} = \frac{p \cdot N}{60} \quad (22)$$

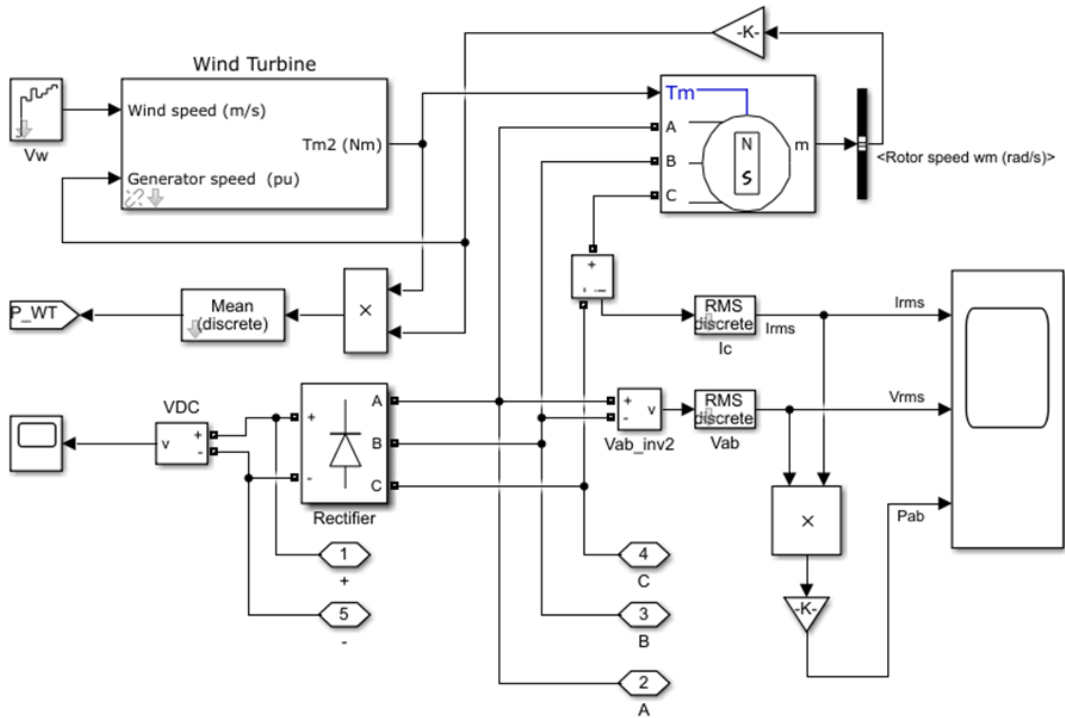
Với N là số vòng quay của máy phát (rpm), ω_m là vận tốc góc của trục rotor (rad/s), p là số cặp cực của máy phát điện.

Mô hình tua bin gió trong MATLAB/Simulink

3.3 Mô hình tua bin gió trong MATLAB/Simulink

Các thông số của tua bin gió: công suất định mức 200 W, công suất cơ bản của máy phát điện 200/0,9; công suất cực đại tốc độ gió cơ bản là 0,73; tốc độ gió cơ bản 5 m/s, vận tốc cơ bản của rotor (pu) là 0,6; góc lật cánh là 0°.

Các thông số của máy phát điện PMSG: điện trở stator R_s là 0,18 (Ω), cảm kháng cuộn dây stator là $8,5 \cdot 10^{-3}$ (H), hằng số moment là 0,3308 (N.m), moment quán tính J là 0,002 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$), hệ số ma sát F là 0,002 (N.m.s), số cặp cực là 4, tốc độ góc rotor ω_r là 60 (rad/s).

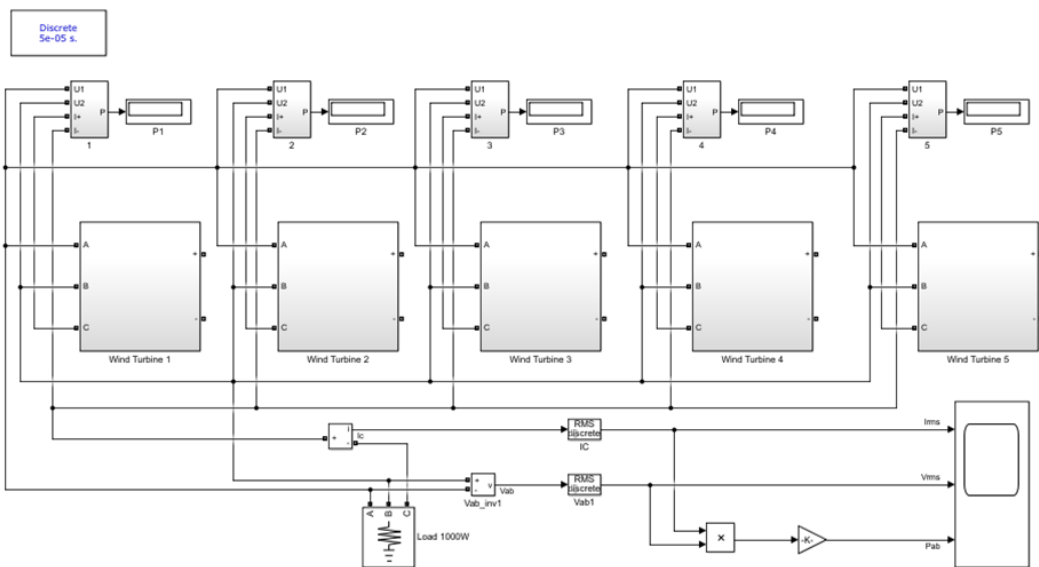


Hình 2: Mô hình 1 tua bin gió trong MATLAB/Simulink

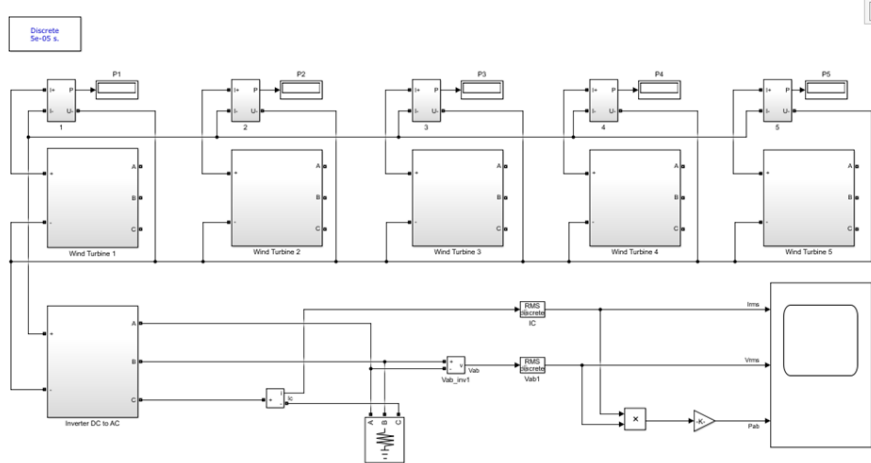
3.4 Mô phỏng hệ thống trong MATLAB/Simulink

Hệ thống mô phỏng bao gồm 5 tua bin gió PMSG được mắc song song với nhau, mỗi tua bin

gió có công suất 200 W, tải sử dụng là tải trở có công suất 1000 W. Kết hợp các tua bin gió theo hai cách là kết hợp tại điện áp DC và kết hợp tại điện áp AC. Mô hình được mô phỏng lần lượt với tốc độ gió cố định là 12 m/s và tốc độ gió thay đổi.



Hình 3: Mô hình kết hợp ở điện áp AC



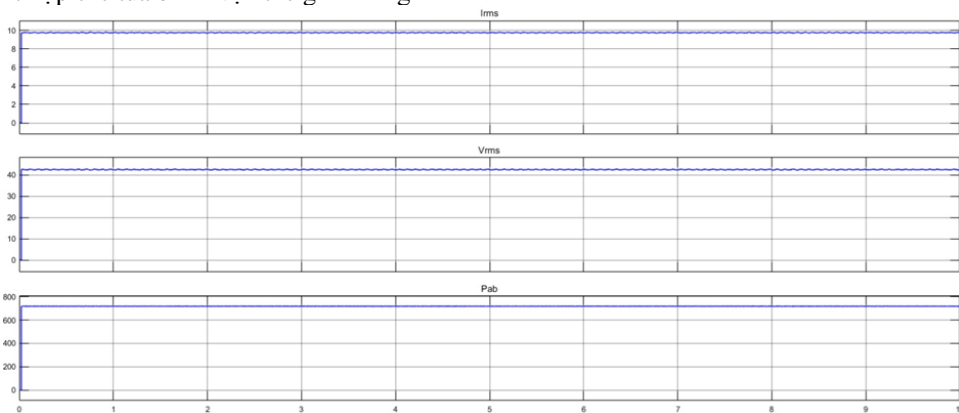
Hình 4: Mô hình kết hợp ở điện áp DC

4 KẾT QUẢ

4.1 Kết quả kết hợp tua bin gió bằng điện áp AC

4.1.1 Tốc độ gió cố định

Khi kết hợp các tua bin ở vận tốc gió không đổi



Hình 5: Đồ thị công suất, điện áp, dòng điện khi kết hợp bằng điện áp AC ở tốc độ gió cố định

4.1.2 Tốc độ gió thay đổi

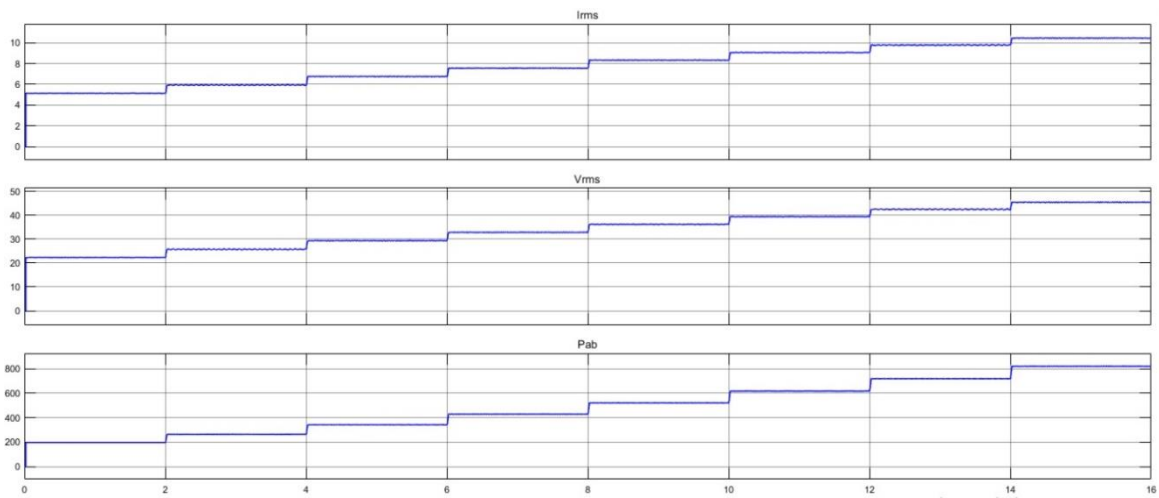
Khi kết hợp các tua bin ở vận tốc gió thay đổi

là 12 m/s bằng phương pháp kết hợp ở điện áp AC, điện áp ngõ ra $U_d = 42,67$ (VAC), dòng điện $I_d = 9,746$ (A), công suất ngõ ra $P_T = 720$ (W), hiệu suất kết hợp trung bình khá lớn khoảng 97,23%.

bằng phương pháp kết hợp ở điện áp AC, hiệu suất kết hợp trung bình khá lớn khoảng 97,64%.

Bảng 1: Kết quả khi kết hợp bằng điện áp AC ở tốc độ gió thay đổi

Tốc độ gió v_w (m/s)	Dòng điện I_d (A)	Điện áp V_d (VAC)	Tổng công suất P_T (W)	Hiệu suất η_{DC} (%)
6	5,135	22,3	198,1	97,83
7	5,921	25,79	264,2	97,85
8	6,758	29,22	341,7	97,63
9	7,533	32,86	428,2	97,32
10	8,326	36,11	520,1	97,21
11	9,072	39,33	617,3	97,98
12	9,732	42,66	718,3	97,73
13	10,470	45,28	819,8	97,60
Hiệu suất kết hợp trung bình				97,64



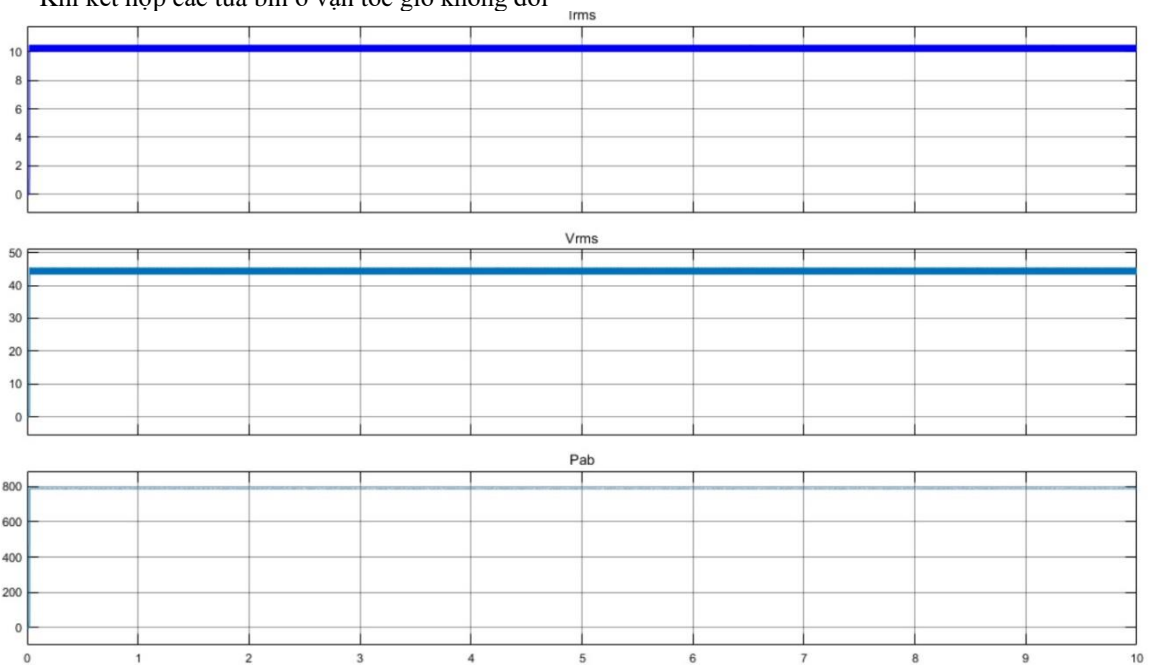
Hình 6: Đồ thị công suất, điện áp, dòng điện khi kết hợp bằng điện áp AC ở tốc độ gió thay đổi

4.2 Kết quả kết nối tua bin gió bằng điện áp DC

4.2.1 Tốc độ gió cố định

Khi kết hợp các tua bin ở vận tốc gió không đổi

là 12 m/s bằng phương pháp kết hợp ở điện áp DC, điện áp ngõ ra $U_d = 43,33$ (VAC), dòng điện $I_d = 10,3$ (A), công suất ngõ ra $P_T = 787$ (W), hiệu suất kết hợp trung bình khá lớn khoảng 99,82%.



Hình 7: Đồ thị công suất, điện áp, dòng điện khi kết hợp bằng điện áp DC ở tốc độ gió cố định

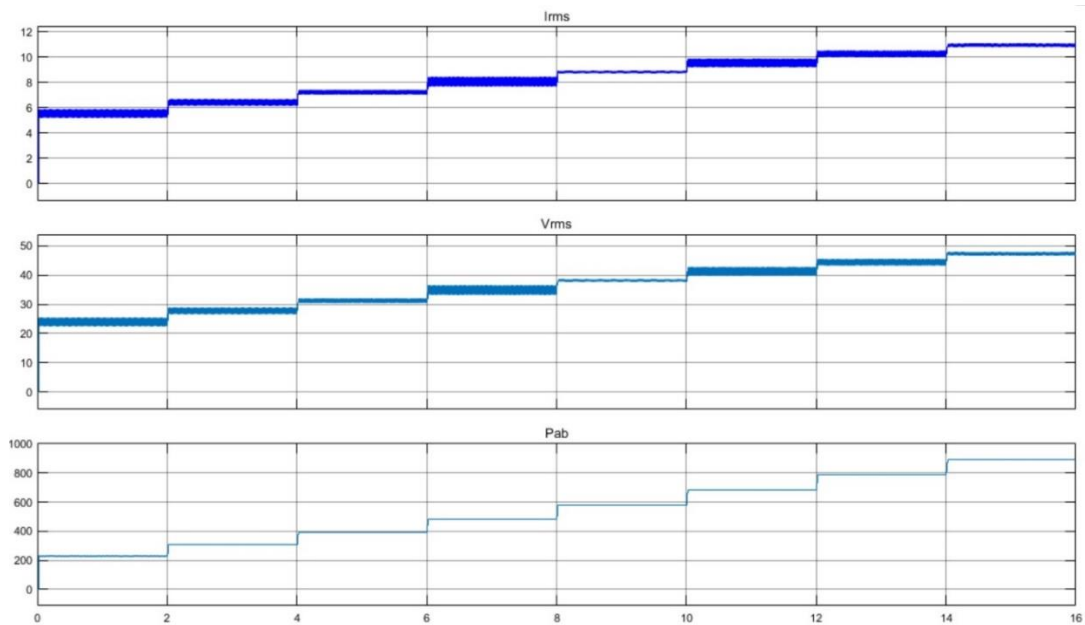
4.2.2 Tốc độ gió thay đổi

Khi kết hợp các tua bin ở vận tốc gió thay đổi

bằng phương pháp kết hợp ở điện áp DC, hiệu suất kết hợp trung bình khá lớn khoảng 99,54%.

Bảng 2: Kết quả khi kết hợp bằng điện áp DC ở tốc độ gió thay đổi

Tốc độ gió v_w (m/s)	Dòng điện I_d (A)	Điện áp V_d (VAC)	Tổng công suất P_T (W)	Hiệu suất η_{AC} (%)
6	5,631	23,54	229,4	99,74
7	6,155	28,72	305,9	99,48
8	7,142	31,72	391,9	99,22
9	8,086	34,61	484,1	99,81
10	8,829	38,08	581,7	99,44
11	9,289	42,46	682,4	99,62
12	10,480	43,42	787,3	99,66
13	10,880	47,53	894,5	99,39
Hiệu suất kết hợp trung bình				99,54



Hình 8: Đồ thị công suất, điện áp, dòng điện khi kết hợp ở điện áp DC ở tốc độ gió thay đổi

Bảng 3: Kết quả tổng hợp kết hợp bằng điện áp DC và AC ở tốc độ gió thay đổi

Phương pháp Tốc độ gió v_w (m/s)	Kết hợp ở điện áp AC				Kết hợp ở điện áp DC			
	Dòng điện I_d (A)	Điện áp V_d (VAC)	Tổng công suất P_T (W)	Hiệu suất η_{DC} (%)	Dòng điện I_d (A)	Điện áp V_d (VAC)	Tổng công suất P_T (W)	Hiệu suất η_{DC} (%)
6	5,135	22,3	198,1	97,83	5,631	23,54	229,4	99,74
7	5,921	25,79	264,2	97,85	6,155	28,72	305,9	99,48
8	6,758	29,22	341,7	97,63	7,142	31,72	391,9	99,22
9	7,533	32,86	428,2	97,32	8,086	34,61	484,1	99,81
10	8,326	36,11	520,1	97,21	8,829	38,08	581,7	99,44
11	9,072	39,33	617,3	97,98	9,289	42,46	682,4	99,62
12	9,732	42,66	718,3	97,73	10,480	43,42	787,3	99,66
13	10,470	45,28	819,8	97,60	10,880	47,53	894,5	99,39

5 KẾT LUẬN

Với cùng tốc độ gió khi kết hợp các tua bin ở điện áp DC cho công suất lớn hơn ở điện áp AC. Khi

các tua bin gió quay ở tốc độ khác nhau, dòng điện tạo ra ở mỗi tua bin có tần số và góc pha khác nhau nên khi kết hợp 5 tua bin ở điện áp AC sẽ giảm công suất đầu ra. Khi đó, việc kết hợp các tua bin ở điện

áp DC sẽ cho ra công suất lớn hơn, hiệu suất cao. Vì vậy khi kết hợp tua bin gió nên kết hợp ở điện áp DC để đạt hiệu quả cao nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alaboudy, A. H. K., Daoud, A. A., Desouky, S. S., and Salem, A. A., 2013. Converter controls and flicker study of PMSG-based grid connected wind turbines. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(1): 75-91.
- Amin, M.M., and Mohammed, O. A., 2011. DC-Bus voltage control technique for parallel-integrated permanent magnet wind generation systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26(4): 1140-1150.
- Barakati, S.M., 2011. Wind Turbine Systems: History, Structure, and Dynamic Model. *In: A.F. Zobaa, and R.C. Bansal (Eds.). Handbook of Renewable Energy Technology*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 21-51.
- Bo, D., Li, Y., and Zheng, Z., 2010. Energy Management of Hybrid DC and AC Bus Linked Microgrid. *In: The 2nd International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*, 713-716.
- Borkar, R. and Kulkarni, V.A., 2015. Modelling and Simulation of Wind Powered Permanent Magnet Direct Current (PMDC) Motor Using Matlab. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 4(4): 2975-2979.
- Chinchilla, M., Arnaltes, S., and Burgos, J. C., 2006. Control of permanent-magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21(1): 130-135.
- Duong, M.H., 2019. Options for wind power in Vietnam by 2030. *In: Vietnam Onshore and Offshore Wind Summit (VOOWS 2019)*, Oct. 30, 2019, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Hassan, A. and Said, E.B., 2017. New MPPT Control for Wind conversion System based PMSG and a comparison to conventional approaches. *In: The 14th International MultiConference on Systems, Signals & Devices (SSD) 2017*, 28 March to 31 March 2017, Marrakech, Morocco. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 38-43.
- Hoàng Thị Thu Hường, 2014. Thực trạng năng lượng tái tạo Việt Nam và hướng phát triển bền vững, ngày truy cập 25/04/2020. Địa chỉ: <http://nangluongvietnam.vn>
- Kumar, A., Sandhu, K. S., Jain, S. P., and Kumar, P. S., 2009. Modeling and control of micro-turbine based distributed generation system. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 3(2): 65-72.
- Kumar, A. P., Parimi, A. M., and Rao, K. U., 2015. Investigation of small PMSG based wind turbine for variable wind speed. *In 2015 International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE)* (pp. 107-112). IEEE.
- Kariyawasam, K. K. M. S., Karunarathna, K. K. N. P., Karunarathne, R. M. A., Kularathne, M. P. D. S. C., and Hemapala, K. T. M. U., 2013. Design and development of a wind turbine simulator using a separately excited DC motor. *Smart Grid and Renewable Energy*. 4(3): 259-265.
- Lương Duy Thành, Phan Văn Độ và Nguyễn Trọng Tâm, 2015. Nguyên nhân chủ yếu thúc đẩy sự phát triển, tiềm năng và thực trạng khai thác năng lượng tái tạo ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*. 50: 24-29.
- Mahersi, E., Khedher, A., and Mimouni, M. F., 2013. The wind energy conversion system using PMSG controlled by vector control and SMC strategies. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(1): 41-50.
- Omijeh, B.O., Nmom, C.S. and Nlewem, E., 2013. Modeling of a Vertical Axis wind turbine with permanent magnet synchronous generator for Nigeria. *International Journal of Engineering and Technology*. 3(2): 212-220.
- Patel, S.J., Patel, J.M. and Jani, H.B., 2015. Dynamic Modelling of the three-phase Induction Motor using SIMULINK-MATLAB. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*. 2(3): 412-428.
- Rolan, A., Luna, A., Vazquez, G., Aguilar, D. and Azevedo, G., 2009. Modelling of a Variable Speed Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator. *In: IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009)*, 5 July to 8 July 2009, Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 734-739.
- Sen, S., and Ganguly, S., 2017. Opportunities, barriers and issues with renewable energy development—A discussion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69: 1170-1181.