

QUẢN LÝ TỐI ƯU NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG GIÓ ĐỘC LẬP SỬ DỤNG LOGIC MỜ

OPTIMAL POWER MANAGEMENT IN STAND-ALONE WIND ENERGY SYSTEM USING FUZZY LOGIC

Phạm Duy An^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.230>

TÓM TẮT

Trong bài báo này, một hệ thống năng lượng gió độc lập sử dụng máy phát điện đồng bộ xoay chiều và pin để cung cấp điện cho tải. Năng lượng cung cấp bởi máy phát điện gió thay đổi phụ thuộc vào tốc độ gió, để đáp ứng công suất tiêu thụ của tải một bộ giám sát mờ sẽ được sử dụng. Bài báo đề xuất một phương pháp tìm điểm có công suất lớn nhất cho hệ thống điện gió độc lập có tốc độ thay đổi bằng cách sử dụng logic mờ. Các kết quả mô phỏng trong phần mềm Matlab/Simulink chỉ ra rằng các bộ điều khiển được thiết kế hoạt động tốt và phù hợp với hệ thống năng lượng gió độc lập.

Từ khóa: Tuabin gió; điều khiển logic mờ; hệ thống độc lập; MPPT.

ABSTRACT

In this paper, a wind energy conversion system using synchronous generator and a battery to supply for a load is presented. The wind turbine power is often variable due to the variation of wind speed. In order to satisfy the load demand, a fuzzy logic supervisor is used. This paper also presents a maximum power point tracking (MPPT) method using fuzzy logic for stand-alone variable speed wind turbine system. The simulation results in Matlab/Simulink software are presented to show the good performances of the proposed controllers in stand alone wind energy systems.

Keywords: Wind turbine; fuzzy logic controller; stand-alone system; MPPT.

¹Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: pham-duy.an@usth.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 23/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
Ω	rad/s	Tốc độ quay của rotor

D_1		Duty cycle của bộ tăng áp DC/DC 1
D_2		Duty cycle của bộ tăng áp DC/DC 2
P_{WT}	W	Công suất cơ của tuabin gió
V_{WT}	V	Điện áp 1 chiều đầu ra của bộ chỉnh lưu
L_s	H	Độ tự cảm của cuộn dây stator của máy phát
k_T		Hệ số của mô men của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu
k_e		Hệ số của điện áp của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu
T_e	N.m	Mô men điện từ của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu

CHỮ VIẾT TẮT

MPPT	Maximum power point tracking (theo dõi điểm công suất cực đại)
PMP	Point of maximum power (điểm có công suất cực đại)
FLC	Fuzzy logic controller (bộ điều khiển logic mờ)
PMSG	Permanent magnet synchronous generator (máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu)
PI	Tích phân tỷ lệ
SOC	State of charge (trạng thái sạc của pin)
P&O	Perturb & Observe

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, sử dụng năng lượng gió để cung cấp điện cho những nơi xa xôi hẻo lánh đã trở nên ngày càng phổ biến. Việc nghiên cứu các bộ điều khiển trong hệ thống điện gió để tăng độ tin cậy, tiết kiệm chi phí và cải thiện chất lượng điện năng đang trở nên cần thiết. Trong hệ thống điện gió độc lập, cấu hình sử dụng

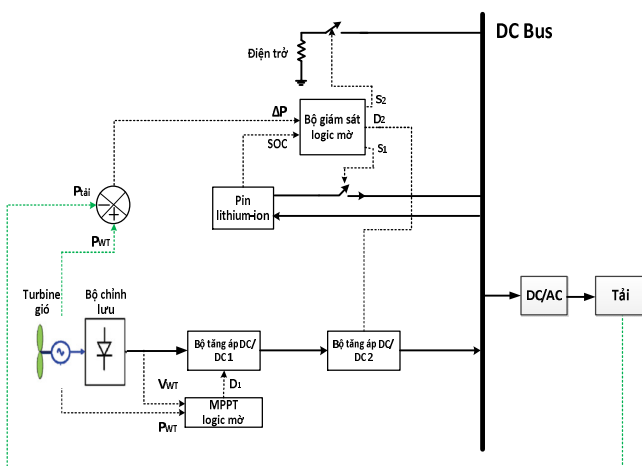
máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu nối trực tiếp với tuabin gió có nhiều ưu điểm như độ tin cậy cao, không cần nguồn một chiều cho cuộn dây kích từ, chi phí bảo dưỡng thấp. Việc nối trực tiếp cũng không cần hộp số từ đó giảm được ứng suất cơ học lên máy phát điện. Nhiều cấu hình về hệ thống năng lượng gió độc lập đã được đề xuất và nghiên cứu [1-6]. Hệ thống năng lượng gió độc lập sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu nối trực tiếp với tuabin gió, và pin lithium-ion sẽ được nghiên cứu trong bài báo này.

Trong [7], bài báo đã thiết kế bộ giám sát mờ đáp ứng nhu cầu tiêu thụ của tải khi tốc độ gió thay đổi, tuy nhiên bài báo chưa tích hợp bộ điều khiển MPPT. Trong [8-12], các bài báo đã thiết kế bộ điều khiển MPPT cho hệ thống điện gió độc lập, tuy nhiên các bài báo chưa tích hợp bộ điều khiển để quản lý dòng công suất trong hệ thống khi tốc độ gió và công suất tiêu thụ của tải thay đổi.

Bài báo này tập trung vào việc quản lý tối ưu công suất trong hệ thống điện gió độc lập. Bộ giám sát mờ và bộ điều khiển MPPT được tích hợp chung vào một hệ thống năng lượng gió độc lập. Bộ điều khiển MPPT logic mờ được thiết kế để thu được công suất lớn nhất từ tuabin gió khi tốc độ gió thay đổi. Bộ giám sát logic mờ dùng để cân bằng giữa công suất phát và công suất tiêu thụ trong hệ thống.

2. MÔ TẢ HỆ THỐNG

Hệ thống điện gió độc lập bao gồm một tuabin gió nối trực tiếp với PMSG (12kW, 67Nm, 1700 vòng/phút), một pin lithium-ion (650V,10Ah) để cung cấp điện cho hai tải xoay chiều có công suất là 4kW và 2kW được mô tả trong hình 1.



Hình 1. Hệ thống điện gió có tốc độ thay đổi tích hợp các bộ điều khiển logic mờ

Bộ điều khiển MPPT logic mờ sẽ thay đổi duty cycle của bộ tăng áp DC/DC 1 để thu được công suất lớn nhất

từ tuabin gió. Đầu vào của bộ điều khiển là công suất và điện áp của tuabin gió. Đầu ra là duty cycle D_1 .

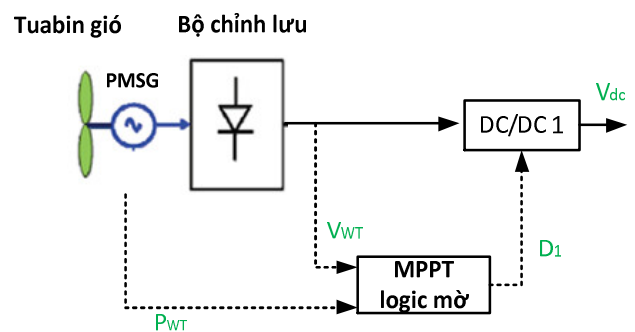
Để quản lý công suất phát và tiêu thụ, chúng ta sử dụng bộ giám sát mờ với ba mục đích. Mục đích thứ nhất để thay đổi duty cycle của bộ tăng áp DC/DC 2 và do đó điều chỉnh điện áp của bus DC. Mục đích thứ hai để chọn thời điểm sạc hoặc phóng của pin lithium-ion. Mục đích thứ ba để chọn thời điểm tiêu tán công suất dư thừa trong hệ thống qua một tải điện trở.

Nếu như công suất của tuabin gió nhỏ hơn công suất tiêu thụ của tải và dung lượng của pin lithium-ion đủ, Pin lithium-ion sẽ ở trạng thái phóng điện để cung cấp công suất điện cho tải tiêu thụ. Nếu như công suất của tuabin gió lớn hơn công suất tiêu thụ của tải, lượng công suất dư thừa sẽ được lưu trữ vào pin lithium-ion. Và nếu như pin lithium-ion đã đầy, lượng công suất dư thừa sẽ được tiêu tán qua một tải điện trở.

Để thực hiện được điều này, bộ giám sát mờ sẽ cần hai thông tin đầu vào. Đầu vào thứ nhất là trạng thái SOC của pin lithium-ion. Đầu vào thứ hai là chênh lệch công suất giữa tuabin gió và tải tiêu thụ. Bộ giám sát mờ sẽ lựa chọn giá trị của duty cycle D_2 để ổn định điện áp một chiều đầu vào của bộ nghịch lưu, lựa chọn thời điểm phóng hoặc sạc của pin lithium-ion bằng khoá S_1 và xác định thời điểm tiêu tán lượng công suất dư thừa qua tải điện trở bằng khoá S_2 .

Bằng cách sử dụng logic mờ sẽ không cần phải biết mô hình chính xác của các hệ thống phức tạp (tuabin gió, máy phát điện đồng bộ ba pha, bộ chỉnh lưu, bộ nghịch lưu).

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MPPT LOGIC MỜ



Hình 2. Bộ điều khiển MPPT logic mờ được đề xuất cho hệ thống điện gió

Trong hệ thống tuabin gió có tốc độ thay đổi, tác giả sử dụng mạch cầu chỉnh lưu diode để chỉnh lưu điện áp xoay chiều của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu thành điện áp một chiều. Sau đó, bộ tăng áp DC/DC 1 được sử dụng để thu được điểm có công suất lớn nhất của tuabin gió bằng cách điều khiển duty cycle D_1 . Bộ

điều khiển MPPT logic mờ được để xuất cho hệ thống điện gió được mô tả trong hình 2.

Trong cấu hình của hệ thống điện gió có tốc độ thay đổi điện áp đầu ra V_{dc} của bộ tăng áp được tính theo công thức sau [8]:

$$V_{dc} = \frac{1}{1 - D_1} \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \Omega \sqrt{k_e^2 - \left(\frac{T_e L_s}{k_T}\right)^2} \quad (1)$$

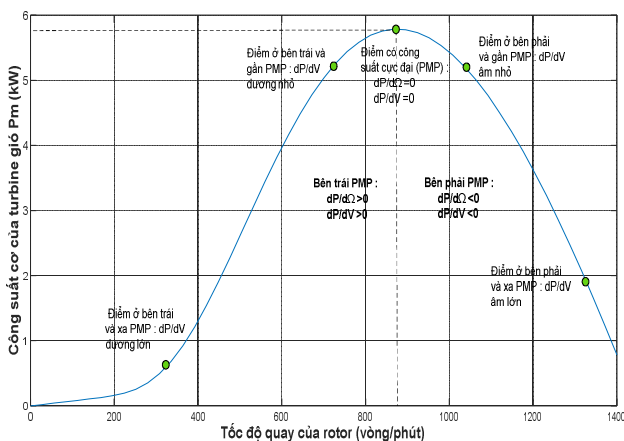
Trong [8] đã chỉ ra rằng, ứng với mỗi tốc độ gió sẽ có một giá trị của tốc độ quay của rotor để công suất cơ học của tuabin gió đạt giá trị lớn nhất. Từ phương trình (1), điện áp V_{dc} tỷ lệ thuận với tốc độ quay Ω của rotor của máy phát. Và chúng ta có thể điều chỉnh duty cycle D_1 để thay đổi V_{dc} , qua đó thay đổi tốc độ quay của rotor của máy phát. Khi giá trị của D_1 bị giảm xuống, sẽ làm tăng giá trị của V_{dc} và qua đó làm tăng tốc độ quay của rotor của máy phát. Khi giá trị của D_1 được tăng lên, sẽ làm giảm giá trị của V_{dc} và qua đó làm giảm tốc độ quay của rotor của máy phát. Bộ điều khiển công suất cực đại của tuabin gió sẽ hoạt động dựa trên nguyên lý này. Bộ điều khiển sẽ điều khiển tốc độ quay của rotor bằng cách điều khiển duty cycle D_1 của bộ tăng áp.

Tại điểm hoạt động có công suất lớn nhất của tuabin gió, ta có phương trình (2) sau đây:

$$\frac{dP_{WT}}{d\Omega} = \frac{dP_{WT}}{dV_{WT}} \frac{dV_{WT}}{d\Omega} = 0 \quad (2)$$

Trong máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu, tốc độ quay của rotor tỷ lệ thuận với điện áp pha của máy phát, do đó $dV_{WT}/d\Omega$ sẽ luôn có giá trị dương. Như vậy:

$$\frac{dP_{WT}}{d\Omega} = 0 \Leftrightarrow \frac{dP_{WT}}{dV_{WT}} = 0 \quad (3)$$



Hình 3. Điểm có công suất lớn nhất theo tốc độ quay của rotor

Dựa trên hình 3 và phương trình (3), có thể thấy rằng khi điểm làm việc của tuabin gió về phía bên trái của điểm

công suất cực đại, giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ dương. Khi điểm làm việc của tuabin gió về phía bên phải của điểm công suất cực đại, giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ âm.

Bộ điều khiển MPPT logic mờ được thiết kế dựa trên sự kết hợp của phương pháp P&O trong bộ điều khiển logic mờ. Bộ điều khiển MPPT logic mờ có hai đầu vào và một đầu ra: đầu vào thứ nhất là đạo hàm bậc một của công suất tuabin theo điện áp ra của mạch cầu chỉnh lưu (dP_{WT}/dV_{WT}) , đầu vào thứ hai là đạo hàm bậc hai của công suất tuabin theo điện áp ra của mạch cầu chỉnh lưu $(dP_{WT}/dV_{WT})'$, đầu ra là sự khác nhau giữa duty cycle hiện tại và duty cycle trước đó ΔD_1 của mạch tăng áp DC/DC 1.

Khi điểm làm việc của tuabin gió về phía bên trái của điểm công suất cực đại, giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ dương. Và nếu $(dP_{WT}/dV_{WT})' < 0$, tức là điểm làm việc đang tiến lại gần PMP. Điểm làm việc cần tiếp tục duy trì theo hướng này.

Khi điểm làm việc của tuabin gió về phía bên trái của điểm công suất cực đại giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ dương. Và nếu $(dP_{WT}/dV_{WT})' > 0$, tức là điểm làm việc đang tiến ra xa PMP. Lúc này cần giảm giá trị D_1 để tăng giá trị điện áp V_{WT} . Do đó, điểm làm việc sẽ tiến lại gần PMP.

Khi điểm làm việc của tuabin gió về phía bên phải của điểm công suất cực đại, giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ âm. Nếu $(dP_{WT}/dV_{WT})' > 0$, tức là điểm làm việc đang tiến lại gần PMP. Điểm làm việc cần tiếp tục duy trì theo hướng này.

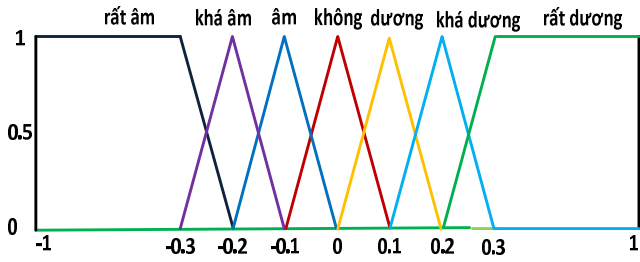
Khi điểm làm việc của tuabin gió về phía bên phải của điểm công suất cực đại, giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ âm. Và nếu $(dP_{WT}/dV_{WT})' < 0$, tức là điểm làm việc đang tiến ra xa PMP. Lúc này cần tăng giá trị D_1 để giảm giá trị điện áp V_{WT} . Do đó, điểm làm việc sẽ tiến lại gần PMP.

Nếu chọn một giá trị lớn của ΔD_1 , ta có thể nhanh chóng đạt được PMP. Nhưng điều này sẽ gây ra nhiều dao động xung quanh PMP. Mặt khác, nếu chọn một giá trị nhỏ của ΔD_1 , đáp ứng thời gian của bộ điều khiển MPPT logic mờ sẽ chậm. Nhưng, có thể dễ dàng đạt tới PMP.

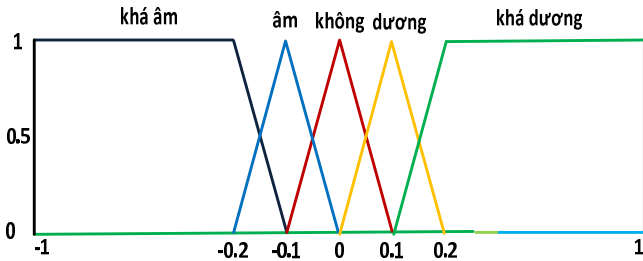
Để giải quyết vấn đề này, giá trị thực của các biến đầu vào và đầu ra sẽ được chia thành các biến ngôn ngữ sau đây để xử lý trong bộ điều khiển mờ:

- dP_{WT} / dV_{WT} [rất âm, âm, âm nhỏ, không, dương nhỏ, dương, rất dương]
- $(dP_{WT} / dV_{WT})'$ [rất âm, âm, không, dương, rất dương]
- ΔD_1 [-3%; -2%; -1%; -0,5%; 0%; +0,5%; +1%; +2%; +3%]

Hàm liên thuộc của hai biến đầu vào dP_{WT} / dV_{WT} và $(dP_{WT} / dV_{WT})'$ được mô tả trong hình 4 và 5.



Hình 4. Hàm liên thuộc của biến đầu vào (dP_{WT}/dV_{WT})



Hình 5. Hàm liên thuộc của biến đầu vào (dP_{WT}/dV_{WT})^{*}

Độ lớn của ΔD_1 sẽ được bộ MPPT logic mờ thay đổi tùy thuộc vào khoảng cách của điểm làm việc của tuabin gió với PMP. Do đó, PMP sẽ nhanh chóng đạt được, nhưng không vượt quá và sẽ không còn dao động xung quanh PMP.

Bảng 1. Luật hợp thành của ΔD_1

ΔD_1		$(dP_{WT}/dV_{WT})^*$				
		khá âm	âm	không	dương	khá dương
dP_{WT}/dV_{WT}	rất âm	+3%	+3%	+1%	0%	0%
	khá âm	+2%	+1%	+1%	0%	0%
	âm	+1%	+0,5%	+0,5%	0%	0%
	không	0%	0%	0%	0%	0%
	dương	0%	0%	-0,5%	-0,5%	-1%
	khá dương	0%	0%	-1%	-1%	-2%
	rất dương	0%	0%	-1%	-3%	-3%

Khi điểm làm việc của tuabin gió ở xa về phía bên trái của điểm công suất cực đại giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ rất dương. Lúc này duty cycle D_1 cần giảm xuống một cách nhanh chóng để tăng điện áp V_{WT} đạt tới PMP.

Khi điểm làm việc của tuabin gió ở gần về phía bên trái của điểm công suất cực đại giá trị của (dP_{WT}/dV_{WT}) sẽ dương nhưng nhỏ. Lúc này duty cycle D_1 cần giảm xuống một cách từ từ để tăng điện áp V_{WT} đạt tới PMP.

Quy tắc hợp thành max-min và mô hình mờ TakagiSugeno sẽ được sử dụng. Ví dụ: nếu như dP_{WT}/dV_{WT} là rất dương và $(dP_{WT}/dV_{WT})^*$ là khá dương, thì $\Delta D_1 = -3\%$. Luật hợp thành được tóm tắt trong bảng 1.

Giá trị D_1 của bộ tăng áp DC/DC 1 được tính toán dựa theo công thức sau đây:

$$D_1(k) = D_1(k-1) + \Delta D_1(k)$$

Phương pháp điểm trọng tâm được sử dụng để giải mờ.

4. THIẾT KẾ BỘ GIÁM SÁT LOGIC MỜ

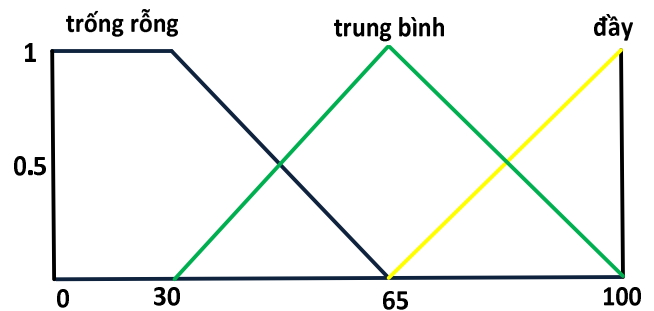
Bộ giám sát mờ được thiết kế nhằm mục đích đáp ứng liên tục nhu cầu tiêu thụ của tải. Bộ giám sát mờ có hai đầu vào và ba đầu ra. Đầu vào thứ nhất là state-of-charge (SOC) của pin lithium-ion. Đầu vào thứ hai là ΔP chênh lệch giữa công suất phát của tuabin gió và công suất tiêu thụ của tải. Đầu ra thứ nhất là khoá S_1 . Đầu ra thứ hai là D_2 duty cycle của bộ tăng áp DC/DC 2. Đầu ra thứ ba là khoá S_2 .

4.1. Mờ hoá

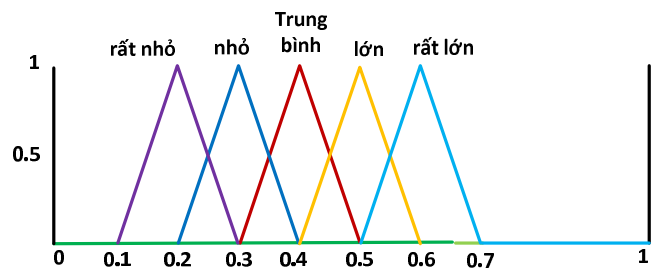
Giá trị thực của các biến đầu vào và đầu ra sẽ được chia thành các biến ngôn ngữ sau đây để xử lý trong bộ điều khiển mờ. ΔP [âm, dương nhỏ, dương, rất dương]. SOC [trống không, trung bình, đầy]. D_2 [rất nhỏ, nhỏ, trung bình, lớn, rất lớn]. S_1 [đóng, mở]. S_2 [đóng, mở].



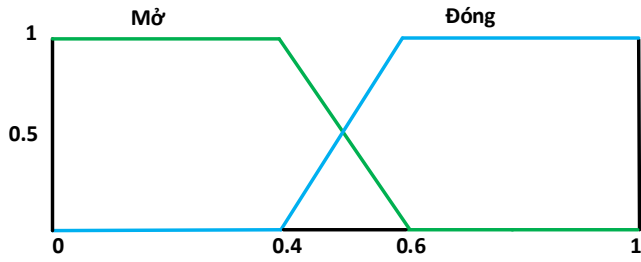
Hình 6. Hàm liên thuộc của biến đầu vào $\Delta P(kW)$



Hình 7. Hàm liên thuộc của biến đầu vào (SOC)



Hình 8. Hàm liên thuộc của biến đầu ra (D_2)



Hình 9. Hàm liên thuộc của biến ra vào S_1 và S_2

Hàm liên thuộc của hai biến đầu vào ΔP và SOC được mô tả trong hình 6 và 7. Hàm liên thuộc của ba biến đầu ra vào D_2 , S_1 và S_2 được mô tả trong hình 8 và 9.

4.2. Luật hợp thành mờ

Việc xây dựng các luật hợp thành mờ sẽ dựa trên luật hợp thành mờ Mamdani. Luật hợp thành của S_1 , S_2 và D_2 được mô tả trong bảng 2, 3 và 4. Phương pháp điểm trọng tâm được sử dụng để giải mờ.

Nếu như ΔP là âm và SOC là trung bình, thì S_1 đóng và S_2 mở và D_2 nhỏ.

Nếu như ΔP là dương nhỏ và SOC là trung bình, thì S_1 mở và S_2 mở và D_2 lớn.

Nếu như ΔP là rất dương và SOC là trống không, thì S_1 mở và S_2 đóng và D_2 rất lớn.

Bảng 2. Luật hợp thành của S_1

S_1		SOC		
		trống không	trung bình	đầy
ΔP	âm	mở	đóng	đóng
	dương nhỏ	mở	mở	mở
	dương	mở	mở	mở
	rất dương	mở	mở	mở

Bảng 3. Luật hợp thành của S_2

S_2		SOC		
		trống không	trung bình	đầy
ΔP	âm	mở	mở	mở
	dương nhỏ	mở	mở	mở
	dương	mở	mở	mở
	rất dương	mở	mở	đóng

Bảng 4. Luật hợp thành của D_2

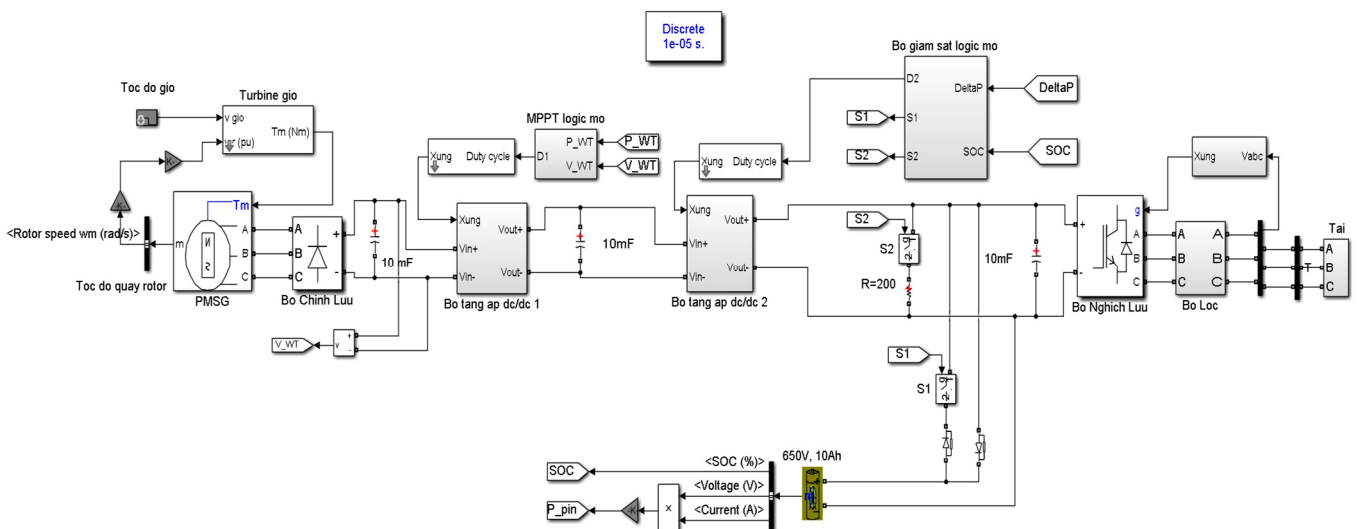
D_2		SOC		
		trống không	trung bình	đầy
ΔP	âm	rất nhỏ	nhỏ	Trung bình
	dương nhỏ	nhỏ	lớn	rất lớn
	dương	trung bình	lớn	rất lớn
	rất dương	rất lớn	lớn	lớn

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Hệ thống được mô tả trong mục 2 được mô phỏng trong phần mềm Matlab/Simulink như trong hình 10.

Tốc độ gió (hình 11) và công suất tiêu thụ của tải (hình 12) được thay đổi trong vòng 50 giây để đánh giá hoạt động của các bộ điều khiển trong hệ thống điện gió độc lập. Ở thời điểm ban đầu, pin đang ở trạng thái đầy (SOC = 90%).

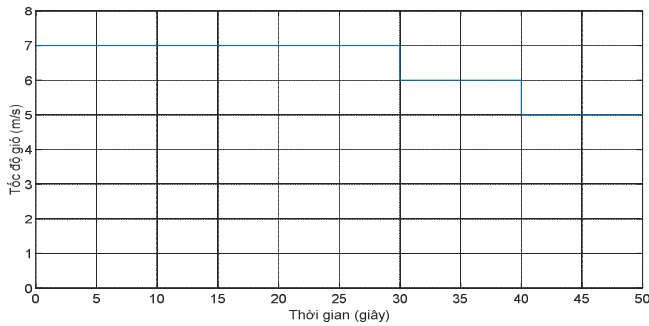
Trong vòng 20 giây đầu, công suất tiêu thụ của tải là 6kW và tốc độ gió là 7m/s. Lúc này để thu được công suất lớn nhất từ tuabin gió, bộ điều khiển MPPT mờ đã chọn giá trị của duty cycle D_1 là 0,63, tương ứng với tốc độ quay của rotor là 1338 vòng/phút. Khi đó công suất lớn nhất của tuabin gió tại tốc độ gió 7m/s là 5,071kW. Sau khi



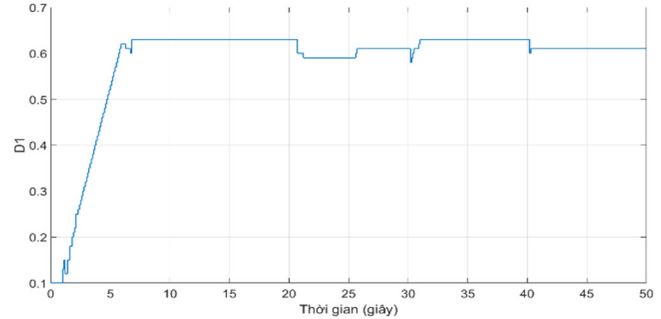
Hình 10. Mô phỏng trong phần mềm Matlab Simulink

công suất của tuabin gió đạt giá trị lớn nhất, giá trị của duty cycle D_1 được giữ là hằng số và không còn dao động xung quanh điểm có công suất cực đại.

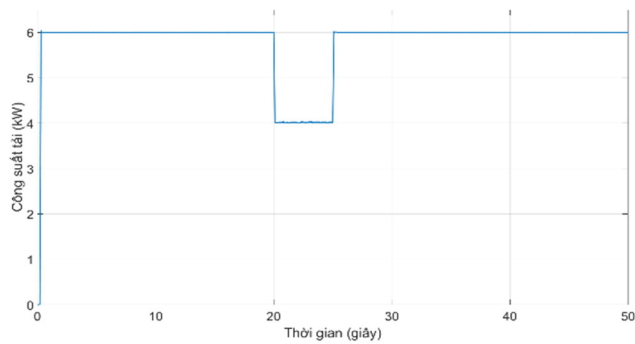
tuabin gió là 1,848kW, tương ứng với tốc độ quay của rotor là 953 vòng/phút. Có thể thấy rằng, bộ điều khiển MPPT hoạt động tốt để thu được công suất lớn nhất của tuabin gió và không còn dao động xung quanh điểm có công suất lớn nhất.



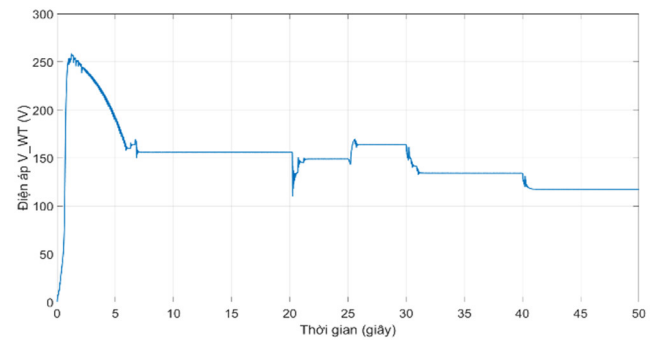
Hình 11. Thay đổi của tốc độ gió trong vòng 50 giây



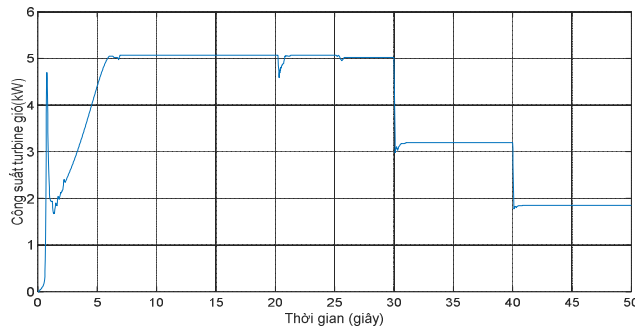
Hình 15. Duty cycle D_1



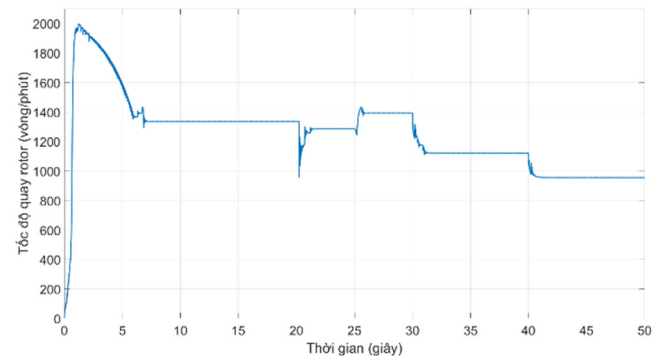
Hình 12. Thay đổi của công suất tiêu thụ của tải trong vòng 50 giây



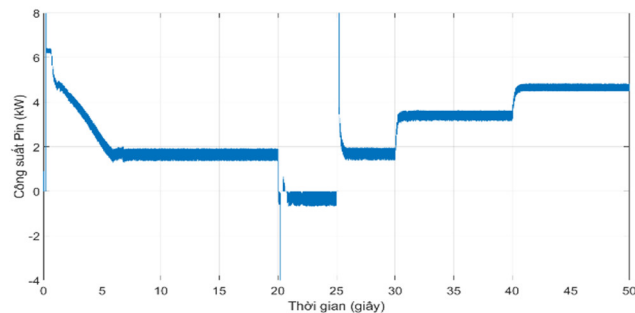
Hình 16. Điện áp V_{WT}



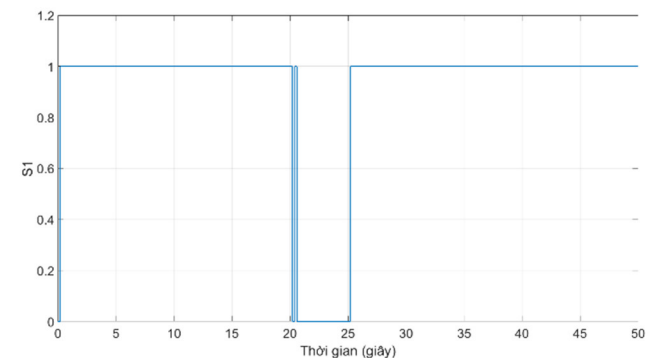
Hình 13. Công suất tuabin gió (kW)



Hình 17. Tốc độ quay rotor (vòng/phút)

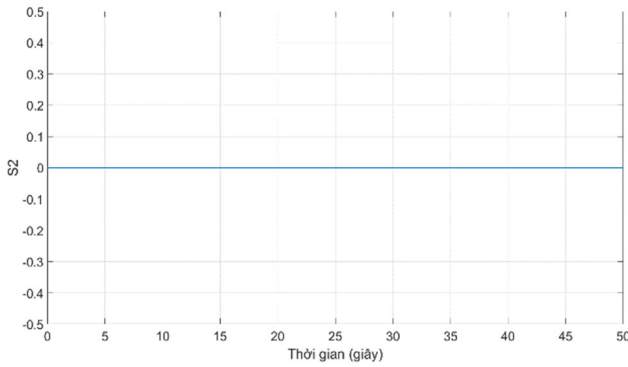


Hình 14. Công suất pin lithium-ion (kW)

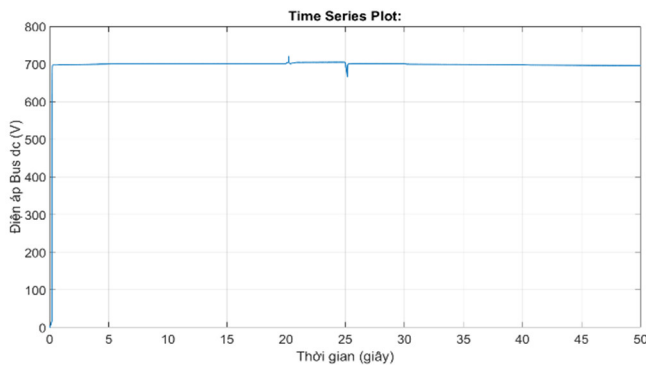


Hình 18. Khoá S_1

Tại giây thứ 40, tốc độ gió thay đổi từ 6m/s tới 5m/s. Bộ điều khiển MPPT mở đã giảm giá trị của duty cycle D_1 xuống còn 0,61 để thu được công suất lớn nhất của

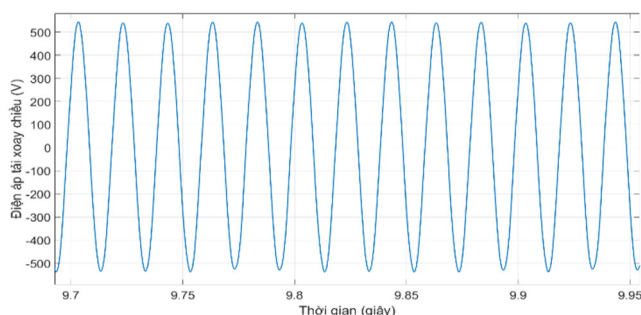


Hình 19. Khoá S_2



Hình 20. Điện áp bus DC (V)

Tại giây thứ 20, công suất của tuabin gió lớn hơn công suất của tải, bộ giám sát mờ đã gửi tín hiệu điều khiển khoá S_1 ở trạng thái mở (hình 18). Lúc này pin sẽ ở trạng thái sạc điện (hình 14). Khi công suất của tuabin gió nhỏ hơn công suất của tải, bộ giám sát mờ sẽ gửi tín hiệu điều khiển khoá S_1 ở trạng thái đóng. Lúc này pin sẽ ở trạng thái phóng điện và sẽ cung cấp điện cho tải (hình 18). Về phía tải tiêu thụ xoay chiều, điện áp đầu vào một chiều của bộ nghịch lưu luôn được giữ ở một giá trị phù hợp (hình 20) bằng cách điều khiển duty cycle D_2 . Do đó, điện áp và tần số của tải xoay chiều luôn ở 380V, 50Hz khi tốc độ gió thay đổi (hình 21).



Hình 21. Điện áp tải xoay chiều (V)

6. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một phương pháp MPPT và một bộ giám sát mờ để quản lý năng lượng cho hệ thống điện gió

độc lập đã được đề xuất. Với các thông tin về tải tiêu thụ, trạng thái SOC của pin, công suất và điện áp của tuabin gió, các bộ điều khiển đã hoạt động tốt để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ của tải khi tốc độ gió thay đổi. Công suất của tuabin gió ở giá trị cực đại ứng với các tốc độ gió khác nhau. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra rằng các bộ điều khiển luôn hoạt động tốt trong các điều kiện khác nhau của tốc độ gió và công suất tiêu thụ của tải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Rajaei, S. Yazdani, E. Ebadi, "PMSG-Based Stand-alone Wind Energy Conversion System Using Quasi Y-Source Inverter and Battery Storage," *2022 13th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*, Tehran, Islamic Republic of Iran, 81-85, 2022.
- [2]. B. Mendi, M. Pattnaik, G. Srungavarapu, "Modified MPPT Control of a PMSG-based Standalone Wind Energy Conversion System using Single Voltage Sensor," *2023 7th International Conference on Computer Applications in Electrical Engineering-Recent Advances (CERA)*, Roorkee, India, 1-6, 2023.
- [3]. A. M. Abdulelah, B. Ouahid, S. Youcef, "Control of a Stand-Alone Variable Speed Wind Tuabin with a Permanent Magnet Synchronous Generator," *2021 18th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Monastir, Tunisia, 546-550, 2021.
- [4]. P. Anbarasan, M. Venmathi, V. Krishnakumar, "Modeling and Simulation of Standalone PMSG based Wind Energy Conversion System with Common Mode Voltage Suppression," *2021 7th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, Chennai, India, 85-88, 2021.
- [5]. B. Kumar, N. Agrawal, S. K. Singh, A. Agarwal, "A Comparative Analysis of Wind Energy Conversion Systems Based on PMSG for Maximum Power Extraction," *2022 IEEE 10th Power India International Conference (PIICON)*, New Delhi, India, 1-6, 2022.
- [6]. A. Nur Köklü, A. Polat, L. T. Ergene, "Battery Energy Storage System for PMSG based Small Scale Wind Energy Conversion System," *2021 3rd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*, Antalya, Turkey, 167-172, 2021.
- [7]. H. Q. Minh, N. Frédéric, E. Najib, H. Abdelaziz, "Power management of a variable speed wind tuabin for stand-alone system using fuzzy logic," *2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011)*, Taipei, Taiwan, 1404-1410, 2011.
- [8]. Huynh Quang Minh, N. Frederic, N. Essounbouli, H. Abdelaziz, "A new MPPT method for stand-alone wind energy conversion system," *2012 2nd International Symposium On Environment Friendly Energies And Applications*, Newcastle Upon Tyne, UK, 335-340, 2012.
- [9]. K. R. Prajapati, "Application of fuzzy logic for MPPT control in stand-alone wind energy conversion system with a battery storage system," *2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, Tamilnadu, India, 1-6, 2019.

[10]. S. N. Thanh, H. H. Xuan, C. N. The, P. P. Hung, T. P. Van, R. Kennel, "Fuzzy logic based maximum power point tracking technique for a stand-alone wind energy system," *2016 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, Hanoi, Vietnam, 320-325, 2016.

[11]. R. I. Putri, F. Ronilaya, M. Rifa'i, L. Jasa, A. Priyadi, P. Mauridhi Hery, "Sensorless Optimum Power Extraction for Small Scale Stand Alone Wind Tuabin Based on Fuzzy Controller," *2018 2nd International Conference on Applied Electromagnetic Technology (AEMT)*, Lombok, Indonesia, 44-49, 2018.

[12]. M. Zerouali, M. Boutouba, A. E. Ougli, B. Tidhaf, "Control of variable speed wind energy conversion systems by fuzzy logic and conventional P&O," *2019 International Conference on Intelligent Systems and Advanced Computing Sciences (ISACS)*, Taza, Morocco, pp. 1-5, 2019.

AUTHOR INFORMATION

Pham Duy An

University of Science and Technology of Hanoi, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam