

ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN ÁP BUS DC DỰA TRÊN QUẢN LÝ NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI ĐỘC LẬP
DC-BUS VOLTAGE CONTROL BASED ON ENERGY MANAGEMENT FOR STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**Phạm Duy An**

Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội

Ngày nhận bài: 13/05/2024, Ngày chấp nhận đăng: 27/06/2024, Phản biện: PGS.TS. Nguyễn Hữu Đức

Tóm tắt:

Hiệu suất làm việc của hệ thống điện mặt trời độc lập phụ thuộc nhiều vào điện áp của bus DC và khả năng đạt được điểm có công suất lớn nhất khi các điều kiện thời tiết và công suất tải tiêu thụ thay đổi. Trong bài báo này, Bộ điều khiển PI và bộ biến đổi điện áp hai chiều DC/DC sẽ được sử dụng để giữ điện áp của bus DC luôn là hằng số. Một bộ điều khiển MPPT logic mờ với một đầu vào được thiết kế để thu được công suất lớn nhất từ pin mặt trời. Để tránh trạng thái sạc và phóng điện quá mức của pin lithium-ion một bộ giám sát mờ sẽ được sử dụng. 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 mặt trời độc lập.

Từ khóa:

Hệ thống điện mặt trời độc lập; điều khiển mờ; MPPT; bộ biến đổi điện áp hai chiều DC/DC; điều khiển PI.

Abstract:

Standalone photovoltaic system performance is strongly dependent on the DC bus voltage and the ability to reach the point of maximum power under the variation of weather condition and load consumption. In this paper, The PI controller and bidirectional DC/DC converter are used to keep DC bus voltage in constant value. An input fuzzy logic controller is designed to extract the maximum power from PV panel. In order to avoid the over-charge and over-discharge of lithium-ion battery, a fuzzy logic supervisor is used. The simulation results in Matlab/Simulink software are presented to show the good performances of the proposed controllers in the standalone photovoltaic system .

Keywords:

Standalone photovoltaic system; fuzzy logic controller; MPPT; bidirectional DC/DC converter; PI controller.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
D1		Chu kỳ nhiệm vụ của bộ tăng áp DC/DC
D2		Chu kỳ nhiệm vụ của bộ biến đổi hai chiều DC/DC
P_{pv}	W	Công suất của pin mặt trời
V_{pv}	V	Điện áp của pin mặt trời
V_{dc}	V	Điện áp của bus DC
V_{dcref}	V	Điện áp đặt của bus DC

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)
Bộ điều khiển PI	Bộ điều khiển tích phân tỷ lệ
SOC	State of charge (trạng thái sạc của pin)
P&O	Perturbations and observations (nhiều loạn và quan sát)

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Năng lượng mặt trời là nguồn năng lượng vô tận, không giống như các nguồn năng lượng hoá thạch như than, dầu và khí đốt. Tại những nơi xa xôi hẻo lánh nơi mà không có lưới điện quốc gia, hệ thống năng lượng mặt trời độc lập là một trong những giải pháp hiệu quả để cung cấp điện. Do không được kết nối với lưới điện, nên việc cân bằng công suất và giữ ổn định điện áp trong hệ thống luôn được đặt ra. Công suất phát của pin mặt trời phụ thuộc nhiều vào các điều kiện tự nhiên như cường độ sáng và nhiệt độ, nên sẽ thay đổi và không là hằng số. Điều này dẫn tới việc phải sử dụng pin lithium-ion để đáp ứng công suất tiêu thụ của tải. Và thiết kế bộ điều khiển MPPT để thu được công suất lớn nhất từ pin mặt trời.

Có rất nhiều phương pháp để thiết kế bộ điều khiển MPPT. Phương pháp sử dụng điều khiển logic mờ đã chỉ ra nhiều ưu điểm về hiệu suất và tính linh hoạt khi điều kiện môi trường thay đổi. Hầu hết các bộ điều khiển MPPT logic mờ được đề xuất đều có hai đầu vào [1]-[4]. Điều này sẽ gây ra những sự phức tạp trong các bước mờ hoá, xây dựng luật hợp thành mờ và giải mờ. Trong [5], bài báo đã thiết kế bộ điều khiển MPPT logic mờ với một đầu vào, và tác giả đã chỉ ra ưu điểm về mặt cấu trúc so với bộ điều khiển MPPT logic mờ với hai đầu vào. Tuy nhiên tải tiêu thụ trong [5] là tải điện trở một chiều, và bài báo chưa đánh giá được hoạt động của bộ điều khiển MPPT logic mờ với một đầu vào khi tải tiêu thụ là tải xoay chiều.

Trong hệ thống điện mặt trời độc lập, điện áp của bus DC cần được giữ ổn định để đảm bảo hiệu suất hoạt động của hệ thống. Bus DC thường được nối trực tiếp với pin lithium-ion hoặc thông qua một bộ chuyển đổi hai chiều DC/DC. Việc sử dụng bộ biến đổi hai chiều DC/DC giữa pin lithium-ion và bus DC sẽ giúp hệ thống trở lên linh hoạt hơn [6]-[9].

Trong hệ thống điện mặt trời độc lập, việc quản lý dòng công suất khi tốc độ cường độ sáng và công suất tiêu thụ của tải thay đổi là cần thiết để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ của tải [10] - [12].

Do đặc tính phi tuyến của hệ thống điện mặt trời và công suất phát của pin mặt trời thay đổi phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, việc điều khiển hệ thống này sử dụng logic mờ tỏ ra có hiệu quả và đã được đề xuất trong nhiều bài báo [13]-[15].

Bài báo nêu nghiên cứu về hệ thống điện mặt trời độc lập bao gồm pin mặt trời, pin lithium-ion và tải tiêu thụ xoay chiều. Bộ điều khiển MPPT sử dụng logic mờ với một đầu vào sẽ được thiết kế để thu được công suất lớn nhất từ pin mặt trời khi điều kiện thời tiết thay đổi. Bằng cách chỉ sử dụng một đầu vào, cấu trúc của bộ điều khiển MPPT sẽ trở nên đơn giản hơn khi thực hiện các bước mờ hoá, luật hợp thành mờ, và giải mờ. Bộ điều khiển PI hai vòng kín được sử dụng để giữ điện áp bus DC ổn định và điều khiển trạng thái phóng sạc của pin lithium-ion. Nghiên cứu đã dùng một bộ giám sát mờ để hệ thống tránh được trạng thái phóng và sạc quá mức của pin lithium-ion.

2. MÔ TẢ HỆ THỐNG

Hệ thống điện mặt trời độc lập bao gồm một tấm pin mặt trời 20x30 (15,12V và 0,902A tại 1000W/m² và 25°C), một pin lithium-ion (650V,10Ah) để cung cấp điện cho hai tải xoay chiều có công suất là 4 kW và 2 kW được mô tả trong Hình 1. Bộ điều khiển MPPT logic mờ sẽ thay đổi chu kỳ nhiệm vụ D1 của bộ tăng áp DC/DC 1 để thu được công suất lớn nhất từ pin mặt trời. Đầu vào của bộ điều khiển là công suất và điện áp của pin mặt trời. Đầu ra là chu kỳ nhiệm vụ D1.

Bộ điều khiển PI và bộ biến đổi điện áp hai chiều DC/DC sẽ được sử dụng để giữ điện áp của bus DC luôn là hằng số và điều khiển trạng thái phóng hoặc sạc của pin lithium-ion.

Nếu như công suất của pin mặt trời nhỏ hơn công suất tiêu thụ của tải, và dung lượng của pin lithium-ion đủ. Bộ điều khiển PI sẽ điều khiển pin lithium-ion ở trạng thái phóng điện để cung cấp công suất điện cho tải tiêu thụ.

Nếu như công suất của pin mặt trời lớn hơn công suất tiêu thụ của tải, và dung lượng của pin lithium-ion chưa đầy. Bộ điều khiển PI sẽ điều khiển pin lithium-ion ở trạng thái sạc điện. Lượng công suất dư thừa sẽ được sạc vào pin lithium-ion.

Để tránh trạng thái phóng và sạc quá mức và qua đó tăng tuổi thọ làm việc của pin lithium-ion, một bộ giám sát mờ sẽ được sử dụng. 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 pin mặt trời và tải tiêu thụ. Bộ giám sát mờ sẽ lựa chọn thời điểm đóng mở của khoá S_1 , và xác định thời điểm tiêu tán lượng công suất dư thừa qua tải điện trở bằng khoá S_2 .

Nếu như công suất của pin mặt trời nhỏ hơn công suất tiêu thụ của tải và dung lượng của pin lithium-ion không đủ. Bộ giám sát mờ sẽ điều khiển khoá

S_1 ở trạng thái mở để tránh trạng thái phóng điện quá mức của pin lithium-ion.

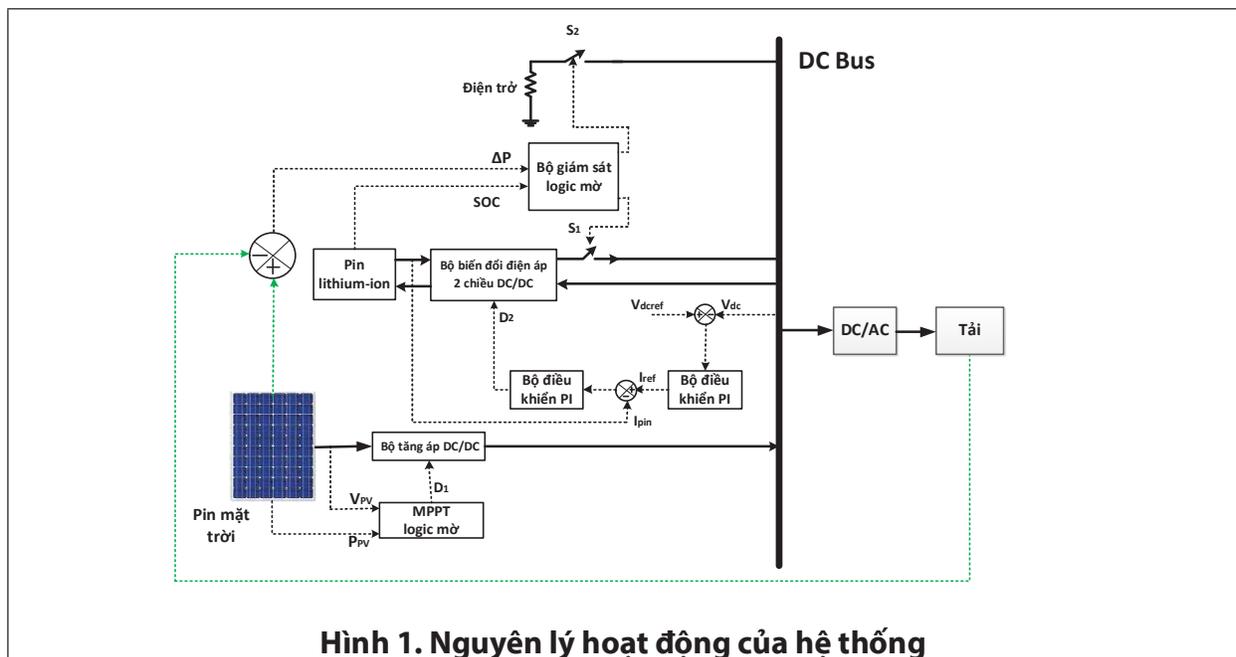
Nếu như công suất của pin mặt trời lớn hơn công suất tiêu thụ của tải và dung lượng của pin lithium-ion đã đầy. Bộ giám sát mờ sẽ điều khiển khoá S_2 ở trạng thái đóng để tránh trạng thái sạc điện quá mức của pin lithium-ion. Lượng công suất dư thừa sẽ được tiêu tán qua một tải điện trở.

Bằng cách sử dụng logic mờ, chúng ta sẽ không cần phải biết mô hình chính xác của các hệ thống phức tạp (pin mặt trời, bộ chỉnh lưu, bộ nghịch lưu).

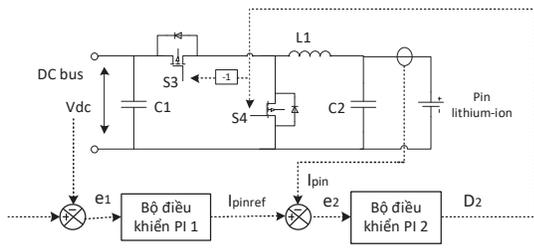
3. BỘ BIẾN ĐỔI HAI CHIỀU DC/DC

Bộ biến đổi hai chiều DC/DC được sử dụng để thực hiện quá trình trao đổi điện năng giữa hai nguồn điện một chiều. Bộ biến đổi này đóng vai trò quan trọng trong hệ thống điện mặt trời độc lập để thực hiện quá trình trao đổi năng lượng giữa pin mặt trời, tải tiêu thụ và pin lithium-ion.

Điện áp của bus DC V_{dc} được điều khiển để luôn ổn định ở giá trị điện áp đặt V_{dcref} thông qua hai vòng điều khiển kín (Hình 2).



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống



Hình 2. Bộ biến đổi hai chiều DC/DC

Tại vòng điều khiển thứ nhất, giá trị đo lường của V_{dc} sẽ được so sánh với V_{deref} . Sai số e_1 sẽ là đầu vào của bộ điều khiển PI 1. Đầu ra của bộ điều khiển PI 1 sẽ là giá trị dòng điện đặt của pin lithium-ion I_{pinref} . Tại vòng điều khiển thứ 2, giá trị đo lường của dòng điện chạy qua pin lithium-ion I_{pin} sẽ được so sánh với I_{pinref} . Sai số e_2 sẽ là đầu vào của bộ điều khiển PI 2. Đầu ra của bộ điều khiển PI 2 sẽ là giá trị chu kỳ nhiệm vụ D_2 của bộ biến đổi hai chiều DC/DC.

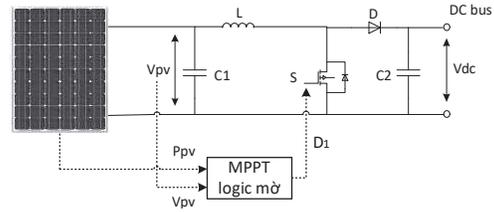
Khi V_{dc} lớn hơn V_{deref} , I_{pin} sẽ được điều khiển để đạt giá trị âm. Do đó pin lithium-ion sẽ làm việc ở chế độ sạc, và bộ biến đổi hai chiều DC/DC sẽ hoạt động ở chế độ giảm điện áp (buck mode). Khi V_{dc} nhỏ hơn V_{deref} , I_{pin} sẽ được điều khiển để đạt giá trị dương. Do đó pin lithium-ion sẽ làm việc ở chế độ phóng, và bộ biến đổi hai chiều DC/DC sẽ hoạt động ở chế độ tăng điện áp (boost mode).

4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MPPT LOGIC MỜ

Bộ điều khiển MPPT logic mờ được thiết kế dựa trên sự kết hợp của phương pháp nhiễu loạn và quan sát (P&O) trong bộ điều khiển logic mờ. Bộ điều khiển MPPT logic mờ có một đầu vào và một đầu ra : đầu vào là đạo hàm bậc một của công suất theo điện áp pin mặt trời (dP_{pv}/dV_{pv}), đầu ra là sự khác nhau giữa chu kỳ nhiệm vụ hiện tại và chu kỳ nhiệm vụ trước đó ΔD_1 của mạch tăng áp DC/DC (Hình 3).

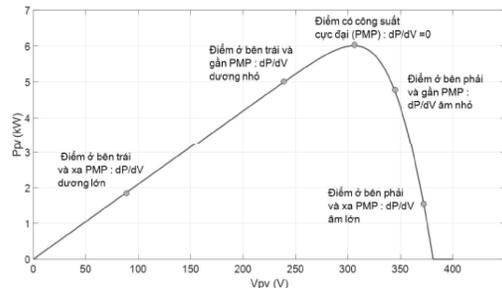
Khi điểm làm việc của pin mặt trời về phía bên trái của điểm công suất cực đại, giá trị của (dP_{pv}/dV_{pv})

sẽ dương. Lúc này cần giảm giá trị D_1 để tăng giá trị điện áp V_{pv} . Do đó, điểm làm việc sẽ tiến lại gần điểm có công suất lớn nhất (point of maximum power) (PMP).



Hình 3. Bộ điều khiển MPPT logic mờ

Khi điểm làm việc của pin mặt trời về phía bên phải của điểm công suất cực đại, giá trị của (dP_{pv}/dV_{pv}) sẽ âm. Lúc này cần tăng giá trị D_1 để giảm giá trị điện áp V_{pv} . Do đó, điểm làm việc sẽ tiến lại gần PMP (Hình 4).



Hình 4. Điểm có công suất lớn nhất theo điện áp pin mặt trời

Nếu chúng ta chọn một giá trị lớn của ΔD_1 , chúng ta có thể nhanh chóng đạt được PMP. Nhưng điều này sẽ gây ra nhiều dao động xung quanh PMP. Mặt khác, nếu chúng ta chọn một giá trị nhỏ của ΔD_1 , đáp ứng thời gian của bộ điều khiển MPPT logic mờ sẽ chậm. Nhưng, chúng ta 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_{pv}/dV_{pv} [rất âm, khá âm, âm, không, dương, khá dương, rất dương].

$-\Delta D_1$ [-2%, -1%, 0.5%, 0%, +0.5%, +1%, +2%].

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

Khi điểm làm việc của pin mặt trời ở xa về phía bên trái của điểm công suất cực đại giá trị của (dP_{pv}/dV_{pv}) sẽ rất dương. Lúc này chu kỳ nhiệm vụ D1 cần giảm xuống một cách nhanh chóng để tăng điện áp V_{pv} đạt tới PMP.

Quy tắc hợp thành max-min và mô hình mờ TakagiSugeno sẽ được sử dụng.

Nếu như dP_{pv}/dV_{pv} là rất dương thì $\Delta D_1 = -2\%$.
Nếu như dP_{pv}/dV_{pv} là dương thì $\Delta D_1 = -0.5\%$.

Nếu như dP_{pv}/dV_{pv} là không thì $\Delta D_1 = 0\%$.

Nếu như dP_{pv}/dV_{pv} là rất âm thì $\Delta D_1 = +2\%$. Nếu như dP_{pv}/dV_{pv} là âm thì $\Delta D_1 = +0.5\%$.

Luật hợp thành được tóm tắt trong bảng 1 sau đây:

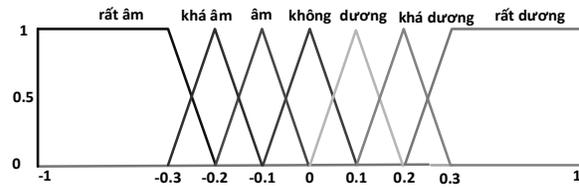
Bảng 1. Luật hợp thành của ΔD_1

	dP_{pv}/dV_{pv}			
	rất âm	khá âm	âm	không
ΔD_1	+2%	+1%	+0.5%	0%
	dP_{pv}/dV_{pv}			
	dương	khá dương	rất dương	
ΔD_1	-0.5%	-1%	-2%	

Giá trị D1 của bộ tăng áp DC/DC 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. Hàm liên thuộc của biến đầu vào dP_{pv}/dV_{pv} được mô tả trong Hình 5.



Hình 5. Hàm liên thuộc của biến đầu vào dP_{pv}/dV_{pv}

5. THIẾT KẾ BỘ GIÁM SÁT MỜ

Bộ giám sát mờ được thiết kế để tránh trạng thái phóng và sạc quá mức của pin lithium-ion. Bộ giám sát mờ có hai đầu vào và hai 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 pin mặt trời và công suất tiêu thụ của tải. Đầu ra thứ nhất là khoá S_1 . Đầu ra thứ hai là khoá S_2 .

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];

- S_1 [đóng, mở];

- S_2 [đóng, mở].

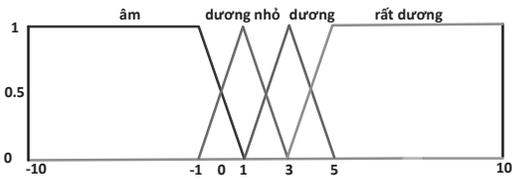
Hàm liên thuộc của biến đầu vào ΔP và SOC được mô tả trong Hình 6 và Hình 7.

Việc xây dựng các luật hợp thành mờ sẽ dựa trên luật hợp thành mờ Mamdani. Phương pháp điểm trọng tâm được sử dụng để giải mờ.

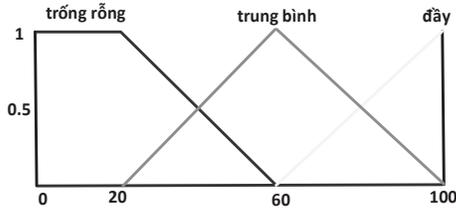
Nếu như ΔP là âm và SOC là trung bình, thì S_1 đóng và S_2 mở.

Nếu như ΔP là âm và SOC là trống không, thì S_1 mở và S_2 mở.

Nếu như ΔP là rất dương và SOC là đầy, thì S_1 đóng và S_2 đóng.



Hình 6. Hàm liên thuộc của biến đầu vào ΔP (kW)



Hình 7. Hàm liên thuộc của biến đầu vào SOC

Bảng 2. 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	đóng
	rất dương	mở	mở	đóng

Bảng 3. Luật hợp thành của S_1

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

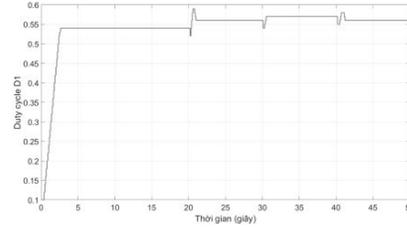
Luật hợp thành của S_2 được mô tả trong Bảng 2.

Luật hợp thành của S_1 được mô tả trong Bảng 3.

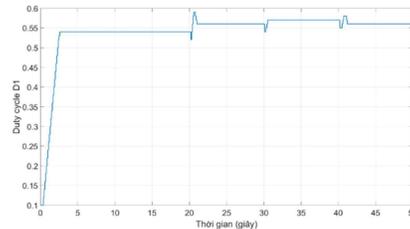
6. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Hệ thống mô tả ở phần 2 được mô phỏng trong phần mềm Matlab Simulink như trong Hình 8. Bộ điều khiển MPPT logic mờ được mô phỏng như trong Hình 9. Và bộ giám sát mờ được mô phỏng như trong Hình 10. Giả sử trạng thái sạc ban đầu của pin lithium-ion là 90%. Cường độ sáng (Hình 11) và

công suất tải được thay đổi trong vòng 50 giây để kiểm tra hoạt động của các bộ điều khiển được đề xuất trong các điều kiện khác nhau.

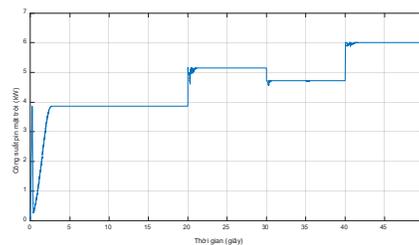


Hình 11. Cường độ sáng trong 50s



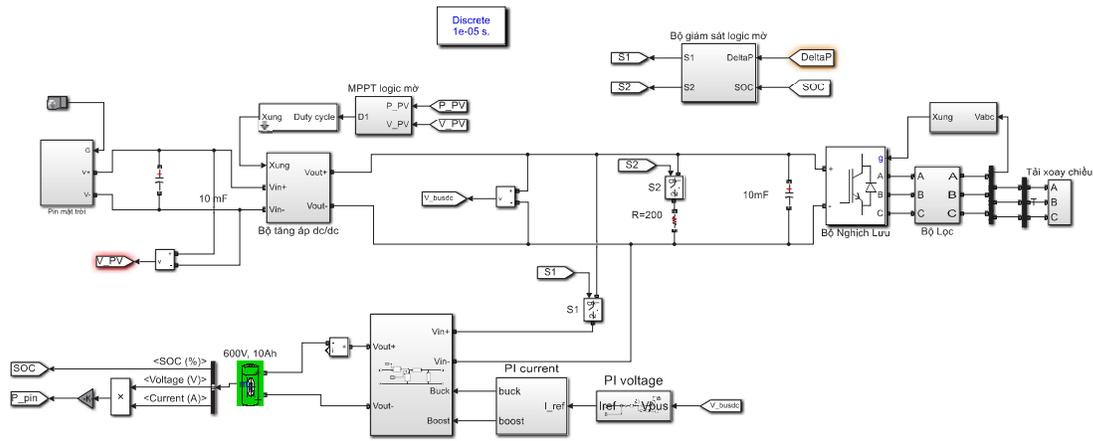
Hình 12. Chu kỳ nhiệm vụ D_1

Tại các giây thứ 20, 30, 40, khi bức xạ mặt trời hay đổi, bộ điều khiển mờ MPPT đã thay đổi giá trị chu kỳ nhiệm vụ D_1 để thu được công suất lớn nhất từ pin mặt trời. Và khi đạt được công suất lớn nhất, giá trị của D_1 được giữ không đổi. Do đó, không còn dao động xung quanh PMP (Hình 12).

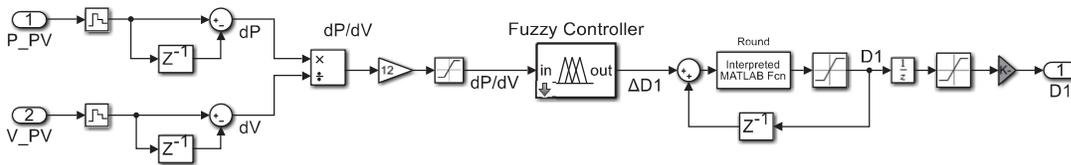


Hình 13. Công suất pin mặt trời

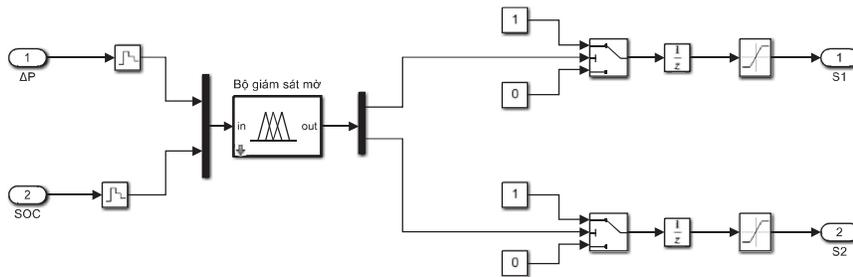
Trạng thái sạc SOC của pin lithium-ion được mô tả trong hình 14. Tại giây thứ 20, công suất của pin mặt trời lớn hơn công suất tiêu thụ của tải. Bộ điều khiển PI đã điều khiển bộ biến đổi hai chiều DC/DC làm việc ở chế độ giảm điện áp. Lúc này pin lithium-ion đang làm việc ở chế độ sạc điện để tiêu thụ điện từ pin mặt trời (Hình 15).



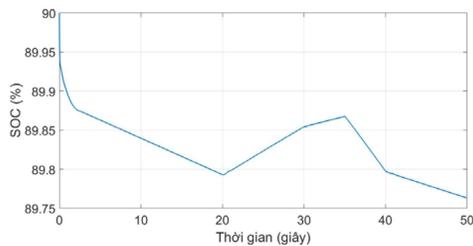
Hình 8. Mô phỏng trong Matlab Simulink



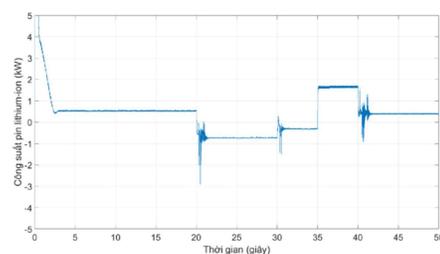
Hình 9. Bộ điều khiển MPPT logic mờ trong Matlab Simulink



Hình 14. Bộ giám sát mờ trong Matlab Simulink

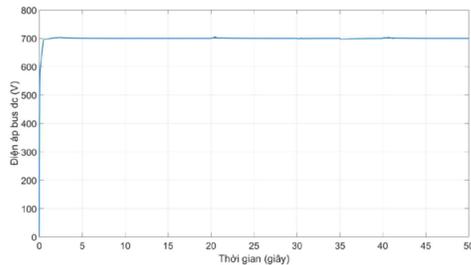


Hình 13. SOC của pin lithium-ion

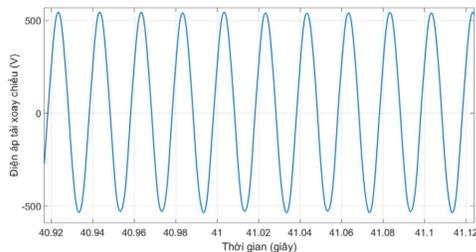


Hình 15. Công suất pin lithium-ion

Tại giây thứ 35, công suất tiêu thụ của tải tăng từ 4 kW lên 6 kW. Và công suất phát của pin mặt trời nhỏ hơn công suất tiêu thụ của tải. Bộ điều khiển PI đã điều khiển bộ biến đổi hai chiều DC/DC làm việc ở chế độ tăng điện áp. Lúc này pin lithium-ion đang làm việc ở chế độ phóng điện để cung cấp điện cho tải tiêu thụ (Hình 15).



Hình 16. Điện áp Bus DC



Hình 17. Điện áp tải xoay chiều

Tại các giây thứ 20, 30, 40 bức xạ mặt trời hay đổi. Và tại giây thứ 35, công suất tiêu thụ của tải thay đổi. Bộ điều khiển PI luôn hoạt động tốt để giữ điện áp của bus DC ổn định ở giá trị 700 V (Hình 16).

Do đó điện áp và tần số của tải xoay chiều luôn ở 380V, 50Hz khi công suất tải và bức xạ mặt trời thay đổi (Hình 17).

7. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, bộ MPPT logic mờ với một đầu vào, bộ điều khiển PI và bộ giám sát logic mờ đã được thiết kế để quản lý năng lượng cho hệ thống điện mặt trời độc lập.

Kết quả mô phỏng đã chỉ ra rằng với các thông tin về tải tiêu thụ, trạng thái SOC của pin lithium-ion, công suất và điện áp của pin mặt trời, các bộ điều khiển đã hoạt động tốt để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ của tải khi điều kiện thời tiết thay đổi. Điện áp của bus DC luôn được giữ ở giá trị cực đại ứng với cường độ sáng khác nhau.

PHỤ LỤC

Thông số của pin mặt trời tại 25°C và 1000 W/m²:
Điện áp hở mạch $V_{oc} = 19,44V$; dòng điện ngắn mạch $I_{sc} = 1A$; điện áp làm việc tại công suất cực đại $V_{mpp} = 15,12V$; dòng điện tại công suất cực đại $I_{mpp} = 0,902A$; số lượng các module mắc nối tiếp $N_s = 20$; số lượng các module mắc song song $N_p = 30$.

Thông số của pin lithium-ion: Điện áp định mức 600V; Dung lượng định mức 5Ah; thời gian phản hồi của pin 30s.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. R. Hans, M. B. Gaikwad, M. K. Nigam and B. Patel, "Comparative Analysis of The Traditional Perturb and Observe with Studied FPPT Method and Fuzzy Logic Control Strategy Based P and O for the MPPT of a Photovoltaic System," 2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon), Hassan, India, 2021, pp. 372-377.
- [2] G. Dhauadi, O. Djamel, S. Youcef and A. BOUDEN, "Fuzzy logic Controller Based MPPT For a Photovoltaic System," 2021 IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering MI-STA, Tripoli, Libya, 2021, pp. 204-208.

- [3] M. Dabboussi, A. Hmidet and O. Boubaker, "An efficient Fuzzy Logic MPPT Control Approach for Solar PV System: A Comparative Analysis with the Conventional Perturb and Observe Technique," 2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon), Gammarth, Tunisia, 2020, pp. 366-371.
- [4] M. Zerouali, A. El Ougli, B. Tidhaf and H. Zrouri, "Fuzzy logic MPPT and battery charging control for photovoltaic system under real weather conditions," 2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS), Kenitra, Morocco, 2020, pp. 1-5.
- [5] Duy An. PHAM, Frédéric. NOLLET, and Najib. ESSOUNBOULI, 'A One Input Fuzzy Logic Controller for Maximum Power Point Tracking of a Photovoltaic System', Journal of Electrical Engineering, vol. 17, no. 1, pp. 9–15, Mar. 2017.
- [6] F. Oufqir, M. Bendaoud, K. Chikh and A. LOKRITI, "Modeling and Control of a Photovoltaic Solar System Using a Storage and Voltage Stabilization Battery for an Efficient Microgrid," 2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS), Kenitra, Morocco, 2020, pp. 1-6.
- [7] M. Satapathy, M. P. Korukonda, A. Hussain and L. Behera, "A Direct Perturbation based Sensor-free MPPT with DC Bus Voltage Control for a Standalone DC Microgrid," 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-5.
- [8] L. Bandic, J. Hivziefendic, M. Saric and M. Tesanovic, "Voltage Regulation of PV System with MPPT and Battery Storage in Microgrid," 2020 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), Osijek, Croatia, 2020, pp. 161-166.
- [9] M. V. Satya Sai Chandra, B. D. B, L. V. Kumar and S. Mohapatro, "Voltage Control and Energy Management of Solar PV fed Stand-alone Low Voltage DC Microgrid for Rural Electrification," 2020 21st National Power Systems Conference (NPSC), Gandhinagar, India, 2020, pp. 1-6.
- [10] O. S. S. Hussian, H. M. Elsayed and M. A. Moustafa Hassan, "Fuzzy Logic Control for a Stand-Alone PV System with PI Controller for Battery Charging Based on Evolutionary Technique," 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Metz, France, 2019, pp. 889-894.
- [11] M. Unde, K. Ghuge and A. Renapurkar, "Overview and Implementation of Power Management in PV-Battery-Hydro Based Standalone Microgrid," 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), Trichy, India, 2020, pp. 1133-1138.
- [12] M. J. Usmani and A. Haque, "Power Management of Solar PV systems for PEER load," 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020), Cochin, India, 2020, pp. 1-6.
- [13] N. K. Mourya and B. Koul, "Fuzzy Logic Based PV-Battery system for a Standalone Microgrid," 2023 4th International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India, 2023, pp. 1-6.
- [14] F. A. Mohammed, M. E. Bahgat, S. S. Elmasry and S. M. Sharaf, "Design of a Fuzzy Logic Controller for DC Converter of a Stand-Alone PV System Based on Maximum Power Point Tracking," 2021 22nd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Assiut, Egypt, 2021, pp. 7-13.
- [15] M. Zerouali, A. El Ougli, B. Tidhaf and H. Zrouri, "Fuzzy logic MPPT and battery charging control for photovoltaic system under real weather conditions," 2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS), Kenitra, Morocco, 2020.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phạm Duy An tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào năm 2010. Năm 2011 nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Grenoble, Cộng hòa Pháp. Năm 2018 nhận bằng Tiến sĩ ngành tự động và xử lý tín hiệu tại Trường Đại học Reims Champagne Ardenne, Cộng hòa Pháp. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội.

Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển tối ưu hệ thống điện sử dụng nguồn năng lượng tái tạo, điều khiển mờ.