

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÁC THUẬT TOÁN MPPT P&O, INC VÀ FUZZY LOGIC TRONG HỆ THỐNG PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

AN EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF P&O, INC AND FUZZY LOGIC MPPT ALGORITHMS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Nguyễn Bình Nam¹, Nguyễn Văn Tấn¹, Lê Thành Bắc², Trương Đình Minh Đức¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; nbnam@dut.udn.vn, tan78dhbk@dut.udn.vn, tdmduc@dut.edu.vn

²Đại học Đà Nẵng; lethanhbacc@ac.udn.vn

Tóm tắt - Các phương pháp dò tìm điểm công suất cực đại (Maximum Power Point Tracking - MPPT) được sử dụng trong các hệ thống pin năng lượng mặt trời (Photovoltaic - PV) để tối đa hóa công suất đầu ra của hệ thống PV khi điều kiện bức xạ mặt trời và nhiệt độ thay đổi. Các phương pháp MPPT có thể được phân thành hai loại: Nhóm các phương pháp thông thường, như phương pháp Nhiễu loạn và Quan sát (Perturbation and Observation - P&O), phương pháp Điện dẫn tăng dần (Incremental Conductance - INC); Và nhóm phương pháp nâng cao, như phương pháp MPPT dựa trên logic mờ (Fuzzy Logic - FL). Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng các phương pháp MPPT để phân tích, mô phỏng và đánh giá một hệ thống cung cấp điện PV trong các điều kiện môi trường khác nhau. Các kết quả mô phỏng bằng MATLAB/ Simulink nhận được, cho thấy hiệu suất tính và động của bộ điều khiển MPPT Fuzzy tốt hơn nhiều so với các phương pháp thông thường.

Từ khóa - Pin quang điện; MPPT; P&O; INC; Fuzzy Logic

Abstract - Maximum power point tracking (MPPT) techniques are widely used in most of photovoltaic (PV) systems to optimize the PV system's output power which depends on ambient conditions, i.e. solar radiance and PV arrays' temperature. In general, MPPT techniques can be classified into two categories: Conventional algorithms, such as Perturbation and Observation (P&O) algorithm and Incremental Conductance (INC) algorithm; And artificial intelligence algorithms, such as Fuzzy Logic (FL). In this paper, a survey of these algorithms is conducted in order to analyze, compare and evaluate their performances when they are integrated in a PV power system under dynamic changed conditions. The simulation results, obtained by MATLAB/ Simulink, have pointed out that the dynamic performances of MPPT based FL control are much better than those of P&O and INC algorithms.

Key words - Photovoltaic; Maximum power point tracking (MPPT); Perturbation and Observation (P&O); Incremental Conductance (INC); Fuzzy Logic

1. Đặt vấn đề

Năng lượng tái tạo đang đóng một vai trò quan trọng trong việc sản xuất điện năng. Các nguồn năng lượng tái tạo khác nhau như năng lượng mặt trời, năng lượng gió, đã được khai thác cho việc tạo ra năng lượng điện. Trong đó, năng lượng mặt trời hiện là một sự lựa chọn tiềm năng vì nó là nguồn năng lượng sẵn có và sạch [1]. Năng lượng mặt trời được chuyển đổi trực tiếp thành điện năng bằng môđun pin quang điện mặt trời (PV). Các môđun PV có điểm công suất cực đại (MPP – Maximum Power Point) tương ứng với điều kiện xung quanh như bức xạ mặt trời, nhiệt độ của các môđun PV, diện tích tế bào và tải. Để môđun PV tạo ra được công suất cực đại, các phương pháp bám điểm công suất cực đại (MPPT) luôn được quan tâm nghiên cứu ứng dụng trong cả hệ thống PV độc lập và hệ thống kết nối lưới [2].

Các thuật toán MPPT có thể được phân loại thành các thuật toán gián tiếp và các thuật toán trực tiếp. Các phương pháp gián tiếp, như phương pháp hở-mạch (open-circuit) và ngắn-mạch (short-circuit), luôn yêu cầu bộ điều khiển phải có thông tin về các đặc điểm của mảng PV hoặc dựa trên các quan hệ toán học vốn không thể hiện được tất cả các điều kiện môi trường. Do đó, các thuật toán này không thể theo dõi chính xác MPP của mảng PV ở mọi dãy nhiệt độ và bức xạ mặt trời [3]. Hơn nữa, việc sử dụng các thông số nhiệt độ và bức xạ làm tham số điều khiển có nhiều hạn chế, vì để đo các thông số này đòi hỏi các thiết bị cảm biến đắt tiền và phải được tích hợp trong toàn bộ mảng PV [4].

Trong khi đó, các phương pháp MPPT trực tiếp hoạt động được dưới mọi điều kiện thời tiết. Các thuật toán trực tiếp được sử dụng phổ biến hiện nay: Thuật toán Nhiễu loạn

và Quan sát (P&O) và thuật toán Điện dẫn gia tăng (INC). Các thuật toán này đơn giản, áp dụng dễ dàng nhưng không bám được điểm MPP khi bức xạ thay đổi nhanh và dao động công suất quanh điểm MPP khi bức xạ ổn định [2], [5], [6]. Ngoài ra, các phương pháp MPPT thông minh, dựa trên logic mờ (FL) hoặc mạng nơron nhân tạo (Artificial Neural Networks (ANN)) cũng đã được áp dụng. Tuy nhiên, các thuật toán này phức tạp hơn so với các thuật toán MPPT thông thường vốn đơn giản và có chi phí thấp [7], [8].

Bài báo này trình bày kết quả khảo sát các đặc tính của PV và nghiên cứu ứng dụng thuật toán điều khiển MPPT dựa trên Fuzzy Logic cho hệ thống PV nhằm khắc phục những nhược điểm khi sử dụng các thuật toán phổ biến như thuật toán P&O và thuật toán INC.

2. Các đặc tính của pin năng lượng mặt trời

Các tế bào PV đều có chung một đặc điểm là điện áp, dòng điện, công suất phát ra khá nhỏ nên không được sử dụng dưới dạng đơn lẻ trong những ứng dụng thực tế. Các nhà sản xuất thường tổ hợp nối tiếp N_s tế bào PV thành một chuỗi, và tổ hợp song song N_p chuỗi trong mỗi sản phẩm (tấm pin PV – PV panel) được thương mại hóa để tạo ra nguồn pin có công suất lớn hơn. Phương trình (1) mô tả toán học cho cấu trúc ghép của tấm pin PV cũng tương tự như cấu trúc của một tế bào PV [9], [10].

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{nV_{th}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{R_p} \quad (1)$$

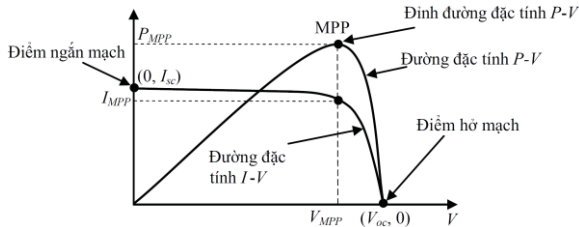
Với, I_{PV} và V_{PV} là dòng điện ngõ ra và điện áp ngõ ra tương ứng của tấm pin PV; I_0 là dòng điện bão hòa ngược của

diode tương đương trong mô hình mạch điện tương đương của tấm pin PV; R_S và R_P là điện trở nối tiếp tương đương và điện trở song song tương đương trong mô hình mạch điện tương đương của tấm pin PV; V_{th} là điện áp nhiệt tương đương của tấm pin PV.

Công suất tức thời phát ra từ tấm pin PV được xác định theo công thức:

$$P = I \times V \quad (2)$$

với quan hệ dòng điện (I) và điện áp (V) trong phương trình (1), đường đặc tính $I - V$ và $P - V$ của tấm pin PV được xác định như trong Hình 1.



Hình 1. Đặc tính $I - V$ và đặc tính $P - V$ của tấm PV

Ta thấy, đường đặc tính xác định ba điểm đặc biệt là điểm ngắn mạch, điểm hở mạch và điểm công suất cực đại (MPP). Các điểm đặc biệt này sẽ được đặc trưng bởi giá trị dòng điện ngắn mạch của mỗi tấm pin (I_{sc}), thông số tại MPP của mỗi tấm pin (điện áp V_{MPP} , dòng điện I_{MPP} và công suất P_{MPP}) và điện áp hở mạch của mỗi tấm pin (V_{oc}).

3. Bộ bám điểm công suất cực đại MPPT

Điểm MPP xác định trên đường đặc tính $I_{PV} - V_{PV}$ và $P_{PV} - V_{PV}$ luôn thay đổi dưới điều kiện bức xạ và nhiệt độ thay đổi. Từ đó ta thấy, có sự dịch chuyển của điểm MPP khi bức xạ mặt trời hoặc nhiệt độ làm việc của tấm pin thay đổi. Ngoài ra, khi mảng pin PV được nối trực tiếp với tải (hay còn gọi là hệ thống *ghép trực tiếp*), điểm hoạt động của hệ thống sẽ là giao điểm của đường đặc tuyến của mảng pin PV và đặc tuyến tải. Như vậy, trong một hệ thống ghép trực tiếp, mảng PV phải được thiết kế quá khổ (*oversized*) để đảm bảo rằng có thể cung cấp được công suất yêu cầu cho tải. Điều này dẫn đến hệ thống pin PV được xây dựng sẽ có chi phí đắt đỏ hơn.

Để khắc phục vấn đề này, một bộ biến đổi điện tử công suất, được gọi là bộ bám điểm công suất cực đại MPPT được sử dụng để duy trì điểm hoạt động của mảng pin PV tại điểm MPP. Bộ MPPT thực hiện điều này bằng cách, điều khiển điện áp hoặc dòng điện của mảng pin PV độc lập với tải. Nếu được điều khiển đúng cách bởi một thuật toán MPPT phù hợp thì bộ MPPT có thể định vị và bám được điểm MPP của mảng pin PV.

Tùy vào ứng dụng trong thực tế, có hai loại mạch chuyển đổi năng lượng một chiều DC/DC thường được sử dụng để làm bộ MPPT: Mạch tăng áp (Boost converter) và mạch giảm áp (Buck converter). Trong bài báo này, bộ biến đổi Boost được chọn để khảo sát.

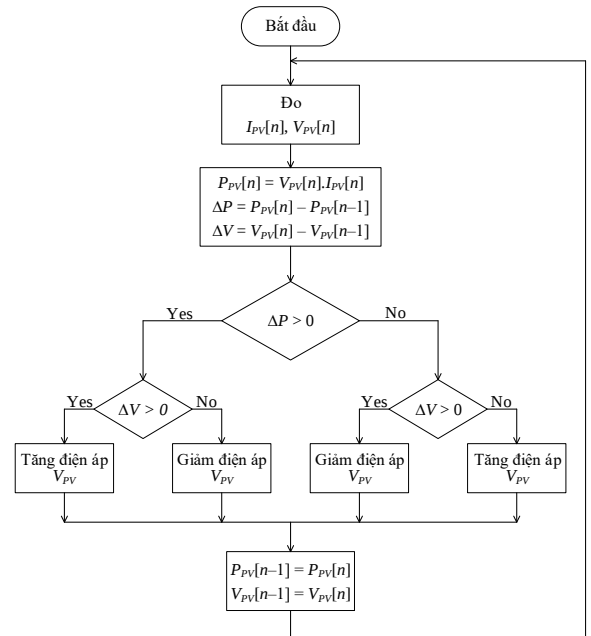
4. Các thuật toán điều khiển MPPT

Thực tế đã có rất nhiều thuật toán MPPT được đề xuất, trong đó hai thuật toán được sử dụng phổ biến cho bộ điều khiển MPPT thông thường đó là thuật toán Nhiễu loạn và

Quan sát (P&O) và thuật toán Điện dẫn gia tăng (INC). Hiện nay, hai thuật toán này được sử dụng nhiều trong các bộ biến đổi MPPT thương mại. Ngoài ra, thuật toán MPPT dựa trên logic mờ cũng đang nhận được nhiều sự quan tâm trong các nghiên cứu về điện tử công suất.

4.1. Thuật toán Nhiễu loạn và Quan sát (P&O)

Dạng cơ bản nhất của thuật toán P&O hoạt động như sau: Giả sử rằng mảng pin PV đang hoạt động tại điểm A nào đó trên đường đặc tuyến $P_{PV} - V_{PV}$, rất xa điểm MPP. Điểm A có thể nằm ở phía trái hoặc phía phải của điểm MPP. Trong thuật toán P&O, một lượng nhiễu loạn nhỏ của điện áp được áp dụng. Điện áp hoạt động của mảng pin PV được làm nhiễu loạn bằng cách thay đổi một lượng nhỏ ΔV và kết quả công suất đầu ra mảng pin thay đổi một lượng đo được là ΔP . Nếu $\Delta P > 0$ thì sự nhiễu loạn của điện áp hoạt động của mảng pin PV đã đưa điểm hoạt động của nó tiến gần hơn tới điểm MPP [2], [5]. Như vậy, điện áp nhiễu loạn tiếp theo sẽ cùng hướng (cùng dấu với giá trị nhiễu loạn trước đó) và đưa điểm hoạt động đến gần điểm MPP hơn nữa. Nếu $\Delta P < 0$, điểm hoạt động đã tiến ra xa khỏi điểm MPP, và dấu của điện áp nhiễu loạn cần được đảo lại để đưa điểm hoạt động tiến về điểm MPP. Thuật toán dao động quanh điểm MPP khi đi vào chế độ xác lập. Độ lớn của điện áp nhiễu loạn được duy trì rất nhỏ để giữ cho dao động điện áp nhỏ. Thuật toán P&O có thể được biểu diễn bằng lưu đồ thuật toán trong Hình 2.



Hình 2. Thuật toán P&O

Những ưu điểm của thuật toán P&O là đơn giản và dễ dàng thực hiện nên đang được sử dụng phổ biến. Tuy nhiên, thuật toán P&O có những hạn chế là làm giảm hiệu suất của bộ MPPT. Thuật toán P&O không bám được điểm MPP trong suốt quá trình bức xạ mặt trời một cách đột ngột.

4.2. Thuật toán Điện dẫn gia tăng (INC)

Thuật toán INC có được bằng cách lấy đạo hàm công suất ngõ ra theo điện áp [5], [6] và được mô tả trong công thức (3):

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3)$$

$$\forall I \quad \frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \approx I + V \frac{\Delta I}{\Delta V}, \text{ nên nếu điểm hoạt}$$

động của mảng pin PV dao động quanh điểm MPP, một tập các bất phương trình được dẫn ra từ phương trình (3) sẽ chỉ ra điện áp hoạt động lớn hơn hay nhỏ hơn điện áp MPP. Các mối quan hệ này được thể hiện trong các biểu thức sau:

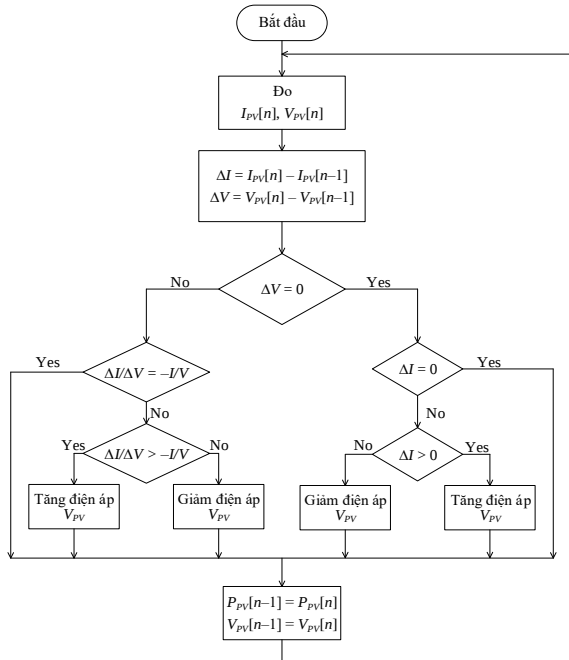
$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \text{ tại điểm MPP} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \text{ bên trái điểm MPP} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \text{ bên phải điểm MPP} \quad (6)$$

Hình 3 mô tả lưu đồ thuật toán INC. Giá trị hiện tại (thời điểm n) và giá trị trước đó (thời điểm $n-1$) của dòng điện và điện áp của mảng pin PV được sử dụng để tính độ biến thiên của điện áp (ΔI) và dòng điện (ΔV). Nếu $\Delta V = 0$ và $\Delta I = 0$, như vậy là điều kiện môi trường không thay đổi và bộ MPPT tiếp tục hoạt động tại điểm MPP. Nếu $\Delta V = 0$ và $\Delta I > 0$, như vậy bức xạ mặt trời đã tăng lên, làm tăng điện áp tại điểm MPP. Điều này yêu cầu bộ MPPT cần phải tăng điện áp hoạt động của mảng pin PV để bám theo điểm MPP. Ngược lại, nếu $\Delta I < 0$ tức là bức xạ mặt trời đã giảm xuống, làm giảm điện áp MPP và yêu cầu bộ MPPT cần phải giảm điện áp hoạt động của mảng pin PV.

Tuy nhiên, thực tế các sai số đo đạc và định lượng, điều kiện $\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$ rất khó xảy ra. Do đó, dưới điều kiện môi trường ổn định, hệ thống PV vẫn dao động quanh điểm MPP. Hơn nữa, rất khó để điều chỉnh điện áp V_{PV} đúng bằng V_{MPP} khi sử dụng một giá trị nhiễu loạn không đổi.

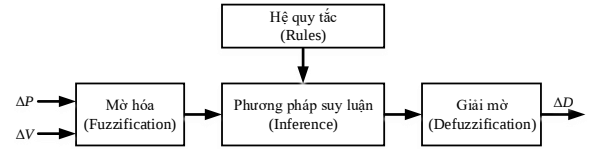


Hình 3. Lưu đồ thuật toán INC

4.3. Thuật toán MPPT dựa trên FL

FL là một trong những phương pháp điều khiển thông minh và đang được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực điều khiển hiện nay. Bộ điều khiển Fuzzy có khả năng tiếp nhận và xử lý thông tin phức tạp, không ổn định, sửa chữa lỗi và đưa ra các giải pháp tối ưu cho đối tượng điều khiển làm việc tốt hơn. FL cung cấp một phương thức suy diễn có thể bất chức khả năng suy luận của con người để áp dụng vào các hệ thống cơ sở tri thức.

Có ba giai đoạn trong thuật toán điều khiển FL được thể hiện thông qua Hình 4, cụ thể là mờ hóa, phương pháp suy luận và giải mờ [7], [8].



Hình 4. Cấu trúc cơ bản bộ điều khiển mờ

4.3.1. Mờ hóa

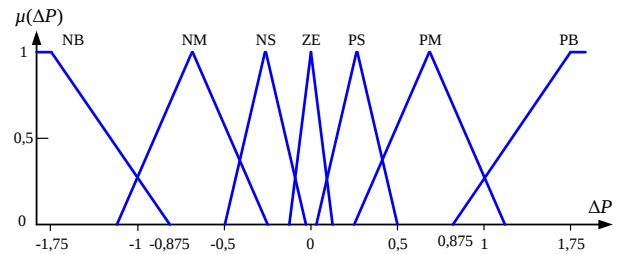
Là việc làm cho nó có thể biến đổi các biến thực thành các biến mờ. Điện áp và dòng điện thực tế của mảng PV có thể được đo liên tục và có thể tính được công suất. Các biến đầu vào của bộ điều khiển FL được đề xuất là ΔP và ΔV . Các biến này được xác định như sau:

$$\Delta P = P[k] - P[k-1] \quad (7)$$

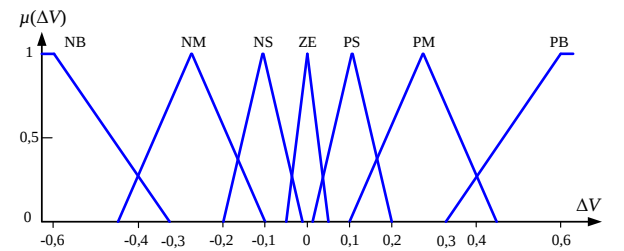
$$\Delta V = V[k] - V[k-1] \quad (8)$$

Trong đó, $P[k]$, $V[k]$ tương ứng là sự thay đổi công suất và điện áp của mảng PV tại thời điểm k .

Bộ thông số ngõ vào được mô tả bằng tập $\{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, trong đó NB là giảm lớn, NM là giảm trung bình, NS là giảm nhỏ, ZE là không tăng không giảm, PS là tăng nhỏ, PM là tăng trung bình, PB là tăng lớn. Giá trị được tập mờ được thể hiện ở Hình 5.



(a) Mờ hóa ΔP



(b) Mờ hóa ΔV

Hình 5. Giá trị tập mờ của 2 ngõ vào

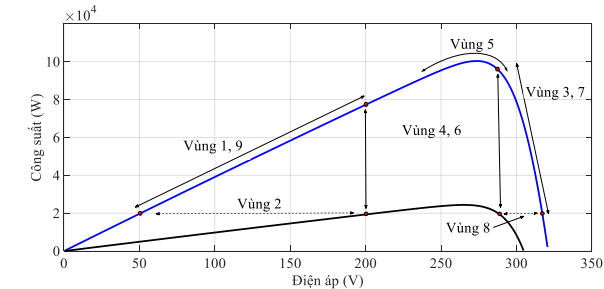
4.3.2. Phương pháp suy luận

Ta có quan hệ giữa điện áp ngõ ra và điện áp ngõ vào của bộ biến đổi Boost DC – DC như sau:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} = \frac{V_{PV}}{1-D} \tag{9}$$

Vì V_{out} được giữ không đổi nên V_{in} sẽ tỷ lệ nghịch với độ rộng xung D .

Dựa vào đường đặc tính P - V của tấm pin PV ở Hình 6 có thể suy luận ra quy luật điều khiển mờ. Đặc tính của tấm pin được chia làm 9 vùng [8]. Dựa vào mối quan hệ giữa sai lệch điện áp và sai lệch công suất, tập mờ hóa của các giá trị ngõ vào và ngõ ra, bộ điều khiển mờ được thiết kế dựa trên hệ quy tắc điều khiển được xác định như trong Hình 7 [8].



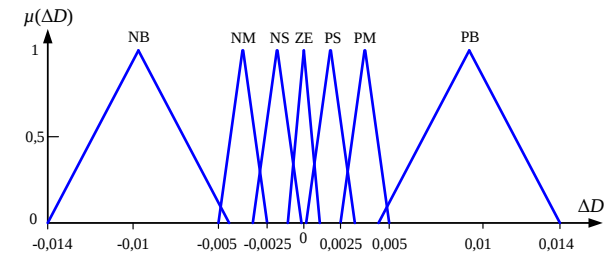
Hình 6. Đường đặc tính $P - V$ của mảng PV

Quy luật mờ		ΔP						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
ΔV	NB	NB	NB	NB	ZE	PB	PB	PB
	NM	NB	NB	NM	ZE	PM	PB	PB
	NS	NB	NM	NS	ZE	ZE	PM	PB
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	PB	PM	PM	ZE	NS	NM	NB
	PM	PB	PB	PM	ZE	NM	NM	NB
	PB	PB	PB	PB	ZE	NB	NB	NB
		Vùng 7	Vùng 4	Vùng 5	Vùng 8	Vùng 3	Vùng 6	Vùng 9

Hình 7. Quy luật mờ

4.3.3. Giải mờ

Bộ thông số ngõ ra được mô tả bằng tập $\{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, trong đó NB là giảm lớn, NM là giảm trung bình, NS là giảm nhỏ, ZE là không tăng không giảm, PS là tăng nhỏ, PM là tăng trung bình, PB là tăng lớn. Giá trị của tập mờ được thể hiện ở Hình 8.



Hình 8. Giá trị tập mờ của đầu ra ΔD

5. Mô phỏng các thuật toán MPPT

5.1. Thông số hệ thống và các kịch bản bức xạ

Để so sánh đánh giá hiệu quả khi ứng dụng thuật toán

FL với các thuật toán điều khiển MPPT thông dụng P&O, INC, nhóm tác giả tiến hành mô phỏng bằng phần mềm MATLAB/SIMULINK.

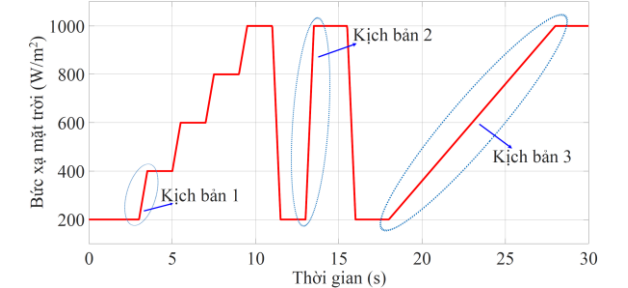
Hệ thống PV được sử dụng mô phỏng ở đây là mô hình “Average Model of a 100-kW Grid-Connected PV Array” trong MATLAB/SIMULINK được thiết lập với công suất đầu ra là 100,7kW, điện áp hở mạch là 64,2 V và bao gồm 66 chuỗi mắc song song, mỗi chuỗi gồm 5 tấm PV mắc nối tiếp. Các điều kiện mô phỏng và cấu hình hệ thống được nêu trong Bảng 1. Bức xạ mặt trời trong kịch bản mô phỏng được lập trình để thay đổi nhanh chóng như trong Hình 9. Sự thay đổi nhanh của bức xạ có thể được gây ra bởi các hiệu ứng che thoáng qua do mây, cây cối. Qua đó cho ta thấy được đáp ứng của các thuật toán MPPT đối với những điều kiện môi trường.

Mô phỏng với các giả thiết bức xạ thay đổi như Hình 9 với nhiệt độ không đổi, ở mức 25°C. Trong giả thiết bức xạ này được chia ra các kịch bản như sau:

- Kịch bản 1: Bức xạ tăng nhanh với mức thay đổi nhỏ (200W/m² trong vòng 0,5s);
- Kịch bản 2: Bức xạ tăng nhanh với mức thay đổi lớn (từ 200W/m² đến 1000W/m² trong vòng 0,5s);
- Kịch bản 3: Bức xạ tăng chậm với mức thay đổi lớn (từ 200W/m² đến 1000W/m² trong vòng 10s).

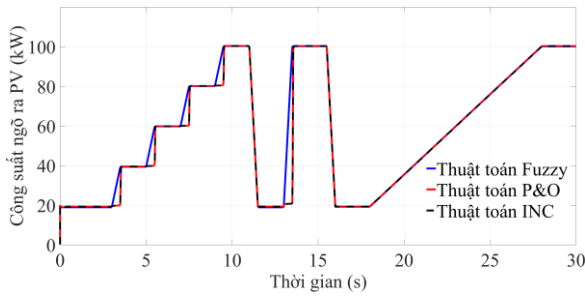
Bảng 1. Thông số mô phỏng

Thông số tấm pin mặt trời	
PV Module	SunPower SPR-305E-WHT-D
Điện áp hở mạch V_{oc}	64,2 V
Dòng điện ngắn mạch I_{sc}	5,96 A
Điện áp tại điểm công suất cực đại V_{MPP}	54,7 V
Dòng điện tại điểm công suất cực đại I_{MPP}	8,58 A
Cấu hình mảng PV	66 chuỗi mắc song song 5 tấm pin mắc nối tiếp trong 1 chuỗi
Công suất cực đại tại điều kiện chuẩn P_{MPP}	100,7 kW
Cấu hình mạch Boost MPPT	
Tần số chuyển mạch f_{sw}	20 kHz
Tần số lấy mẫu f_s	10 kHz
Cuộn cảm	5 mH
Tụ ngõ ra	12 mF
Giá trị độ rộng xung ban đầu	0,5
Bước thay đổi độ rộng xung D_{step}	3×10^{-4}



Hình 9. Kịch bản bức xạ trong mô phỏng

Dựa vào khả năng bám theo điểm công suất cực đại của các thuật toán FL, P&O và INC trong các kịch bản tương ứng, từ đó đưa ra được hiệu suất bám theo điểm công suất cực đại. Kết quả mô phỏng đạt được thể hiện như trong Hình 10.



Hình 10. Công suất ngõ ra của các thuật toán MPPT

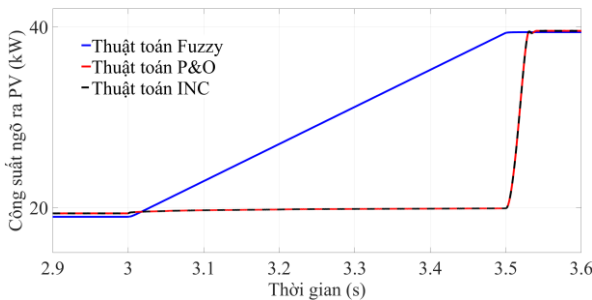
Trong bài báo này độ bám của tín hiệu theo đường công suất cực đại η_{MPPT} được dùng để đánh giá hiệu quả của các thuật toán MPPT khác nhau. Hệ số bám theo được định nghĩa như sau:

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{\max} dt} \quad (10)$$

Trong đó, t_1 , t_2 là các điểm đầu, cuối của quá trình khảo sát. P là các giá trị đạt được qua các thuật toán MPPT, $P_{\max}$ là công suất cực đại có thể đạt được của mảng PV. Ta có thể tính được giá trị $P_{\max}$ ứng với từng bức xạ cụ thể, từ đó dựng lên đường đặc tính $P_{\max}$ theo kịch bản khảo sát.

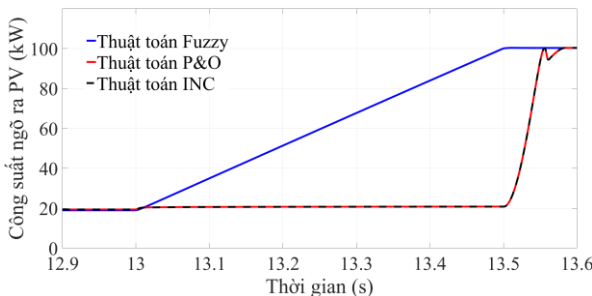
5.2. Mô phỏng khi bức xạ tăng nhanh với thay đổi nhỏ

Bức xạ thay đổi nhỏ từ 200 W/m² lên 400 W/m² trong 0,5s với nhiệt độ được giữ không đổi ở 25°C (kịch bản 1). Công suất ngõ ra của các thuật toán nhận được như trong Hình 11. Có thể thấy rằng, thuật toán FL MPPT bám theo đường công suất cực đại tốt hơn so với các thuật toán cổ điển như INC và P&O.



Hình 11. Công suất ngõ ra PV ứng với kịch bản 1

5.3. Mô phỏng khi bức xạ tăng nhanh với thay đổi lớn

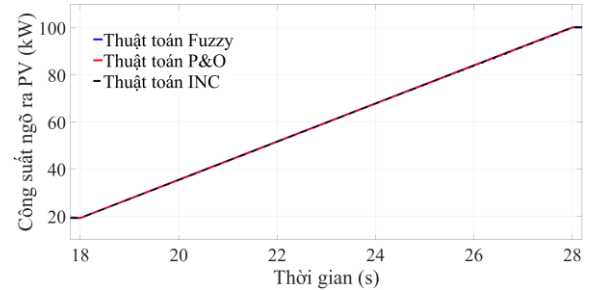


Hình 12. Công suất ngõ ra PV ứng với kịch bản 2

Bức xạ thay đổi nhỏ từ 200 W/m² lên 1000 W/m² trong 0,5s với nhiệt độ được giữ không đổi ở 25°C (kịch bản 2). Công suất ngõ ra của các thuật toán nhận được như trong Hình 12. Kết quả nhận được chỉ ra rằng, thuật toán FL có đáp ứng nhanh hơn hẳn, theo đó với những bức xạ thay đổi nhanh thì thể mạnh của thuật toán Fuzzy Logic càng được phát huy.

5.4. Mô phỏng khi bức xạ tăng chậm với thay đổi lớn

Bức xạ thay đổi nhỏ từ 200 W/m² lên 1000 W/m² trong 10s với nhiệt độ được giữ không đổi ở 25°C (kịch bản 3). Công suất ngõ ra của các thuật toán nhận được như trong Hình 13. Kết quả cho thấy, trong khoảng thời gian thay đổi đủ chậm, hiệu suất bám theo của các thuật toán gần như là bằng nhau.



Hình 13. Công suất ngõ ra PV ứng với kịch bản 3

5.5. Đánh giá kết quả và thảo luận

Hiệu quả bám theo đường công suất cực đại của các thuật toán được thể hiện trên các kết quả mô phỏng Hình 11, 12 và 13 tương ứng với 3 kịch bản thay đổi của bức xạ.

Kết quả mô phỏng cho thấy, hiệu suất bám theo đường công suất cực đại của thuật toán FL luôn đạt trên 99%. Trong khi đó, các thuật toán P&O và INC chỉ đáp ứng tốt với trường hợp bức xạ thay đổi chậm còn với trường hợp bức xạ thay đổi nhanh thì các thuật toán trên không đáp ứng kịp và tổn thất công suất tăng rất lớn (Bảng 2).

Bảng 2. Hiệu suất các thuật toán MPPT

Thuật toán	Hiệu suất bám điểm MPP η_{MPPT} (%)	
	Bức xạ thay đổi chậm	Bức xạ thay đổi nhanh
Fuzzy Logic	99,60	99,10
P&O	99,52	34,42
INC	99,55	34,46

Ngoài ra, sự thay đổi nhanh của bức xạ sẽ dẫn tới giá trị của tỉ số giữa công suất dao động và thời gian diễn ra sự dao động công suất đó ($\Delta P/\Delta t$) với các thuật toán P&O và INC lớn hơn rất nhiều trong thuật toán điều khiển dựa trên FL. Do vậy, thuật toán điều khiển FL nếu được triển khai ứng dụng sẽ làm giảm ảnh hưởng lên tần số lưới và tăng sự thâm nhập của năng lượng mặt trời vào hệ thống microgrid.

6. Kết luận

Việc tích hợp các thuật toán bắt điểm công suất cực đại MPPT vào các bộ chuyển đổi công suất DC – DC sẽ giúp chúng ta có thể thu được nhiều năng lượng hơn từ cùng một lượng bức xạ mặt trời. Kết quả mô phỏng bằng phần mềm mô phỏng MATLAB/ Simulink trong bài báo này chứng minh rằng, các thuật toán P&O, INC và FL đều có khả năng

đồ tìm được điểm công suất cực đại. Kết quả nhận được cũng cho thấy, trong mỗi điều kiện thời tiết khác nhau, các thuật toán sẽ có thời gian đáp ứng và đạt hiệu suất khác khác nhau.

Kết quả nghiên cứu nhận được cho phép khẳng định rằng, thuật toán ưu việt nhất trong các thuật toán được khảo sát là thuật toán điều khiển FL được đề xuất với η_{MPPT} luôn đạt trên 99% ở trong các điều kiện bức xạ thay đổi. Các thuật toán thông dụng hiện nay là P&O và INC chỉ có thể đáp ứng hiệu quả được với trường hợp bức xạ khi thay đổi chậm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài khoa học mã số: T2019-02-49, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng và Chương trình Khoa học và Công nghệ cấp Bộ "Nghiên cứu phát triển hệ thống năng lượng kết hợp Biogas – Năng lượng mặt trời phù hợp với khu vực nông thôn Việt nam" với đề tài có mã số CTB2018-DNA03.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Parida, S. Iniyar, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, pp. 1625–1636, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.11.032.
- [2] T. Esmar and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, Jun. 2007, doi: 10.1109/TEC.2006.874230.
- [3] V. Salas, E. Olías, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 90, pp. 1555–1578, 2006, doi: 10.1016/j.solmat.2005.10.023.
- [4] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, *Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems*. 2012.
- [5] D. Hohm and M. Ropp, "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms", *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 11, pp. 47–62, 2003, doi: 10.1002/pip.459.
- [6] D. Sera, L. Mathe, T. Kerekes, S. Spataru, and R. Teodorescu, "On the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems", *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 3, pp. 1070–1078, 2013, doi: 10.1109/Jphotov.2013.2261118.
- [7] B. Bendib, F. Krim, H. Belmili, A. Fayçal, and B. Sabri, "An intelligent MPPT approach based on neural-network voltage estimator and fuzzy controller, applied to a stand-alone PV system", in *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2014, pp. 404–409, doi: 10.1109/ISIE.2014.6864647.
- [8] J.-K. Shiao, Y.-C. Wei, and B.-C. Chen, "A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables", *Algorithms*, vol. 8, pp. 100–127, 2015, doi: 10.3390/a8020100.
- [9] B. N. Nguyen, V. T. Nguyen, M. Q. Duong, K. H. Le, H. H. Nguyen, and A. T. Doan, "Propose a MPPT Algorithm Based on Thevenin Equivalent Circuit for Improving Photovoltaic System Operation", *Front. Energy Res.*, vol. 8, p. 14, 2020, doi: 10.3389/fenrg.2020.00014.
- [10] B. N. Nguyen, V. K. Pham, V. T. Nguyen, D. H. Hoang, T. B. Thanh Truong, and H. V. Phuong Nguyen, "A New Maximum Power Point Tracking Algorithm for the Photovoltaic Power System", in *Proceedings of 2019 International Conference on System Science and Engineering, ICSSE 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICSSE.2019.8823306.

(BBT nhận bài: 19/3/2020, hoàn tất thủ tục phản biện: 24/4/2020)