

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.046

GIẢI THUẬT TÌM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI CHO HỆ THỐNG PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI TRONG ĐIỀU KIỆN BỊ CHE KHUẤT BÓNG MỘT PHẦN

Lê Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Huỳnh Đức Thuận, Giang Hoàng Nam, Lê Hoàng Sang, Trần Hoàng Non và Lê Quốc Anh*

Khoa Kỹ thuật điện, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Lê Quốc Anh (email: lequocanh@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 28/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 21/11/2022

Ngày duyệt đăng: 21/12/2022

Title:

Maximum power point tracking algorithm for photovoltaic system under partial shading condition

Từ khóa:

Năng lượng mặt trời, điểm công suất cực đại, che khuất một phần, MPPT

Keywords:

Photovoltaic, maximum power point, partial shading, MPPT

ABSTRACT

The maximum power point tracking (MPPT) technique is the most popular technique in photovoltaic (PV) systems operation. Under unifying radiation, the global maximum power point (GMPP) can be easily found on the P-V curve of the PV system by using the popular MPPT methods. However, these MPPT methods may not track the GMPP if there are many local maximum power points (LMMPs) as the PV system is under the condition of partial shading. This paper proposes an algorithm, which is improved from the conventional P&O (Perturb and. Observer) maximum power point tracking algorithm, to detect the GMPP in the entire P-V curve of the PV system under partial shading conditions. The simulation results on PSIM software verified the validity of the proposed method.

TÓM TẮT

Kỹ thuật bám theo điểm công suất cực đại (maximum power point tracking - MPPT) là kỹ thuật được sử dụng phổ biến trong vận hành hệ thống pin năng lượng mặt trời (PV). Trên thực tế, trong điều kiện bức xạ đồng nhất, có thể dễ dàng tìm ra điểm công suất toàn hệ thống (global maximum power point - GMPP) trên đường cong phi tuyến P-V bằng các phương pháp MPPT phổ biến. Tuy nhiên, các phương pháp MPPT này rất khó có thể theo dõi được điểm công suất cực đại toàn hệ thống trong trường hợp có nhiều điểm công suất cực đại địa phương (local maximum power point - LMPP) do hệ thống PV bị che phủ một phần. Bài báo đề xuất một thuật toán dò tìm điểm công suất cực đại trên toàn vùng làm việc của hệ thống trong điều kiện bị che bóng một phần được phát triển dựa trên thuật toán dò tìm điểm cực đại P&O cổ điển. Kết quả mô phỏng trên phần mềm PSIM được đưa ra để kiểm chứng giải thuật đề xuất.

1. GIỚI THIỆU

Năng lượng mặt trời đang trong quá trình phát triển nhằm giảm phát thải hiệu ứng nhà kính. Trong dự thảo Quy hoạch điện VIII được Phó thủ tướng Lê Văn Thành đồng ý tại hội nghị với các địa phương về quy hoạch điện VIII, năng lượng mặt trời sẽ chiếm tỉ trọng đáng kể (19,4%) đến năm 2045

(Thắng, 2021). Tuy nhiên, trong quá trình lắp đặt và vận hành hệ thống điện mặt trời, không phải tất cả các tấm pin năng lượng mặt trời đều được chiếu sáng như nhau, một số tấm pin có thể bị bóng mây hoặc bóng vật thể khác che làm giảm công suất phát điện. Trong trường hợp một số tấm pin bị che khuất bóng một phần, đường cong công suất của hệ thống pin

năng lượng mặt trời sẽ xuất hiện nhiều điểm cực đại vùng miền (trong đó chỉ có một điểm cực đại trên toàn hệ thống).

Hiện nay, các nghiên cứu trên thế giới đã đề xuất rất nhiều phương pháp và kỹ thuật khác nhau để dò tìm điểm cực đại. ESRAM và Chapman (2007) đã lược khảo và tóm tắt lại được 19 phương pháp khác nhau để dò tìm điểm cực đại của hệ thống pin mặt trời. Subudhi và Pradhan (2013) cũng đã lược khảo và tóm tắt lại 26 phương pháp dò tìm điểm cực đại cho các hệ thống pin mặt trời. Mỗi phương pháp đều có ưu, nhược điểm riêng. Có những phương pháp đơn giản, dễ dàng thực hiện và có những phương pháp phức tạp, kỹ thuật cao và hiệu quả của từng phương pháp cũng khác nhau. Một số phương pháp dựa trên các phương trình hoặc thông số của tấm pin mặt trời để tìm điểm công suất cực đại của hệ thống nhưng không cập nhật được điều kiện vận hành thực tế của hệ thống pin mặt trời do các giá trị phải được tính toán trước. Bên cạnh đó, còn có các thuật toán điều khiển thông minh như điều khiển mờ, di truyền (GA), trí tuệ nhân tạo, thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO). Tính hiệu quả của các thuật toán này đã được kiểm chứng nhưng có nhược điểm là độ phức tạp cao hoặc tốc độ hội tụ chậm nên gây khó khăn trong việc ứng dụng trong thực tế với các vi điều khiển thời gian thực. Trong các phương pháp được đề ra, phương pháp nhiễu động và quan sát (P&O), và phương pháp tăng điện dẫn (IC) được ứng dụng rất nhiều trong thực tế, vì hai thuật toán này đơn giản và có hiệu suất cao (Tâm và ctv., 2021).

Một số nghiên cứu đề xuất mô hình dò tìm và bám theo điểm công suất cực đại trong điều kiện các tấm pin mặt trời bị che bóng một phần sử dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn, và thuật toán di truyền, điều khiển mờ (Ngu, 2020; Do Nhu và ctv., 2020; Anh và ctv., 2021; Badoud et al., 2021; Belhachat and Larbes 2018). Kết quả của các nghiên cứu trên cho thấy hệ thống luôn bám chính xác điểm công suất cực đại với thời gian quá độ ngắn, độ quá điều chỉnh nhỏ khi không có bóng che và khi có bóng che. Điểm dao động quanh điểm công suất cực đại không đáng kể dẫn đến hao tổn công suất của toàn hệ thống nhỏ. Tuy nhiên, các thuật toán này không thể đáp ứng được với điều kiện làm việc phức tạp trong thực tế vì các thuật toán di truyền và trí tuệ nhân tạo cần nhiều thời gian cũng như một lượng lớn dữ liệu để luyện tập để cho ra kết quả chính xác. Hơn nữa, kết

quả của một hệ thống PV này có thể không phù hợp với các hệ thống PV khác khi các hệ thống này có thể có những đặc điểm khác nhau.

Để khắc phục những khó khăn trên, bài báo tập trung xây dựng một giải thuật quét và tìm ra điểm công suất cực đại của hệ thống PV và ứng dụng kỹ thuật MPPT phổ biến để bám vào điểm làm việc đó. Giải thuật đề xuất có khả năng áp dụng được trên các vi điều khiển thời gian thực nên có tính ứng dụng trong thực tế cao và không cần nhiều thời gian để thiết lập cho các hệ thống có điều kiện làm việc khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy giải thuật có thể nhanh chóng tìm ra điểm công suất cực đại của hệ thống PV và không gây ra ảnh hưởng lớn đến hiệu suất làm việc của hệ thống.

2. ĐẶC TÍNH CỦA HỆ THỐNG PV DƯỚI ĐIỀU KIỆN BỊ CHE PHỦ MỘT PHẦN

Các đặc tính điện của tấm pin hoặc tế bào PV là phi tuyến và phụ thuộc nhiều vào bức xạ mặt trời và nhiệt độ môi trường (Kishor et al., 2010; Kouro et al., 2014). Trong đó, dòng điện do tấm pin mặt trời sinh ra được mô hình qua công thức

$$i_{pv} = i_L - i_0 \left[e^{\frac{q(v_{pv} + i_{pv} R_S)}{nKT}} - 1 \right] - \frac{v_{pv} + i_{pv} R_S}{R_{sh}} \quad (1)$$

với:

i_{pv} là dòng điện ngõ ra của tế bào quang điện,

v_{pv} là điện áp ngõ ra của tế bào quang điện,

R_S là điện trở nối tiếp tương đương của tế bào quang điện,

R_{sh} là điện trở song song tương đương của tế bào quang điện,

i_L là dòng điện của tế bào quang điện từ 35 đến 40 mA/cm² đối với tế bào silic,

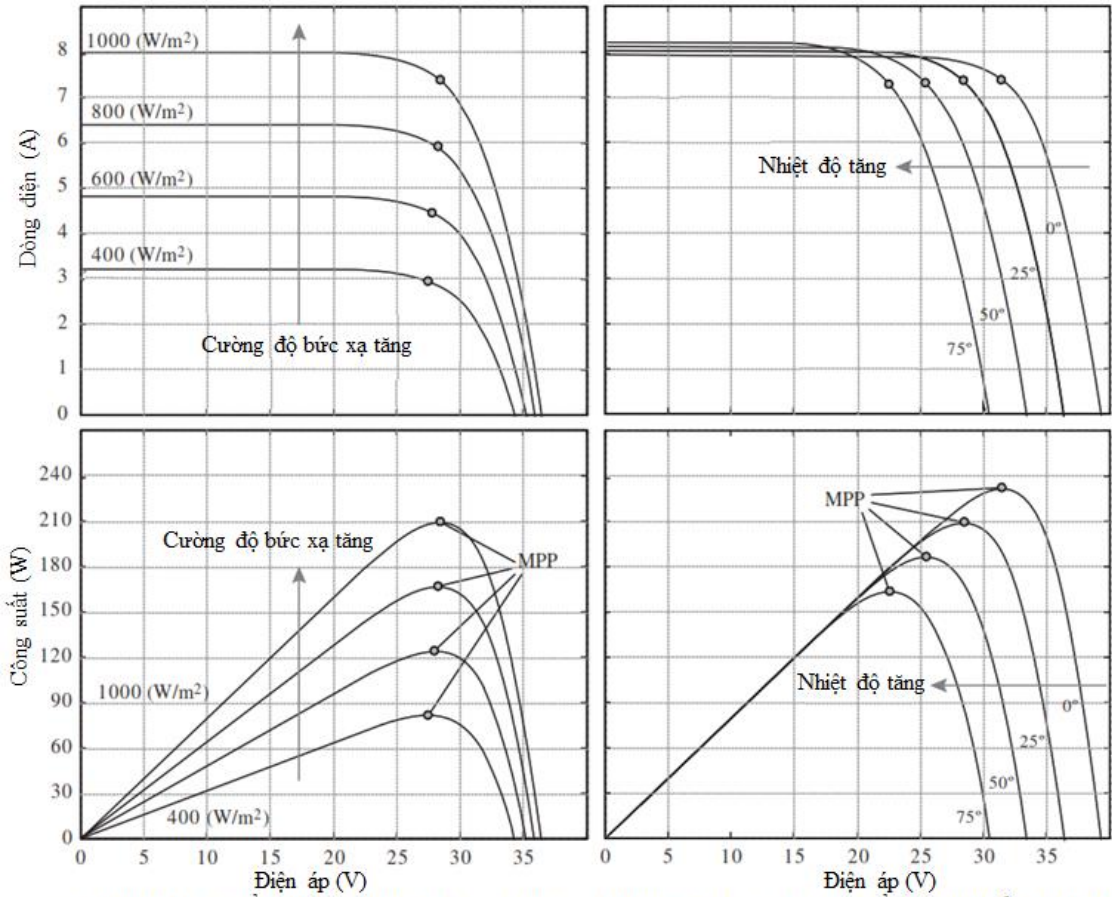
i_0 là dòng điện ngược bão hòa của tế bào quang điện (10^{-12} A/cm²),

q là điện tích ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulombs),

K là hằng số Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K),

T là nhiệt độ tuyệt đối (K),

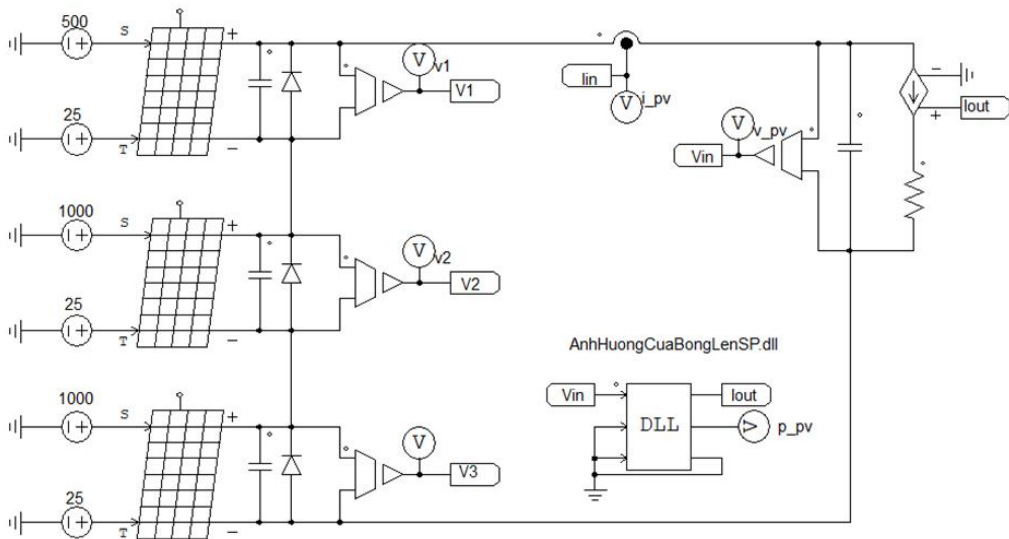
n là tỉ lệ lý tưởng của diode (trong điều kiện lý tưởng thì $n = 1$).



a) Nhiệt độ không đổi (25°C), cường độ bức xạ tăng b) Cường độ bức xạ không đổi (1000W/m²), nhiệt độ tăng

Hình 1. Đặc tính I-V và P-V của một tấm pin mặt trời

(Häberlin, H. (2012). *Photovoltaics: system design and practice (1st ed)*. John Wiley & Sons)



Hình 2. Mô hình mô phỏng dàn pin

Khi đó, đường cong đặc tính I-V và P-V được thể hiện trong Hình 1. Khi cường độ bức xạ tăng lên, dòng điện tạo ra bởi tấm pin cũng tăng theo một cách tuyến tính (trong khoảng 0 – 25 V). Đường đặc tính P-V được chia ra làm 3 đoạn riêng biệt: đoạn dốc dương tuyến tính tương đương với dòng điện một chiều được tạo ra ít thay đổi khi điện áp thay đổi, đoạn dốc âm khi tấm pin hoạt động từ khoảng điện áp 30-35 V, và một đoạn bằng phẳng khi tấm pin hoạt động ở vị trí công suất cực đại (Häberlin, 2012). Ở Hình 1b, có thể thấy rằng dòng điện của tấm pin tạo ra ở vùng không thay đổi không bị ảnh hưởng nhiều khi nhiệt độ thay đổi. Tuy nhiên, điện áp ở mạch của tấm pin giảm nhiều khi nhiệt độ tăng lên. Việc này làm suy giảm công suất đầu ra của tấm pin.

Khi tấm pin được kết nối với một tải tĩnh, điểm giao nhau giữa đường đặc tính I-V của tải và đường đặc tính I-V của tấm pin sẽ là điểm hoạt động của tấm pin. Tuy nhiên, các bộ chuyển đổi điện áp (DC-DC, hoặc DC-AC) có điều khiển để có thể giao nhau được với bất kỳ điểm nào trên đường đặc tính I-V của tấm pin; thông thường, các bộ chuyển đổi được điều khiển để hoạt động tại điểm công suất lớn nhất của tấm pin (Abu-Rub et al., 2014).

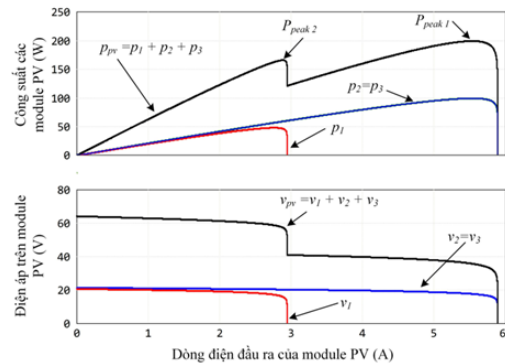
Trong hệ thống pin mặt trời có nhiều tấm pin, các tấm pin thường mắc nối tiếp để tăng điện áp và mắc song song để tăng dòng điện. Để giảm tổn hao do dây dẫn và sụt áp trên các linh kiện đóng ngắt, nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống chuyển đổi năng lượng, các tấm pin thường được mắc nối tiếp để tăng điện áp ngõ ra của hệ pin mặt trời. Giá trị này thường được tính toán phù hợp với điện áp làm việc trong vùng hiệu suất cao của bộ chuyển đổi năng lượng rồi sau đó mới đến mắc song song các tấm pin mặt trời để tăng dòng điện. Tuy nhiên, việc mắc nối tiếp các tấm pin năng lượng mặt trời tạo nên nhiều cực đại địa phương trong điều kiện chiếu sáng không đồng nhất (Anh và ctv., 2021; Bastidas-Rodriguez, 2014). Trong trường hợp bức xạ mặt trời đến các tấm pin mặt trời không đồng đều, mối quan hệ giữa điện áp và dòng điện của mỗi tấm pin được thể hiện ở Hình 1. Trong mạch điện mắc nối tiếp các tấm pin năng lượng mặt trời, dòng điện qua các tấm pin mặt trời là như nhau. Điều này dẫn đến việc các tấm pin mặt trời không thể cùng lúc làm việc tại hoặc gần điểm công suất cực đại của mình mà hệ thống sẽ xuất nhiều điểm cực đại địa phương.

Sử dụng phần mềm PSIM để mô phỏng dàn pin với 03 tấm pin mặt trời mắc nối tiếp trong trường hợp dàn pin bị che khuất một phần với cường độ bức xạ khác nhau như được mô tả ở Hình 2. Mỗi tấm pin có thông số cơ bản như sau: công suất đỉnh $P_{max} =$

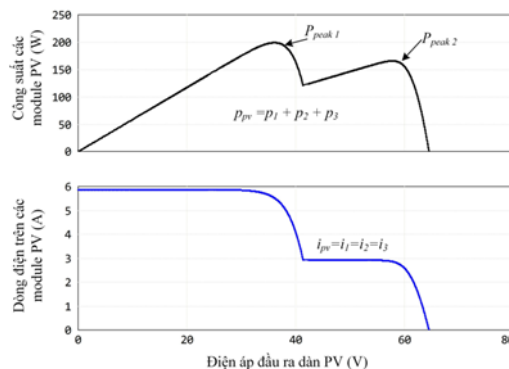
100 W, điện áp tại điểm công suất cực đại $V_m = 18 V$, dòng điện tại điểm công suất cực đại $I_{mp} = 5,56 A$, điện áp hở mạch $V_{oc} = 21,75 V$, dòng điện ngắn mạch $I_{sc} = 5,89 A$.

Trong trường hợp các tấm pin mặt trời được chiếu sáng không đồng đều, đường đặc tính V-I của các tấm pin được mô tả như ở Hình 3. Dòng điện lớn nhất của tấm pin mặt trời với cường độ chiếu sáng thấp nhỏ hơn dòng điện lớn nhất của các tấm pin mặt trời được chiếu sáng đầy đủ. Đường công suất P-I của các tấm pin và điểm công suất cực đại cũng được thể hiện trên Hình 3. Cần chú ý rằng các điểm công suất cực đại của mỗi tấm pin xuất hiện ở các giá trị dòng điện hoạt động khác nhau.

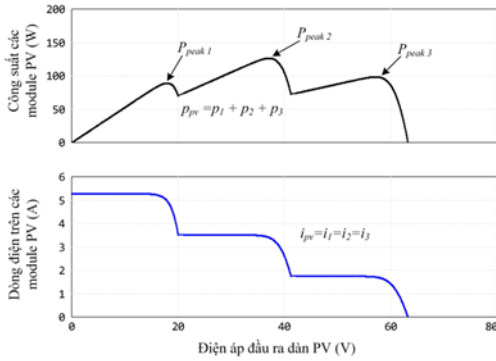
Do các tấm pin được mắc nối tiếp, nên dòng điện của dàn pin mặt trời cũng là dòng điện qua từng tấm pin. Khi đó, đường đặc tính V-I của dàn pin mặt trời với đường $v_{pv} = v_1 + v_2 + v_3$ với trục hoành là dòng điện đầu ra của dàn pin được mô tả trên Hình 3. Đường đặc tính P-I của dàn pin có thể được xác định với nhiều hơn một điểm cực đại địa phương tương ứng với các điểm cực đại của các tấm pin cấu thành nên dàn pin.



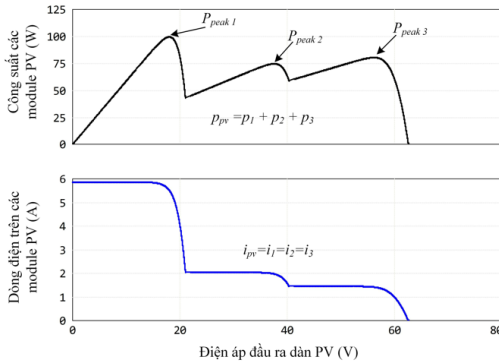
Hình 3. Đặc tính P-I và V-I của dàn pin ở trường hợp 1



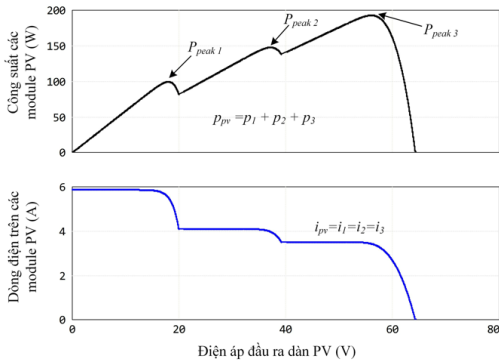
Hình 4. Đặc tính P-V và I-V ở trường hợp 1



Hình 5. Đặc tính P-V và I-V ở trường hợp 2



Hình 6. Đặc tính P-V và I-V ở trường hợp 3



Hình 7. Đặc tính P-V và I-V ở trường hợp 4

Trường hợp 1: Chỉ có một tấm pin trong dàn pin bị che khuất, 2 tấm pin còn lại không bị che khuất với cường độ bức xạ mặt trời như sau: $S_1 = 500 \text{ W/m}^2$, $S_2 = 1000 \text{ W/m}^2$, $S_3 = 1000 \text{ W/m}^2$. Đường đặc tính P-V và I-V của dàn pin được thể hiện ở Hình 4 (tương đương với các đường đặc tuyến ở Hình 3, với trục hoành là điện áp của dàn pin). Đồ thị P-V xuất hiện 2 điểm cực đại địa phương và điểm cực đại số 1 là điểm công suất cực đại toàn hệ thống với $P_1 = 200 \text{ W}$ tại điện áp $U_1 = 36,0 \text{ V}$ và dòng điện $I_1 = 5,56 \text{ A}$. Trong khi đó, điểm công suất cực đại thứ 2 là điểm cực đại địa

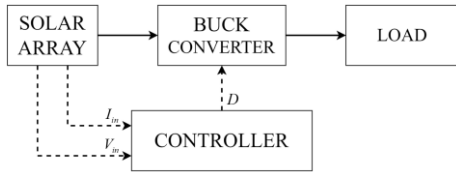
phương với công suất $P_2 = 167 \text{ W}$ tại điện áp $U_2 = 57,7 \text{ V}$ và dòng điện $I_2 = 2,89 \text{ A}$.

Trường hợp 2: Các tấm pin trong dàn pin bị che khuất với độ phủ khác nhau, cường độ bức xạ mặt trời từng tấm pin nhận được như sau: $S_1 = 300 \text{ W/m}^2$, $S_2 = 900 \text{ W/m}^2$, $S_3 = 600 \text{ W/m}^2$. Đường đặc tính P-V và I-V của dàn pin được thể hiện ở Hình 5. Đồ thị P-V xuất hiện 3 điểm cực đại và điểm cực đại thứ hai là điểm công suất cực đại toàn hệ thống với $P_2 = 127 \text{ W}$ tại điện áp $U_2 = 37,1 \text{ V}$ và dòng điện $I_2 = 3,43 \text{ A}$. Hai điểm công suất cực đại thứ nhất và thứ ba là điểm công suất cực đại địa phương với công suất $P_1 = 89,7 \text{ W}$ tại điện áp $U_1 = 18 \text{ V}$ và dòng điện $I_1 = 4,98 \text{ A}$; và $P_3 = 99,0 \text{ W}$ tại điện áp $U_3 = 37,2 \text{ V}$ và dòng điện $I_3 = 1,73 \text{ A}$.

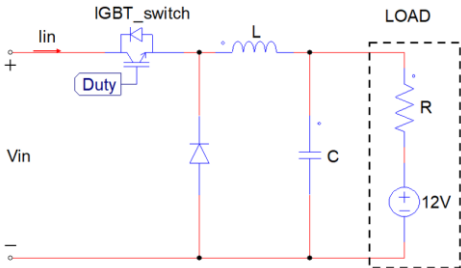
Trường hợp 3: Các tấm pin trong dàn pin bị che khuất với độ phủ khác nhau, cường độ bức xạ mặt trời từng tấm pin nhận được như sau: $S_1 = 250 \text{ W/m}^2$, $S_2 = 1000 \text{ W/m}^2$, $S_3 = 350 \text{ W/m}^2$. Đường đặc tính P-V và I-V của dàn pin được thể hiện ở Hình 6. Đồ thị P-V xuất hiện 3 điểm cực đại và điểm cực đại thứ nhất là điểm công suất cực đại toàn hệ thống với $P_1 = 100 \text{ W}$ tại điện áp $U_1 = 18 \text{ V}$ và dòng điện $I_1 = 5,56 \text{ A}$. Trong khi hai điểm công suất cực đại thứ hai và thứ ba là điểm công suất cực đại địa phương với công suất lần lượt là $P_2 = 75,0 \text{ W}$ tại điện áp $U_2 = 37,5 \text{ V}$ và dòng điện $I_2 = 2,00 \text{ A}$; và $P_3 = 80,9 \text{ W}$ tại điện áp $U_3 = 56,3 \text{ V}$ và dòng điện $I_3 = 1,44 \text{ A}$.

Trường hợp 4: Các tấm pin trong dàn pin bị che khuất với độ phủ khác nhau, cường độ bức xạ mặt trời từng tấm pin nhận được như sau: $S_1 = 700 \text{ W/m}^2$, $S_2 = 1000 \text{ W/m}^2$, $S_3 = 600 \text{ W/m}^2$. Đường đặc tính P-V và I-V của dàn pin được thể hiện ở Hình 7. Đồ thị P-V xuất hiện 3 điểm cực đại và điểm cực đại thứ ba là điểm công suất cực đại toàn hệ thống với $P_3 = 193 \text{ W}$ tại điện áp $U_3 = 56,0 \text{ V}$ và dòng điện $I_3 = 3,45 \text{ A}$. Trong khi hai điểm công suất cực đại thứ nhất và thứ hai là điểm công suất cực đại địa phương với công suất lần lượt là $P_1 = 100 \text{ W}$ tại điện áp $U_1 = 18,0 \text{ V}$ và dòng điện $I_1 = 5,56 \text{ A}$; và $P_2 = 148 \text{ W}$ tại điện áp $U_2 = 37,2 \text{ V}$ và dòng điện $I_2 = 3,99 \text{ A}$.

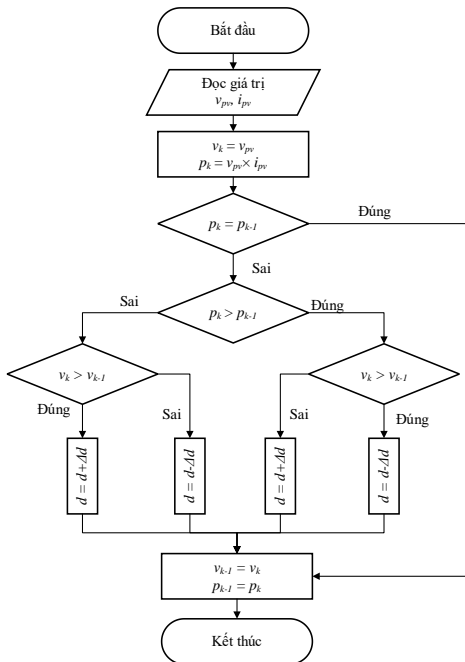
Với các trường hợp mô phỏng trên, có thể kết luận rằng với một dàn pin có 3 tấm pin mắc nối tiếp nhau, thì tùy vào cường độ bức xạ lên từng tấm pin, có thể xuất hiện nhiều nhất ba điểm cực đại, trong đó chỉ có một điểm công suất cực đại toàn hệ thống, và điểm này có thể xuất hiện ở bất kỳ vị trí nào trong ba vị trí cực đại địa phương.



Hình 8. Hệ thống PV sử dụng bộ giảm áp



Hình 9. Sơ đồ mạch giảm áp



Hình 10. Lưu đồ thuật toán P&O

3. NGUYÊN LÝ VẬN HÀNH CỦA GIẢI THUẬT MPPT CÓ ĐIỆN

3.1. Tổng quan

Sơ đồ khối của giải thuật MPPT cổ điển được trình bày trong Hình 8 là hệ thống PV được sử dụng trong bài báo này. Hệ thống này gồm 4 khối chính, bao gồm một dàn 3 tấm pin mặt trời được mắc nối tiếp nhau (solar array) có công suất định mức 300W được kết nối với một bộ giảm áp (buck converter). Đầu ra của bộ giảm áp được nối vào một tải ắc quy có điện áp 12V. Bộ điều khiển (controller) đọc tín

hiệu dòng điện và điện áp của dàn pin (v_{pv} , i_{pv}), và điều khiển điện áp đầu vào của bộ giảm áp thông qua điều chế độ rộng xung (duty cycle - d).

3.2. Bộ giảm áp

Bộ giảm áp (buck converter) là một trong những bộ chuyển đổi DC-DC có thể giảm điện áp và tăng dòng điện từ nguồn cung cấp đầu vào đến tải đầu ra của nó. Sơ đồ mạch của bộ giảm áp được thể hiện trong Hình 9. Duty cycle của công tắc IGBT được xác định bởi thời gian T_{ON} trong một chu kỳ T (với f_S là tần số đóng ngắt của IGBT):

$$d = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T} = T_{ON} f_S \quad (2)$$

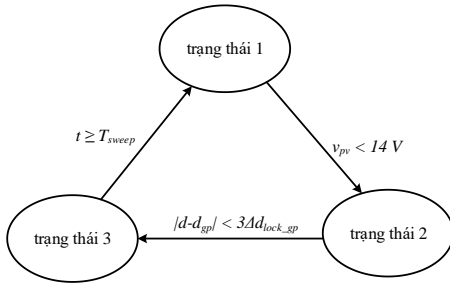
Với việc sử dụng ắc quy 12 V làm tải, điện áp tại đầu ra của bộ giảm áp được giữ cố định xấp xỉ bằng 12 V. Từ đó, điện áp đầu vào của bộ giảm áp có thể được điều khiển bằng cách thay đổi duty cycle ($0 \leq d \leq 1$):

$$V_{in} = \frac{1}{d} V_{load} \quad (3)$$

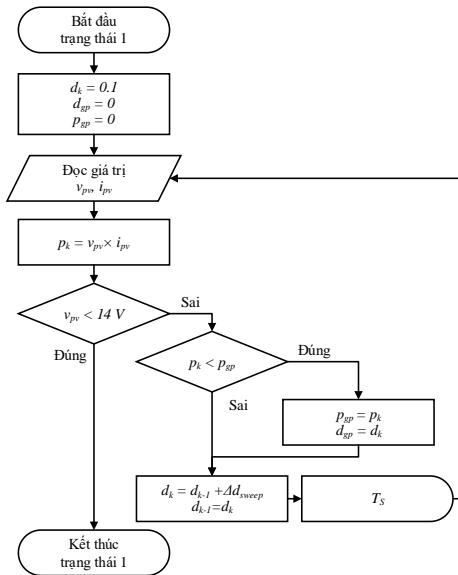
3.3. Phương pháp nhiễu loạn và quan sát (P&O)

Phương pháp nhiễu loạn và quan sát là một trong những phương pháp leo đồi (hill climbing) được sử dụng nhiều nhất trong các hệ thống PV hiện nay. Sau khi được số hóa, cùng với sự cải tiến về các cảm biến, phương pháp này trở nên nhanh và ổn định hơn khi dò tìm và bám vào điểm công suất cực đại (Zegaoui et al., 2011). Như tên gọi của nó, phương pháp P&O dựa trên sự nhiễu loạn của hệ thống bằng cách tăng hoặc giảm duty cycle của bộ chuyển đổi điện áp DC-DC và theo dõi sự ảnh hưởng đến công suất đầu ra để có thể điều chỉnh lại duty cycle ở vòng làm việc tiếp theo. Lưu đồ của phương pháp nhiễu loạn và quan sát được mô tả trong Hình 10.

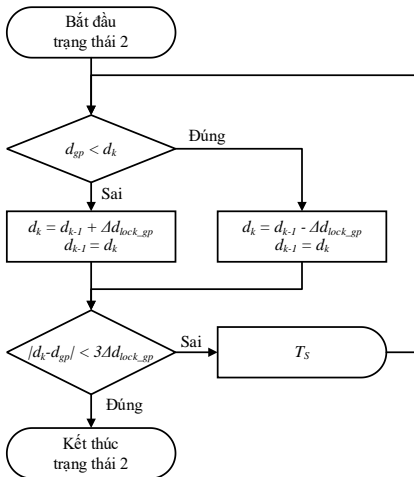
Có thể thấy được từ thuật toán P&O và các đường cong P-V của tấm pin mặt trời rằng khi hệ thống đang vận hành tại một điểm nào đó thì nó sẽ tìm đến điểm công suất cực đại của vùng đó và sẽ bám vào điểm đó để làm việc. Với giải thuật P&O cổ điển thì không có cách nào để dò tìm một điểm cực đại khác, dù cho điểm cực đại đó có phải là điểm công suất cực đại toàn hệ thống hay không. Khi đó hệ thống sẽ mất đi phần năng lượng có thể tạo ra. Ví dụ ở Hình 5, nếu hệ thống vận hành tại điểm P_1 (89,7 W) thay vì vận hành tại điểm P_2 sẽ cho ra công suất lớn nhất (127 W). Điều này khiến cho hệ thống vận hành chỉ đạt 70.6% so với điểm vận hành tốt nhất.



Hình 11. Sơ đồ trạng thái của giải thuật đề xuất



Hình 12. Lưu đồ trạng thái 1 của giải thuật đề xuất



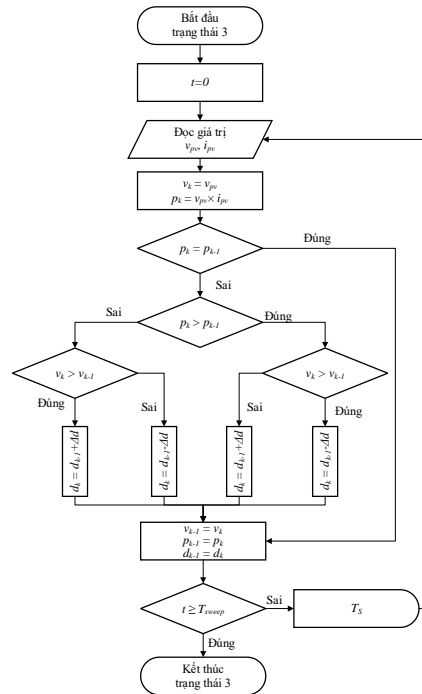
Hình 13. Lưu đồ trạng thái 2 của giải thuật đề xuất

Bảng 1. Điện áp MPP của tấm pin với nhiệt độ

t ($^{\circ}C$)	P_{mpp} (W)	V_{mpp} (V)
25	100	18
35	96,1	17,4
45	92,1	16,6
55	88	15,9
65	83,9	15,1

4. GIẢI THUẬT ĐỀ XUẤT

Bài báo đề xuất một giải thuật được cải tiến từ giải thuật P&O cổ điển để dò tìm điểm công suất cực đại toàn vùng làm việc của dàn pin mặt trời. Giải thuật đề xuất bao gồm 3 trạng thái như được mô tả trong Hình 11. Ở trạng thái 1, bộ giảm áp được điều khiển để quét nhanh qua vùng làm việc của dàn pin mặt trời để xác định được vùng điện áp của dàn pin mà ở đó công suất cực đại của dàn pin xuất hiện. Ở trạng thái 2, giải thuật sẽ điều khiển bộ giảm áp tiến về vùng điện áp hoạt động của dàn pin mặt trời mà tại đó công suất cực đại toàn hệ thống đã được xác định ở trạng thái 1. Khi đến gần điểm công suất cực đại, giải thuật chuyển sang trạng thái 3 là ứng dụng giải thuật P&O cổ điển để dò tìm điểm cực đại trong khu vực đã được xác định là có công suất cực đại toàn hệ thống. Điện áp tại các điểm công suất cực đại cách nhau ít nhất là khoảng điện áp của mỗi tấm pin mặt trời nên điểm công suất cực đại xác định được trong trạng thái 3 là điểm cực đại hệ thống.



Hình 14. Lưu đồ trạng thái 3 của giải thuật đề xuất

Khác với ảnh hưởng của cường độ bức xạ là ít ảnh hưởng đến điện áp của tấm pin, nhiệt độ môi trường ảnh hưởng nhiều đến điện áp của tấm pin quang điện. Điện áp tại công suất cực đại (V_{mpp}) của một tấm pin tại các nhiệt độ t ($^{\circ}C$) khác nhau đã được khảo sát ở Bảng 1. Trong điều kiện làm việc thực tế, với một tấm pin quang điện có điện áp V_{mpp} tại $25^{\circ}C$ là $18 V$ thì điện áp tại $65^{\circ}C$ là khoảng $15,1 V$, nên điểm công suất cực đại rất khó có khả năng xuất hiện ở mức điện áp dưới $14 V$.

Trạng thái 1, giải thuật dò tìm điểm công suất cực đại trên toàn vùng hoạt động của dàn pin mặt trời được mô tả trên Hình 12, bộ điều khiển thay đổi duty cycle của bộ giảm áp, điều này khiến điện áp đầu vào của bộ giảm áp cũng thay đổi theo. Sau mỗi lần thay đổi duty cycle và đến thời điểm lấy mẫu tiếp theo (sau khoản thời gian T_S) bộ điều khiển đọc, so sánh và lưu lại các giá trị d tương ứng với công suất lớn nhất so với các lần đọc trước đó. Do điện áp tại điểm công suất cực đại của mỗi tấm pin mặt trời tại nhiệt độ $65^{\circ}C$ là $15,1 V$, nên giải thuật không tìm kiếm điểm công suất cực đại toàn hệ thống ở điện áp dưới $14 V$. Khi kết thúc giai đoạn 1, giá trị duty cycle (d_{gp}) tương ứng với điện áp tại công suất cực đại toàn hệ thống và công suất cực đại toàn hệ thống (p_{gp}) được xác định và lưu lại. Giải thuật chuyển sang trạng thái 2.

Ở trạng thái 2, giải thuật điều khiển bộ giảm áp để di chuyển điểm hoạt động của hệ thống pin mặt trời về vùng điện áp của dàn pin mặt trời có điểm công suất cực đại hệ thống đã được lưu ở trạng thái 1. Lưu đồ hoạt động của trạng thái 2 được mô tả ở Hình 13, bộ điều khiển thay đổi duty cycle d tiến về giá trị duty cycle tương ứng với điện áp dàn pin mặt trời tại điểm công suất cực đại d_{gp} . Sau mỗi thời gian lấy mẫu và điều khiển T_S để tránh hệ thống thay đổi điểm làm việc quá đột ngột, giải thuật điều khiển duty cycle của bộ giảm áp tiến gần về giá trị ghi nhận ở trạng thái 1 với bước nhảy Δd_{lock_gp} . Khi giá trị duty cycle tiến gần đến giá trị duty cycle mong

muốn d_{gp} , giải thuật kết thúc trạng thái 2 và chuyển sang trạng thái 3.

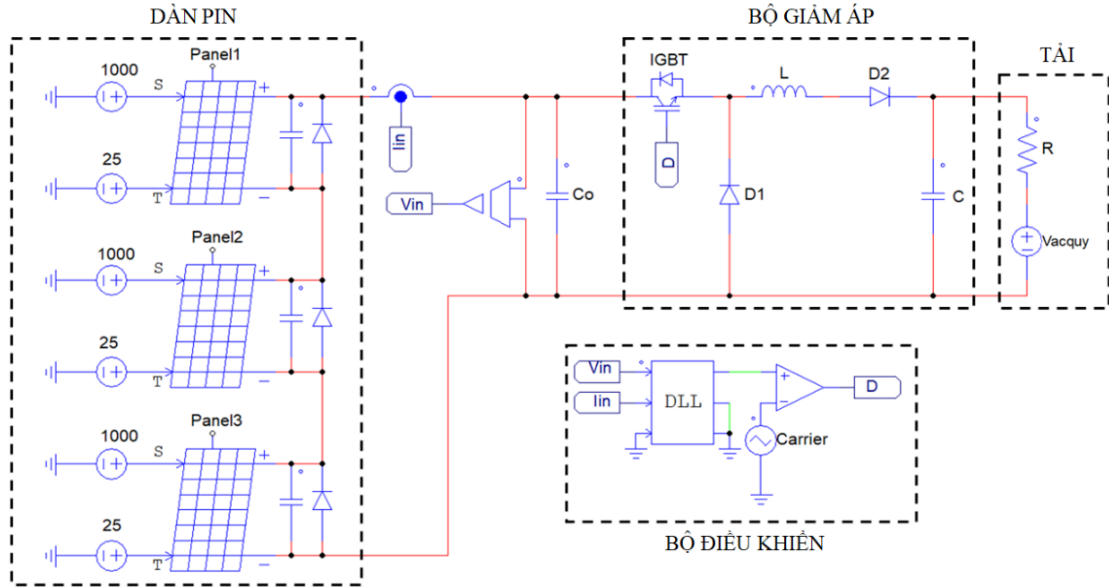
Trạng thái 3 của giải thuật đề xuất được mô tả ở Hình 14, bộ điều khiển sử dụng thuật toán P&O cổ điển để bám vào điểm công suất cực đại đã được xác định là công suất cực toàn hệ thống ở trạng thái 1. Sau một thời gian quét (T_{sweep}) được định sẵn, hệ thống điều khiển chuyển về giai đoạn 1 để bắt đầu tìm kiếm điểm công suất cực đại mới của hệ thống do điều kiện đầu vào của hệ thống pin mặt trời có thể thay đổi.

Bảng 2. Thông số của hệ thống PV

Thông số một tấm pin		
Công suất cực đại	P_{max}	100 W
Điện áp tại công suất cực đại	V_{mp}	18 V
Dòng điện tại công suất cực đại	I_{mp}	5,56 A
Điện áp hở mạch	V_{oc}	21,75 V
Dòng điện hở mạch	I_{sc}	5,89 A
Thông số bộ giảm áp		
Tụ điện ổn áp đầu vào	C_o	100 μF
Cuộn dây	L	125 μH
Tụ điện	C	50 μF
Thông số tải		
Điện trở trong của ắc quy	R	10 m Ω
Điện áp định mức ắc quy	V	12 V

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG KIỂM CHỨNG THUẬT TOÁN

Sử dụng phần mềm PSIM để xây dựng mô hình hệ thống PV để kiểm chứng thuật toán đề xuất. Sơ đồ mạch mô phỏng được thể hiện trong Hình 15, gồm 4 khối chính như đã mô tả trong Hình 8. Thuật toán đề xuất được lập trình bằng ngôn ngữ C và được biên dịch thành file dll (thư viện liên kết tự động) để điều khiển duty cycle của bộ giảm áp. Với việc thiết kế giải thuật và mô hình mô phỏng như Hình 15, vi điều khiển thời gian thực có thể được ứng dụng để thực thi giải thuật trong điều kiện thực tế. Các thông số của hệ thống được liệt kê trong Bảng 2.



Hình 15. Sơ đồ mô phỏng hệ thống PV

Đặt thời gian quét $T_{sweep} = 0,5$ giây và cho hệ thống hoạt động trong thời gian 2 giây. Trong các trường hợp mô phỏng trong nghiên cứu này, giá trị $T_{sweep} = 0,5$ giây để dễ dàng quan sát sự thay đổi của giải thuật điều khiển. Trong điều kiện vận hành thực tế, giá trị T_{sweep} có thể đặt lớn hơn (khoảng vài phút) nhằm giảm thiểu tổng thời gian hệ thống đi dò tìm điểm cực đại và nâng cao hiệu suất của hệ thống pin mặt trời. Khi bắt đầu mô phỏng, cường độ bức xạ mặt trời tác dụng lên cả 3 tấm pin là như nhau $S = 1000 W/m^2$. Cường độ bức xạ được thay đổi theo 2 trường hợp sau:

Trường hợp 1: Tại hai khoảng thời gian $t = 0,5$ đến 1 giây và $t = 1,3$ đến 2 giây, cường độ bức xạ lên một tấm pin giảm xuống còn $500 W/m^2$; trong các khoảng thời gian đó, dàn pin có đường đặc tính P-V như Hình 4.

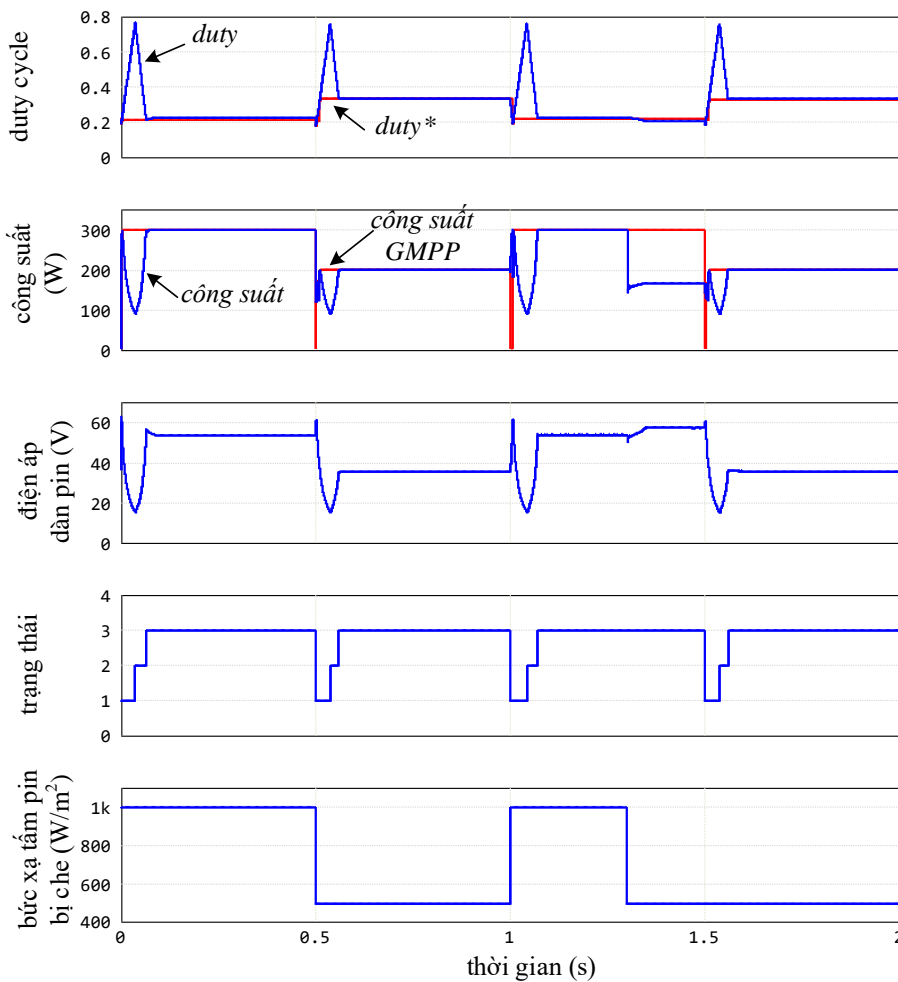
Trường hợp 2: Khi thời gian mô phỏng $t = 0,5$ giây, cường độ bức xạ lên các tấm pin thay đổi như sau: $S_1 = 300 W/m^2$, $S_2 = 900 W/m^2$, $S_3 = 600 W/m^2$. Trong khoảng thời gian $t > 0,5$ giây, dàn pin có đường đặc tính P-V như Hình 5.

5.1. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 1

Kết quả mô phỏng cho trường hợp 1 được thể hiện trong Hình 16. Kết quả cho thấy thuật toán quét và tìm ra điểm công suất cực đại trong thời gian ngắn (khoảng 0,05 giây), từ giai đoạn 1 đến giai đoạn 3. Ở vòng làm việc đầu tiên, thuật toán nhanh chóng dò tìm và ghi lại các giá trị duty cycle d_{gp} ứng với

điểm công suất cực đại toàn hệ thống và công suất cực đại toàn hệ thống p_{gp} . Sau khi dò hết toàn bộ vùng làm việc như đã được mô tả trong trạng thái 1 của giải thuật, giải thuật chuyển qua giai đoạn 2 và điều khiển điểm làm việc của hệ thống pin mặt trời và di chuyển tới điểm công suất cực đại toàn hệ thống, tương ứng với giá trị d_{gp} và p_{gp} đã được xác định ở trạng thái 1. Sau đó hệ thống chuyển sang trạng thái 3 là áp dụng giải thuật P&O để hệ thống hoạt động tại điểm công suất cực đại đã được xác định tại trạng thái 1. Lúc này công suất của hệ pin mặt trời trích xuất được là $P = 300 W$ tại điện áp $U_{pv} = 54,1 V$, tương ứng với công suất cực đại của cả 3 tấm pin mặt trời trong điều kiện chiếu sáng đầy đủ.

Tại thời điểm $t = 0,5$ giây, cường độ bức xạ của một tấm pin giảm xuống còn $500 W/m^2$ (trường hợp bóng mây che khuất một tấm pin mặt trời), đồng thời thuật toán quay lại giai đoạn 1 để bắt đầu vòng làm việc mới. Khi bắt đầu giai đoạn 1, các giá trị d_{gp} và p_{gp} được đặt lại bằng 0 khi và giải thuật dò tìm điểm công suất cực đại mới của hệ thống trong điều kiện vận hành mới. Cũng sau khoảng thời gian khoảng 0,05 giây thì hệ thống tìm được điểm có công suất cực đại mới và vận hành tại điểm công suất cực đại mới này. Trong điều kiện vận hành mới, giải thuật điều khiển bộ giảm áp thu nhận được công suất $P = 200 W$ tại điện áp $U_{pv} = 36,0 V$. Điểm hoạt động này tương ứng với điểm công suất cực đại hệ thống P_1 được mô tả trong Hình 4.



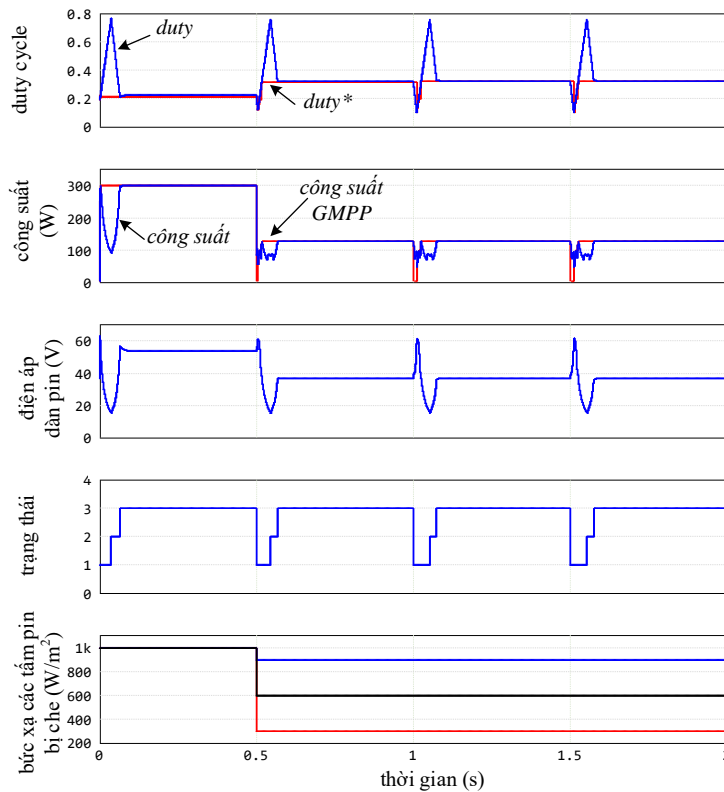
Hình 16. Kết quả mô phỏng trường hợp 1

Quá trình được lặp lại ở các thời điểm $t = 1,0$ giây và $t = 1,5$ giây. Ở cả hai trường hợp này, giải thuật đều tìm ra điểm công suất cực đại của hệ thống và vận hành tại điểm công suất cực đại hệ thống này.

Tại thời điểm $t = 1,3$ giây, bức xạ mặt trời chiếu vào một tấm pin giảm xuống còn 500 W/m^2 làm cho công suất hệ thống pin mặt trời thay đổi. Giải thuật MPPT P&O cổ điển ở trạng thái 3 không biết đây là điểm công suất cực đại địa phương nên vẫn vận hành tại điểm này, tương ứng với điểm $P_2 = 167 \text{ W}$ như trong Hình 4. Đến thời điểm $t = 1,5$ giây, giải thuật dò tìm và tìm ra điểm công suất cực đại hệ thống và đưa hệ thống đến vận hành tại điểm công suất cực đại hệ thống $P_1 = 200 \text{ W}$.

5.2. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 2

Kết quả mô phỏng cho trường hợp 2 được thể hiện trong Hình 17. Với sự xuất hiện của cả 3 điểm cực đại địa phương như Hình 5, thuật toán vẫn có thể tìm được điểm công suất lớn nhất với thời gian làm việc tương đương với trường hợp 1. Tại thời điểm $t = 0,5$ giây, cường độ bức xạ của các tấm pin thay đổi, đồng thời thuật toán bắt đầu một vòng làm việc mới. Giải thuật thuật dò tìm điểm công suất cực đại mới và đưa hệ thống về điểm vận hành mới trong vòng khoảng 0,05 giây. Giải thuật điều khiển hệ pin mặt trời phát công suất cực đại ở giá trị $P = 127 \text{ W}$ tại điện áp $U = 37,1 \text{ V}$. Đây chính là điểm công suất cực đại hệ thống P_2 ở Hình 5.



Hình 17. Kết quả mô phỏng trường hợp 2

Tại thời điểm $t = 1$ giây và $t = 1,5$ giây, thuật toán quay lại giai đoạn 1 và bắt đầu vòng làm việc mới. Ở hai vòng làm việc này, giải thuật đều tìm ra điểm công suất cực đại và làm việc ổn định mặc dù điều kiện vận hành của hệ thống không thay đổi. Đây là điểm hạn chế của giải thuật cần được nghiên cứu và khắc phục.

Giải thuật đề xuất không cần quá nhiều tính toán trong quá trình tìm và xác định điểm công suất cực đại. Đồng thời giải thuật đề xuất cũng không cần một lượng dữ liệu lớn để học hay luyện tập để cho ra kết quả tốt như các giải thuật có mục đích tương tự nhưng sử dụng điều khiển mờ, di truyền, trí tuệ nhân tạo, hay thuật toán tối ưu hóa bầy đàn. Vì vậy, giải thuật đề xuất rất có khả năng được ứng dụng vào các vi điều khiển thời gian thực giá thành thấp để nâng cao được hiệu suất hoạt động hệ thống pin năng lượng mặt trời với chi phí hợp lý.

6. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

6.1. Kết luận

Bài báo đã đề xuất, phân tích và mô phỏng thành công một thuật toán dò tìm điểm công suất cực đại

của hệ thống PV bằng cách kết hợp một giải thuật dò tìm trên toàn vùng làm việc của dàn pin và phương pháp P&O truyền thống. Trong hai trường hợp mô phỏng khi đường đặc tính P-V của hệ thống xuất hiện 2 và 3 điểm cực đại địa phương, giải thuật đã tìm và bám vào điểm cực đại hệ thống trong thời gian thấp, ổn định và ít dao động. Thuật toán vẫn còn hạn chế đó là thuật toán bắt đầu vòng làm việc mới sau một khoảng thời gian đặt trước. Điều này khiến thuật toán không thích ứng được với môi trường làm việc thực tế như trường hợp cường độ bức xạ thay đổi giữa 2 lần quét (Hình 16), hoặc trường hợp cường độ bức xạ không đổi trong thời gian dài (Hình 17). Tuy nhiên giải thuật đề xuất phù hợp với khả năng tính toán và bộ nhớ của vi điều khiển thời gian thực nên rất phù hợp cho việc ứng dụng vào các ứng dụng thực tế so với các giải thuật phức tạp như giải thuật di truyền, tối ưu hóa bầy đàn hay trí tuệ nhân tạo.

6.2. Đề xuất hướng nghiên cứu

Bài báo này là cơ sở để phát triển các giải thuật dò tìm điểm công suất cực đại cho các hệ thống năng lượng mặt trời hiện nay. Việc thay đổi khoảng thời gian giữa hai vòng làm việc có thể phần nào cải thiện

hiệu suất của hệ thống. Trong tương lai, hướng mở rộng của giải thuật này là xây dựng một giải thuật có thể theo dõi và phát hiện thời điểm tấm pin bị che khuất để loại bỏ khuyết điểm hiện tại. Việc xây dựng mô hình và kiểm chứng các giải thuật này trên phần

cứng với vi điều khiển thời gian thực cũng là một yêu cầu cần thiết

LỜI CẢM ƠN

Đề tài này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: THS2022-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abu-Rub, H., Malinowski, M., & Al-Haddad, K. (2014). *Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications* (1st ed). John Wiley & Sons.
- Anh, T. V., Hiền, B. V., & Long, D. T. (2021). Bám điểm phát công suất cực đại toàn cục của hệ thống pin quang điện sử dụng giải thuật di truyền. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 52A, 38-46.
- Badoud, A. E., Ayat, Y., & Mekhilef S. (2021). Development and experimental validation of novel robust MPPT controller based on bond graph and fuzzy logic for PV system under variable weather conditions. *Int Trans Electr Energy Syst*. E13091. doi 10.1002/2050-7038.19091.
- Bastidas-Rodriguez, J. D., Franco, E., Petrone, G., Ramos-Paja, C. A., & Spagnuolo, G. (2014). Maximum power point tracking architectures for photovoltaic systems in mismatching conditions: a review. *IET Power Electronics*, 7(6), 1396-1413.
- Belhachat F. & Larbes C. (2018), A review of global maximum power point tracking techniques of photovoltaic system under partial shading conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 513-553.
- Esrām, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Trans. Energy Conversion*, 22(2), 439-449.
- Häberlin, H. (2012). *Photovoltaics: system design and practice* (1st ed). John Wiley & Sons.
- Kishor, N., Villalva, M. G., Mohanty, S. R., & Ruppert, E. (2010). Modeling of PV module with consideration of environmental factors. *Paper presented at the 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*.
- Kouro, S., Wu, B., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Photovoltaic energy conversion systems. *Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications* (1st ed). John Wiley & Sons.
- Subudhi, B., & Pradhan, R. (2013). A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic power systems. *IEEE Trans. Sustainable Energy*, 4(1), 89-98.
- Ngu, N. V. (2020). Nghiên cứu giải pháp nâng cao hiệu quả bám điểm công suất cực đại dàn pin điện mặt trời dưới điều kiện có bóng che. *Utehy Journal of Science and Technology*, 26, 39-44.
- Tâm, H. P. T., Nghe, N. T., Ngôn, N. C., & Hùng, T. T. (2021). Triển khai giải thuật dò điểm công suất cực đại cho hệ thống dùng năng lượng mặt trời trong nuôi trồng thủy sản. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 57(CĐ Thủy Sản), 202-213.
<https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2021.079>
- Thắng, T. (2021). *Những điểm nhấn trong Quy hoạch điện VIII*. Báo Điện tử Chính phủ. <https://baochinhphu.vn/nhung-diem-nhan-trong-quy-hoach-dien-viii-102302880.htm>
- Y, D. N., Chuong, T. T., & Minh, N. D. (2020). Phát triển thuật toán xác định điểm tối ưu toàn cục của pin mặt trời trong điều kiện chiếu sáng không đồng nhất trên bề mặt. *Tạp chí Khoa học Công nghệ*, 56(6), 18-25.
- Zegaoui, A., Aillerie, M., Petit, P., Sawicki, J., Jaafar, A., Salame, C., & Charles, J. (2011). Comparison of two common maximum power point trackers by simulating of PV generators. *Energy Procedia*, 6, 678-687.