



## PHƯƠNG PHÁP BẮM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI P&O CẢI TIẾN CHO HỆ THỐNG QUANG ĐIỆN TRONG ĐIỀU KIỆN CHIẾU SÁNG THAY ĐỔI NHANH

Võ Thị Hương, Nguyễn Ngọc Quang, Chu Thị Thanh Thơ,  
Phạm Ngọc Thắng, Đỗ Thành Hiếu  
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 28/06/2018

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 20/07/2018

Ngày bài báo được duyệt đăng: 10/08/2018

### Tóm tắt:

*Trong bài báo này, phương pháp bám điểm công suất cực đại nhiễu loạn và quan sát (Perturb and Observe - P&O) cải tiến được đề xuất để trích xuất công suất cực đại từ dàn pin quang điện (photovoltaic - PV) trong điều kiện chiếu sáng thay đổi nhanh. Phương pháp đề xuất bao gồm hai thuật toán, cụ thể là thuật toán điều khiển thích nghi và thuật toán P&O truyền thống. Thuật toán điều khiển thích nghi xác định phạm vi giới hạn hoạt động và đặt một điểm vận hành mới gần với điểm công suất cực đại (Maximum Power Point - MPP). Giới hạn hoạt động này được thể hiện dưới dạng phạm vi hoạt động hiện tại của dàn PV và những thay đổi đột ngột trong bức xạ. Trong khi đó, thuật toán P&O truyền thống luôn cố gắng vận hành dàn PV ở MPP. Bộ biến đổi Boost được sử dụng để thực hiện thuật toán đề xuất. Hiệu suất và hiệu quả của hệ thống đề xuất được kiểm tra bằng phần mềm MATLAB/Simulink. Kết quả thu được cho thấy phương pháp P&O cải tiến có đáp ứng nhanh và ổn định tốt hơn so với phương pháp P&O truyền thống trong điều kiện chiếu sáng thay đổi nhanh.*

**Từ khóa:** Hệ thống năng lượng mặt trời, bám sát điểm công suất cực đại (MPPT), phương pháp nhiễu loạn và quan sát (P&O), bộ biến đổi tăng áp.

### 1. Đặt vấn đề

Các nguồn năng lượng tái tạo dự kiến sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc đáp ứng nhu cầu năng lượng của toàn thế giới do tính sẵn có, dồi dào và ít gây ảnh hưởng tới môi trường. Năng lượng mặt trời (NLMT) hiện đang được coi là một trong những nguồn năng lượng tái tạo hữu ích nhất do sự phong phú của nó, thiết bị dễ cài đặt và gần như bảo trì miễn phí.

Trở ngại chính trong vấn đề sử dụng nguồn NLMT là chi phí vốn ban đầu cao của các mô đun quang điện (photovoltaic - PV). Điểm bất lợi của sản xuất NLMT là việc tạo ra năng lượng điện không liên tục trong ngày, vì nó thay đổi theo điều kiện thời tiết. Hơn nữa, hiệu quả của việc chuyển đổi NLMT thành năng lượng điện rất thấp. Điều này có nghĩa là cần có một lượng điện tích bề mặt khá lớn để tạo ra công suất cao. Do đó, các thuật toán bám điểm công suất cực đại (Maximum power point tracking- MPPT) để đảm bảo rằng các bộ chuyển đổi năng lượng hoạt động ở điểm công suất cực đại (Maximum power point - MPP) của tấm PV.

Mục tiêu chính của thuật toán bám điểm công suất cực đại là đạt được đáp ứng nhanh, bám chính xác và giảm thiểu dao động do điều kiện thời tiết thay đổi. Một nghiên cứu so sánh về kỹ thuật bám điểm công suất cực đại đã được báo cáo trong [1]. Trong số các thuật toán MPPT khác nhau, các báo cáo tập trung nhiều vào sự nhiễu loạn và quan sát (Perturb and Observe - P&O) [2], [3], leo đồi [4], và các phương pháp độ dẫn gia tăng (Incremental conductance - INC) [5]. Trong [2], một nghiên cứu

và đánh giá về kỹ thuật P&O đã được trình bày. Nó đã chứng minh rằng các kỹ thuật hiện tại có bị dao động, thuật toán phức tạp, phụ thuộc vào thiết kế và tăng lượng tính toán. Trong kỹ thuật P&O, điểm làm việc dao động xung quanh MPP làm gia tăng lãng phí một lượng công suất. Dao động này có thể được giảm thiểu bằng cách giảm thiểu kích thước nhiễu loạn, nhưng nó lại mất nhiều thời gian hơn để đạt tới MPP. Giải pháp cho tình huống này là có kích thước bước thay đổi như được đề xuất trong [6]. Mặc dù thuật toán thực hiện của các phương pháp này rất đơn giản, nhưng nó chưa cho kết quả đáp ứng nhanh và chính xác, thêm nữa ảnh hưởng của nhiệt độ và chiếu xạ không được xem xét tới. Một số phương pháp đã được đề xuất giải quyết những vấn đề này bởi xem xét nhiễu loạn thích ứng [7], [8].

Phương pháp INC được đưa ra trong [4] và [5], dựa trên thực tế là độ dốc của đường cong đặc tính P-V của tấm PV bằng 0, âm ở bên phải và dương ở bên trái của MPP. Cũng giống như phương pháp P&O, sự cân bằng giữa tốc độ đáp ứng và dao động quang MPP là tồn tại. Trong [4], tác giả kết luận rằng phương pháp INC dễ bị thất bại trong trường hợp có sự thay đổi lớn trong cường độ ánh sáng.

Để khắc phục những hạn chế đề cập ở trên, một số phương pháp đã được đề xuất sử dụng thuật toán dựa trên điều khiển thông minh như mạng nơron [9] và logic mờ [10]. Nhưng các phương pháp này cũng có những hạn chế như yêu cầu lưu trữ dữ liệu lớn và tính toán phức tạp. Hơn nữa, bộ xử lý phần cứng chi phí thấp không thể sử dụng cho các ứng dụng này vì MPP luôn tục thay đổi do nhiệt

độ bề mặt và cường độ ánh sáng chiếu vào tấm PV thay đổi theo thời gian thực.

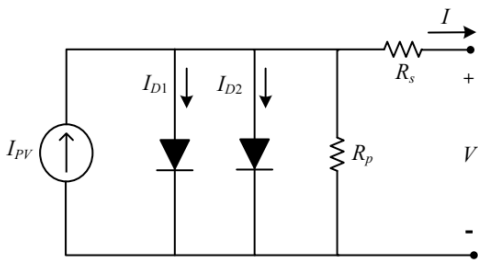
Trong bài báo này, thuật toán P&O thích nghi với kích thước nhiễu loạn thay đổi được đề xuất để khắc phục những hạn chế trong phương pháp P&O thông thường. Thuật toán điều khiển P&O thích ứng di chuyển điểm làm việc tới gần hơn MPP bằng cách tăng hoặc giảm mạnh kích thước nhiễu loạn. Thuật toán này chỉ được kích hoạt nếu có sự thay đổi đột ngột về cường độ chiếu sáng hoặc thay đổi đột ngột của dòng điện PV. Trong phương pháp được đề xuất, dòng điện ngắn mạch được ước tính thay vì đo, do đó giảm tổn thất và tiết kiệm chi phí. Thêm nữa, thuật toán đề xuất tính toán điều chỉnh kích thước nhiễu loạn thay đổi trong hai giai đoạn, cụ thể là điều chỉnh thô và tinh. Trong giai đoạn điều chỉnh thô, kích thước nhiễu loạn được xác định dựa trên mức độ thay đổi của cường độ ánh sáng. Trong tinh chỉnh, kích thước nhiễu loạn được xác định dựa trên dao động điểm làm việc xung quanh MPP.

Cấu trúc bài báo được trình bày như sau: Trong phần 2, chúng tôi giới thiệu mô hình toán học và thông qua mô phỏng để khảo sát đặc tuyến P-V và I-V của tấm PV lựa chọn; đồng thời trình bày nội dung của phương pháp MPPT P&O cải tiến. Phần 3 sẽ trình bày về đặc điểm của bộ biến đổi tăng áp (Boost) và cách tính chọn các thông số cho bộ Boost. Kết quả mô phỏng và so sánh với phương pháp P&O truyền thống sẽ được đưa ra ở phần 4. Phần cuối là những kết luận của bài báo.

**2. Giải thuật MPPT đề xuất**

**2.1. Mô hình hóa mô đun PV**

Mục đích chính của việc mô hình hóa mô đun PV là nhằm mô phỏng các đặc tuyến P-V, I-V ứng với nhiệt độ môi trường và cường độ ánh sáng khác nhau, để từ đó có thể kết hợp với các bộ biến đổi công suất phía sau thành mô hình hệ thống NLMT. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng mô hình hai điốt như đã giới thiệu trong [11]. Đây là mô hình cho đáp ứng nhanh và sát với đặc tuyến của mô đun PV thực tế, đặc biệt là dưới cường độ ánh sáng thấp. Sơ đồ mạch điện hai điốt tương đương được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ mạch điện hai điốt tương đương của mô đun PV

Dòng điện đầu ra của mô đun PV có thể viết được như sau:

$$I = I_{PV} - I_{D1} - I_{D2} - \frac{V + IR_s}{R_p} \tag{1}$$

$$I_{D1} = I_{d1} \left( e^{\frac{V + IR_s}{a_1 V_{T1}}} - 1 \right) \tag{2}$$

$$I_{D2} = I_{d2} \left( e^{\frac{V + IR_s}{a_2 V_{T2}}} - 1 \right) \tag{3}$$

$$I_{PV} = \left[ I_{PV\_STC} + K_I (T - T_{STC}) \right] \frac{S}{S_{STC}} \tag{4}$$

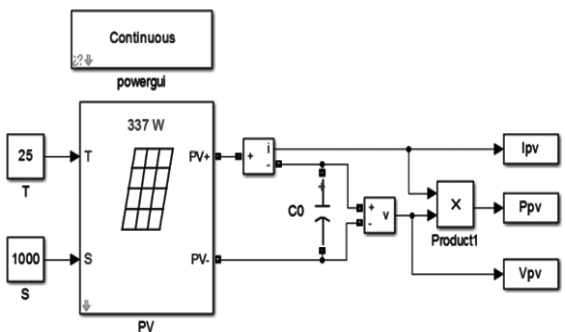
Trong đó:  $R_s$  và  $R_p$  là điện trở nối tiếp và song song;  $V_{T1}$  và  $V_{T2}$  là giá trị điện áp ngưỡng và  $a_1, a_2$  là hệ số lý tưởng cho điốt 1 và 2 tương ứng;  $S$  và  $T$  là cường độ ánh sáng và nhiệt độ môi trường. Chú ý  $I_{PV\_STC}$  và các biến khác có cùng chỉ số là là được đo trong điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn ( $S = 1000 \text{ W/m}^2, T = 25^\circ\text{C}$ ).  $K_I$  là hệ số nhiệt độ của dòng điện, thường được cung cấp bởi nhà sản xuất. Dòng điện bão hòa của các điốt được đưa ra bởi:

$$I_{d1} = I_{d2} = \frac{I_{sc} + K_I (T - T_{STC})}{\exp \left[ \frac{V_{oc} + K_V (T - T_{STC})}{V_T} \right]} - 1 \tag{5}$$

Trong đó,  $I_{sc}$  và  $V_{oc}$  lần lượt là dòng điện ngắn mạch và điện áp hở mạch của mô đun PV ở điều kiện tiêu chuẩn. Các thông số kỹ thuật của mô đun PV được sử dụng trong bài báo được đưa ra trong Bảng 1.

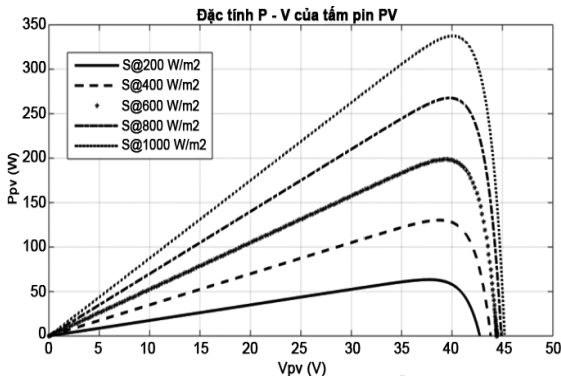
Bảng 1. Thông số kỹ thuật của mô đun PV ở điều kiện tiêu chuẩn

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Dòng điện ngắn mạch	$I_{sc}$	8,75 A
Điện áp hở mạch	$V_{oc}$	45.22 V
Dòng điện cực đại	$I_{mpp}$	8.32 A
Điện áp cực đại	$V_{mpp}$	40.5 V
Công suất cực đại	$P_{mpp}$	337 W
Hệ số nhiệt độ của $V_{oc}$	$K_V$	- 0,08 V/ $^\circ\text{C}$
Hệ số nhiệt độ của $I_{sc}$	$K_I$	$3e^{-3} \text{ A}/^\circ\text{C}$
Số tế bào mắc nối tiếp	$n$	36

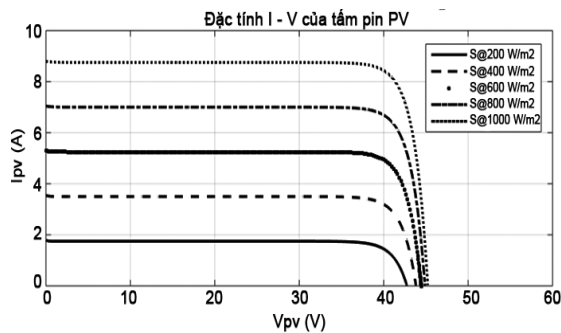


Hình 2. Mô hình mô phỏng đặc tuyến làm việc của mô đun PV

Từ các phương trình toán học (1), (2), (3) và (4), tác giả đã mô hình hóa mô đun PV trên MATLAB/Simulink như Hình 2 với các thông số kỹ thuật cho trong Bảng 1. Sau khi tiến hành mô phỏng đã thu được đặc tuyến làm việc P-V và I-V như thể hiện trong Hình 3 và 4.



Hình 3. Đặc tuyến P-V của mô đun PV khi  $T = 25^{\circ}C$  và  $S$  thay đổi



Hình 4. Đặc tuyến I-V của mô đun PV khi  $T = 25^{\circ}C$  và  $S$  thay đổi

Từ kết quả mô phỏng đặc tính làm việc của mô đun PV ta thấy:

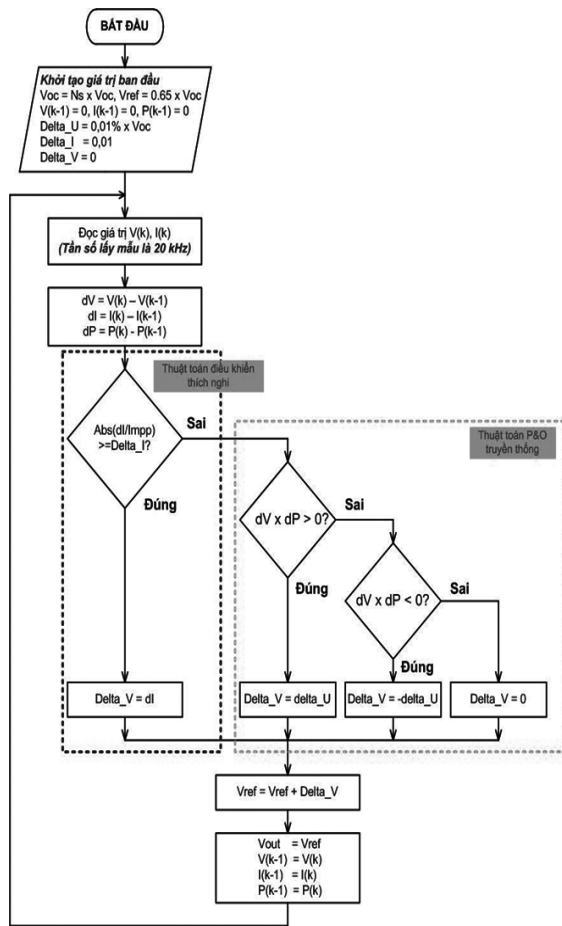
- Công suất đầu ra của mô đun PV thay đổi nhiều khi cường độ ánh sáng  $S$  thay đổi;
- Điện áp hở mạch của nó thay đổi ít khi  $S$  thay đổi; dòng điện ngắn mạch thay đổi tỉ lệ với sự thay đổi của  $S$ .

## 2.2. Thuật toán MPPT P&O cải tiến

### a. Lưu đồ thuật toán

Mục tiêu của thuật toán đề xuất là đảm bảo dao động ở trạng thái xác lập và thời gian đáp ứng khi có sự thay đổi đột ngột của cường độ ánh sáng  $S$  ở mức tối thiểu. Lưu đồ thuật toán của giải pháp đề xuất như trình bày trong Hình 5. Nội dung của thuật toán P&O cải tiến như sau: Như đã biết, giá trị dòng điện đầu ra của mô đun PV là  $I_{pv}$  phụ thuộc chủ yếu vào cường độ ánh sáng  $S$  còn nhiệt độ  $T$  thì ngược lại điện áp  $V_{pv}$  lại phụ thuộc chủ yếu

vào nhiệt độ. Dựa vào đặc điểm trên của mô đun PV, đầu tiên dòng điện tại đầu ra của mảng PV (gồm 3 mô đun PV mắc nối tiếp) sẽ được đọc về và từ đó tính toán lượng dòng điện thay đổi tương đối  $\Delta I/I_{MPP}$  và so sánh với một ngưỡng giá trị  $\Delta I$ . Khi cường độ chiếu sáng  $S$  không thay đổi lớn ( $> 10W/m^2/s$ ) tức là lượng  $\Delta I/I_{MPP}$  thay đổi trong khoảng  $[-\Delta I, \Delta I]$  thì thuật toán điều khiển bám là thuật toán P&O truyền thống với kích thước bước nhiễu loạn ban đầu khởi tạo (giá trị nhỏ) để dao động công suất xung quanh điểm MPP là ít nhất. Ngược lại, khi giá trị tuyệt đối của lượng  $\Delta I/I_{MPP}$  lớn hơn giá trị  $\Delta I$  thì kích thước bước nhiễu loạn sẽ thay đổi (giá trị kích thước bước nhiễu loạn tỉ lệ thuận với cường độ ánh sáng  $S$ ). Tuy nhiên, khi sự thay đổi trong  $S$  là chậm hoặc không thay đổi thì sẽ giảm kích thước nhiễu loạn ở mức tối thiểu ban đầu và bám điểm MPP với thuật toán P&O truyền thống. Như vậy, với thuật toán đề xuất thì điểm làm việc mới được xác định sao cho nó gần điểm MPP hơn và thuật toán thay đổi bước nhiễu loạn sẽ chỉ được kích hoạt nếu có sự thay đổi đột ngột trong  $I_{pv}$  hoặc cường độ ánh sáng  $S$ .



Hình 5. Lưu đồ thuật toán của phương pháp P&O cải tiến

**b. Xác định giá trị Delta\_I**

Mặc dù cần phải biết giá trị cường độ ánh sáng, tuy nhiên phương pháp đề xuất không đòi hỏi một phép đo trực tiếp sự thay đổi của S bằng các cảm biến đo cường độ ánh sáng. Thay vào đó, khi S bắt đầu thay đổi và MPPT lấy hai mẫu liên tiếp, giả định rằng nhiệt độ môi trường T sẽ vẫn gần nhau như cùng một giá trị.

Từ công thức (4), nếu T vẫn không đổi trong hai lần lấy mẫu liên tiếp thì hai giá trị dòng điện đầu ra của mô đun PV là  $I_{PV1}$  và  $I_{PV2}$  tương ứng có thể được viết như sau:

$$I_{PV1} = \left[ I_{PV\_STC} + K_I (T - T_{STC}) \right] \frac{S_1}{S_{STC}} \quad (6)$$

$$I_{PV2} = \left[ I_{PV\_STC} + K_I (T - T_{STC}) \right] \frac{S_2}{S_{STC}} \quad (7)$$

Lấy (7) chia (6), được kết quả như sau:

$$\frac{I_{PV2}}{I_{PV1}} = \frac{S_2}{S_1} \quad (8)$$

Biểu thức (8) có thể được viết lại tương đương như sau:

$$\frac{I_{PV2} - I_{PV1}}{I_{PV1}} = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \quad (9)$$

Hay:

$$\frac{\Delta I}{I_{PV1}} = \frac{\Delta S}{S_1} \quad (10)$$

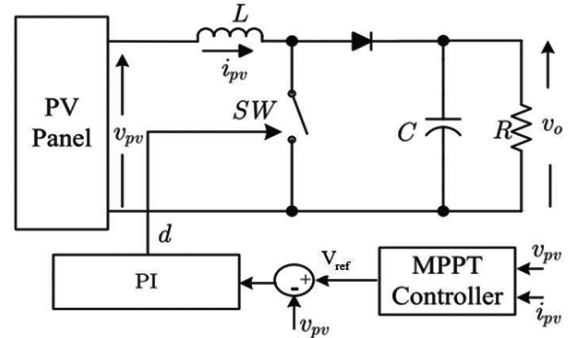
Từ (10), có thể suy luận rằng sự thay đổi chuẩn hóa về dòng điện tương đương với sự thay đổi chuẩn hóa S. Vì dòng điện luôn luôn được cập nhật giá trị, do đó thông tin này có thể được sử dụng để xác định sự thay đổi trong cường độ ánh sáng S. Ví dụ, với sự thay đổi của S với độ dốc 10 W/m<sup>2</sup>/s; do đó  $\Delta S = 10$  W/m<sup>2</sup>. Tại điều kiện tiêu chuẩn  $S_1 = 1000$  W/m<sup>2</sup> thì  $\Delta I/I_{MPP}$  (tương đương với  $\Delta S/S_1$ ) có giá trị bằng 0,01 giữa 2 lần lấy mẫu.

Như tài liệu [12] đã trình bày, vấn đề nổi bật của phương pháp P&O là đáp ứng chậm với sự tốc độ thay đổi nhanh của cường độ ánh sáng, tức là  $\Delta S/\Delta t \gg 10$  W/m<sup>2</sup>/s. Dưới giá trị này, cường độ ánh sáng tăng trong mỗi giây là chậm (nhỏ hơn 10 W/m<sup>2</sup>) để thay đổi vị trí của MPP thực tế. Với sự thay đổi chậm như vậy có thể sử dụng kích thước nhiễu tối thiểu. Tuy nhiên, nếu  $\Delta S/\Delta t \gg 10$  W/m<sup>2</sup>/s thì kích thước nhiễu phải được tăng lên để theo dõi điểm MPP, do đó biện minh cho  $\Delta S/S = 0,01$ . Theo đó, giá trị này được chọn làm ngưỡng cho  $\Delta I/I_{MPP}$  hay chọn giá trị Delta\_I bằng 0,01. Nếu thay đổi trong dòng điện chuẩn hóa bằng hoặc lớn hơn 0,01

thì kích thước nhiễu sẽ thay đổi; nếu không nó được giữ nguyên ở giá trị tối thiểu ban đầu.

**3. Bộ biến đổi Boost**

Một bộ biến đổi tăng áp được sử dụng để kiểm chứng tính hiệu quả của thuật toán đề xuất. Như chỉ ra trong Hình 6, mô đun PV được kết nối với bộ biến đổi Boost, trong đó phần tử đóng cắt là van IGBT, R là tải điện trở, L là cuộn cảm và C là tụ lọc đầu ra.



Hình 6. Sơ đồ mạch điện của hệ thống PV

Giả sử rằng bộ biến đổi Boost đang hoạt động ở chế độ dòng điện liên tục. Theo phương pháp trung bình không gian trạng thái [13], động lực học của hệ thống được mô tả bằng các phương trình sau:

$$\frac{di_{pv}}{dt} = -\frac{(1-d)}{L} v_o + \frac{v_{pv}}{L} \quad (11)$$

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{(1-d)}{C} i_{pv} - \frac{1}{RC} v_o \quad (12)$$

Trong đó  $i_{pv}$ ,  $v_{pv}$ , và  $v_o$  lần lượt là dòng điện đầu vào, điện áp đầu vào và điện áp đầu ra của bộ biến đổi boost, và  $d$  là tỷ số chu kỳ.

Trong nghiên cứu này, tác giả kiểm chứng hiệu quả của thuật toán đề xuất với dàn pin gồm 3 mô đun PV có thông số kỹ thuật trong Bảng 1 mắc nối tiếp, khi đó các thông số của dàn pin là:

$$\begin{aligned} V_{oc\_he} &= 3 \times V_{oc} = 3 \times 45,22 = 135,66 \text{ V} \\ I_{sc\_he} &= I_{sc} = 8,75 \text{ A} \\ V_{mpp\_he} &= 3 \times V_{mpp} = 3 \times 40,5 = 121,5 \text{ V} \\ I_{mpp\_he} &= I_{mpp} = 8,32 \text{ A} \\ P_{max\_he} &= 3 \times P_{max} = 1011 \text{ W} \end{aligned} \quad (13)$$

Giả sử các thông số đầu vào của bộ biến đổi Boost là  $v_{pv} = V_{mpp\_he}$ ,  $i_{pv} = I_{mpp\_he}$ , và  $p_{pv} = P_{max\_he}$ . Điện áp đầu ra ( $v_o$ ) của bộ biến đổi được xác định cho tải điện trở có giá trị 70 Ω, và coi như tổn hao

công suất của bộ biến đổi bằng 0, tức là  $P_o = p_{pv}$ . Do đó, điện áp đầu ra  $v_o$  và tỷ số chu kỳ  $d$  được xác định là:

$$v_o = \sqrt{P_o R} = 266,026 \text{ V} \quad (14)$$

$$d = 1 - \frac{v_{PV}}{v_o} = 1 - \frac{121,5}{266,026} = 0,543 \quad (15)$$

Theo [14], giá trị nhỏ nhất của cuộn cảm được tính bởi:

$$L_{\min} = \frac{d \times (1-d)^2 \times R}{2f_{sw}} = 0,198 \text{ mH} \quad (16)$$

Để đảm bảo dòng điện chắc chắn là liên tục, chọn  $L = 0,2$  mH. Ngoài ra, giá trị điện dung tối thiểu cần thiết để độ gợn sóng điện áp đầu ra bằng 1% là:

$$C \geq \frac{v_o d}{R \Delta V_o f_{sw}} = 1153,385 \mu\text{F} \quad (17)$$

Chọn  $C = 2200 \mu\text{F}$ .

Cuối cùng, các thông số định mức của bộ biến đổi tăng áp được đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số định mức của bộ biến đổi Boost

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Điện áp đầu vào	$v_{pv}$	121,5 V
Dòng điện đầu vào	$i_{pv}$	8,32 A
Điện áp đầu ra	$v_o$	266,032 V
Tỷ số chu kỳ	$d$	0,543
Điện trở của tải	$R$	70 $\Omega$
Cuộn cảm đầu vào	$L$	0,2 mH
Tụ điện đầu ra	$C$	2200 $\mu\text{F}$
Tần số đóng cắt	$f$	20 kHz

#### 4. Kết quả mô phỏng

Để kiểm chứng sự hiệu quả của phương pháp điều chế đề xuất, nghiên cứu mô phỏng được thực trên phần mềm MATLAB/Simulink và kết quả được so sánh với phương pháp P&O truyền thống. Trong mô hình mô phỏng, mảng PV sử dụng được hình thành thông qua ghép nối tiếp 3 mô đun PV với thông số như trong Bảng 1. Kích thước nhiễu loạn ( $\delta U$ ) được lựa chọn sao cho phương pháp đề xuất và P&O truyền thống đưa ra cùng hiệu suất động trong dao động tại điều kiện tiêu chuẩn. Các tham số được xem xét trong mô phỏng là: Kích thước bước nhiễu loạn ban đầu  $\delta U = 0,01\% \times V_{oc}$  đối với cả thuật toán MPPT đề xuất và thuật toán P&O truyền thống;  $\delta I = 0,01$  và thời gian

mô phỏng là 1s.

Trong nghiên cứu này, mảng PV được mô phỏng cho những thay đổi đột ngột trong cường độ chiếu sáng, giá định nhiệt độ môi trường không thay đổi là 25°C. Ban đầu, mảng PV được mô phỏng ở  $S = 1000 \text{ W/m}^2$ . Sau đó, tại thời điểm  $t = 0,25\text{s}$  và  $t = 0,75\text{s}$ , cường độ ánh sáng đột ngột giảm xuống 200  $\text{W/m}^2$  và 400  $\text{W/m}^2$  tương ứng. Tại  $t = 0,5\text{s}$ , cường độ ánh sáng đột nhiên tăng lên 900  $\text{W/m}^2$ .

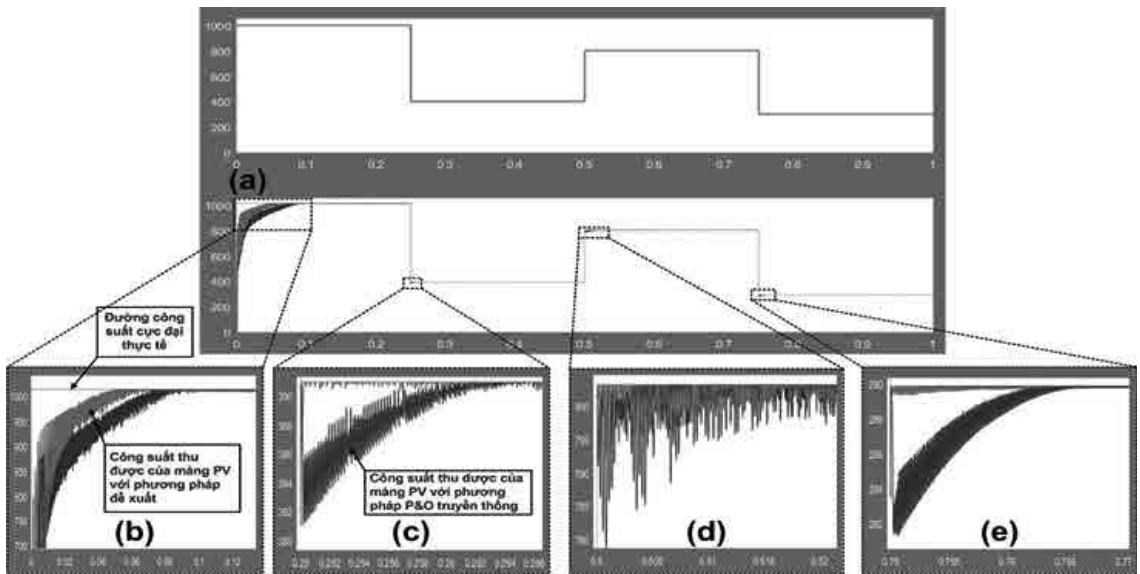
Hình 7(a) là đáp ứng công suất của mảng PV tương ứng với phương pháp P&O cải tiến và phương pháp P&O truyền thống. Để quan sát và so sánh thời gian đáp ứng của hai phương pháp khi S thay đổi đột ngột, kết quả mô phỏng được phóng to thể hiện trên Hình 7(b) – (e). Từ kết quả mô phỏng trên, quan sát thấy rằng để đạt tới MPP thì phương pháp P&O cải tiến có khoảng thời gian ngắn hơn nhiều so với phương pháp P&O truyền thống. Hơn nữa, từ Hình 9 có thể thấy rằng: Do giá trị bước nhiễu loạn là nhỏ và cố định nên giá trị đầu ra của thuật toán MPPT là  $V_{ref}$  của phương pháp P&O truyền thống thay đổi chậm từ đó dẫn đến thời gian quá độ lớn; ngược lại do sự điều chỉnh linh hoạt giá trị bước nhiễu loạn của thuật toán điều khiển thích nghi của phương pháp MPPT đề xuất nên khi có sự thay đổi đột ngột về chiếu xạ S thì  $V_{ref}$  được tính toán gần giá trị điện áp tương ứng với điểm công suất cực đại mới từ đó tốc độ đáp ứng nhanh.

Ngoài ra, dao động công suất xung quanh MPP của hai thuật toán là nhỏ ( $0,4\% P_{\max}$ ) và xấp xỉ nhau, điều này được thể hiện trên Hình 8(a) - (d).

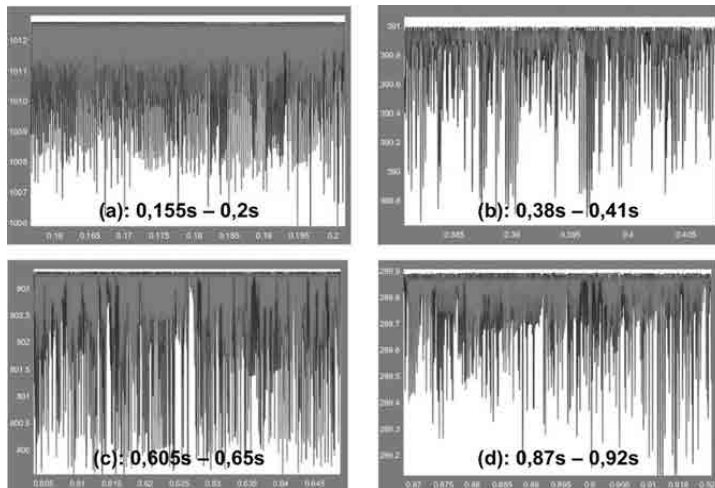
Từ các kết quả mô phỏng, có thể kết luận rằng thuật toán MPPT P&O cải tiến có hiệu quả giảm thiểu dao động xung quanh điểm MPP và bám sát điểm MPP nhanh hơn, không phân biệt sự tăng hoặc giảm của cường độ chiếu xạ S.

#### 5. Kết luận

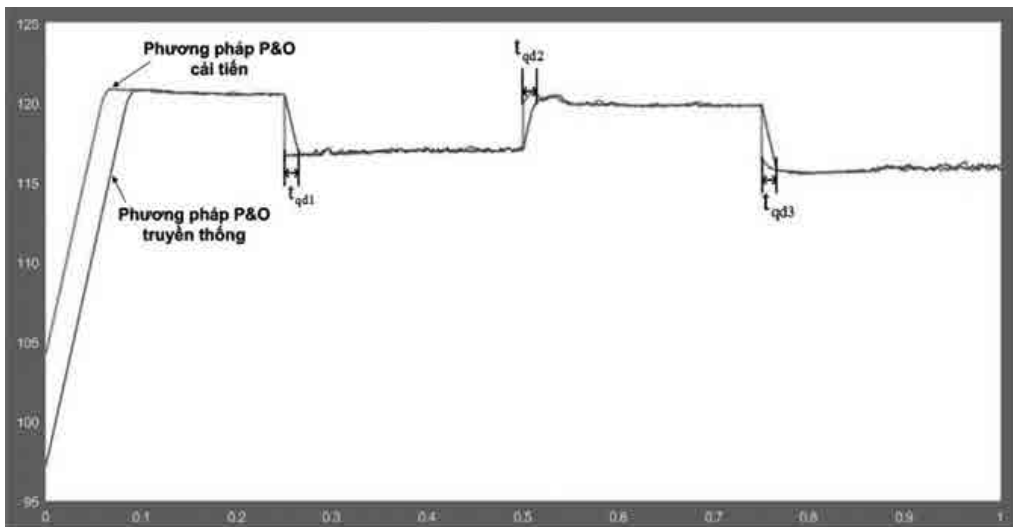
Bài báo đề xuất một phương pháp MPPT P&O cải tiến cho phép điều chỉnh linh hoạt bước nhiễu loạn dựa vào thuật toán điều khiển thích nghi phát hiện chính xác sự xuất hiện của dao động để nâng cao hiệu suất bám của mảng PV. Các nghiên cứu mô phỏng cho thấy phương pháp P&O cải tiến cho phép đẩy nhanh tốc độ hội tụ về điểm MPP khi cường độ chiếu sáng S thay đổi đột ngột cũng như giảm thiểu được dao động quanh MPP so với phương pháp P&O truyền thống.



Hình 7. Kết quả mô phỏng so sánh giữa phương pháp P&O cải tiến với P&O truyền thống



Hình 8. Phóng to đáp ứng công suất trên Hình 7 với các khoảng thời gian khác nhau



Hình 9. Giá trị đầu ra của thuật toán MPPT ( $V_{ref}$ )

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Subudhi, B. and Pradhan, R., A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2013, **4**, pp. 89-98.
- [2]. Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed S., and Enjeti, P. N., High-Performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2011, **26**, pp. 1010-1021.
- [3]. Nguyen Viet Ngu, Le Thi Minh Tam, Tran Thi Thuong, Nguyen Xuan Truong, So sánh hai thuật toán INC và P&O trong điều khiển bám điểm công suất cực đại của hệ thống pin mặt trời cấp điện độc lập. *Tạp chí Khoa học và Phát triển 2015*, 2015, **13**, pp. 1452-1463.
- [4]. Kjær, S. B., Evaluation of the “Hill Climbing” and the “Incremental Conductance” Maximum Power Point Trackers for Photovoltaic Power Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2012, **27**, pp. 922-929.
- [5]. Liu, F., Duan, S., and Kang, Y., A Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2008, **55**, pp. 2622-2628.
- [6]. Ji, Y. H., Jung, D. Y., Kim, J. G., Kim, J. H., Lee T. W., and Won, C. Y., A Real Maximum Power Point Tracking Method for Mismatching Compensation in PV Array Under Partially Shaded Conditions. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2011, **26**, pp. 1001-1009.
- [7]. Tan, C. W., Green T. C., and Hernandez-Aramburo, C. A., An Improved Maximum Power Point Tracking Algorithm with Current-Mode Control for Photovoltaic Applications. *2005 International Conference on Power Electronics and Drives Systems*, Kuala Lumpur, 2005, pp. 489-494.
- [8]. Piegari, L., and Rizzo, R., Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. *IET Renewable Power Generation*, 2010, **4**, pp. 317-328.
- [9]. Femia, N., Granozio, D., Petrone, G., Spagnuolo G., and Vitelli, M., Predictive & Adaptive MPPT Perturb and Observe Method. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2007, **43**, pp. 934-950.
- [10]. Rai, A.K., Kaushika, N.D., Singh, B. and Agarwal, N., Simulation model of ANN based maximum power point tracking controller for solar Pvsystem. *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 2011, **95**, pp. 773-778.
- [11]. Chin, V. J., Salam, Z., and Ishaque, K., An Accurate and Fast Computational Algorithm for the Two-diode Model of PV Module Based on a Hybrid Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2017, **8**, pp. 6212-6222.
- [12]. Ishaque, K., Salam, Z., and Taheri, H., Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2011, **95**, pp. 586-594.
- [13]. Bennett, T., Zilouchian, A., and Messenger, R., A proposed maximum power point tracking algorithm based on a new testing standard. *Solar Energy*, 2013, **89**, pp. 23-41.
- [14]. Hart, Daniel W., Power Electronics. Americas, New York, 2011.

## AN IMPROVED P&O MAXIMUM POWER POINT TRACKING METHOD FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER RAPIDLY CHANGING IRRADIANCE CONDITIONS

### Abstract:

*In this paper, an improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) method is proposed to extract the maximum power from photovoltaic (PV) panel under rapidly changing irradiance conditions. The proposed method consists of two algorithms, namely adaptive control algorithm, and conventional P&O algorithm. The adaptive control algorithm identifies the operating limit violation and sets a new operating point nearer to maximum power point. These operating limits are expressed in terms of the operating current range of the PV panel and the sudden changes in irradiance. The conventional P&O algorithm always tries to operate the PV panel at maximum power point (MPP). A boost converter is used to realize the proposed algorithm. The performance and efficiency of the proposed system are tested with MATLAB/Simulink software. The obtained results indicate the improved P&O method has quick respond and good stability compared to conventional P&O methods under the rapidly changing irradiance conditions.*

**Keywords:** Solar energy system, maximum power point tracking (MPPT), perturb and observe (P&O) method, boost converter.