PROPOSE A METHOD TO FIND THE MAXIMUM POWER GENERATOR OF PV SYSTEM BASED ON I_{SC} AND V_{OC} VALUE FORECAST

Truong Viet Anh[1], Bui Van Hien[1,2], Nguyen Tung Linh[3*], Nguyen Vu Lan[1], Quach Thanh Hai[1]
[1]Ho Chi Minh City University of Technology and Education,
[2]School of Engineering and Technology, Van Lang University, [3]Electric Power University

ARTICLE INFO

Received: 31/5/2022
Revised: 14/7/2022
Published: 14/7/2022

KEYWORDS

Photovoltaic cell
Algorithm P&O
PV Parallel
Open circuit voltage
Maximum Power Point Tracker

ABSTRACT

The maximum power point (MPP) of the photovoltaic cell system is related to the value of the open-circuit voltage (V_{oc}) and the short-circuit current (I_{sc}) according to the fill factor. Consequently, knowing these two parameters will be able to approximate the optimal working position of the system. This can significantly reduce the search area for Maximum Power Point Tracking (MPPT) solutions to increase convergence speed and performance. The content of this paper introduces a solution that applies two parameters V_{oc} and I_{sc} combined with the traditional perturbation and observation (P&O) algorithm to solve the above problem. The proposed solution is simulated in a PSIM environment to compare the performance and speed of MPPT with the traditional P&O algorithm under the same experimental operating conditions. The obtained results show that it has faster convergence speed, higher efficiency, and stable output waveform compared to the unimproved solution.

ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TÌM ĐIỂM PHÁT CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI CỦA HỆ THỐNG PV DỰA VÀO DỰ ĐOÁN GIÁ TRỊ I_{SC} VÀ V_{OC}

Trương Việt Anh[1], Bùi Văn Hiền[1,2], Nguyễn Tùng Linh[3*], Nguyễn Vũ Lân[1], Quách Thanh Hải[1]
[1]Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, [2]Trường Kỹ thuật và Công nghệ, Đại học Văn Lang,
[3]Trường Đại học Điện lực

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 31/5/2022
Ngày hoàn thiện: 14/7/2022
Ngày đăng: 14/7/2022

TỪ KHÓA

Pin quang điện
Giải thuật P&O
PV song song
Điện áp hở mạch
Điểm phát công suất cực đại

TÓM TẮT

Điểm phát công suất cực đại (Maximum Power Point - MPP) của hệ thống pin quang điện có mối quan hệ với giá trị điện áp hở mạch (open-circuit Voltage - V_{oc}) và dòng điện ngắn mạch (short-circuit current - I_{sc}) theo hệ số lấp đầy (fill factor – FF). Nghĩa là khi biết được hai thông số này sẽ có thể ước lượng được tương đối vị trí làm việc tối ưu của hệ thống. Từ đó có thể giới hạn phạm vi tìm kiếm cho các giải pháp truy xuất điểm phát công suất cực đại (Maximum Power Point Tracking - MPPT) nhằm gia tăng tốc độ hội tụ và nâng cao hiệu suất. Nội dung bài viết này giới thiệu một giải pháp ứng dụng hai thông số V_{oc} và I_{sc} kết hợp với giải thuật nhiễu loạn và quan sát (Perturbation and Observation - P&O) truyền thống để giải quyết bài toán trên. Giải pháp đề xuất được mô phỏng trong môi trường PSIM để so sánh hiệu suất và tốc độ MPPT với giải thuật P&O truyền thống trong cùng điều kiện vận hành thử nghiệm. Những kết quả đạt được cho thấy tốc độ hội tụ nhanh hơn, hiệu suất cao hơn và ổn định dạng sóng ngõ ra so với giải pháp chưa được cải tiến.

DOI: https://doi.org/10.34238/tnu-jst.6088

* Corresponding author. *Email: linhnt@epu.edu.vn*

1. Giới thiệu

Năng lượng điện mặt trời ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong những lĩnh vực có yêu cầu mức công suất vừa và nhỏ như điện mặt trời áp mái, tưới tiêu, đèn giao thông, thiết bị dịch chuyển [1]. Một trong những trở ngại lớn nhất là điều khiển hệ thống PV vận hành tại MPP để thu được hiệu suất lớn nhất trong khi điều kiện làm việc thay đổi liên tục. Có nhiều kỹ thuật MPPT đã được giới thiệu nhằm giải quyết vấn đề này có thể phân chia thành các nhóm như: nhóm giải thuật truyền thống, nhóm giải thuật tối ưu cơ bản, nhóm giải pháp kết hợp, và nhóm các giải pháp khác [2], [3].

Nhóm giải pháp truyền thống có cấu trúc đơn giản, dễ thực hiện nhưng kém hiệu quả trong những điều kiện thay đổi [4]. Trong khi đó, nhóm giải pháp tối ưu có hiệu suất cao hơn nhưng lại kém linh hoạt và tốc độ hội tụ phụ thuộc vào các thông số thiết kế ban đầu [5]. Sự kết hợp ưu điểm của hai hay nhiều giải thuật giúp nâng cao hiệu suất và tốc độ MPPT, giảm dao động quanh vị trí MPP nhưng kèm theo nó là mức độ phức tạp và gia tăng chi phí.

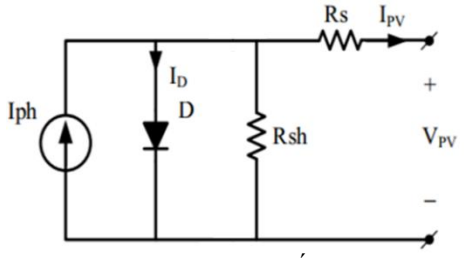
Tài liệu [6] đã đề xuất giải pháp điện áp xấp xỉ $0,8*V_{oc}$ kết hợp với giải thuật P&O để nâng cao hiệu suất MPPT nhưng tốc độ chưa được cải thiện. Hơn nữa, việc chỉ sử dụng một thông số V_{oc} cố định sẽ kém chính xác hơn khi có sự thay đổi điều kiện vận hành của hệ thống. Bên cạnh đó, trong bài viết [7] kết hợp sử dụng đồng thời hai thông số V_{oc} và I_{sc} lại cho thấy khả năng tính toán phức tạp, chi phí cao và sai số gia tăng nếu không cập nhật V_{oc} theo thời gian. Trong nội dung nghiên cứu này, hai thông số V_{oc} và I_{sc} được kiểm tra liên tục và đóng vai trò như những tham số đầu vào nhằm giảm không gian tìm kiếm cho giải thuật P&O. Giải pháp đề xuất đã cho thấy hiệu suất có thể đạt 100% và tốc độ vượt trội hơn hẳn so với các giải pháp cải tiến được giới thiệu gần đây. Những kết quả đạt được qua mô phỏng so sánh đã cho thấy: thay vì chọn giá trị khởi động cố định, việc ước lượng giá trị độ rộng xung tùy thuộc vào điều kiện vận hành giúp cho các giải pháp truyền thống đơn giản nâng cao hiệu quả hơn cả các giải thuật tối ưu.

2. Ảnh hưởng của môi trường đến đặc tính PV

Mô hình hóa tế bào quang điện trình bày như hình 1 với giá trị dòng điện ngõ ra được tính theo công thức sau [8], [9]:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0\left\{e^{\frac{q\left(V+I_{pv}.R_S\right)}{nkT_c}} - 1\right\} - \frac{V + I_{pv}.R_S}{R_{sh}} \quad (1)$$

Trong đó: V điện áp ra của PV (V), I_{pv} dòng điện ra của PV (A), I_{ph} dòng quang điện (A), I_0 dòng điện bão hòa ngược (A), q điện tích của electron ($1,602\times10^{-19}$C), k hằng số Boltzman ($1,381\times10^{-23}$J/K), T nhiệt độ lớp tiếp xúc (K), n hệ số lý tưởng của diode, R_S và R_{sh} điện trở nối tiếp và song song (Ω),



Hình 1. *Mô hình toán của tế bào quang điện*

Mặt khác, dòng quang điện I_{ph} phụ thuộc vào bức xạ mặt trời và nhiệt độ làm việc của nó theo biểu thức [9].

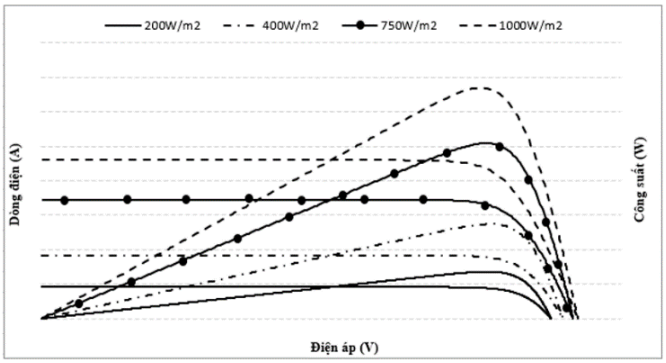
$$I_{ph} = \left[I_{sc} + K_I\left(T_c - T_{ref}\right)\right]S \quad (2)$$

Trong đó: I_{sc} dòng ngắn mạch của PV ở 25^0C (A), K_I hệ số nhiệt độ của dòng ngắn mạch, T_c nhiệt độ làm việc của PV, T_{ref} nhiệt độ tham chiếu, S bức xạ mặt trời (kW/m^2).

Hệ thống PV gồm nhiều tấm PV liên kết với nhau để đạt được công suất ra như mong đợi. Mối liên hệ giữa dòng điện, điện áp của một hệ thống gồm N_s tấm PV mắc nối tiếp và N_p chuỗi nối tiếp mắc song song được biểu diễn theo phương trình sau [9].

$$I = N_p I_{SC} - N_p I_0 \left\{ e^{\frac{q(V+N_s IR_S)}{N_s kT}} - 1 \right\} - \frac{V + N_s IR_S}{N_s R_P} \quad (3)$$

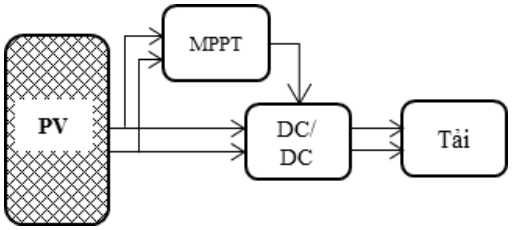
Tuy nhiên MPP của hệ thống PV thay đổi tùy thuộc vào môi trường làm việc và thông thường thì nó có hiệu suất thấp hơn so với điều kiện làm việc tiêu chuẩn 1000W/m^2 và 25°C. Hình 2 mô tả đặc tuyến P-V và I-V trong những điều kiện bức xạ khác nhau [1], [5]. Trong đó hai thông số I_{sc} và V_{oc} cũng thay đổi tùy thuộc vào bức xạ mặt trời chiếu trên bề mặt PV.



Hình 2. *Đặc tuyến I-V và P-V khi thay đổi bức xạ*

3. Giải pháp đề xuất

3.1. Cấu hình PV



Hình 3. *Cấu hình hệ thống PV đề xuất.*

Bảng 1. *Thông số của PV sử dụng trong nghiên cứu*

Thông số	Giá trị
Số lượng cell	36
Công suất cực đại (P_{max})	60 (W)
Điện trở nối tiếp (R_s)	0.018 (Ω)
Điện trở song song (R_{sh})	1100 (Ω)
Dòng điện ngắn mạch (I_{sc})	3.7 (A)
Điện áp hở mạch (V_{oc})	21.6 (V)
Điện áp tại P_{max} (V_{mpp})	17.8 (V)
Dòng điện tại P_{max} (I_{mpp})	3.37 (A)

Có rất nhiều kiểu liên kết PV khác nhau và mỗi cấu hình đều có những đặc điểm về dòng điện và điện áp phù hợp với những ứng dụng khác nhau [10]. Đặc điểm chung mà chúng được nghiên cứu giới thiệu là nhằm khai thác tối đa hiệu suất của hệ thống PV. Trong đó, cấu hình liên kết

kiểu song song luôn cho hiệu suất tốt nhất trong mọi điều kiện vận hành [9], [10]. Do đó, với những ứng dụng trong nghiên cứu này, giải pháp đề xuất sử dụng cấu hình liên kết song song có các thông số của một tấm PV được liệt kê trong bảng 1. Với cấu hình này, hệ thống sẽ có ít cực trị nhất trong điều kiện vận hành thay đổi tạo thuận lợi cho giải pháp MPPT gia tăng hiệu suất và tốc độ hội tụ. Công suất phát của nó được cung cấp cho một tải thông qua mạch chuyển đổi Buck-boost và bộ MPPT có cấu trúc như hình 3.

3.2. DC/DC converter

Phạm vi ứng dụng của hệ thống PV công suất thấp khá rộng nên cần điều chỉnh điện áp cho phù hợp trong từng điều kiện. Điều này được thực hiện thông qua các mạch chuyển đổi DC/DC kết nối giữa nguồn PV và tải. Điện áp ngõ ra (V_{out}) được điều khiển theo điện áp vào (V_{in}) thông qua một độ rộng xung D có giá trị trong khoảng từ ($0 \le D \le 1$).

Trong nội dung nghiên cứu này thì bộ buck-boost converter được xem là một giải pháp hữu hiệu cho việc ổn định công suất đầu ra của hệ thống PV. Cấu trúc và các thông số mạch có thể được tìm thấy trong tài liệu [11]. Nó là sự kết hợp của hai mạch buck và boost nên quan hệ điện áp được biểu diễn theo biểu thức:

$$V_{out} = \frac{D}{1-D} V_{in} \tag{4}$$

Khi $D < 0,5$ thì $V_{in} > V_{out}$, ngược lại $D > 0,5$ thì $V_{in} < V_{out}$, trong khi đó nếu $D = 0,5$ thì $V_{in} = V_{out}$.

3.3. Giải pháp đề xuất

Tốc độ và hiệu suất MPPT phụ thuộc nhiều vào vị trí khởi tạo độ rộng xung D ước lượng tại MPP. Trong khi đó, tọa độ ước lượng này phụ thuộc vào hai thông số I_{sc} và V_{oc} của hệ thống PV. Trong nội dung nghiên cứu này, chúng được xác định thông qua độ rộng xung D theo trình tự sau:

Cài đặt độ rộng xung D_1 và D_2 có giá trị lần lượt là 0,80 và 0,78 để xác định các thông số dòng điện I, điện áp V và công suất P tương ứng của chúng. Đối với PV module sử dụng trong nghiên cứu này thì hai giá trị I_1 và I_2 (tương ứng với D_1 và D_2) sẽ nằm trong vùng tuyến tính ($I_1 \approx I_2$). Như vậy từ tọa độ của hai điểm phát công suất trên có thể xác định được phương trình đường thẳng qua chúng như sau:

$$I = \frac{I_2 - I_1}{V_2 - V_1} V + \left[I_1 - \frac{I_2 - I_1}{V_2 - V_1} V_1 \right] \tag{5}$$

Đồng thời xác định được điện trở nội của PV dựa vào giá trị dòng điện và điện áp tại D_1 là:

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} \tag{6}$$

Từ biểu thức (5) tính được giá trị I_{sc} (ứng với $V = 0$) là:

$$I_{sc} = I_1 - \frac{I_2 - I_1}{V_2 - V_1} V_1 \tag{7}$$

Giá trị dòng điện ước lượng tại điểm phát công suất cực đại là

$$I_{mpp} = k_I \times I_{sc} \tag{8}$$

Tiếp tục cài đặt giá trị $D_3 = 0,1$ để xác định điện áp V_3. Với giá trị D khá nhỏ thì có thể xem như $V_{oc} \approx V_3$ và thông qua đó có thể ước lượng điện áp tại MPP như sau:

$$V_{mpp} = k_v \times V_{oc} \tag{9}$$

Hai giá trị k_I và k_v trong nghiên cứu này được chọn phụ thuộc vào đặc tính của tấm PV (bảng 1) và được xác định như sau:

$$k_I = \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} = \frac{3.37}{3.7} = 0.91, \; k_v = \frac{V_{mpp}}{V_{oc}} = \frac{17.8}{21.6} = 0.82 \tag{10}$$

Tọa độ điểm MPP được ước lượng một cách tương đối là P_{mpp}= (0,82×V_3; 0,91×I_{sc}). Với giá trị này, các thông số điện trở và độ rộng xung D của nó lần lượt được xác định và dùng làm giá trị tham chiếu cho giải pháp MPPT. Ưu điểm của việc tính toán hai tham số I_{sc} và V_{oc} so với việc chọn chúng cố định là có thể ước lượng linh hoạt hơn trong những điều kiện vận hành khác nhau. Do đó, giải pháp đề xuất có thể giảm sai số đáng kể ngay cả khi đường cong đặc tuyến bị thay đổi do suy hao theo tuổi thọ.

Điện trở nội PV tại điểm MPP ước lượng được tính toán theo biểu thức sau

$$R_{mpp} = \frac{V_{mpp}}{I_{mpp}} \tag{11}$$

Điện trở R_1 trong biểu thức (6) và điện trở tải thông qua mạch Buck-Boost có mối quan hệ theo phương trình sau:

$$R_{out} = \left(\frac{D_1}{1-D_1}\right)^2 R_1 \tag{12}$$

Tương tự, giá trị R_{mpp} có mối quan hệ với R_{out} qua độ rộng xung D_{tt} theo biểu thức sau:

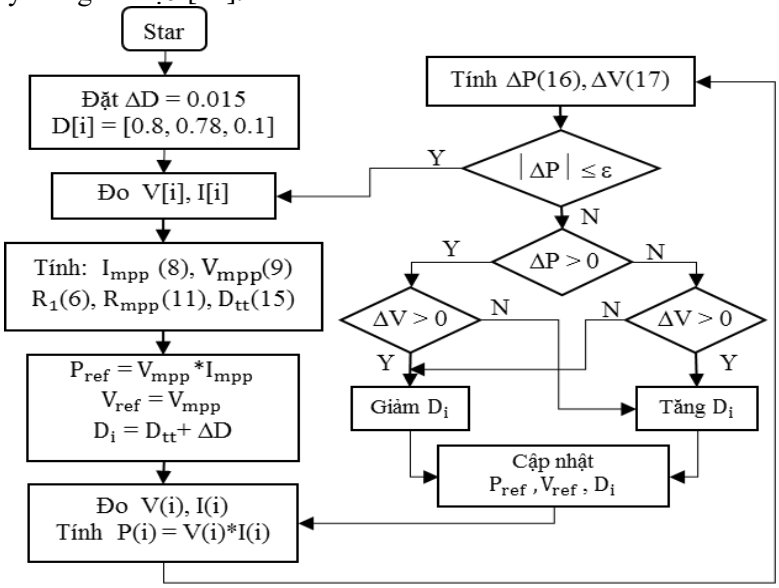
$$R_{out} = \left(\frac{D_{tt}}{1-D_{tt}}\right)^2 R_{mpp} \tag{13}$$

Từ biểu thức (12) và (13) có thể tính được độ rộng xung D_{tt} như sau:

$$\left(\frac{D_1}{1-D_1}\right)^2 R_1 = \left(\frac{D_{tt}}{1-D_{tt}}\right)^2 R_{mpp} \tag{14}$$

$$D_{tt} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{D_1}{1-D_1}\sqrt{\frac{R_1}{R_{mpp}}}} \tag{15}$$

Với giải pháp P&O truyền thống, để tránh bỏ sót điểm cực trị thì giá trị khởi động D thường khá nhỏ và cách xa D_{mpp} tại điểm MPP. Vì thế nó cần nhiều bước lặp mới có thể đạt tới giá trị tối ưu. Để gia tăng tốc độ hội tụ, giải pháp này thường cần có bước điều chỉnh lớn. Nhưng kết quả là hiệu suất của giải pháp không cao. Ngược lại, với các bước điều chỉnh nhỏ nhằm gia tăng hiệu suất thì tốc độ hội tụ giảm đáng kể. Các bước tính toán và lưu đồ giải thuật P&O truyền thống có thể được tìm thấy trong tài liệu [12].



Hình 4. *Lưu đồ giải thuật đề xuất*

Từ giá trị D_{tt} tính được trong biểu thức (15) cùng với dòng điện, điện áp và công suất liên quan đến nó được dùng làm giá trị tham chiếu khởi tạo cho giải thuật P&O trong quá trình tìm kiếm cực trị. Giá trị D_{tt} này gần với độ rộng xung D_{mpp} nên cần ít bước lặp hơn để hội tụ. Việc thay đổi một lượng số gia ΔD để quan sát những thay đổi về công suất và điện áp so với giá trị tham chiếu để tìm điểm MPP. Giải pháp được xem là hội tụ khi thỏa mãn điều kiện sau:

$$\left|\Delta P\right| = \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i} \times 100\% \le \varepsilon \quad (16)$$

Ngược lại nếu giải pháp không thỏa mãn hàm mục tiêu (16) thì kiểm tra sai số điện áp để điều chỉnh các thông số tương ứng.

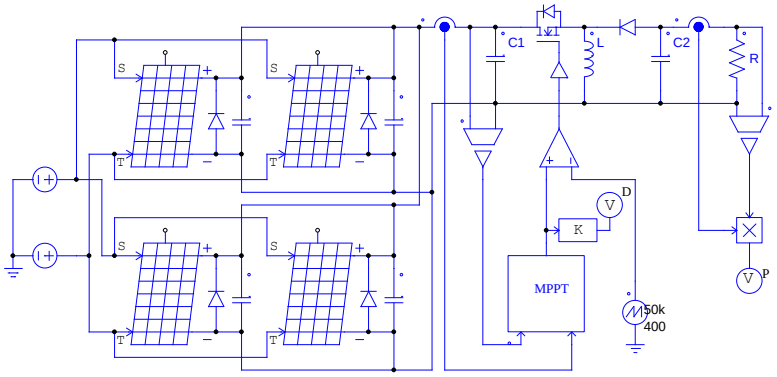
$$\Delta V = \frac{V_{i+1} - V_i}{V_i} \times 100\% \quad (17)$$

Nếu ΔV×ΔP > 0 thì giảm D để tăng V.

Nếu ΔV×ΔP < 0 thì tăng D để giảm V.

Như vậy, lưu đồ giải thuật của giải pháp đề xuất được trình bày như hình 4.

4. Kết quả mô phỏng và đánh giá



Hình 5. *Sơ đồ hệ thống đề xuất trong môi trường PSIM*

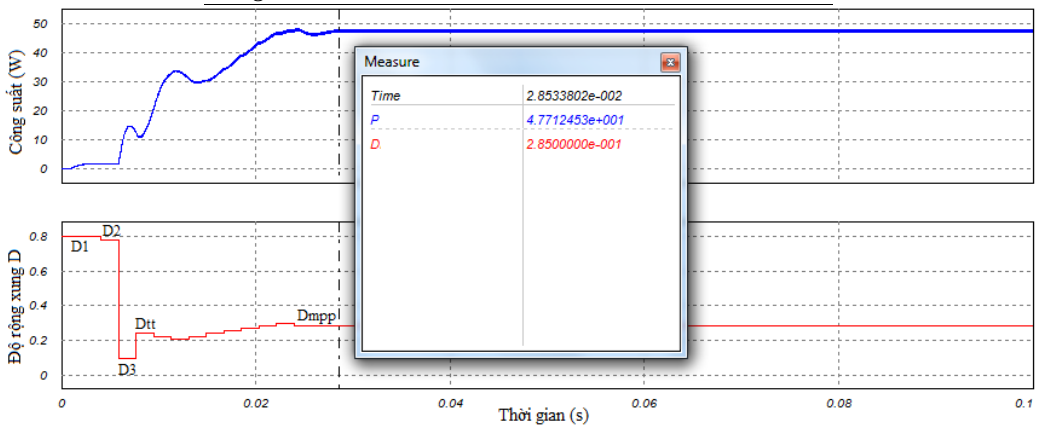
Từ những phân tích trong mục 3.1 cho thấy: cấu hình PV đề xuất sử dụng trong nghiên cứu này có tính ổn định về đường cong đặc tuyến trong mọi trạng thái bóng che. Sơ đồ hệ thống đề xuất mô phỏng trong môi trường PSIM có cấu trúc như hình 5. Tính hiệu quả của phương pháp MPPT được kiểm chứng trong các điều kiện vận hành có bức xạ thay đổi, nhiệt độ thay đổi và thay đổi cả hai thông số (bảng 2). Những kết quả đạt được qua mô phỏng trong môi trường PSIM được so sánh trực tiếp với giải thuật P&O truyền thống trong cùng điều kiện vận hành. Các thông số của hai giải thuật có thể được tìm thấy trong bảng 3.

Bảng 2. *Các trường hợp khảo sát vận hành hệ thống đề xuất*

No.	Bức xạ (W/m^2)	Nhiệt độ (^oC)	P_{max} (W)
1	200		47,73
2	500	25	122,31
3	850		205,51
4		20	244,89
5	1000	45	217,47
6		60	201,09
7	250	20	61,02
8	450	35	105,43
9	600	40	136,92
10	900	55	187,55

Bảng 3. *Các thông số của các phương pháp MPPT trong nghiên cứu*

Thông số	P&O	Giải pháp đề xuất
Giá trị khởi tạo D	0,1	D theo (15)
Số gia ΔD	0,015	0,015



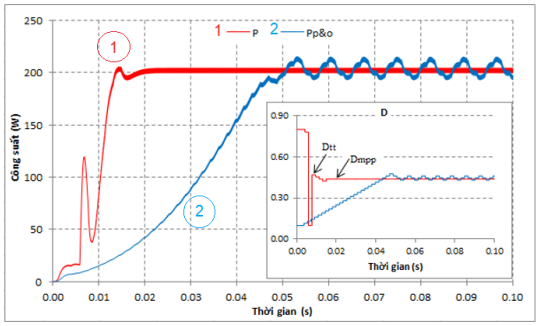
Hình 6. *Dạng sóng P và D khi mô phỏng cho trường hợp 1*

Khi mô phỏng trong điều kiện nhiệt độ tiêu chuẩn và bức xạ 200W/m^2 (No.1), kết quả thu được về khả năng MPPT chỉ ra trong hình 6 cho thấy: độ rộng xung ước lượng của giải pháp thông qua việc tính toán bằng biểu thức (15) là D_{tt} = 0,24. Từ vị trí tính toán này, các bước lặp P&O được triển khai để tìm đến MPP của hệ thống. Dữ liệu cũng cho thấy sau 9 bước điều chỉnh (từ giá trị D_{tt}), hệ thống đã có thể ổn định với độ rộng xung dừng lại ở giá trị D_{mpp} = 0,285 với công suất tương ứng là 47,71W đạt hiệu suất 99,96%. Những tình huống tiếp theo sau đó được thử nghiệm bao gồm: thay đổi bức xạ trên hệ thống trong khi giữ nguyên điều kiện nhiệt độ (No.1 đến No.3); Giữ nguyên bức xạ nhưng thay đổi nhiệt độ (No.4 đến No.6) và cuối cùng là thay đổi cả hai thông số bức xạ và nhiệt độ cho các trường hợp còn lại. Những kết quả đạt được cho các trường hợp đề xuất mô phỏng được trình bày trong bảng 4. Từ số liệu cho thấy giá trị D_{tt} ước lượng có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn D_{mpp} tùy thuộc vào điều kiện vận hành. Tuy nhiên hiệu suất của tất cả các trường hợp khi mô phỏng luôn đạt trên 99% và có thể đạt 100% trong một vài trường hợp. Kết quả này cho thấy giá trị D_{tt} gần với D_{mpp} nên để giảm bớt vùng tìm kiếm từ đó gia tăng tốc độ hội tụ và hiệu suất của giải thuật.

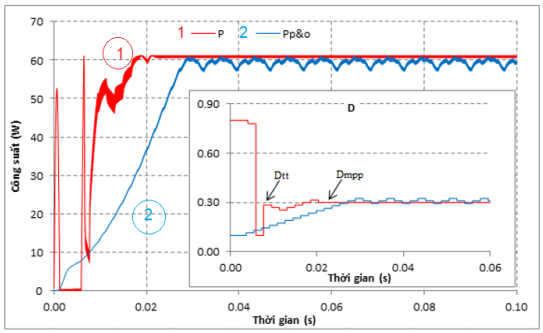
Bảng 4. *Kết quả mô phỏng MPPT cho các trường hợp*

No.	P_{mpp}	η (%) $= \frac{P_{mpp}}{P_{max}}100\%$	D_{mpp}	D_{tt}	T (s)	$P_{p\&o}$ W)	$\eta_{p\&o}$ (%) $= \frac{P_{p\&o}}{P_{max}}100\%$	$T_{p\&o}$ (s)
1	47,71	99,96	0,2850	0,2400	0,028	47,40	99,31	0,028
2	121,76	99,55	0,3900	0,3600	0,026	120,62	98,62	0,040
3	204,09	99,31	0,4375	0,4675	0,022	202,83	98,70	0,057
4	244,21	99,72	0,4700	0,5000	0,018	240,93	98,38	0,052
5	217,46	100,00	0,4825	0,5125	0,020	214,91	98,82	0,054
6	200,52	99,72	0,4870	0,5175	0,021	200,26	99,59	0,056
7	60,70	99,48	0,3000	0,2850	0,021	59,81	98,02	0,031
8	104,89	99,49	0,3800	0,3200	0,026	103,16	97,85	0,041
9	136,90	99,99	0,4175	0,3275	0,032	135,14	98,70	0,047
10	187,11	99,77	0,4750	0,3700	0,032	186,18	99,27	0,054

Bên cạnh đó, hình 7 trình bày kết quả so sánh khả năng MPPT của giải pháp đề xuất với phương pháp P&O truyền thống ở cùng điều kiện vận hành (No.3). Giải pháp đề xuất đạt mức công suất ra cực đại tại 0,022s là 204,09W tương đương với 99,31%. Trong khi đó P&O phải mất khoảng thời gian 0,05s mới tiếp cận được MPP. Một nhược điểm dễ thấy nữa là công suất ngõ ra bị dao động quanh vị trí MPP. Điều này được thể hiện ở cả hai dạng sóng công suất $P_{p\&o}$ và độ rộng xung D. Cũng từ dạng sóng D trong hình 7 cho thấy, giải pháp đề xuất đạt được tốc độ hội tụ nhanh như vậy là nhờ khả năng ước lượng D_{tt} = 0,4675 xấp xỉ với giá trị D_{mpp} = 0,4375. Qua đó nó chỉ mất 5 bước điều chỉnh xuống là có thể hội tụ tại điểm phát công suất mục tiêu. Cùng xuất phát từ giá trị D = 0,1 nhưng giải pháp P&O truyền thống mất khá nhiều thời gian để tiếp cận tới D_{mpp} và cũng bị dao động quanh vị trí này.



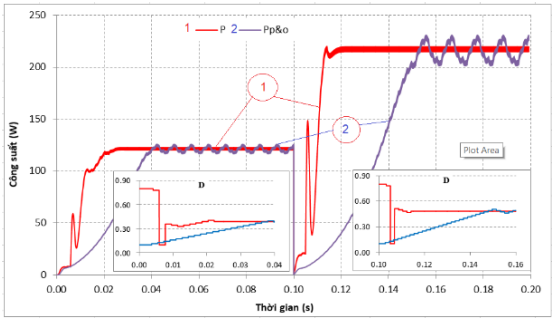
Hình 7. *So sánh MPPT trường hợp No.3*



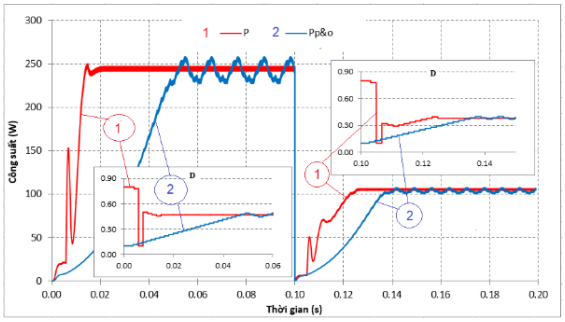
Hình 8. *So sánh MPPT điều kiện thay đổi cả bức xạ và nhiệt độ (No.7)*

Khi cả hai thông số bức xạ và nhiệt độ thay đổi khác với điều kiện tiêu chuẩn (No.7), kết quả mô phỏng trong hình 8 cho thấy rằng: giải pháp đề xuất vẫn duy trì khả năng MPPT hiệu quả khi hội tụ tại 0,021s so với phương pháp truyền thống là 0,029s. Dạng sóng công suất ra của nó cũng ổn định hơn và đạt giá trị 60,70W tương đương 99,48%, cao hơn so với P&O truyền thống ở mức 59,81W (tương đương 98,02%). Hơn nữa, cả hai dạng sóng công suất $P_{p\&o}$ và độ rộng xung D của phương pháp truyền thống đều bị dao động khá nhiều so với giải pháp đã được cải tiến.

Trong khi thay đổi đột ngột điều kiện vận hành theo xu hướng tăng cả bức xạ và nhiệt độ làm việc (hình 9) hoặc giảm bức xạ nhưng tăng nhiệt độ (hình 10). Những kết quả so sánh khả năng MPPT của hai giải pháp trong những trường hợp mô phỏng đề xuất đều cho thấy: giải pháp đề xuất luôn có tốc độ hội tụ nhanh hơn rất nhiều so với phương pháp truyền thống. Dạng sóng công suất ra của nó cũng ổn định hơn và có hiệu suất cao hơn hẳn. Kết quả khả quan này là nhờ khả năng tính toán nhanh giá trị D_{tt} để tiệm cận giá trị D_{mpp} tối ưu. Trong khi đó, để tìm được tới giá trị này thì giải pháp P&O truyền thống phải trải qua nhiều bước lặp nhằm kiểm tra toàn bộ không gian tìm kiếm. Vì thế tốc độ MPPT của nó chậm hơn mặc dù có cùng điểm xuất phát và cùng giá trị ΔD như nhau.



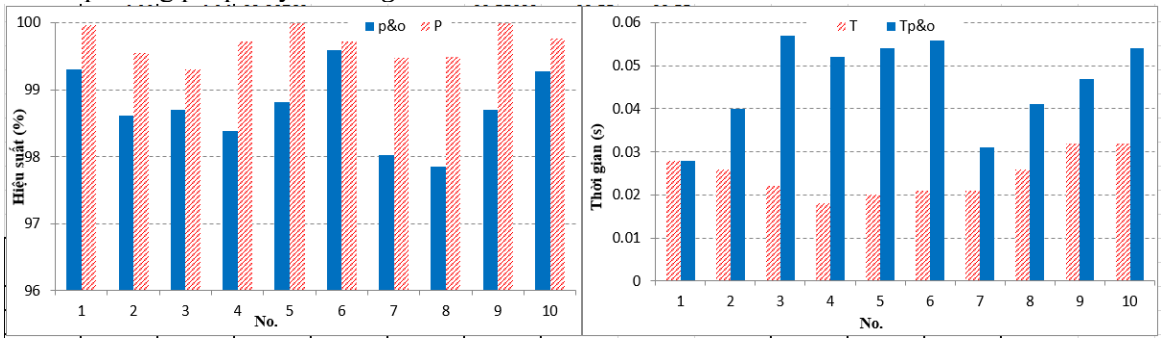
Hình 9. *So sánh MPPT thay đổi từ No.2 sang No.5.*



Hình 10. *So sánh MPPT thay đổi từ No.4 sang No.8*

Tổng hợp so sánh các trường hợp vận hành mô phỏng của giải pháp đề xuất so với phương pháp P&O truyền thống được trình bày trong bảng 4. Những kết quả đạt được cho thấy tốc độ hội tụ của giải pháp đề xuất trong khoảng từ 0,018s đến 0,032s nhanh hơn hẳn so với phương pháp P&O truyền thống ở mức 0,028 đến 0,057s. Đối với phương pháp P&O truyền thống, khi bức xạ càng lớn thì thời gian hội tụ gia tăng do khoảng cách từ điểm khởi động đến vị trí MPP lớn hơn. Trong khi đó, ở mọi điều kiện thì giá trị D_{tt} của giải pháp đề xuất đều dự đoán xấp xỉ giá trị D_{mpp} nên không có sự chênh lệch khá nhiều về các giá trị cho các điều kiện vận hành khác nhau.

Hình 11 trình bày kết quả so sánh hiệu suất và tốc độ MPPT của giải pháp đề xuất so với phương pháp P&O truyền thống. Biểu đồ được thành lập dựa trên thông số kết quả trong bảng 4. Trong đó, giải pháp đề xuất luôn đạt được hiệu suất cao hơn trong mọi trường hợp mô phỏng. Đặc biệt hai trường hợp No.7 và No.8 có sự chênh lệch đáng kể về hiệu suất MPPT. Bên cạnh đó, tốc độ hội tụ cũng là một ưu điểm vượt trội so với phương pháp P&O truyền thống khi mà thời gian MPPT chỉ bằng 34,62% trong trường hợp No.4 (0,018s so với 0,052s). Những số liệu thống kê so sánh đã cho thấy rằng, giải pháp đề xuất có thể cải thiện tốc độ và hiệu suất MPPT đáng kể so với phương pháp truyền thống.



a. b.

Hình 11. *So sánh MPPT của hai giải pháp về a. hiệu suất và b. tốc độ*

5. Kết luận

Phương pháp đề xuất đã sử dụng giải pháp ước lượng hai thông số V_{oc} và I_{sc} để cải tiến tham số khởi động giải thuật P&O truyền thống nhằm nâng cao hiệu suất và tốc hộ MPPT. Những kết quả thu được qua mô phỏng trong môi trường PSIM đã cho thấy so với việc chỉ sử dụng một thông số đầu vào V_{oc} cố định, thậm chí là hai thông số I_{sc} và V_{oc} cố định thì cách tiếp cận này đã đạt được hiệu suất và tốc độ hội tụ vượt trội. Bằng cách tính toán hai thông số này thông qua phép ngoại suy nên giải pháp đề xuất sẽ tự động cập nhật và điều chỉnh tham số theo điều kiện vận hành hoặc suy hao sau thời gian sử dụng. Bên cạnh đó, hiệu suất trung bình luôn đạt trên 99% giá trị công suất cực đại mà hệ thống có thể cung cấp. Ngoài ra, tốc độ hội tụ của giải pháp đề xuất chỉ bằng 34,62% so với giải pháp truyền thống trong cùng điều kiện vận hành. Những kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của giải pháp đề xuất vào các lĩnh vực có yêu cầu điện áp và công suất thấp là đáng tin cậy.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Điện lực, Công ty Điện lực và Công nghệ thông tin - Tập đoàn Điện lực Việt Nam, Trường Đại học Văn Lang và Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, đơn vị chủ trì đề tài nghiên cứu cấp Bộ B2019-SPK-10 và T2021-64TĐ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

[1] V. R. Kota and M. N. Bhukya, "A novel linear tangents based P&O scheme for MPPT of a PV system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 257-267, May 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.12.054.

[2] M. H. Zafar, N. M. Khan, A. F. Mirza, and M. Mansoor, "Bio-inspired optimization algorithms based maximum power point tracking technique for photovoltaic systems under partial shading and complex partial shading conditions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 309, August 2021, Art. no. 127279, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127279.

[3] F. Belhachat and C. Larbes, "A review of global maximum power point tracking techniques of photovoltaic system under partial shading conditions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 513-553, September 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.094.

[4] A. O. Baba, G. Liu, and X. Chen, "Classification and Evaluation Review of Maximum Power Point Tracking Methods," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, no. 4, pp.433-443, doi: 10.1016/j.sftr.2020.100020.

[5] R. John, S. S. Mohammed, and R. Zachariah, "Variable step size Perturb and observe MPPT algorithm for standalone solar photovoltaic system," *IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control*, Srivilliputtur, India 2017, doi: 10.1109/ITCOSP.2017.8303163.

[6] M. E. Başoğlu and B. Çakır, "Hybrid global maximum power point tracking approach for photovoltaic power optimisers," *IET renewable Power Generation*, vol. 12, no. 8, pp. 875-882, June 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2018.0029.

[7] Y. Wang, Y. Li, and X. Ruan, "High Accuracy and Fast Speed MPPT Methods for PV String Under Partially Shaded Conditions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 1, pp. 235-245, Jan. 2016, doi: 10.1109/TIE.2015.2465897.

[8] H. M. A. Alhussain and N. Yasin, "Modeling and simulation of solar PV module for comparison of two MPPT algorithms (P&O & INC) in MATLAB/Simulink," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 2, pp. 666-677, May 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v18.i2.pp666-677.

[9] R. -H. Josean, U. Irantzu, M. O.-G. Jose, F.-G. Unai, M. Amaia and Z. Ekaitz, "Temperature based maximum power point tracking for photovoltaic modules," *Sci. Rep.*, vol. 10, 2020, Art. no. 12476, doi: 10.1038/s41598-020-69365-5.

[10] S. Vijayalekshmy, S. Rama Iyer, and B. Beevi, "Comparative Analysis on the Performance of a Short String of Series-Connected and Parallel-Connected Photovoltaic Array Under Partial Shading," *Journal of The Institution of Engineers (India)*, Series B, vol. 96, no. 3, pp. 217-226, January 2014, doi: 10.1007/s40031-014-0143-7.

[11] A. D. Martina, J. R. Vazqueza, and J. M. Cano, "MPPT in PV systems under partial shading conditions using artificial vision," *Electric Power Systems Research*, vol. 162, pp. 89-98, September 2018, doi: 10.1016/j.epsr.2018.05.005.

[12] B. Yang, T. Zhu, Y. Wang, H. Shu, T. Yu, X. Zhang, W. Yao, and L. Sun, "Comprehensive overview of maximum power point tracking algorithms of PV systems under partial shading condition," *Journal of Cleaner Production*, vol. 268, pp. 121983-122002, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121983.