

# GIẢI PHÁP ĐA TẦNG TRONG THEO DÕI ĐIỂM PHÁT CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI TOÀN CỤC CỦA HỆ THỐNG PIN QUANG ĐIỆN TRONG ĐIỀU KIỆN BÓNG CHE MỘT PHẦN

Bùi Văn Hiền<sup>1,2\*</sup>, Trương Việt Anh<sup>2</sup>, Dương Văn Khải<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

<sup>2</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

\*Email: [hienbv@hufi.edu.vn](mailto:hienbv@hufi.edu.vn)

Ngày nhận bài: 09/12/2021; Ngày chấp nhận đăng: 16/3/2022

## TÓM TẮT

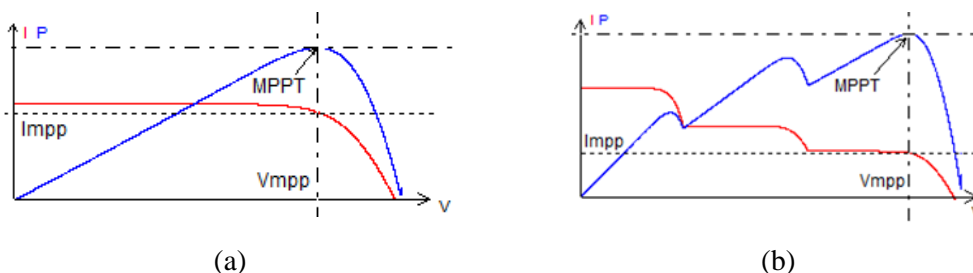
Công suất phát của hệ thống pin quang điện (PV- Photovoltaic) phụ thuộc đáng kể vào điều kiện vận hành. Nó tỷ lệ thuận với bức xạ mặt trời và tỷ lệ nghịch với nhiệt độ bề mặt của nó. Bên cạnh đó, đường cong đặc tuyến công suất – điện áp (P-V) và dòng điện – điện áp (I-V) thay đổi và xuất hiện nhiều điểm phát công suất cực đại (MPP- Maximum Power Point) khi điều kiện vận hành không đồng nhất. Nó là thách thức lớn nhất của các kỹ thuật bám điểm phát công suất cực đại toàn cục (GMPPT- Global Maximum Power Point Tracking) và tránh rơi vào các cực trị địa phương (LMPP- Local Maximum Power Point) để đạt hiệu suất tốt nhất. Bài báo này giới thiệu một kỹ thuật GMPPT đa tầng trong môi trường bóng che một phần. Trong đó, giai đoạn đầu có nhiệm vụ thu hẹp phạm vi tìm kiếm nhằm tìm ra điểm cực trị tiềm năng. Sau đó tăng tốc độ và hiệu quả MPPT bằng giải thuật nhiễu loạn và quan sát (P&O- Perturb and Observe) bản trong giai đoạn tiếp theo. Những kết quả thu được qua mô phỏng bằng phần mềm PSIM được so sánh với các nhóm giải thuật tối ưu khác nhằm đánh giá khách quan tính ưu việt của giải pháp đề xuất trong việc cải thiện tốc độ, hiệu suất và sự ổn định công suất phát của hệ thống PV.

*Từ khóa:* Bóng che một phần, giải pháp đa tầng, hệ thống pin quang điện.

## 1. GIỚI THIỆU

Năng lượng tái tạo nói chung và điện năng lượng mặt trời nói riêng đã, đang và chắc chắn sẽ ngày một trở nên phổ biến và được nghiên cứu, ứng dụng rộng khắp trên thế giới trong khi chúng ta đang giảm bớt sự phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu hóa thạch. Nó được xem là nguồn năng lượng xanh, sạch, thân thiện môi trường và có tiềm năng gần như vô tận, có thể khai thác ở hầu hết mọi nơi trên trái đất. Đứng trước nguồn tài nguyên vô giá này, thách thức lớn nhất là phát triển khoa học công nghệ để có thể khai thác tối đa hiệu suất và tối thiểu chi phí đầu tư, vận hành phục vụ nhu cầu thiết yếu ngày càng cao của con người. Khó khăn trong việc khai thác hiệu quả nguồn năng lượng mặt trời là bởi nó được chuyển trực tiếp thành điện năng thông qua một thiết bị gọi là pin quang điện. Mỗi module pin quang điện có công suất và kích thước giới hạn so với nhu cầu sử dụng của lưới điện. Do đó, chúng phải được liên kết với nhau thành một hệ thống được gọi là các nhà máy năng lượng mặt trời. Các đường cong đặc tuyến P-V, I-V của nó là phi tuyến và thay đổi phụ thuộc vào điều kiện vận hành. Chúng cũng thay đổi theo cấu hình liên kết các module PV trong hệ thống. Những nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng; liên kết kiểu song song (PC- Parallel Connect) luôn cho hiệu suất lớn nhất với dạng đường cong đặc tuyến đơn giản nhất khi chỉ có một điểm phát công suất cực đại trong mọi điều kiện vận hành. Tuy nhiên, kiểu liên kết này thu được điện áp ngõ ra thấp và dòng điện

lớn. Với điện áp thấp sẽ gây khó khăn cho việc thiết kế các bộ chuyển đổi DC/DC công suất lớn còn giá trị dòng điện lớn đòi hỏi phải có các khóa điều khiển an toàn dẫn đến tổn thất công suất đáng kể trên chúng. Ngược lại trong điều kiện đồng nhất, liên kết kiểu nối tiếp (SC- Series Connect) lại có áp cao và dòng điện thấp, phù hợp hơn cho việc thiết kế các mạch điều khiển công suất lớn. Nhưng nó lại phát sinh vấn đề bất lợi trong môi trường bóng che một phần do đường cong đặc tuyến của hệ thống xuất hiện nhiều điểm cực trị gây khó khăn cho việc GMPPT (Hình 1). Hơn nữa, với giá trị dòng điện ngõ ra không đổi thì những module PV bị bóng che sẽ đảo trạng thái làm việc dẫn đến phát nóng có thể phá hủy toàn bộ liên kết trong hệ thống. Vì thế việc kết hợp những ưu điểm và hạn chế bất lợi của chúng sẽ phát sinh những kiểu cấu hình đề xuất như: liên kết nối tiếp - song song (SPC- Series Parallel Connect), tổng liên kết chéo (TCT- Tatal Cross Tied), mạch cầu (BL- Brigde Linked) hay dạng tổ ong (HC- Honey Comb) [1-9]. Về cơ bản, những cấu hình này đã khắc phục được một số nhược điểm của hai dạng cấu hình truyền thống. Trong đó, liên kết kiểu SPC được ưa chuộng vì khả năng linh hoạt trong việc thiết lập dòng điện và điện áp ngõ ra [10]. Tuy nhiên, các dạng cấu hình cải tiến đều có nhiều MPP khiến cho các kỹ thuật dò tìm GMPPT dễ bị bẫy vào cực trị địa phương và gây tổn thất công suất. Do đó, chúng chưa hoàn toàn hiệu quả trong tất cả các trường hợp bóng che một phần. Cụ thể như kiểu liên kết TCT hiệu quả nhất khi bóng che tại trung tâm, bên phải, khung và đường chéo. Trong khi đó BL cung cấp GPP cao nhất trong các trường hợp bóng chengẫu nhiên. SPC có tổn thất công suất thấp nhất trong trường hợp bóng che hình L nhưng lại kém hiệu quả nhất trong trường hợp khung. cuối cùng là HC tỏ ra kém hiệu quả hơn trong mọi trường hợp [11]. Nguyên nhân chính có thể kể đến là do có quá nhiều mỗi nối dư thừa trong một số trường hợp vận hành. Điều này gây nên tổn thất công suất đáng kể và kéo theo sự sụt giảm hiệu suất phát điện của toàn hệ thống. Mặt khác, luôn tồn tại kiểu SC trong mọi cấu hình cải tiến đối với các hệ thống yêu cầu công suất lớn nên chúng có chung nhược điểm là sinh ra nhiều cực trị trong điều kiện không đồng nhất [12]. Như vậy, vấn đề đặt ra là tìm một giải pháp xác định GMPPT đủ nhanh, mạnh, chính xác để vượt qua thách thức này.



Hình 1. Đặc tuyến I-V và P-V khi điều kiện vận hành a. đồng nhất; b. không đồng nhất

Hiện nay, có rất nhiều giải thuật nhằm xác định GMPPT hiệu quả. Trước hết đến từ nhóm giải thuật truyền thống như: P&O và điện dẫn gia tăng (INC- Incremental Conductance) [13, 14]. Hai thuật toán này đơn giản và hoạt động ổn định trong điều kiện môi trường vận hành ít thay đổi nhưng tỏ ra kém hiệu quả khi có hiện tượng bóng che một phần. Những cấu hình đa dạng và điều kiện làm việc phức tạp nên đòi hỏi phương pháp tính toán phải nhanh chóng, chính xác và hiệu quả hơn. Như một tất yếu, nhóm các giải thuật tối ưu khác dựa trên việc mô phỏng các hành vi chọn lọc trong tự nhiên được giới thiệu và ứng dụng [15-35]. Những giải thuật này đã hạn chế tối đa nhược điểm của hai phương pháp truyền thống khi giải quyết vấn đề đa điểm cực trị một cách hiệu quả, nhưng nhìn chung hiệu suất chưa được cải thiện đáng kể. Từ thực tế cho thấy, ưu điểm của giải thuật này có khi là nhược điểm của giải thuật khác đã dẫn tới quan điểm kết hợp hai hay nhiều giải thuật đơn lẻ lại với nhau để nâng cao hiệu quả. Từ việc kết hợp giữa một thuật toán tối ưu với phương pháp truyền thống để tận dụng tính đơn giản trong cấu trúc và xử lý của phương pháp leo đồi [36-42]. Cho tới việc kết hợp giữa hai giải thuật tối ưu để đạt được độ chính xác cao, tốc độ hội tụ nhanh, hiệu suất tối đa [43-49].

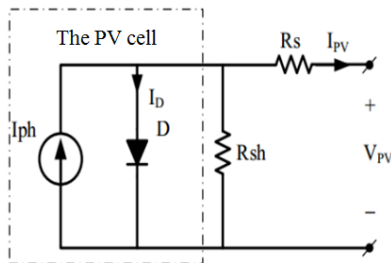
Tuy nhiên, để đạt mục tiêu, bằng cách này hay cách khác, chúng đều phải tìm kiếm mục tiêu trong toàn bộ không gian tìm kiếm nên tốc độ hội tụ, hiệu suất, sự phức tạp trong cấu hình vẫn là những nhược điểm của các giải pháp trước đây. Những kết quả báo cáo mới đây cho thấy sự kết hợp giải quyết vấn đề đa tầng đã đạt được những thành tựu khả quan bước đầu. Ở đó, tầng đầu tiên là tìm cách giới hạn phạm vi giải quyết bài toán mục tiêu. Khi vùng tìm kiếm được thu hẹp thì tốc độ và sự chính xác trong việc xác định GMPP của tầng thứ hai cũng sẽ được cải thiện. Vấn đề quan trọng là giới hạn phạm vi tìm kiếm bằng cách nào để không bỏ sót điểm đến mục tiêu trong không gian tìm kiếm thay đổi liên tục.

Bài báo này giới thiệu một giải pháp đa tầng (MS - multistage) để GMPPT trong điều kiện bóng che một phần. Điểm nổi bật của phương pháp đề xuất nhằm giải quyết những giới hạn của các giải thuật trước đây được biết đến như: *i* – dòng ngõ ra của hệ thống được sử dụng như một tham số điều khiển thay vì giá trị điện áp do tính ổn định của nó. *ii* – giá trị dòng điện và điện áp ngõ ra của hệ thống được đo liên tục nhằm xác định giá trị dao động của MPP tức thì [50]. *iii* – xấp xỉ đường cong đặc tuyến I – V của hệ thống PV nhằm giới hạn phạm vi tìm kiếm của giải pháp. Để có kết quả thực nghiệm so sánh, nghiên cứu sử dụng 3 module PV loại PL90 mô phỏng trong môi trường PSIM. Tính hiệu quả, độ chính xác và tốc độ hội tụ của giải pháp được trình bày trong phần 3. Trong khi đó, phần 2 trình bày những ảnh hưởng của môi trường hoạt động đến hệ thống PV và giải pháp đề xuất thông qua việc xấp xỉ đường cong đặc tuyến. Cuối cùng là kết luận được trình bày trong phần 4.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Tế bào quang điện

Mô hình toán của tế bào quang điện được giới thiệu trong Hình 2 bao gồm một diode song song với một nguồn dòng được điều khiển bởi ánh sáng và hai điện trở nối tiếp và song song là  $R_s$ ,  $R_p$ .



Hình 2. Mô hình toán của tế bào quang điện.

Khi đó dòng điện ngõ ra của tế bào quang điện được tính theo công thức [15]:

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

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 ( $1,602 \cdot 10^{-19}C$ );  $k$ : hằng số Boltzman ( $1,381 \cdot 10^{-23}J/K$ );  $T$ : nhiệt độ lớp tiếp xúc (K);  $n$ : hệ số lý tưởng của diode;  $R_s$ ,  $R_{sh}$ : điện trở nối tiếp và song song ( $\Omega$ ),

Mặt khác, dòng quang điện  $I_{ph}$  phụ thuộc vào bức xạ mặt trời và nhiệt độ làm việc của nó theo biểu thức [51].

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_1(T_c - T_{ref})]S \quad (2)$$

Trong đó:  $I_{sc}$ : dòng ngắn mạch của PV ở 25°C (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 ( $kW/m^2$ ).

Với hệ số nhiệt độ  $K_I$  khá nhỏ thì dòng quang điện gần như tỷ lệ thuận với bức xạ mặt trời. Khi đó dòng điện bão hòa ngược được tính theo công thức [51]:

$$I_0 = I_{RS} \left( \frac{T_c}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[ \frac{qE_G(T_c - T_{ref})}{T_{ref}nkT_c} \right] \quad (3)$$

Trong đó:  $I_{RS}$ : dòng bão hòa ngược ở bề mặt (A);  $E_G$ : năng lượng vùng cấm của chất bán dẫn.

Công suất của mỗi tế bào quang điện khá nhỏ, để đạt giới hạn công suất ra mong muốn, mỗi hệ thống cần nhiều tấm PV liên kết lại với nhau theo các cấu hình phù hợp với điều kiện sử dụng. Trong khi đó, mỗi tấm PV lại bao gồm nhiều tế bào quang điện ghép lại với nhau. Ở điều kiện vận hành đồng nhất, đường cong đặc tuyến của hệ thống PV đồng dạng với đặc tuyến của mỗi tế bào. Mối quan hệ giữa dòng điện, điện áp của 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 [51].

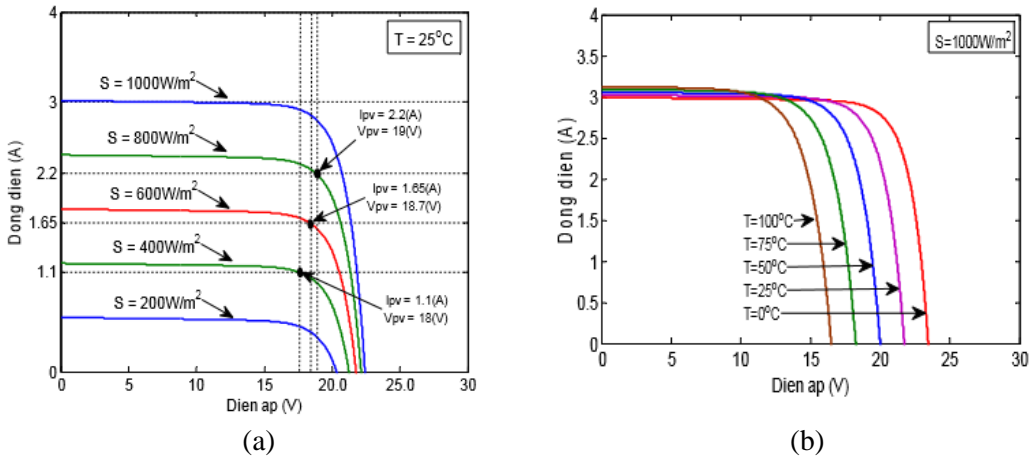
$$I = N_p I_{SC} - N_p I_0 \left\{ e^{\frac{q(V + N_s I R_s)}{N_s k T}} - 1 \right\} - \frac{V + N_s I R_s}{N_s R_p} \quad (4)$$

## 2.2. Tác động của bóng che một phần đến đặc tính của PV

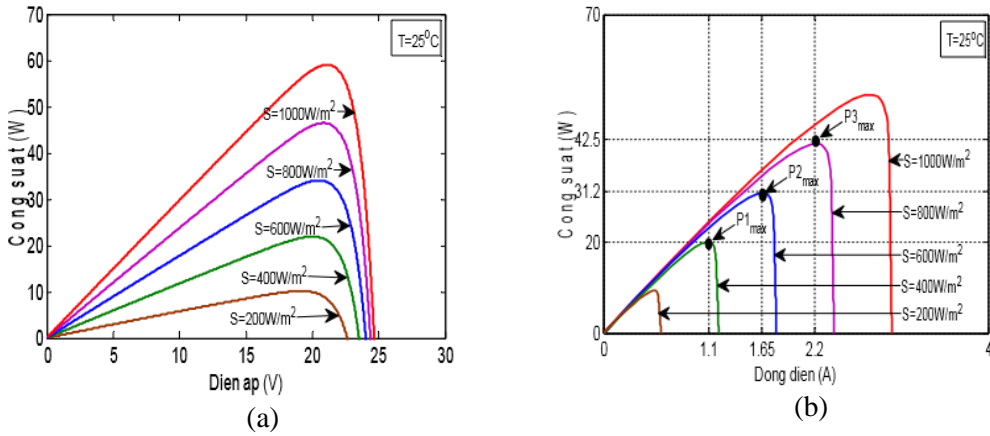
Đặc trưng cơ bản của PV là các đường cong đặc tuyến P-V và I-V phụ thuộc trực tiếp vào mức độ bức xạ và nhiệt độ làm việc bề mặt của các tấm pin. Từ đó có thể ảnh hưởng đến công suất phát của toàn hệ thống.

Trong các Hình 3-5 cho thấy mối quan hệ giữa công suất, dòng điện và điện áp trong môi trường vận hành thay đổi. Chúng ta có thể dễ dàng thấy rằng: khi thay đổi bức xạ, dòng điện tại các điểm MPP bị ảnh hưởng nhiều hơn so với điện áp (Hình 4a). Ngược lại, nếu nhiệt độ vận hành của các PV bị thay đổi thì khả năng ổn định điện áp lại kém hơn so với dòng điện. Điều này cũng có thể nhận thấy trong các đường đặc tuyến P-V và P-I trong Hình 4 và 5.

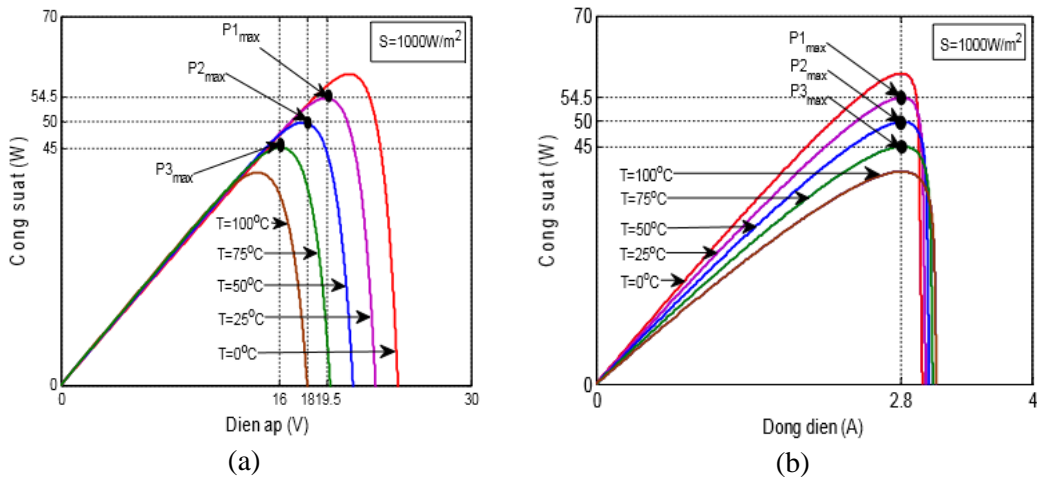
Trong điều kiện vận hành đồng nhất, đường đặc tuyến P-V và I-V của mọi hệ thống liên kết đều có cùng một dạng như đã đề cập, hệ thống chỉ xuất hiện một MPP và cũng chính là GMPP. Khi đó các kỹ thuật điều khiển bám GMPP tương đối đơn giản, không cần dùng đến các giải thuật cũng như những cấu hình quá phức tạp. Không may là khi bức xạ bề mặt tăng lên thì nhiệt độ làm việc của các tấm pin theo đó cũng gia tăng. Điều đó có nghĩa là trong điều kiện vận hành thực tế, cả hai thông số dòng điện và điện áp đều bị dao động dẫn đến điểm MPP của hệ thống PV cũng thay đổi khó nhận định hơn. Điều này có nghĩa là khi bức xạ gia tăng, lẽ ra công suất của hệ thống theo đó được cải thiện, nhưng do việc gia tăng nhiệt độ bề mặt của chúng mà dẫn đến mức tăng công suất không như mong muốn. Điều này có nghĩa là ngay cả trong điều kiện vận hành đồng nhất nhưng nếu giải pháp không đủ tốc độ và sự chính xác vẫn có thể dẫn đến tổn thất công suất đáng kể do suy giảm tốc độ hội tụ. Nó có thể được giải thích một cách chi tiết như trong Hình 6.



Hình 3. Quan hệ dòng điện và điện áp khi thay đổi: a. bức xạ; b. nhiệt độ



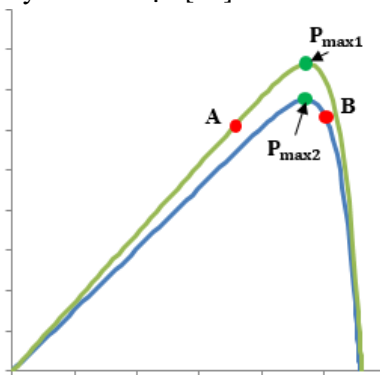
Hình 4. Đặc tuyến khi thay đổi bức xạ: a. công suất - điện áp P-V; b. công suất - dòng điện P-I



Hình 5. Đặc tuyến khi thay đổi nhiệt độ: a. công suất - điện áp P-V; b. công suất - dòng điện P-I

Khi có sự thay đổi bức xạ giữa hai lần lấy mẫu, các giải pháp có tốc độ đáp ứng chậm sẽ cho kết quả không như mong đợi. Cụ thể: Giả sử hệ thống đang làm việc để tìm đến vị trí  $P_{max1}$  và đang dò tìm đến vị trí điểm A. Nếu ngay trước lần lấy mẫu tiếp theo mà điều kiện vận hành thay đổi làm đặc tuyến P-V thay đổi khiến cho điểm phát công suất mục tiêu mới là  $P_{max2}$  và

giải thuật xác định được vị trí bước dò tiếp theo là tại B so với A tại lần lấy mẫu trước. Do  $P_B > P_A$  và  $V_B > V_A$ , tại điểm này bước tính tiếp theo sẽ cho kết quả  $\Delta P \cdot \Delta V > 0$  nên phải tăng điện áp (tiến tới mục tiêu của A là  $P_{max1}$ ). Kết quả là sau một bước lặp nữa giải thuật mới nhận ra đang rời xa thay vì tiến lại gần điểm cực trị mới ( $P_{max2}$ ). Điều này khiến tốc độ hội tụ chậm hơn trong môi trường vận hành thay đổi liên tục [50].

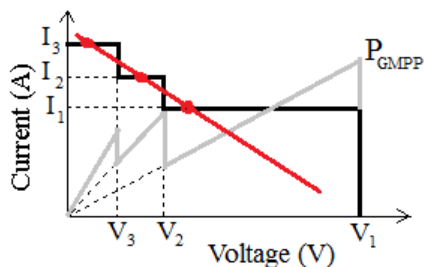


Hình 6. Ảnh hưởng của thay đổi bức xạ giữa hai lần lấy mẫu

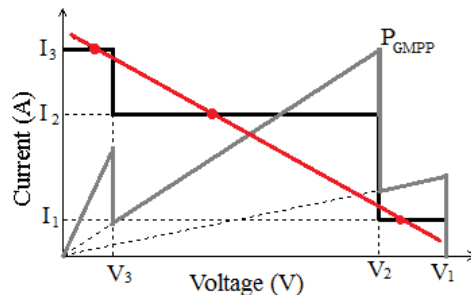
Ngược lại, trong điều kiện vận hành không đồng nhất, khi bị bóng che một phần do các hiện tượng tự nhiên, số cực trị gia tăng không những phụ thuộc vào môi trường, mà còn bị ảnh hưởng bởi số lượng module và cách liên kết chúng (Hình 1). Điều này gây khó khăn cho việc xác định GMPP, ảnh hưởng đến công suất ra của toàn hệ thống. Khi đó các kỹ thuật điều khiển bám GMPPT gặp nhiều khó khăn vì đòi hỏi tốc độ tính toán, độ chính xác cũng như độ ổn định của kỹ thuật điều khiển. Vì nếu không cẩn thận có thể xác định nhầm một trong số các LMPP dẫn đến hiệu suất của toàn hệ thống bị suy giảm đáng kể.

### 2.3. Thuật toán điều khiển đề xuất

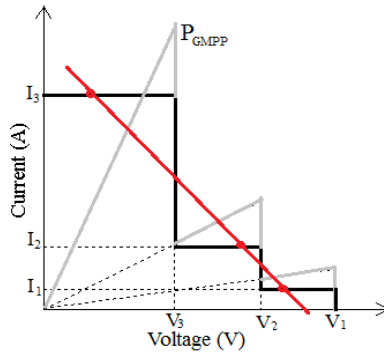
Như những phân tích ở trên, tổn thất công suất trong điều kiện bóng che một phần chủ yếu phát sinh tại các liên kết nối tiếp. Do đó, giải quyết bài toán đa cực trị trong chuỗi liên kết kiểu này sẽ góp phần giảm tổn thất công suất và gia tăng hiệu suất sinh điện của hệ thống PV. Rajput và cộng sự đã đề xuất giải pháp thu hẹp phạm vi tìm kiếm GMPP bằng cách giới hạn ngưỡng trên và dưới của dòng điện làm việc. Nó sẽ được điều chỉnh tăng hoặc giảm khi dòng điện tại MPP là thấp hơn ngưỡng dưới hoặc cao hơn ngưỡng trên. Những báo cáo kết quả của nó cho thấy hiệu quả hơn các phương pháp đã đề xuất trước đó. Tuy nhiên, việc phải tìm kiếm trong một phạm vi giới hạn cũng mất nhiều thời gian hơn nên tốc độ hội tụ cải thiện được chưa đáng kể. Những kết quả trong bài viết này cũng cho thấy tốc độ hội tụ của nó chậm hơn so với hai phương pháp truyền thống là P&O và INC [52].



(a)



(b)



(c)

Hình 7. Xấp xỉ đường cong đặc tuyến I – V khi  $P_{GMPP}$ : a. tại  $I_1$ , b. tại  $I_2$ , c. tại  $I_3$ .

Mục tiêu chính của giải pháp đề xuất là giới hạn việc tìm kiếm GMPP quanh vị trí một điểm tiềm năng thay vì phải kiểm tra trong phạm vi một vùng. Điều này sẽ giúp gia tăng tốc độ hội tụ nếu vị trí đã chọn xấp xỉ giá trị mục tiêu. Để giải quyết vấn đề này, câu hình giải thuật được chia thành hai giai đoạn: đầu tiên là giai đoạn xác định điểm cực trị tiềm năng trên đường cong đặc tuyến I - V để giới hạn vùng tìm kiếm trong phạm vi lân cận. Giai đoạn thứ hai là dùng thuật toán tìm kiếm để xác định chính xác GMPP xuất phát từ điểm làm việc giới hạn đã chọn trước.

Để ước lượng tọa độ điểm MPP tham chiếu, giá trị dòng điện ngõ ra của hệ thống được chọn như một tham số điều khiển thông qua việc tính xấp xỉ đường cong đặc tuyến I - V. Giả sử có ba nhóm các module PV nhận được chiếu xạ khác nhau hoàn toàn và trong mỗi trường hợp đều có nhiều LMPP sau quá trình xấp xỉ đường cong sẽ tạo thành các đường tuyến tính như Hình 7. Rajput và các cộng sự cũng chỉ ra rằng việc xác định vị trí GMPP phụ thuộc vào giá trị dòng ngắn mạch và điện áp ra của các nhóm được chiếu xạ khác nhau. Điều này có thể được giải thích rằng công suất cực đại của hệ thống đạt được tại các giá trị dòng điện  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  tương ứng trong các Hình 7a, 7b và 7c [52].

Ban đầu, việc thu thập mẫu một số điểm trên đường cong đặc tuyến I-V được thực hiện nhằm xác định các giá trị dòng điện ứng với mỗi trạng thái bị bóng che. Để không bỏ sót điểm cực trị và tăng tốc độ xử lý, tọa độ điểm lấy mẫu nằm trong khoảng  $[0,2-0,85]V_{oc}$ . Việc xấp xỉ gần đúng đường cong như Hình 7 sẽ cho phương trình biểu diễn quan hệ giữa dòng điện và điện áp có dạng như sau:

$$V = aI + b \quad (5)$$

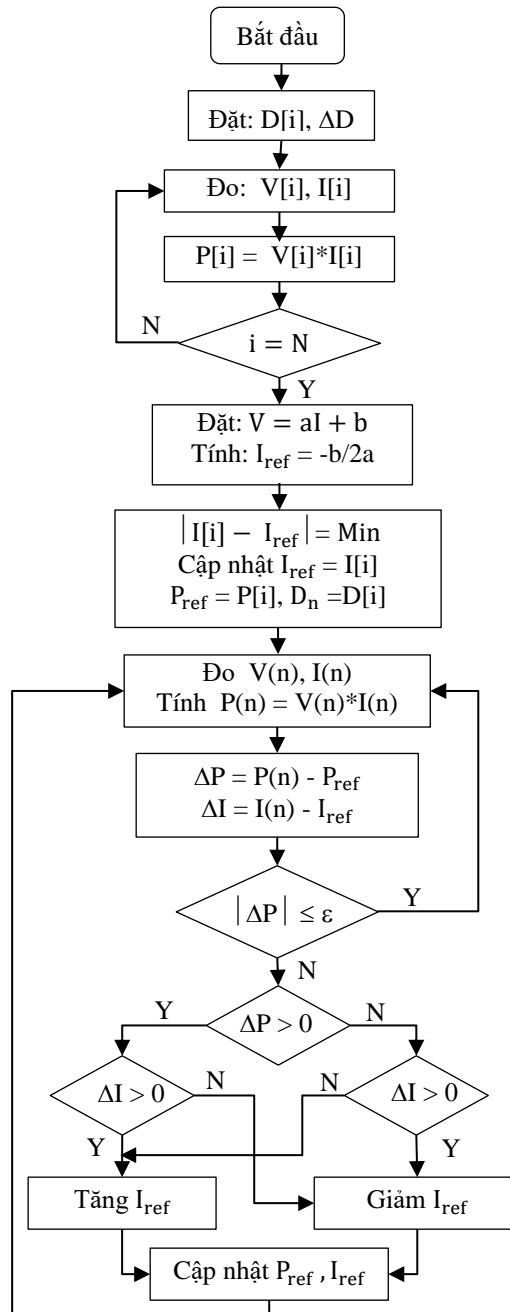
Biểu thức xác định công suất ngõ ra của hệ thống:

$$P = I.V = aI^2 + bI \quad (6)$$

Khi đó tọa độ điểm phát công suất cực đại trong trường hợp này là

$$\frac{dP}{dI} = 0 \Leftrightarrow I = -\frac{b}{2a} \quad (7)$$

Giá trị dòng điện trong biểu thức 7 là vị trí tiềm năng tham chiếu cho việc dò tìm điểm GMPP của hệ thống. Trong suốt quá trình xử lý, việc xấp xỉ để tìm tọa độ dòng điện tối ưu được tính toán và so sánh liên tục với giá trị trước đó nhằm xác định sự thay đổi của môi trường làm việc.



• Hình 8. Lưu đồ giải thuật đề xuất

Giai đoạn thứ hai là xác định điểm GMPP sau khi đã tìm được giá trị tham chiếu của dòng điện tối ưu từ phương trình tuyến tính hóa. Xuất phát từ vị trí tiềm năng trong phương trình (7), việc sử dụng giải thuật dò tìm GMPP đơn giản giúp gia tăng tốc độ hội tụ và hiệu suất hệ thống. Hơn nữa, khi đã giới hạn được phạm vi tìm kiếm sẽ giúp giải thuật tránh rơi vào bẫy LMPP. Lưu đồ giải thuật đề xuất được trình bày trong Hình 8 có nguyên lý hoạt động như sau:



Phần giới hạn tìm điểm phát công suất tiềm năng

- *Bước 1:* lấy mẫu một số điểm trên đường cong đặc tuyến I-V bằng việc thiết lập tỷ số đóng điện  $D[i]$  trong phạm vi tìm kiếm. Để thực hiện bước này hiệu quả, hai giá trị khởi động  $D[0]$  và  $D[1]$  được giới hạn là 0.15 và 0.9. Từ đó xác định được hai thông số dòng điện  $I$  và điện áp  $V$  tương ứng. Các giá trị  $D[i+1]$  tiếp theo ( $i > 0$ ) được chọn theo điều kiện  $D[i+1] = 0.5 * (D[i] + D[i-1])$  thông qua việc so sánh khoảng cách lớn nhất giữa các giá trị  $I[i]$  liên tiếp. Khi đó giá trị  $I[i+1]$  sẽ được chèn vào giữa khoảng cách lớn nhất nhờ điều khiển các giá trị  $D[i]$  tương ứng để khoảng cách điểm lấy mẫu tương đối đều nhau. Số lượng điểm lấy mẫu cần đủ lớn để việc xấp xỉ đường cong không gây ra nhiều sai số. Nhưng nó cũng cần đủ nhỏ và bố trí sao cho khoảng cách giữa các giá trị dòng điện là đồng đều để đảm bảo tốc độ hội tụ và khả năng tìm kiếm của bước tiếp theo. Các giá trị công suất phát tương ứng  $P[i]$  cũng sẽ xác định thông qua hai giá trị  $V[i]$  và  $I[i]$ .
- *Bước 2:* xác định vị trí tiềm năng để đưa ra giới hạn tìm kiếm GMPP. Ngay khi có đủ lượng mẫu trong bước 1, thực hiện phép toán xấp xỉ để xây dựng mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp ngõ ra của hệ thống như phương trình 4. Sau đó tính toán vị trí điểm phát tối ưu tiềm năng như phương trình 7 để chọn làm điểm tham chiếu tạm thời  $I_{ref}$ .
- *Bước 3:* chọn điểm bắt đầu dò tìm GMPP: vì giá trị của dòng điện được quy định bởi tỷ số đóng điện  $D$  nên không thể suy ra  $D_{ref}$  từ  $I_{ref}$  ở bước 2. Do đó, cần phải tìm được giá trị  $D[i]$  tương ứng với tọa độ điểm lấy mẫu  $I[i]$  gần với giá trị tiềm năng  $I_{ref}$  nhất. Tọa độ này thỏa mãn điều kiện  $|I[i] - I_{ref}|$  là nhỏ nhất. Sau đó cập nhật lại  $I_{ref} = I[i]$ . Các giá trị công suất và tỷ số đóng điện của nó cũng được chọn làm giá trị tham chiếu cho bước tính tiếp theo  $P_{ref} = P[i]$ ,  $D_n = D[i]$ .

Phần nguyên lý xác định GMPPT hoạt động theo các bước sau:

- *Bước 4:* xác định độ sai lệch công suất  $\Delta P$  và dòng điện  $\Delta I$ . Bộ điều khiển MPPT sẽ đo các giá trị  $V(n)$ ,  $I(n)$  sau đó tính sai số công suất và dòng điện so với giá trị tham chiếu ở bước trước đó.
- *Bước 5:* kiểm tra hội tụ của giải thuật. Nếu sai số công suất nhỏ hơn giá trị cho phép thì giải thuật không thay đổi giá trị tham chiếu ở các bước sau đó. Ngược lại, nếu có sự khác biệt sẽ tiến hành kiểm tra điều chỉnh theo nguyên tắc:

- o Nếu  $\Delta P * \Delta I > 0$  thì tăng giá trị dòng điện tham chiếu  $I_{ref}$
- o Nếu  $\Delta P * \Delta I < 0$  thì giảm giá trị dòng điện tham chiếu  $I_{ref}$ .

Sau khi thay đổi giá trị dòng điện sẽ cập nhật lại giá trị tham chiếu và thực hiện các phép đo cho những chu kỳ tiếp theo. Việc thay đổi giá trị dòng điện tham chiếu được điều khiển thông qua việc tăng hay giảm giá trị tỷ số đóng điện một lượng  $\Delta D$ . Giải pháp được xem là hội tụ khi thỏa mãn hàm mục tiêu sau:

$$\Delta P = \left| \frac{P_{n+1} - P_n}{P_n} \times 100\% \right| \leq \varepsilon \quad (8)$$

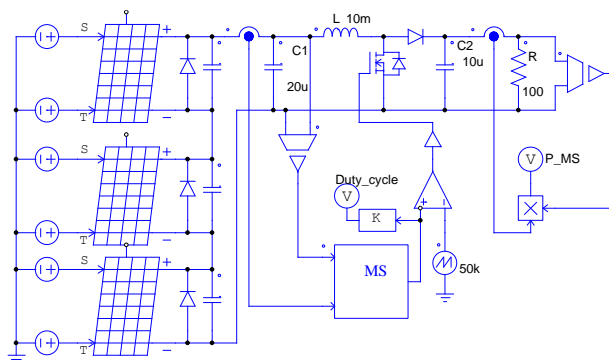
Để kiểm tra tính hiệu quả của giải pháp đề xuất, một mô hình vật lý mô tả đặc tính của PV loại PL90 với các thông số như trong bảng 1 vận hành trong môi trường PSIM được sử dụng. Hệ thống MPPT cung cấp giá trị độ rộng xung  $D$  cho mạch Boost converter. Các thông số của mạch điều khiển và mạch DC/DC được thể hiện trong Hình 9.

Bảng 1. Thông số của tấm pin quang điện.

Tên module PV	PL90
Số lượng cell	36
Công suất cực đại (Pmax)	90W
Dòng điện tại Pmax (Imp)	5,14A
Điện áp tại Pmax (Vmp)	17,5V
Dòng điện ngắn mạch Isc	6,52A
Điện áp hở mạch Voc	21,6V
Kích thước	1005*668*35mm

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Cấu hình liên kết đề xuất vận hành trong môi trường PSIM có cấu trúc như trình bày trong Hình 9. Mặc dù nhiệt độ có ảnh hưởng đến hình dạng đặc tuyến của PV như đã phân tích ở trên nhưng tốc độ thay đổi nhiệt độ là chậm hơn so với sự thay đổi bức xạ. Hơn nữa, với đặc tuyến thay đổi nhiệt độ hay bức xạ thì bài toán vẫn là xác định GMPP trong các LMPP sao cho đạt được hiệu suất và tốc độ tốt nhất. Do đó, hệ thống được xem xét mô phỏng trong các điều kiện vận hành với mức độ bức xạ thay đổi ngẫu nhiên và được liệt kê chi tiết trong Bảng 2. Những kết quả thu được từ quá trình mô phỏng cho thấy tốc độ hội tụ của giải thuật đề xuất là vô cùng ấn tượng. Đặc biệt, khi mô phỏng trong điều kiện vận hành thay đổi liên tục, hệ thống luôn bám sát điểm GMPP với hiệu suất cao hơn 99% (Bảng 2).



Hình 9. Cấu hình hệ thống PV mô phỏng trong môi trường PSIM.

Bảng 2. Các trường hợp vận hành thử nghiệm.

TH	PV1 (W/m <sup>2</sup> )	PV2 (W/m <sup>2</sup> )	PV3 (W/m <sup>2</sup> )	P <sub>max</sub> (W)	P <sub>MS</sub> (W)	η (%)	Tốc độ (s)
C1	1000	300	400	89,404	89,183	99,75	0,032
C2	700	1000	300	133,155	133,108	99,96	0,027
C3	900	500	400	116,239	116,140	99,91	0,062
C4	700	800	900	199,964	199,852	99,94	0,042
C5	600	200	500	92,145	92,134	99,99	0,029
C6	800	400	200	76,339	76,138	99,74	0,024
C7	700	900	300	131,701	131,402	99,77	0,032
C8	500	1000	900	166,329	166,071	99,84	0,045
C9	1000	800	700	201,334	201,185	99,93	0,027
C10	1000	800	200	150,350	149,705	99,57	0,035

Từ Bảng 4 và dữ liệu minh họa trong Hình 10 cũng cho thấy tốc độ GMPPT trong khoảng 0,027 đến 0,062s. Điều này là rất khó đạt được so với những giải pháp đề xuất trước đây khi chỉ thỏa mãn hoặc tốc độ hội tụ, hoặc hiệu suất của hệ thống.

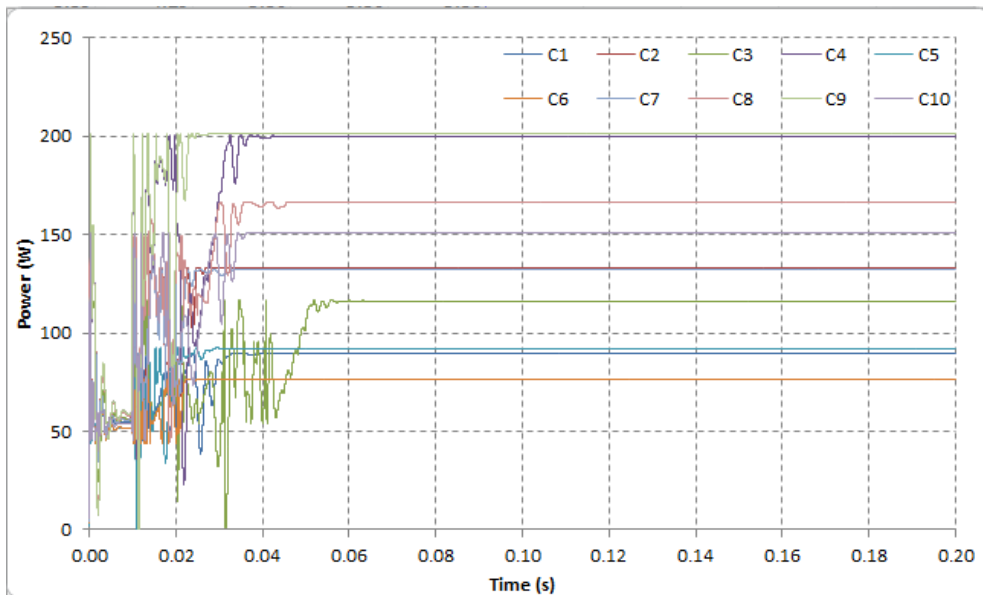
Tính hiệu quả của giải pháp đề xuất còn được so sánh với hai giải thuật tối ưu khác trong cùng điều kiện vận hành là giải thuật tối ưu hóa bầy đàn (PSO- Particle Swarm Optimization) [42] và giải thuật di truyền (GA- Genetic Algorithm) [53]. Các thông số của hai giải thuật này được trình bày trong các Bảng 3 và 4. Kết quả mô phỏng so sánh trong Hình 11 cho thấy tốc độ và hiệu suất của ba giải pháp có đặc điểm như sau: Hiệu suất của chúng khá tương đồng tuy nhiên tốc độ của MS bỏ xa hai giải pháp còn lại khi hội tụ ở 0,03s trong khi đó PSO phải mất 0,18s mới tìm được điểm cực trị. GA cũng mất khoảng thời gian gấp đôi so với MS khi cần tới 0,07s để đạt tới điểm mục tiêu.

Bảng 3. Thông số của giải thuật PSO

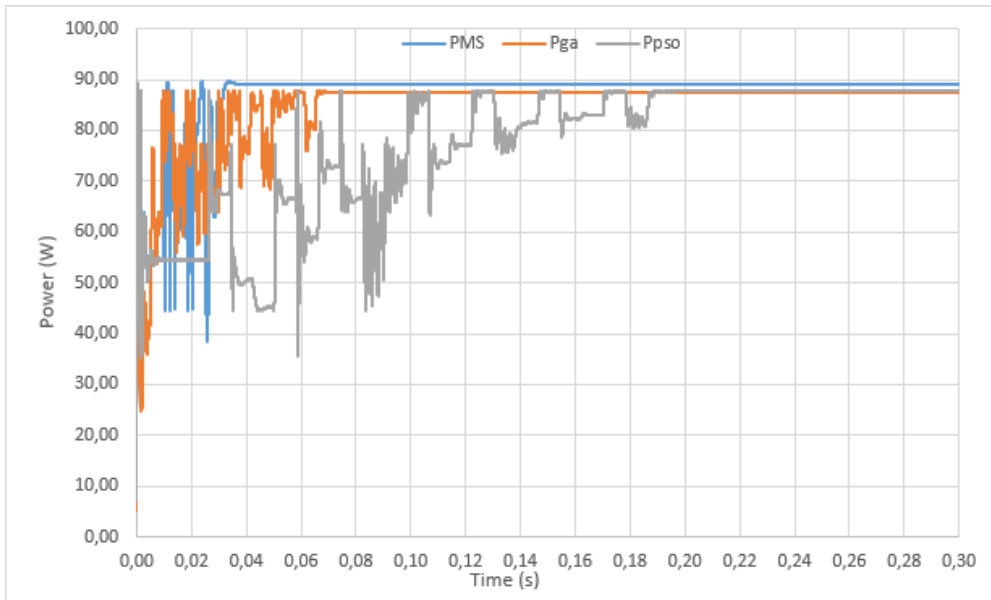
Thông số	Giá trị
Kích cỡ bầy đàn (n)	4
Số lần lặp cực đại ( $k_{max}$ )	100
Hằng số gia tốc $C_1, C_2$	0,02; 0,5
Trọng số quán tính	0,1
Hệ số ngẫu nhiên $r_1, r_2$	[0 1]
Số lượng mẫu	300

Bảng 4. Thông số của giải thuật GA

Thông số	Giá trị
Kích thước quần thể ban đầu	4
Số lần lặp cực đại ( $k_{max}$ )	100
Tỷ lệ đột biến	10%
Hệ số sinh sản	0,8
Kích thước quần thể tối đa	8
Số lượng mẫu	300

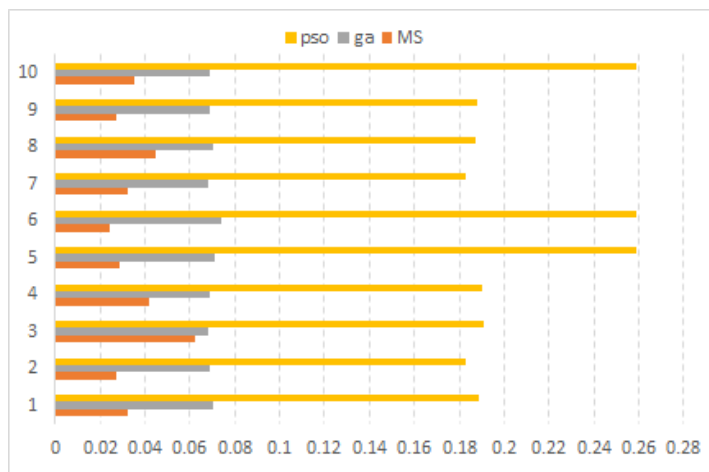


Hình 10. Tổng hợp kết quả mô phỏng 10 trường hợp trong Bảng 2

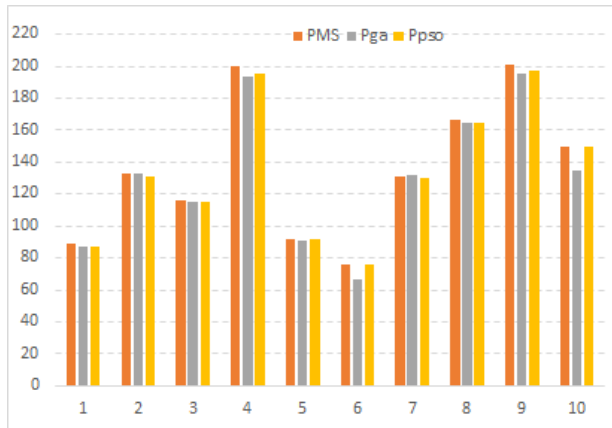


Hình 11. So sánh giải pháp đề xuất với giải thuật GA và PSO cho trường hợp 1

Hình 12 thể hiện chính xác sự vượt trội của giải pháp đề xuất khi có tốc độ hội tụ nhanh hơn hẳn so với các giải thuật tối ưu - cái tỏ ra rất hiệu quả trong những nghiên cứu gần đây. Kết quả cho thấy, tốc độ của MS luôn bỏ xa hai giải pháp còn lại, trong khi đó PSO tỏ ra kém hiệu quả nhất trong mọi trường hợp. Bên cạnh đó, Hình 13 so sánh hiệu suất của ba giải pháp trong cùng một điều kiện vận hành. Chúng tỏ ra khá đồng đều trong hầu hết các trường hợp. Tuy nhiên GA cho thấy có hiệu suất kém hơn trong hai trường hợp 6 và 10. Điều này cho thấy khả năng đáp ứng của MS trong những điều kiện vận hành thay đổi là khá tin cậy. Hơn nữa, việc sử dụng giá trị dòng điện tham chiếu như một thông số điều chỉnh trong cấu hình này giúp cho công suất phát ổn định hơn quanh điểm GMPP do nó ít thay đổi hơn so với thông số điện áp.



Hình 12. So sánh tốc độ hội tụ của MS với GA và PSO.



Hình 13. So sánh hiệu suất của MS với GA và PSO.

#### 4. KẾT LUẬN

Với mục tiêu thu hẹp phạm vi tìm kiếm GMPP của hệ thống PV trong điều kiện đa điểm MPP khi xảy ra hiện tượng bóng che một phần nhằm tăng tốc độ hội tụ, nâng cao hiệu suất phát điện của toàn hệ thống, bài viết này đề xuất một giải pháp xử lý đa tầng là sự kết hợp giữa thủ thuật xấp xỉ phương trình đường cong đặc tuyến I - V với một giải thuật tối ưu để bám điểm GMPPT một cách hiệu quả. Những kết quả thu được từ quá trình mô phỏng đã cho thấy khả năng đáp ứng yêu cầu đề ra của giải thuật là đáng tin cậy khi thời gian tìm kiếm chỉ trong giới hạn từ 0,027-0,062s, nhanh nhất so với các nhóm giải thuật được giới thiệu trước đó. Điều này một lần nữa cho thấy, việc chọn tham số điều khiển phù hợp với giải pháp có thể mang lại những giá trị tích cực cho vấn đề đặt ra đó là khả năng MPPT một cách ổn định trong những điều kiện vận hành thay đổi. Ngoài ra, với những trường hợp mô phỏng như đã được chỉ ra trong bài viết cho thấy khả năng ứng dụng cao của giải pháp đề xuất trong những cánh đồng PV rộng lớn góp phần cải thiện chất lượng điện năng của hệ thống điện.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ramaprabha R. and Mathur B. L. - A comprehensive review and analysis of solar photovoltaic array configurations under partial shaded conditions, *International Journal of Photoenergy* **2012** (2012) 1-16.
2. Belhachat F. and Larbes C. - Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions, *Solar Energy* **120** (2015) 399-418.
3. Koray Sener Parlak - PV array reconfiguration method under partial shading conditions, *Electrical Power and Energy Systems* **63** (2014) 713-721.
4. VILLA L. F. L., Picault D., Raison B., Bacha S. and Labonne A. – Maximizing the power output of partially shaded photovoltaic plants through optimization, *IEEE journal of photovoltaics* **2** (2) (2012) 154-163.
5. Bidram A., Davoudi A. and Balog R. S. – Control and circuit techniques to mitigate partial shading effects in photovoltaic arrays, *IEEE journal of photovoltaics* **2** (4) (2012) 532 – 546.
6. Jazayeri M., Uysal S. and Jazayeri K. – A comparative study on different photovoltaic array topologies under partial shading conditions, 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition (2014).

7. Shams El-Dein M. Z., Kazerani M. and Salama M. M. A. – Optimal photovoltaic array reconfiguration to reduce partial shading losses, *IEEE Transactions on Sustainable Energy* **4** (1) (2013) 145-153.
8. Shams El-Dein M. Z., Kazerani M. and Salama M. M. A. – Novel configurations for photovoltaic farms to reduce partial shading losses, 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting (2011).
9. Wang Y. J. and Hsu P. C. – An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells, *Energy* **36** (2011) 3069-3078.
10. Pachauri R. K., Mahela O. P., Sharma A., Bai J., Chauhan Y. K., Khan B. and Alhelou H. H. – Impact of partial shading on various PV array configurations and different modeling approaches: a comprehensive review, *IEEE Access* **8** (2020) 181375-181403.
11. Bonthagorla P. K. and Mikkili S. – Performance analysis of PV array configurations (SP, BL, HC and TT) to enhance maximum power under non-uniform shading conditions, Science and Engineering Research Board, (2020).
12. Pendem S. R. and Mikkili S. – Modeling, simulation, and performance analysis of PV array configurations (Series, Series-Parallel, Bridge-Linked, and Honey-Comb) to harvest maximum power under various Partial Shading Condition, *International Journal of Green Energy* **15** (13) (2018) 795- 812.
13. Motahhir S., Ghzizal A. E., Sebti S. and Derouich A. – Proposal and implementation of a novel perturb and observe algorithm using embedded software, *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* **3** (2015).
14. Nguyễn Việt Ngự, Lê Thị Minh Tâm, Trần Thị Thuờng và Nguyễn Xuân Trường - 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* **13** (8) (2015) 1452-1463.
15. Kaced K., Larbes C., Ait-Chikh S. M., Bounadi M. and Elabadi Z. – FPGA implementation of PSO based MPPT for PV systems under partial shading conditions, *International Conference on Systems and Control* **6** (2017) 7-9.
16. Sawant P. T., Lbhattar P. C. and Bhattar C. L. – Enhancement of PV system based on artificial bee colony algorithm under dynamic conditions, *IEEE International Conference On Recent Trends In Electronics Information Communication Technology* (2016) 20-21.
17. Brindha S. G., Madhumithan R. and Aravind C. – Maximum power point tracking for PV array based on ant colony optimization under uniform and non-uniform irradiance, *International Journal of Intellectual Advancements and Research in Engineering Computations* **5** (2017).
18. Kaced K., Labes C., Ramzan N., Bounabi M. and Dahmane Z. E. – Bat algorithm based maximum power point tracking for photovoltaic system, under partial shading conditions, *Solar Energy* **158** (2017) 490-503.
19. Teshome D. F., Lee C. H., Lin Y. W., and Lian K. L. – A modified firefly algorithm for photovoltaic maximum power point tracking control under partial shading, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topic in Power Electronics* **5** (2) 661-671.
20. Rajsekar N., Bhardwaj P., Pabbewar A. and Verma M. – Fireworks algorithm for MPPT, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* **5** (01) (2016).
21. Jin Y., Hou W., Li G., and Chen X. – A Glowworm swarm optimization-based maximum power point tracking for photovoltaic/thermal systems under non-uniform solar irradiation and temperature distribution, *Energies* **10** (4) (2017) 541.

22. Huang C., Wang L., Yeung R. S., Zhang Z., Chung H. S. and Bensoussan A. – A prediction model guided jaya algorithm for the PV system maximum power point tracking, *IEEE Transaction on Sustainable Energy* **9** (1) (2018) 45-55.
23. Ram J. P. and Rajasekar N. – A new global maximum power point tracking technique for solar photovoltaic (PV) system under partial shading conditions (PSC), *Energy* **118** (2017) 512-525.
24. Ram J. P. and Rajasekar N. – A novel flower pollination based global maximum power point method for solar maximum power point tracking, *IEEE Transactions on Power Electronics* **32** (11) (2017) 8486-8499.
25. Diab A. A. Z. and Rezk H. – Global MPPT based on flower pollination and differential evolution algorithms to mitigate partial shading in building integrated PV system, *Solar Energy* **157** (2017) 171–186.
26. Somashekar B. and Esther B. P. – Partial shading conditions for photovoltaic system using MPPT techniques, *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER)* **03** (06) (2017).
27. Mohanty S., Subudhi B. and Ray P. K. – A new MPPT design using grey wolf optimization technique for photovoltaic system under partial shading conditions, *IEEE transactions on sustainable energy* **7** (1) (2017) 181-188.
28. Rajkumar M. V., Mahakumar M., Manojkumar M., Hemaraj M. and Kumaravel E. – A new DC-DC converter topology with grey wolf MPPT algorithm for photovoltaic system, *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)* **5** (4) (2017).
29. Kumar C. S. and Rao R. S. – Enhanced grey wolf optimizer based MPPT algorithm of pv system under partial shaded condition, *Journal of Renewable Energy Development* **6** (3) (2017) 203-212.
30. Rezk H. and Fathy A. – Simulation of global MPPT based on teaching–learning-based optimization technique for partially shaded PV system, *Electrical Engineering* **99** (3) (2016) 857-859.
31. Fathy A. and Rezk H. – A novel methodology for simulating maximum power point trackers using mine blast optimization and teaching learning based optimization algorithms for partially shaded photovoltaic system, *Journal of renewable and sustainable energy* **8** (2016).
32. Chao K. H. and Wu M. C. – Global maximum power point tracking (MPPT) of a photovoltaic module array constructed through improved teaching-learning-based optimization, *Energies* **9** (12) (2016) 986.
33. Fathy A., Zidan I. and Amer D. – An improved teaching learning based optimization algorithm for simulating the maximum power point tracking controller in photovoltaic system, *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology* **21** (2016) 9-18.
34. Kumar C. S. and Rao R. S. – A novel global MPP tracking of photovoltaic system based on whale optimization algorithm, *Journal of Renewable Energy Development* **5** (3) (2016) 225-232.
35. Kumar N., Hussain I. and Singh B. – Single sensor based MPPT for partially shaded solar photovoltaic by using human psychology optimisation algorithm, *IET Generation, Transmission & Distribution* **11** (10) (2017) 2562-2574.

36. Shi Y. J., Ling L. T., Xue F., Qin Z. J., Li Y. J., Lai Z. X. and Yang T. – Combining incremental conductance and firefly algorithm for tracking the global MPP of PV arrays, *Journal of Renewable and Sustainable Energy* **9** (2017) 023501.
37. El-Helw H. M., Magdy A. and Marei M. I. – A hybrid maximum power point tracking technique for partially shaded photovoltaic arrays, *IEEE Access* **5** (2017) 11900-11908.
38. Manickam C., Raman G. P., Raman G. R. and Ganesan S. I. – Fireworks enriched P&O algorithm for GMPPT and detection of partial shading in PV systems, *IEEE Transactions on Power Electronics* **32** (6) (2017) 4432-4443.
39. Mohanty S., Subudhi B. and Ray P. K. – A grey wolf assisted perturb & observe MPPT algorithm for a PV system, *IEEE Transaction on Energy Conversion* **32** (1) (2017) 340-347.
40. Karagoz M., Demirel H. and Erkal B. – A novel MPPT method for PV arrays based on modified bat algorithm with partial shading capability, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security* **17** (2) (2017) 61-66.
41. Hanafiah S., Ayad A., Hehn A. and Kennel R. – A hybrid MPPT for Quasi-Z-Source inverters in PV applications under partial shading condition, *IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)* (2017).
42. Yang Z., Duan Q., Zhong J., Mao M. and Xun Z. – Analysis of improved PSO and perturb & observe global algorithm for PV array under partial shading condition, *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* **29** (2017).
43. Guan T. and Zhuo F. – An improved SA-PSO Global maximum power point tracking method of photovoltaic system under partial shading conditions, *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/ I&CPS Europe)* (2017).
44. Qichang Duan Q., Mao M. X., Duan P. and Hu B. – An intelligent algorithm for maximum power point tracking in photovoltaic system under partial shading conditions, *Transactions of the Institute of Measurement and Control* **39** (2) (2016) 244-256.
45. Duan Q., Mao M. X., Duan P. and Hu B. – Comprehensive improvement of artificial fish swarm algorithm for global MPPT in PV system under partial shading conditions, *Transactions of the Institute of Measurement and Control* (2017).
46. Kumar N., Hussain I., Singh B. and Panigrahi B. K. – Rapid MPPT for uniformly and partial shaded PV system by using jayade algorithm in highly fluctuating atmospheric conditions, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* **13** (5) (2017) 2406-2416
47. Kumar N., Hussain I., Singh B. and Panigrahi B. K. – MPPT in dynamic condition of partially shaded PV system by using WODE technique, *IEEE Transactions on Sustainable Energy* **8** (3) (2017) 1204-1214.
48. Nie X. and Nie H. – MPPT control strategy of PV based on improved shuffled frog leaping algorithm under complex environments, *Journal of Control Science and Engineering* (2017) 1-11.
49. Mao M. X., Zhang L., Duan Q. C., Oghorada O. J. K., Duan P. and Hu B. – A two-stage particle swarm optimization algorithm for MPPT of partially shaded PV arrays, *International Journal of Green Energy* **14** (8) (2017) 694-702.
50. Femia N., Petrone G., Spagnuolo G. and Vitelli M. – Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method, *IEEE transactions on power electronics* **20** (4) (2005).



51. Alhussain H. M. A. and Yasin N. – 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 **18** (2) (2020) 666-677.
52. Rajput S., AverbukhM., Yahalom and Minav T. - An approval of MPPT based on PV Cell's simplified equivalent circuit during fast-shading conditions, Electronics **8** (9) (2019) 1060.
53. Ramaprabha R., Gothandaraman V., Kanimozhi K., Divya R. and Mathur B.L. - Maximum power point tracking using ga- optimized artificial neural network for solar PV system, International Conference on Electrical Energy Systems **1** (2011) 264-268.

## **ABSTRACT**

### **A MULTI-STAGE SOLUTION TO GLOBAL MAXIMUM POWER POINT TRACKING OF THE PHOTOVOLTAIC SYSTEM UNDER PARTIAL SHADING**

Bui Van Hien<sup>1,2\*</sup>, Truong Viet Anh<sup>2</sup>, Duong Van Khai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ho Chi Minh City University of Food Industry*

<sup>2</sup>*Ho Chi Minh City University of Technology and Education*

\*Email: *hienbv@hufi.edu.vn*

The power of a photovoltaic (PV) system is significantly dependent on the operating conditions. This energy is directly proportional to solar radiation and inversely ratio to its surface temperature. In addition, the power-voltage (P-V) current-voltage (I-V) curves have multiple peak power points when the operating conditions between the modules in the system are not uniform. It is the biggest challenge of global maximum power point tracking (GMPPT) and avoidance of local extremes to get the best performance. This paper introduces a multilayer GMPPT technique in a heterogeneous environment when partially shading due to natural phenomena. In particular, the first stage has the task of narrowing the search scope to find the potential point. Then increase MPPT speed and efficiency by basic P&O algorithm in the next stage. The results obtained through simulation by PSIM software are compared with other optimization algorithms, showing the superiority of the proposed solution in improving the speed, performance, and stability of the PV system.

*Keywords:* Partial shade, multistage solution, photovoltaic system.