

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA HIỆN TƯỢNG BÓNG CHE LÊN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA CÁC CẤU HÌNH KẾT NỐI PIN MẶT TRỜI

TRƯƠNG VIỆT ANH¹, BÙI VĂN HIỀN², DƯƠNG THANH LONG³, LƯƠNG XUÂN TRƯỜNG¹

¹Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

²Khoa Công nghệ Điện- điện tử Trường Đại học Công nghiệp Thực Phẩm TP. Hồ Chí Minh

³Khoa Công nghệ Điện, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

tvanh@gmail.com

Tóm tắt. Bóng che một phần là một hiện tượng phổ biến làm thay đổi hiệu suất của các hệ thống PV (Photovoltaic). Chúng có thể kể đến như: đám mây, bóng cây, cao ốc... và các điều kiện vận hành phức tạp. Bài viết này với mục tiêu so sánh hiệu suất phát điện của các cấu hình liên kết khác nhau như mắc nối tiếp (SC), mắc song song (PC) hay mắc hỗn hợp (SPC) dưới ảnh hưởng của hiện tượng bóng che một phần. Các cấu hình được đề xuất bao gồm sáu mô đun PV loại 72 tế bào công suất 200W được sử dụng để mô phỏng thông qua phần mềm PSIM. Việc nghiên cứu tập trung vào sự thay đổi đặc tính làm việc của các hệ thống khi thay đổi các yếu tố như: phạm vi bóng che, vị trí bóng che. Các kết quả thu được thông qua mô phỏng đã cho thấy những ảnh hưởng khác nhau đối với các cấu hình khác nhau trong cùng điều kiện vận hành. Nó được giải thích một cách chính xác rằng PC luôn đạt được công suất phát lớn nhất với số điểm phát công suất cực đại ít nhất. Mặc dù điện áp ngõ ra của dạng cấu hình này không cao, cái mà có thể gây khó khăn cho việc thiết kế các bộ chuyển đổi DC-DC nhưng lại cho thấy sự ổn định nhất. Điều này có thể được ứng dụng rộng rãi trong việc chọn lựa kiểu cấu hình liên kết sao cho phù hợp với các yêu cầu đặt ra trong các nghiên cứu sau này để đạt được hiệu quả lớn nhất

Từ khóa: Bóng che một phần, tấm pin quang điện (PV), hệ thống pin mặt trời, đặc tính P-V.

ASSESSING THE IMPACTS OF PARTIAL SHADING ON SOLAR PHOTOVOLTAIC CONFIGURATIONS

Abstract: Partial shading is a commonly phenomenon which has changed the performance of PV systems such as passing cloud, trees, building... and under complex operation conditions. The objective of this paper is to compare the performance of different connection configurations of PV cells: series connection (SC), parallel connection (PC) and series – parallel connection (SPC) under the influence of partial shade. The proposed configurations comprise six PV modul which includes 72 PV cells with 200W is used to simulate using PSIM software. The study concentrates on output characteristics of PV array under shading condition: varying location of shaded and different levels of shadow. The simulation results are introduced showed the different influence on different configurations in the same of operation condition. It is correctly explained that the parallel configuration always achieves the highest output power with the least number of maximum power point (MPP) peaks. Although the output voltage of this configuration is not high, which may make it difficult to design DC-DC converters, it shows the most stability. This can be widely applied in selecting the type of link configuration to suit the requirements set out in future studies to achieve the greatest effect.

Keywords: Partial shading, photovoltaic (PV) solar cell, solar system, P-V characteristic

1. GIỚI THIỆU

Trước thực tế các nguồn nhiên liệu hóa thạch ngày càng trở nên cạn kiệt, các quốc gia trên thế giới đã và đang chuyển hướng khai thác nguồn năng lượng tái tạo bền vững, xanh, sạch, thân thiện với môi trường [1-3]. Năng lượng mặt trời là một trong những nguồn năng lượng đáp ứng được nhu cầu đó. Tuy nhiên, công suất của một PV với kích thước bị giới hạn là khá nhỏ so với nhu cầu của lưới điện [4-7]. Để gia tăng công suất vật lý của PV, một hệ thống gồm nhiều mô đun được liên kết với nhau tạo thành những cánh đồng pin năng lượng mặt trời nhằm giải quyết vấn đề này [8, 9]. Vấn đề đặt ra là, liên kết các mô đun lại với nhau như thế nào để đạt được hiệu suất cao nhất trong tình trạng làm việc bình thường cũng như khi xảy ra sự cố [10, 11].

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng mắc song song các tấm pin quang điện sẽ cho hiệu suất cao hơn khi mắc nối tiếp trong điều kiện xảy ra sự cố (bóng che một phần, toàn phần hoặc sự thay đổi trong điều kiện vận hành) [12]. Bởi vì mỗi mô đun được xác định đếm phát công suất cực đại riêng và khi nó bị sự cố sẽ không gây ảnh hưởng tới cực trị của các mô đun khác. Hay nói cách khác, nó không làm giảm hiệu suất của các mô đun lân cận đang trong điều kiện bình thường. Hơn nữa, liên kết song song có ba đặc điểm nổi bật như: điện áp của MPP ít phụ thuộc vào cường độ sáng, nghĩa là giá trị này gần như không đổi đối với SC ở các mức bức xạ hồng ngoại khác nhau. Bên cạnh đó, sự chênh lệch không đáng kể về điện áp của MPP cũng ít ảnh hưởng đến việc phát năng lượng. Cuối cùng là điện áp của các MPP chỉ nhạy cảm trong phạm vi nhiệt độ thông thường [13, 14]. Tuy nhiên, những nghiên cứu này cũng đã chứng minh rằng; SC chỉ phù hợp với các ứng dụng yêu cầu mức điện áp và công suất thấp.

Trong khi đó, các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, PS sẽ cho mức điện áp cao hơn. Dạng cấu hình này phù hợp với các trường hợp yêu cầu điện áp và công suất lớn để nghịch lưu hòa lưới. Tuy nhiên, điều này phát sinh các vấn đề cần giải quyết như: Các mô đun bị lỗi trong chuỗi liên kết sẽ phải chịu một dòng tương tự các mô đun khác trong trạng thái bình thường, khiến nó có thể phải tiêu thụ năng lượng dẫn đến phát nóng gây hại cho hệ thống nếu không được bảo vệ.

Để khắc phục những tồn tại trên, một số cấu hình cải tiến đã được đề xuất nhưng nó cũng đòi hỏi số lượng lớn các mô đun dẫn đến chi phí gia tăng không phù hợp với những dự án vừa và nhỏ nên cũng kém khả thi.

Rất khó để thực hiện một thí nghiệm thực tế với số lượng lớn PV dưới tác động của các điều kiện tự nhiên như: bụi, đám mây, bóng cây, nhà cao tầng... (gọi là bóng che một phần hoặc toàn phần). Trong nội dung bài viết này sử dụng 6 mô đun PV loại 72 tế bào quang điện dưới sự hỗ trợ của phần mềm PSIM mô phỏng tác động của bóng che lên các cấu hình khác nhau trong điều kiện bình thường và khi sự cố nhằm đưa ra đề xuất cấu hình phù hợp nhất trong mọi trường hợp vận hành.

2. ĐẶC TÍNH PIN QUANG ĐIỆN VÀ CẤU HÌNH HỆ THỐNG

2.1 Pin quang điện

Sơ đồ mạch điện tương đương của PV bao gồm một diode song song với một nguồn dòng được điều khiển bởi ánh sáng và hai điện trở RS, RP như hình 1 với hai thông số quan trọng là dòng ngắn mạch ISC và điện áp hở mạch VOC [15].

Dòng qua diode:

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

Mà $I_{SC} - I_d - I - I_p = 0$

$$I = I_{SC} - I_d - I_p$$

Với $I_p = \frac{V_d}{R_p}$

Và $V = V_d - I.R_s = 0$

$$V_d = V + I.R_s$$

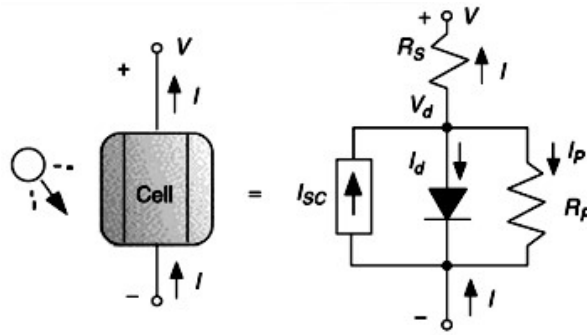
Nên

$$I = I_{SC} - I_0 \left\{ e^{\frac{q(V+I.R_s)}{kT}} - 1 \right\} - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (2)$$

Điện áp hở mạch

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right) \quad (3)$$

Trong đó; I_d - dòng điện qua diode (A); I_0 - dòng điện bão hòa của diode (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); V_d - điện áp diode (V); I - dòng điện ra của PV (A).

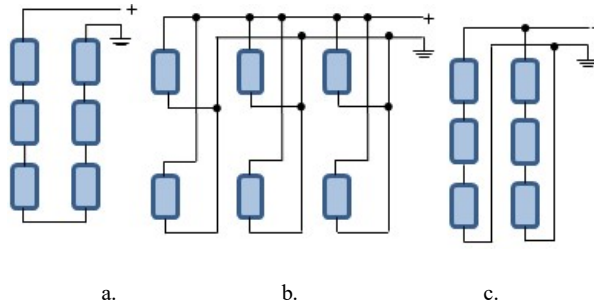


Hình 1. Mạch đơn giản cấu hình pin quang điện

2.2 Cấu hình hệ thống pin quang điện.

Từ các phương trình thông số dòng và áp của PV như trên, một mô hình gồm 6 mô đun PV loại 72 tế bào quang điện công suất 200W, điện áp $V_{MPP} = 37V$, $I_{MPP} = 5.4A$, dòng ngắn mạch $I_{SC} = 5.79A$, điện áp hở mạch $V_{OC} = 44.5V$ được sử dụng để mô phỏng trong điều kiện tiêu chuẩn ($1000W/m^2$ tại $25^{\circ}C$).

Các cấu hình được mô phỏng thử nghiệm trong mọi trường hợp bao gồm: SC (hình 2a), PC (hình 2b), và SPC (hình 2c).



Hình 2. Cấu hình liên kết pin quang điện: a. SC, b. PC, c. SPC

Các cấu hình liên kết đề xuất trên được vận hành thử nghiệm trong điều kiện bình thường hoặc bị bóng che một phần. Vị trí, số lượng và phạm vi các mô đun bị bóng che được trình bày trong bảng 1.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1 Công suất cực đại của cấu hình thử nghiệm.

Bằng việc ứng dụng phần mềm mô phỏng PSIM, các trạng thái làm việc của hệ thống được mô phỏng chung một kịch bản cho các trường hợp đề xuất trong bảng 1. Kết quả được trình bày trong các hình 3 và 5 thể hiện mối quan hệ giữa các đại lượng dòng điện, điện áp và công suất của hệ thống PV ứng với các cấu hình đề xuất khác nhau cho thấy:

– Ở trạng thái làm việc bình thường không có bóng che (hình 3), tất cả các cấu hình đều có kết quả như nhau (bảng 2). Trong khi đó điện áp và dòng điện tại MPP có giá trị lớn nhất lần lượt thuộc về SC và PC. Điều này cho thấy, khi thay đổi cấu hình liên kết, dòng và áp của hệ thống bị ảnh hưởng, tuy nhiên, công suất của toàn hệ thống là không đổi trong điều kiện làm việc bình thường.

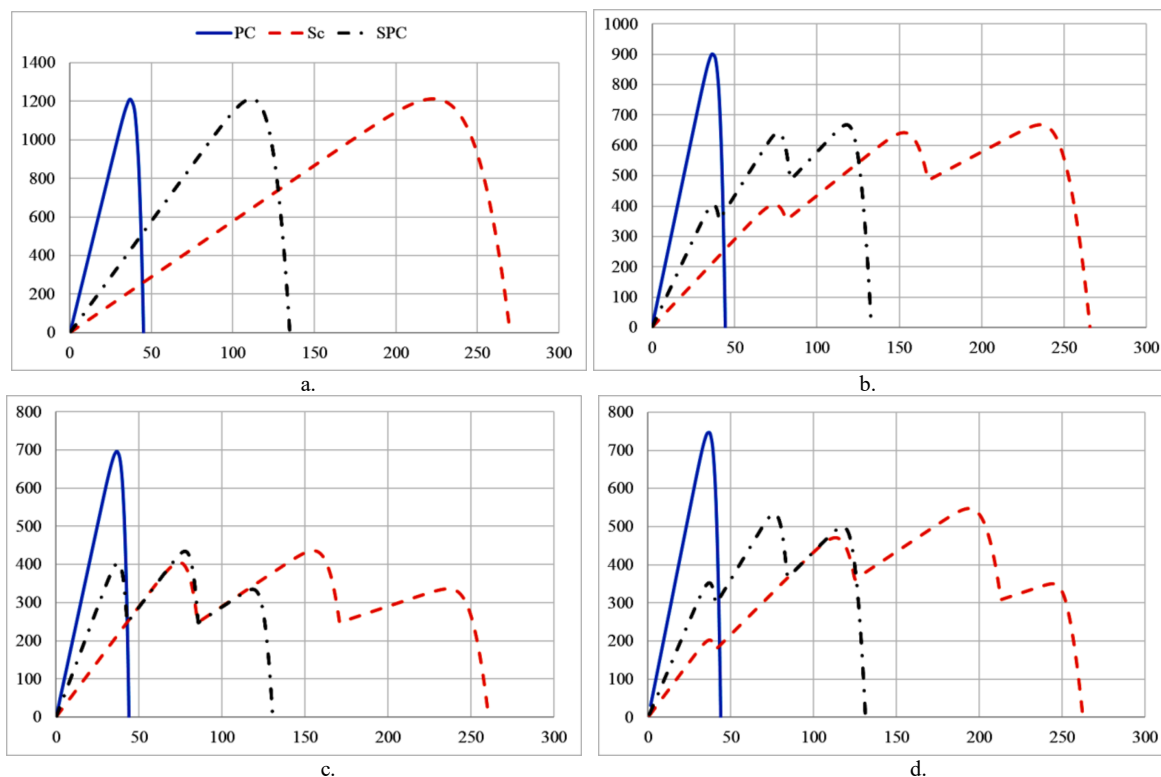
Bảng 1. Các trường hợp (TH) nghiên cứu mô phỏng tác động của bóng che

Trường hợp	Mô tả
1	Không có mô đun nào bị bóng che (toàn bộ nhận bức xạ $1000W/m^2$)
2	Hai mô đun bị bóng che 50% ($I_r=500W/m^2$), hai mô đun bị bóng che 25% ($I_r=750W/m^2$), vị trí các mô đun bị bóng che thay đổi từ 1 đến 6, các mô đun khác nhận $1000W/m^2$
3	Hai mô đun bị bóng che 50% ($I_r=500W/m^2$), hai mô đun bị bóng che 75% ($I_r=250W/m^2$), vị trí các mô đun bị bóng che thay đổi từ 1 đến 6, các mô đun khác nhận $1000W/m^2$

4	Hai mô đun bị bóng che 25% ($I_r=750\text{W/m}^2$), hai mô đun bị bóng che 50% ($I_r=500\text{W/m}^2$), một mô đun bị bóng che 75% ($I_r=250\text{W/m}^2$) mô đun còn lại nhận 1000W/m^2 .
---	---

Lần lượt thử nghiệm với cùng một kịch bản cho những trường hợp còn lại khi các mô đun bị bóng che một phần, kết quả trong hình 3 đã chỉ ra rằng:

- Kiểu PC luôn cho công suất phát của hệ thống lớn nhất.
- Cấu hình này cũng chỉ có một MPP duy nhất khi có nhiều mô đun bị bóng che.
- Kiểu SC và SPC cho kết quả tương đương nhau về khả năng phát công suất (bảng 2).
- Khi bị bóng che, hai cấu hình này có nhiều MPP, đặc biệt SC cho nhiều điểm MPP nhất (trường hợp 4 hình 3d).



Hình 3. So sánh đặc tính P-V trong 4 trường hợp: a. TH1, b. TH2, c. TH3, và d. TH4

Từ kết quả trong bảng 3 cũng cho thấy:

- Với PC, hệ thống luôn có mức điện áp ổn định nhất trong các trường hợp bị sự cố bóng che. Tuy nhiên, giá trị dòng điện thay đổi và luôn có giá trị lớn nhất trong các trường hợp thử nghiệm.
- Ngược lại, SC luôn cho mức điện áp lớn nhất với giá trị dòng điện khá nhỏ.
- Trong khi đó, với SPC, giá trị dòng và áp không ổn định và có xu hướng ở mức giữa so với hai trường hợp kể trên.

Bảng 2. Công suất cực đại ứng với các trường hợp thử nghiệm.

Trường hợp	Số đỉnh công suất cực đại (W)		
	SC	PC	SPC
1	1211.7	1213.86	1213.63
2	642.301; 642.28; 404.62.	903.722	667.637; 642.267; 404.595.
3	434.899; 403.683; 335.619.	696.047	435.161; 403.904; 335.537.
4	543.813; 470.92; 349.29; 202.23.	748.012	534.12; 500.587; 352.587.

Bảng 3. Điện áp và dòng điện ứng với công suất cực đại trong các trường hợp

Trường hợp	Điện áp (V)/dòng điện (A) ứng với P_{max}		
	SC	PC	SPC
1	222.795/5.448	37.1372/32.939	111.395/10.893
2	235.636/2.8367	36.8484/24.428	117.808/5.670
3	155.024/2.8097	36.5574/19.079	77.5099/5.6226
4	193.862/2.8245	36.6547/20.337	77.5099/7.0086

3.2 Đáp ứng của cấu hình với phương pháp dò MPP toàn cục

Để kiểm tra tính hiệu quả của các cấu hình đề xuất trong trường hợp bóng che, giải thuật tối ưu bầy đàn phiên bản điều chỉnh (MPSO) được chọn để xác định điểm phát công suất cực đại toàn cục (GMPP) trong điều kiện môi trường vận hành thay đổi [16]. Lưu đồ giải thuật sử dụng cho mô phỏng trong bài viết này được trình bày như hình 4 theo các bước như sau:

- Khởi tạo: Ở giai đoạn đầu, khởi tạo các thông số cho giải thuật. Hệ số chu kỳ D là thông số điều khiển được khởi tạo như số bầy đàn. Tất cả các bầy đàn đang tìm kiếm đều là cực trị địa phương tốt nhất ($P_{best,i}$) và một trong số chúng được chọn ra làm cực trị toàn cục tốt nhất (G_{best}). Khởi tạo số bầy đàn (hệ số chu kỳ D) theo công thức (4)

$$x_i(k)=d_i(k)=[d_1, d_2, d_3, \dots dn] \quad (4)$$

với n là số bầy đàn.

- Đánh giá điều kiện ràng buộc: Với mỗi hệ số chu kỳ d_i xuất ra sẽ xác định được giá trị dòng điện và điện áp từ đó tính giá trị công suất.

- Lựa chọn hệ số chu kỳ tốt nhất toàn cục (G_{best}) và tốt nhất cho cá thể (P_{best}): dựa vào điều kiện hàm mục tiêu $P(d_i^k) > P(d_i^{k-1})$ từ đó sẽ cập nhật giá trị P_{best} và G_{best} .

- Cập nhật vị trí và vận tốc của các cá thể: Đánh giá vị trí và tốc độ mới của từng cá thể bằng cách sử dụng công thức (5) và (6):

$$V_i(k+1) = wV_i(k) + c_1r_1(P_{best,i} - x_i(k)) + c_2r_2(G_{best,i} - x_i(k)) \quad (5)$$

$$x_i(k+1) = x_i(k) + V_i(k+1) \quad (6)$$

$i=1, 2, 3, \dots, n$ (số bầy đàn)

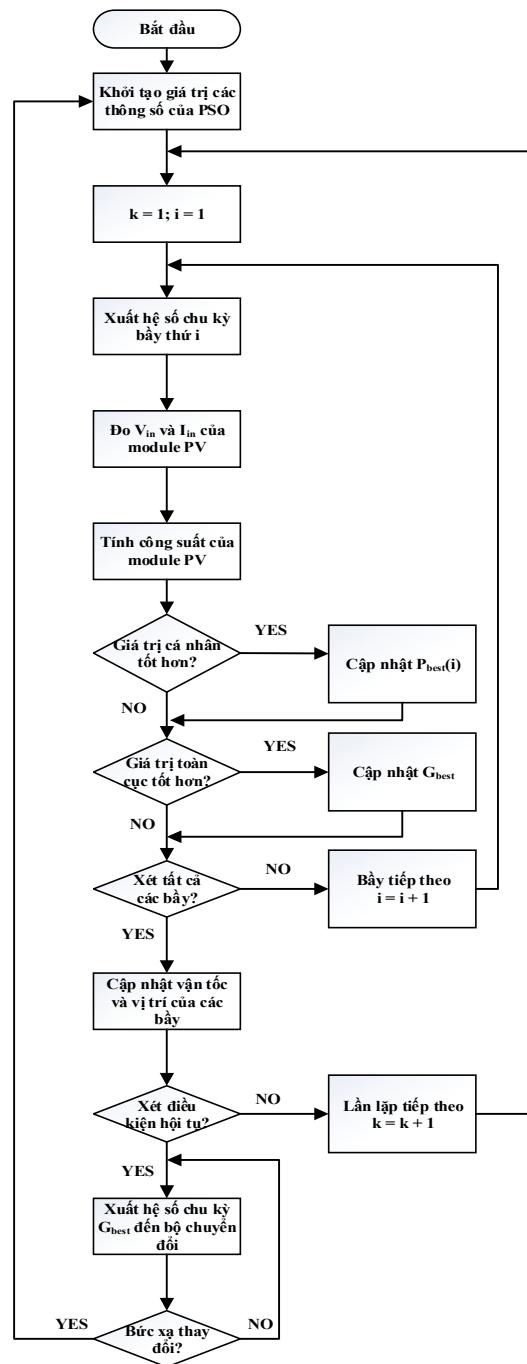
Trong đó, x_i, V_i - đại diện cho vị trí và vận tốc của bầy thứ i ; k - số lần lặp; w - trọng số quán tính; r_1, r_2 - biến ngẫu nhiên; c_1, c_2 - hệ số nhận thức cá thể và xã hội

- Quyết định hội tụ: Nếu điều kiện hội tụ được thỏa mãn thì chấm dứt quá trình, nếu không sẽ tăng số lần lặp và khởi động lại quá trình tìm kiếm.

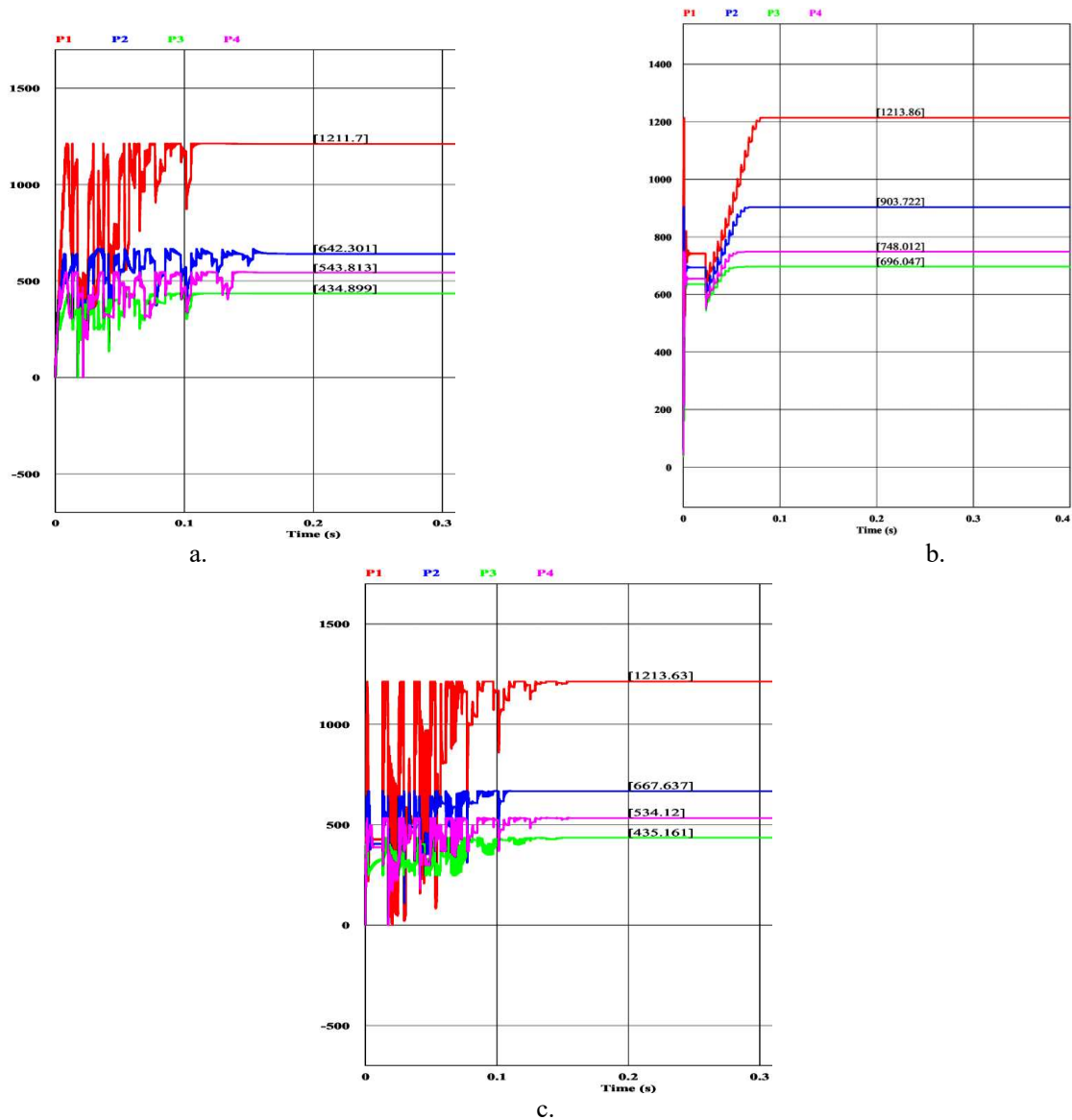
Sau khi áp dụng giải thuật MPSO đề xuất vào việc MPPT ứng với các trường hợp đã liệt kê trong bảng 1 thì những kết quả mô phỏng khách quan được trình bày trong hình 5 cho thấy:

- Các cấu hình đáp ứng tốt với giải thuật trong việc xác định công suất tối ưu GMPP.
- Công suất thu được từ cấu hình PC luôn lớn hơn các kiểu cấu hình khác trong cùng điều kiện vận hành (hình 3 và 5)

Các kết quả trong bảng 4 cũng đã cho thấy sự vượt trội của cấu hình PC khi vận hành hệ thống dưới điều kiện bóng che ít nhất là 35% trong trường hợp 2 và khoảng 60% trong trường hợp 3.



Hình 4. Lưu đồ giải thuật MPSO



Hình 5. Công suất GMPP trường các trường hợp tìm kiếm với PSO: a. SC; b. PC và c. SPC.

Bảng 4. Công suất hệ thống khi dùng PSO tìm GMPP trong các trường hợp

TH	Công suất (W)		
	SC	PC	SPC
1	1211.7	1213.86	1213.63
2	642.301	903.722	667.637
3	434.899	696.047	435.161
4	543.813	748.012	534.12

4. KẾT LUẬN

Mô hình mô phỏng được xây dựng trên nền PSIM nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của bóng che một phần đến các dạng cấu hình của hệ thống PV. Nó sẽ giúp cho việc quyết định chọn lựa kiểu cấu hình liên kết sao cho phù hợp với các yêu cầu đặt ra trong các nghiên cứu sau này để đạt được hiệu quả lớn nhất. Với kết quả thu được kể trên, nghiên cứu đã chỉ ra rằng.

- Cấu hình PC thu được công suất là lớn nhất với mức điện áp ngõ ra của hệ thống ổn định nhất mặc dù giá trị không lớn. Điều này cho thấy, cấu hình này rất phù hợp với những ứng dụng trên các phương tiện dịch chuyển có sử dụng năng lượng mặt trời với yêu cầu về mức điện áp và công suất tương đối nhỏ.

- Kiểu SC mặc dù có hiệu suất thấp hơn nhưng cho mức điện áp lớn nhất trong tất cả các trường hợp thử nghiệm. Nó cũng cho thấy mức độ vượt trội về giá trị điện áp thu được trong cùng điều kiện thử nghiệm.

- Trong khi đó, kiểu SPC cho thấy hiệu suất không cao (tương đương SC trong các trường hợp thử nghiệm, bảng 2) với điện áp và dòng điện cũng không mấy ổn định.

Ngoài ra, kết quả cũng cho thấy những ảnh hưởng của bóng che lên các cấu hình PV khác nhau. Khi càng nhiều mô đun bị bóng che, số đỉnh MPP trong hai trường hợp SC và SPC sẽ tăng lên gây khó khăn cho việc xác định điểm phát công suất tối ưu. Từ đó mở ra các hướng nghiên cứu tiếp cận mới như:

- Xác định điểm phát công suất tối ưu của hệ thống pin mặt trời trong điều kiện bóng che.
- Cấu hình PC có ít MPP nhất sẽ đơn giản hơn trong việc chọn giải thuật xác định GMPP.
- Các số liệu dùng để tham khảo khi chọn cấu hình liên kết với các mục đích sử dụng khác nhau nhằm đạt được hiệu suất tối ưu.
- Tìm giải pháp quản lý và khắc phục hệ thống khi có sự cố bóng che hoặc lỗi một phần của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bishop JW. *Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuit*. Solar Cells, 1988
- [2] Kawamura H, Naka K, Yonekura N, Yamanaka S, Kawamura H, Ohno H, et al. *Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2003.
- [3] Gow JA, Manning CD. *Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies*. IEE Proceedings-Electric Power Applications, 1999
- [4] Markvart T. *Solar electricity*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 2000.
- [5] Castaner L, Silvestre S. *Modelling photovoltaic systems using pspice*. New York: John Wiley & Sons; 2003.
- [6] Veerachary M. *PSIM circuit-oriented simulator model for the nonlinear photovoltaic sources*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2006
- [7] Gautam NK, Kaushika ND. *Network analysis of fault-tolerant solar photovoltaic arrays*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2001
- [8] Wang YJ, Pierrat L. *Measurement of photovoltaic cell parameters for EMTP simulation*. In: *Proceedings of the 3rd European PV-hybrid and mini-grid conference*; 2006.
- [9] Wang YJ, Hsu PC. *Development of a piecewise linear parallel branches model for solar cell module*. In: *International conference on energy security and climate change*. Bangkok, Thailand: ESCC; 2008.
- [10] Abete A, Barbisio E, Cane F, Demartini P. *Analysis of photovoltaic modules with protection diodes in presence of mismatching*. In: *Proceedings of the 21st IEEE photovoltaic specialists conference*; 1990.
- [11] Silvestre S, Boronat A, Chouder A. *Study of bypass diodes configuration on PV modules*. Applied Energy 2009

- [12] R. Ramaprabha and B. L. Mathur, *A Comprehensive Review and Analysis of Solar Photovoltaic Array Configurations under Partial Shaded Conditions*, Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Photoenergy*, 2012.
- [13] Quaschnig V, Hanitsch R. *Numerical simulation of current-voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded cells*. *Solar Energy*, 1996
- [14] Kawamura H, Naka K, Yonekura N, Yamanaka S, Kawamura H, Ohno H, et al. *Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells*. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2003.
- [15] Kaushika ND, Gautam NK. *Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays*. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2003
- [16] Moh. Zaenal Efendi, Farid Dwi Murdianto, Rangga Eka setiawan, *Modeling and Simulation of MPPT Sepic Converter Using Modified PSO to Overcome Partial Shading Impact on DC Microgrid System*, *International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications*, 978-1-5386-0712-1/17

Ngày nhận bài: 18/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/03/2020