ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ LÀM VIỆC CỦA CÁC THUẬT TOÁN BẮT ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI KHI HỆ THỐNG PIN MẶT TRỜI BỊ CHE KHUẤT EVALUATING THE EFFICIENCY OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHMS WHEN THE SOLAR PANELS ARE SHADED

Nguyễn Văn Tấn¹, Lê Thị Minh Châu², Nguyễn Hữu Hiếu¹, Lê Hồng Lâm¹, Nguyễn Anh Vũ¹, Nguyễn Ngọc Việt¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; tan78dhbk@dut.udn.vn, nhhieu@dut.udn.vn, lhlam@dut.udn.vn, anhvu102qn@gmail.com, vietjmg@gmail.com ²Đại học Bách khoa Hà Nội; Chau.lethiminh@hust.edu.vn

Tớm tắt - Hiện nay, việc nghiên cứu về hệ thống năng lượng mặt trời dang tập trung vào việc nâng cao hiệu suất làm việc, tuổi thọ của tấm pin. Trong quá trình hoạt động, yếu tố ảnh hưởng nghiêm trọng đến hiệu suất làm việc, tuổi thọ đó là hiện tượng che khuất đang là chủ đề được quan tâm nghiên cứu nhiều hiện nay. Hệ thống pin quang điện có thể bị che khuất bởi các đám mây, tòa nhà, cây cối... làm đặc tính P-V xuất hiện nhiều điểm cực đại khiến các thuật toán bắt điểm công suất cực đại thông thường không làm việc hiệu quả, dẫn đến giảm công suất dầu ra của hệ thống này. Bài báo này tập trung vào mô hình hóa đặc tính I-V và P-V của hệ thống pin dưới điều kiện bị che khuất để từ đó phân tích đánh giá ảnh hưởng của nó đến hiệu quả làm việc của các thuật toán bắt điểm công suất cực đại trong hệ thống PV dựa trên mô phỏng Matlab – Simulink[®].

Từ khóa - Hệ thống pin quang điện; hiện tượng che khuất; đặc tính I-V; đặc tính P-V; công suất đầu ra

1. Giới thiệu

Thời gian qua, các hệ thống điện sử dụng năng lượng mặt trời phát triển nhanh, do đó các yêu cầu về việc lấp đặt, vận hành an toàn, hiệu quả của hệ thống pin năng lượng mặt trời là rất quan trọng. Tuy nhiên, trong quá trình vận hành đã phát sinh nhiều vấn đề ảnh hưởng nghiêm trọng đến công suất đầu ra, tuổi thọ tấm pin trong đó đặc biệt là hiện tượng che khuất [1]–[3].

Che khuất là hiện tượng ngẫu nhiên và phức tạp có thể xảy ra do bụi bẩn, bóng cây, các tòa nhà lân cận hay bóng mây... nên đã có nhiều nghiên cứu về nó trong thời gian qua vì ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống pin quang điện. Để đánh giá ảnh hưởng của hiện tượng che khuất đến 1 module PV, dãy module PV [4]-[8] đã mô hình hóa đặc tính I-V và đặc tính P-V khi bị che khuất, phân tích vai trò và các cách mắc của diode bypass nhằm cải thiện công suất đầu ra cũng được đề cập. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên chỉ tập trung vào việc xây dựng đường đặc tính I-V, P-V khi bị che khuất mà chưa khảo sát về công suất đầu ra khi sử dụng các thuật toán bắt điểm công suất cực đại (Maximum Power Point Tracking - MPPT). Bài báo này tập trung xây dựng đặc tính I-V, P-V khi bị che khuất, tiếp tục để cập giải pháp sử dụng diode bypass và phân tích ảnh hưởng của nó đến hiệu quả làm việc của các thuật toán MPPT truyền thống P&O, INC và Hill Climbing bằng phần mèm Matlab-Simulink.

2. Hiện tượng che khuất

2.1. Bản chất vật lý

Nhằm hiểu rõ bản chất vật lý của hiện tượng che khuất [1], [9], minh họa n tế bào quang điện nối tiếp đang cấp dòng điện I và điện áp V qua tải được trình bày trong Hình 1. Abstract - Currently, the research on solar power systems is focused on improving the performance, PV panel life. In the process of operation, one of the factors that have seriously affected the performance of PV panel life is the shading that is a topic of great research interest today. PV arrays get shadowed partially by passing cloud, building, trees.etc which cause P-V characteristics appear multi peaks, which makes conventional maximum power point tracking algorithms do work not well, resulting in a decrease in the output power of this system. This paper focuses on modeling I-V and P-V characteristics of PV system under shading conditions and analyzes its effect on performance of maximum power point tracking algorithms based on Matlab – Simulink[®] simulation.

Key words - photovotaic array; shading effect; I-V characteristic; P-V characteristic; output power



Hình 1. Mô hình của PV khi (a) trời nắng, (b) bị che khuất

Hình 1b cho thấy, khi có một tế bào quang điện bị cách ly do mây che khuất, nguồn dòng của tế bào quang điện bị mây che khuất không hoạt động, làm V_{SH} ra sụt giảm. Đồng thời dòng điện I cũng suy giảm do phải đi qua thêm điện trở R_p của tế bào quang điện đang bị che khuất. Điện áp ra V_{SH} lúc này được tính bởi:

$$V_{SH} = \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot V - I \cdot \left(R_p + R_s\right) \tag{1}$$

Điện áp ΔV bị thất thoát do hiện tượng che khuất tế bào quang điện được tính bởi:

$$\Delta V = V - V_{SH} = \frac{V}{n} + I.(R_p + R_s)$$
⁽²⁾

Kết quả là cả dòng điện và điện áp ngõ ra đều bị sụt giảm nghiêm trọng.

Trong đó: V: là điện áp đầu ra của PV[V].

 R_s : là điện trở nối tiếp [Ω].

 R_p : là điện trở song song $[\Omega]$.

N_s: là số lượng tế bào quang điện nối tiếp.

Tế bào quang điện bình thường tạo ra điện áp $V_{Cell} = 0,5 \div 0,6$ (V) khi kết nối vào điện áp hệ thống. Nhưng ở Hình 1b, tế bào quang điện bị mây che khuất không những bị vô hiệu mà còn kéo theo sụt áp lớn trên tế bào quang điện này. Công suất tổn hao rơi trên tế bào quang điện dưới dạng nhiệt gây phát nóng cục bộ, từ đó gây hư hỏng trực tiếp đến cả tấm pin mặt trời [10]–[12].

2.2. Giải pháp khắc phục

Để khắc phục hiện tượng trên, giải pháp đơn giản là mắc diode bypass song song với tế bào quang điện [13], tình hình sẽ được cải thiện như Hình 2.



Hình 2. Khảo sát vận hành của 1 tế bào quang điện có gắn diode bypass khi (a) trời nắng và (b) bị che khuất

Hình 2a cho thấy, khi thêm diode bypass song song, tế bào quang điện vẫn hoạt động bình thường khi nhận được bức xạ đồng đều, lúc này diode bypass hở mạch do bị phân cực ngược. Khi tế bào quang điện bị che khuất như Hình 2b, lúc này tế bào quang điện không tạo ra dòng điện, diode bypass dẫn do được phân cực thuận, tạo sụt áp 0,6V roi trên tế bào quang điện này [1], [14]. Nhờ đó, tế bào quang điện bị che khuất không bị sụt áp trên R_p do dòng điện rò gây ra, do dòng điện lúc này đã nối tắt qua diode bypass.

Thực tế, diode bypass thường chỉ được gắn song song qua một nhóm tế bào quang điện hay mở rộng ra là mô đun PV [6]. Trong hệ thống mảng PV gồm nhiều mô đun PV nối tiếp thì diode bypass cũng phát huy vai trò cải thiện dòng điện, điện áp và công suất như đã phân tích. Phần tiếp theo sẽ mô phỏng hệ thống PV bị che khuất bằng Matlab-Simulink để thấy được ảnh hưởng của che khuất đến đặc tính và công suất đầu ra của hệ thống PV.

3. Mô hình mô phỏng.

3.1. Đối tượng mô phỏng

Mô đun quang điện Sun Power SPR-305E-WHT-D có thông số như Bảng 1 được chọn làm đối tượng mô phỏng trên Matlab-Simulink dưới sự thay đổi của bức xạ. Thông số được kiểm định dưới điều kiện chuẩn: Cường độ bức xạ 1000 W/m² và nhiệt độ 25^{0} C.

Bång 1. Thông số của Sun Power SPR-305E-WHT-D

Công suất tại điểm cực đại P _{mpp}	305,226(W)
Điện áp tại điểm công suất cực đại V _{mpp}	54,7(V)
Dòng điện tại điểm công suất cực đại Impp	5,58(A)
Điện áp hở mạch V_{oc}	64,2(V)
Dòng điện ngắn mạch I _{sc}	5,96(A)
Số tế bào trong module N	96

3.2. Xây dựng hệ thống PV mô phỏng

Dãy PV được xây dựng bao gồm 4 mô đun PV mắc nối tiếp, mỗi mô đun được mắc diode bypass song song như Hình 3 và các kịch bản che khuất như Bảng 2:



Hình 3. Hệ thống mô phỏng Bảng 2. Các kịch bản che khuất mô phỏng

Trường hợp	Nội dung mô phỏng		
(a)	Các mô đun đều nhận bức xạ 1000 W/m²		
(b)	Mô đun M4 bị che khuất với bức xạ 400 W/m ²		
(c)	Mô đun M3 và M4 bị che khuất với bức xạ tương ứng là 300 W/m^2 và 500 W/m^2 .		
(d)	Mô đun M2, M3 và M4 bị che khuất với bức xạ tương ứng là 200 W/m ² , 400 W/m ² và 800 W/m ² .		

Xây dựng hệ thống PV hoạt động độc lập và được mô phỏng bằng Matlab-Simulink như Hình 4.



Hình 4. Hệ PV độc lập mô phỏng bằng Matlab-Simulink Bảng 3. Thông số của mô hình mô phỏng

Công suất tại điểm cực đại P _{mpp}	1220,894 (W)
Điện áp tại điểm công suất cực đại V_{mpp}	218,8 (V)
Dòng điện tại điểm công suất cực đại Impp	5,58 (A)
Dòng điện ngắn mạch I _{sc}	5,96 (A)
Điện áp hở mạch V_{oc}	256,8 (V)

4. Mô phỏng hệ thống PV khi bị che khuất

Mô phỏng các đặc tính I-V và P-V khi có diode bypass với các trường hợp bị che khuất (b), (c), (d) và so sánh với các đặc tính trường hợp bình thường (a). Sau đó, dựa trên kết quả mô phỏng công suất đầu ra của hệ thống PV có sử dụng các thuật toán MPPT truyền thống với các đặc tính để đánh giá ảnh hưởng của che khuất đến hiệu quả làm việc của thuật toán MPPT. Xây dựng hệ thống PV độc lập bằng Matlab-Simulink, sử dụng các thuật toán P&O, INC và Hill Climbing [15]–[18] để bắt điểm MPP của hệ thống PV.

4.1. Các đặc tính I-V và P-V khi bị che khuất.

Khi bị che khuất, trên đặc tính P-V sẽ xuất hiện nhiều điểm công suất cực đại và chia làm 2 loại. Thứ nhất, Global MPP là điểm công suất cực đại toàn cục, là công suất lớn nhất có thể đạt được và mỗi đặc tính chỉ có duy nhất một điểm. Thứ hai, Local MPP là điểm công suất cực đại cục bộ, là các điểm công suất khác Global MPP và có thể có nhiều điểm.

4.1.1. Trường hợp (a) và (b)



Hình 5(a, b). Đặc tính I-V và P-V của trường hợp (a) và (b)

Trường hợp này, khi bị che khuất thì đường đặc tính P-V xuất hiện 2 điểm MPP. Trong đó, có 1 điểm công suất toàn cục Global MPP và 1 điểm công suất cực đại cục bộ Local MPP có các giá trị như trên Hình 5(b).

4.1.2. Trường hợp (a) và (c)



Hình 6(a, b). Đặc tính I-V và P-V của trường hợp (a) và (c)

Trường hợp này, khi bị che khuất thì đường đặc tính P-V xuất hiện 3 điểm MPP. Trong đó, cũng có duy nhất 1 điểm công suất cực đại toàn cục Global MPP, nhưng có 2 điểm công suất cực đại cục bộ Local MPP có các giá trị như trên Hình 6(b).

4.1.3. Trường hợp (a) và (d)

Trường hợp này, khi bị che khuất thì đường đặc tính (P-V) xuất hiện 4 điểm MPP. Trong đó, cũng có duy nhất

1 điểm công suất cực đại toàn cục Global MPP, nhưng có đến 3 điểm công suất cực đại cục bộ Local MPP có các giá trị như trên Hình 7(b).



Hình 7(a, b). Đặc tính I-V và P-V của trường hợp (a) và (d) 4.2. Mô phỏng hệ thống PV khi bị che khuất với các thuật toán MPPT

4.2.1. Trường hợp (b)



Hình 8. Bức xạ các module PV trường hợp (b)



Hình 9. Công suất đầu ra của PV trường hợp (b)



Hình 10. Mô tả quá trình hoạt động thuật toán P&O, INC, HC trường hợp (b)

Từ kết quả công suất đầu ra của PV Hình 9 và Hình 10, khi làm việc ở trường hợp bình thường (a) các thuật toán MPPT bắt được $P_{mpp} = 1220$ (W) với $V_{mpp} = 218$ (V) khi bị che khuất theo đường đặc tính (P-V) Hình 5b, điểm làm việc chuyển đến vùng Local MPP các thuật toán MPPT đều bắt được điểm MPP với $P_{local} = 545$ (W).





Hình 12. Công suất đầu ra của PV trường hợp (c)



Hình 13. Mô tả quá trình hoạt động thuật toán P&O, INC, HC trường hợp (c)

Từ kết quả công suất đầu ra của PV Hình 12 và Hình 13, khi bị che khuất theo đường đặc tính P-V Hình 6.b, điểm làm việc chuyển đến vùng Local MPP tương ứng với V = 233 (V) và các thuật toán MPPT đều bắt được điểm MPP với $P_{local} = 403$ (W).



Hình 14. Bức xạ các module PV trường hợp (d)



Hình 15. Công suất đầu ra của PV trường hợp (d)



Hình 16. Mô tả quá trình hoạt động thuật toán P&O, INC, HC trường hợp (d)

Tương tự, kết quả Hình 15 và Hình 16, khi bị che khuất theo đường đặc tính P-V Hình 7b, điểm làm việc chuyển đến vùng Local MPP tương ứng với V = 233 (V) và các thuật toán MPPT đều bắt được điểm MPP với $P_{local} = 269$ (W).

Vậy trong các trường hợp bị che khuất, ở các Hình 10, Hình 13, Hình 16 cho thấy, thuật toán MPPT truyền thống sẽ phát hiện sai và bám tại điểm Local MPP mà không thể leo lên đỉnh Global MPP làm công suất giảm đáng kể. Cụ thể, kết quả so sánh P_{global} , P_{local} ở các trường hợp che khuất với P_{mpp} như Bảng 4 được tính theo (3) và (4):

Tỉ lệ giảm =
$$(1 - \frac{P_{global}}{P_{mpp}}) \times 100\%$$
 (3)

Ti lệ giảm =
$$(1 - \frac{P_{local}}{P_{mpp}}) \times 100\%$$
 (4)

		0	0		1 0	
TH	Điểm cực đại		Điểm bắt được		Tỉ lệ giảm	Tỉ lệ giảm
	1	P global	V_{global}	Plocal	Vlocal	công suai của P _{global}
(b)	908,6W	163,4V	545W	234,7V	25,5%	44,6%
(c)	600,5W	108V	403W	235,3V	50,3%	66,9%
(d)	502,5W	110,6V	269W	236,6V	58,8%	77,9%

Bảng 4. Đánh giá kết quả mô phỏng

Qua kết quả mô phỏng và phân tích các kết quả trong các Bảng 4 có các nhận xét như sau:

 Khi có nhiều tấm PV bị che khuất thì công suất đầu ra của hệ thống PV càng giảm.

 Diode bypass giúp cải thiện công suất đầu ra của hệ thống PV.

- Sự xuất hiện nhiều điểm MPP trên đặc tính P-V ở các điều kiện bị che khuất làm giảm đáng kể hiệu suất của hệ thống PV do các thuật toán MPPT truyền thống không phân biệt được các điểm công suất cực đại Local MPP và Global MPP của đặc tính P-V.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã phát triển mô hình hệ thống PV độc lập sử dụng thuật toán MPPT truyền thống làm việc trong điều kiện che khuất với các kịch bản che khuất điển hình. Từ kết quả trên cho thấy, hiện tượng che khuất làm giảm công suất đầu ra của PV và gây ảnh hưởng đến các hệ thống mà PV kết nối, đặc biệt Microgrid độc lập. Do đó, kết quả này có thể làm cơ sở để nghiên cứu đề xuất xây dựng, phát triển một thuật toán bắt điểm công suất cực đại cải tiến có thể phát hiện được điểm Global MPP nâng cao hiệu quả công suất đầu ra của PV.

Lời cảm ơn: Xin gửi lời cảm ơn đến trường Đại học Bách khoa Hà Nội vì đã cấp kinh phí cho nghiên cứu đề tài T2018-PC-061.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- G. M. Masters, Renewable and efficient electric power systems, vol. 42, no. 06. 2005.
- [2] R. Ramaprabha and B. L. Mathur, "A comprehensive review and analysis of solar photovoltaic array configurations under partial shaded conditions", *Int. J. Photoenergy*, vol. 2012, 2012.
- [3] J. C. Teo, R. H. G. Tan, V. H. Mok, V. K. Ramachandaramurthy, and C. Tan, "Impact of partial shading on the P-V characteristics and the maximum power of a photovoltaic string", *Energies*, vol. 11, no. 7, 2018.
- [4] A. Djalab, N. Bessous, M. M. Rezaoui, and I. Merzouk, "Study of the Effects of Partial Shading on PV Array", Proc. - Int. Conf. Commun. Electr. Eng. ICCEE 2018, pp. 1–5, 2019.
- [5] A. Chaudhary, S. Gupta, D. Pande, F. Mahfooz, and G. Varshney, "Effect of Partial Shading on Characteristics of PV panel using Simscape", J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com, vol. 5, no. 2, pp. 85–89, 2015.
- [6] S. Silvestre, A. Boronat, and A. Chouder, "Study of bypass diodes configuration on PV modules", *Appl. Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 1632–1640, 2009.

- [7] S. Vemuru, P. Singh, and M. Niamat, "Modeling impact of bypass diodes on photovoltaic cell performance under partial shading", *IEEE Int. Conf. Electro Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–5, 2012.
- [8] H. Nguyen, "Simulink Simscape A Study On Impacts Of Partial Shading On Solar Photovoltaic Arrays Using Matlab/ Simulink", no. March, 2017.
- [9] M. Q. Duong, V. T. Nguyen, A. T. Tran, G. N. Sava, and T. M. C. Le, "Performance Assessment of Low-pass Filters for Standalone Solar Power System", *EPE 2018 - Proc. 2018 10th Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, pp. 503–507, 2018.
- [10] M. Dhimish, V. Holmes, P. Mather, and M. Sibley, "Novel hot spot mitigation technique to enhance photovoltaic solar panels output power performance", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 179, pp. 72–79, 2018.
- [11] P. Grunow, S. Krauter, T. Buseth, S. Wendlandt, and A. Drobisch, "Hot spot risk analysis on silicon cell modules", *Energy Autom.*, no. September, pp. 6–10, 2010.
- [12] M. C. Alonso-García, W. Herrmann, W. Böhmer, and B. Proisy, "Thermal and electrical effects caused by outdoor hot-spot testing in associations of photovoltaic cells", *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 11, no. 5, pp. 293–307, 2003.
- [13] D. Minh and Đ. T. Sen, "Anh hưởng của hiện tượng che khuất đến pin mặt trời và giải pháp", p. 310.
- [14] Solaredge, "Technical Note Bypass Diode Effects in Shaded Conditions", 2010.
- [15] T. Esram and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, Jun. 2007.
- [16] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Improved MPPT Algorithms for Rapidly Changing Environmental Conditions", in 2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, pp. 1614–1619.
- [17] B. N. Nguyen, V. K. Pham, V. T. Nguyen, D. H. Hoang, T. B. Thanh Truong, and H. V. Phuong Nguyen, "A New Maximum Power Point Tracking Algorithm for the Photovoltaic Power System", 2019 Int. Conf. Syst. Sci. Eng., pp. 159–163, 2019.
- [18] V. T. Nguyen, D. H. Hoang, H. H. Nguyen, K. H. Le, T. K. Truong, and Q. C. Le, "Analysis of Uncertainties for the Operation and Stability of an Islanded Microgrid", 2019 Int. Conf. Syst. Sci. Eng., pp. 178–183, 2019.

(BBT nhận bài: 20/10/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 14/02/2020)

10