

# Phân tích ảnh hưởng của công nghệ Half-cell đến công suất pin quang điện trong điều kiện bóng đổ

## Analysis the effects of half-cell photovoltaic technology under partial shading

Lê Phương Trường<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Cao Cường<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Lạc Hồng

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng Bình Phước

\*Email liên hệ: lephuongtruong@lhu.edu.vn

### Tóm tắt:

Bài báo trình bày ảnh hưởng của của công nghệ pin quang điện Half-cell đến công suất của pin quang điện thương mại trong điều kiện bóng đổ dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink. Một mô hình toán học pin quang điện với công nghệ Full-cell và Half-cell được xây dựng để phân tích sự ảnh hưởng của hai công nghệ khi bị bóng đổ. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình mô phỏng và thực nghiệm có độ sai lệch giữa cường độ dòng điện và công suất là 1.0 % và 1.5%. Từ quan điểm thực tế kết quả nghiên cứu có những ưu điểm: (1) mô phỏng độ suy giảm công suất của hệ thống pin quang điện khi bị bóng đổ với hai loại công nghệ pin quang điện; (2) độ chính xác đáng tin cậy; (3) tự phát triển.

**Từ khóa:** MATLAB Simulink; Half-cell; mô đun quang điện; tổn thất sản lượng; bóng đổ.

### Abstract:

This paper presents the effect of the Half-cell photovoltaic technology on the power of commercial photovoltaic cells under shading based on the MATLAB/Simulink environment. A mathematical model of photovoltaic cells with Full-cell and Half-cell technology have been built on to analyze the effect of shading. Experimental results show that the simulated and experimental models have gap between current and power is 1.0% and 1.5%. From the practical viewpoint, the research results have the following advantages: (1) simulating the power decrease of the photovoltaic system when it is shaded with two technologies Full-cell and Half-cell; (2) reliable accuracy;(3) self-development.

**Keywords:** MATLAB Simulink; PV model; Half-cell; Full-cell; shading.

### 1. Giới thiệu

Ngày nay, với sự tiến bộ vượt bậc của các ngành công nghiệp chế tạo pin năng lượng mặt trời, các nhà sản xuất pin mặt trời đã nghiên cứu và sản xuất ra công nghệ pin Half-cell nhằm khắc phục

các các yếu tố ảnh hưởng tới công suất của các tấm pin như bóng đổ của các tòa nhà cao tầng, bóng mây. Hiện nay, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của bóng đổ lên công suất của tấm pin mặt trời như bảng 1.

**Bảng 1.** Các phương pháp phân tích ảnh hưởng của bóng đổ đến công suất của pin quang điện.

Tài liệu tham khảo	Phương pháp	Kết quả
G. Trzmiel và cộng sự [2]	Thay đổi vị trí tế bào quang điện	Hiệu suất giảm tới 80%
Qian và cộng sự [3]	Phân tích Hotspot modul Half-cell	Tăng 50% so với Full-cell
J.C. Teo và cộng sự [4]	Sử dụng diode rẽ nhánh	Không gây ra tổn thất điện
Wang và cộng sự [5]	Phân tích sơ đồ pin quang điện, nối tiếp-	total-cross-tie, bridge-linked có

Tài liệu tham khảo	Phương pháp	Kết quả
	song song ,total-cross-tie, bridge-linked	hiệu suất cao
Lu và cộng sự [6]	Thay đổi hướng theo trục X và Y	Hiệu suất của Half-cell tốt hơn Full-cell
Bana và cộng sự [7]	Cấu hình series-parallel, total-cross-tied, bridge-linked và honey comb của pin quang điện	Lựa chọn cấu hình total-cross-tied
Qian và cộng sự [8]	Phân tích Hotspot	Nhiệt độ của Half-cell thấp hơn 25 <sup>o</sup> C.
Ajmal và cộng sự [9]	Cấu hình simple series, total-cross-tie và honey comb của PV	Total-cross-tie tạo ra năng lượng cao
Peng và cộng sự [10]	Thực nghiệm	Sản lượng giảm 18%-35%
Steim và cộng sự [11]	Diode bypass hữu cơ	Diode bypass hữu cơ mất 30% điện năng
Nghiên cứu này	Ảnh hưởng của công nghệ Half-cell lên công suất pin quang điện	Giảm công suất tương ứng 10.45%; 21.01%; 30.21%; 40.88%

Nghiên cứu này ảnh hưởng của công nghệ Half-cell lên công suất pin quang điện giảm công suất tương ứng 10.45%; 21.01%; 30.21%; 40.88%.

Theo đó các thông kê ở bảng 1 cho ta thấy các tác giả đã tập trung nghiên cứu các phương pháp khác nhau để làm tăng hiệu suất của tấm pin khi bị ảnh hưởng của bóng đổ. Qua đó, các tác giả đưa ra các phân tích của mình về ưu điểm và nhược điểm của từng phương án để đưa ra các kết luận thích hợp cho từng dự án. Kết quả cho thấy sử dụng công nghệ Half-cell là một trong những giải pháp tối ưu nhất cho các dự án gặp những điều kiện bất lợi về bóng đổ. Half-cell sẽ giúp cho công suất của tấm pin đạt được hiệu suất tốt nhất và làm tăng tuổi thọ của tấm pin. Các nhà nghiên cứu [2]-[11] đã tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của bóng đổ tới công suất của tấm pin mặt trời. Từ đó đưa ra các giải pháp khác nhau nhằm cải thiện sự tác động của bóng đổ lên công suất tấm pin.

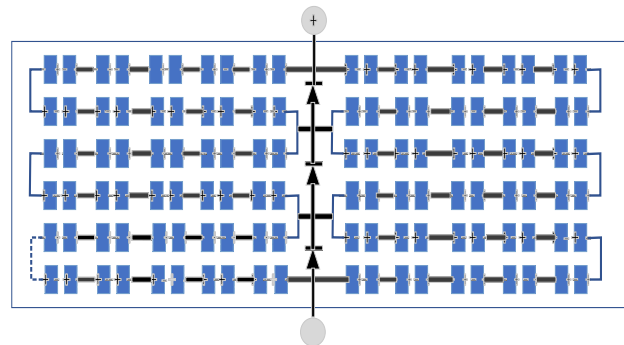
Như vậy, mục đích cuối cùng của các nghiên cứu là cải thiện hệ thống đạt công suất tối ưu nhất khi hoạt động. Mỗi nghiên cứu đều chỉ nêu ra một vấn đề mà hệ thống điện mặt trời hiện nay đang gặp

phải. Nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của công nghệ pin quang điện Half-cell đến công suất pin quang điện thương mại dựa trên môi trường MATLAB/Simulink.

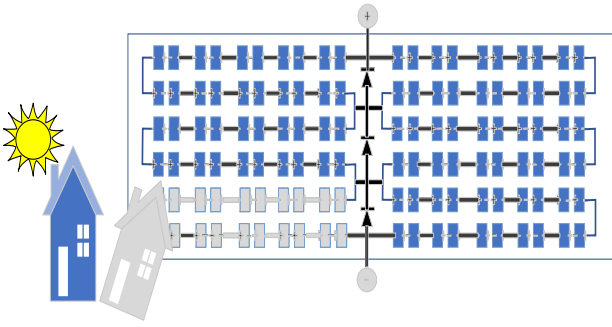
## 2. Mô hình toán học pin quang điện

### 2.1. Công nghệ half-cell

Công nghệ Half-cell có sự khác biệt so với công nghệ Full-cell đó là số lượng tế bào quang điện trên một mô đun tăng gấp đôi và được kết nối như hình 1. Đối với các tấm pin Half-cell các tế bào quang điện được chia làm 06 dãy. Do đó, nếu một hoặc một dãy tế bào quang điện bị che bóng thì chỉ làm giảm 1/6 công suất của mô đun quang điện (hình 2).



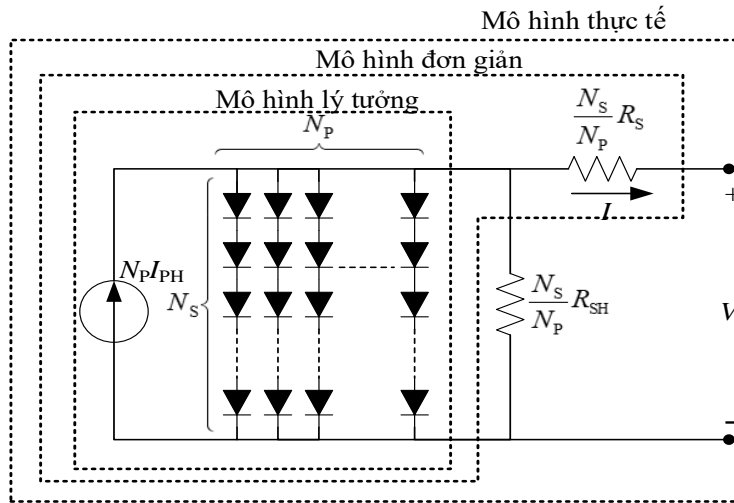
Hình 1. Cấu trúc của pin quang điện Half-cell.



**Hình 2.** Pin quang điện công nghệ Half-cell khi bị bóng đổ.

## 2.2. Mô hình toán học pin quang điện

Một tế bào quang điện thông thường tạo ra công suất khoảng 2W ( $P_{max} \leq 2W$ ) và điện áp khoảng 0.5V. Trên thực tế các mô-đun năng lượng mặt trời thương mại có công suất từ 2W đến 500W. Xây dựng mô-đun năng lượng mặt trời tạo ra công suất như trên cần ghép song song các tế bào quang điện trên một mô-đun PV và nhiều mô-đun PV nối tiếp lại với nhau, từ đó tạo ra dòng điện và điện áp theo đáp ứng nhu cầu thực tế. Sơ đồ mạch tương đương mô-đun năng lượng mặt trời được thể hiện tại hình 3.



**Hình 3.** Mô hình tổng quát pin quang điện.

Từ mô hình tổng quát như hình 3 [11] phương trình toán học của pin quang điện được viết như sau:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp\left(\frac{qV_d}{akT}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

Mô hình diode đơn bao gồm điện trở nối tiếp  $R$  và shunt điện trở  $R_p$ , trong đó dòng điện đầu ra có thể được viết:

$$I = I_{ph} + I_0 \left( \exp\left(\frac{V + IR_s}{aV_T}\right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2)$$

Với:

$$V_T = \frac{N_s KT}{q} \quad (3)$$

Các dòng quang được đưa ra bởi:

$$I_{ph} = (I_{ph,STC} + K_I \cdot \Delta T) \cdot \frac{G}{G_{STC}} \quad (4)$$

Và dòng bão hòa ngược:

$$I_0 = \frac{I_{sc,STC} + K_I \Delta T}{\exp\left[\frac{(V_{oc,STC} + K_V \Delta T)}{aV_T}\right] - 1} \quad (5)$$

Trong đó:  $I$ : Dòng đầu ra của tế bào PV;  $V$ : Điện áp đầu ra của tế bào PV;  $I_{ph}$ : Dòng quang điện;  $I_0, I_{01}, I_{02}$ : Dòng bão hòa ngược của diode;  $V_d$ : Điện áp diode;  $I_d$ : Dòng diode;  $I_0$ : Dòng bão hòa ngược của diode;  $a, a_1, a_2$ : Hệ số lý tưởng diode;  $k$ : Hằng số Boltzmann;  $T$ : nhiệt độ tiếp giáp p-n;  $q$ : Điện tích;  $K_I$ : Hệ số dòng điện/nhiệt độ ngắn mạch;  $K_V$ : Hệ số điện áp / nhiệt độ mạch hở;  $G$ : Thực tế chiếu xạ;  $G_{STC}$ : Chiếu xạ danh nghĩa ( $1000 \text{ W/m}^2$ );  $\Delta T$ : Sự khác biệt giữa nhiệt độ thực tế và nhiệt độ danh nghĩa;  $I_{ph,STC}$ : Quang điện danh nghĩa ( $25^\circ\text{C}$  và  $1000 \text{ W/m}^2$ );  $N_s$ : Số lượng tế bào được kết nối theo chuỗi;  $N_{ss}$ : Số lượng các mô-đun kết nối trong

chuỗi;  $N_{pp}$ : Số lượng các mô đun kết nối song song;  $V_{OC}$ : Mạch điện áp mở;  $I_{sc}$ : Dòng điện ngắn mạch.

### 3. Xây dựng mô hình bóng đổ pin Half-cell và Full-cell trên môi trường MATLAB/Simulink

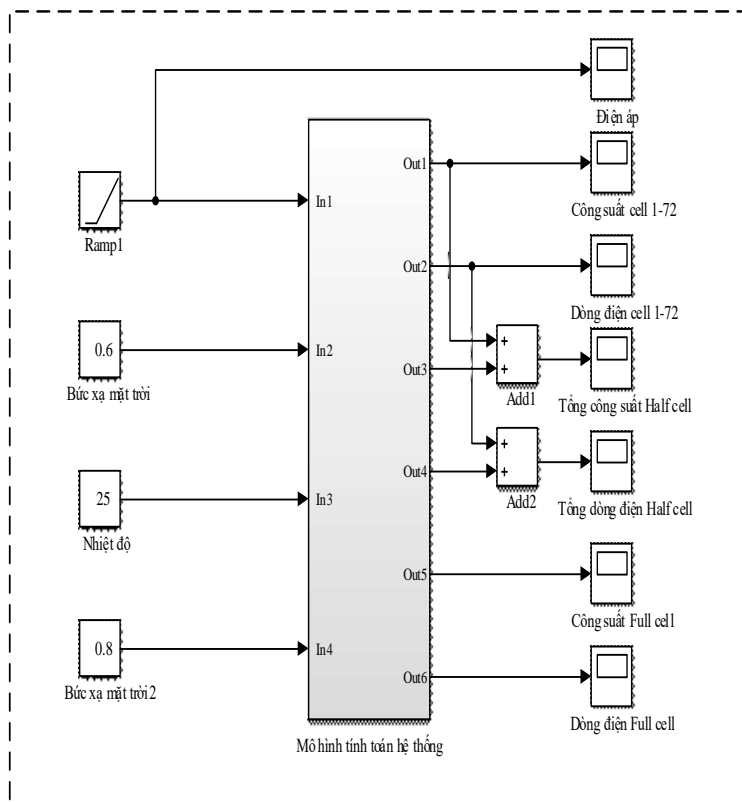
#### 3.1. Xây dựng mô hình tính toán hệ thống trên môi trường MATLAB/Simulink

Mô hình mô phỏng pin quang điện Full-cell được xây dựng dựa trên một điốt theo các công thức toán học từ 1 đến 5 được trình bày ở phần 2. Tuy nhiên, để chuyển đổi từ mô hình Full-cell sang

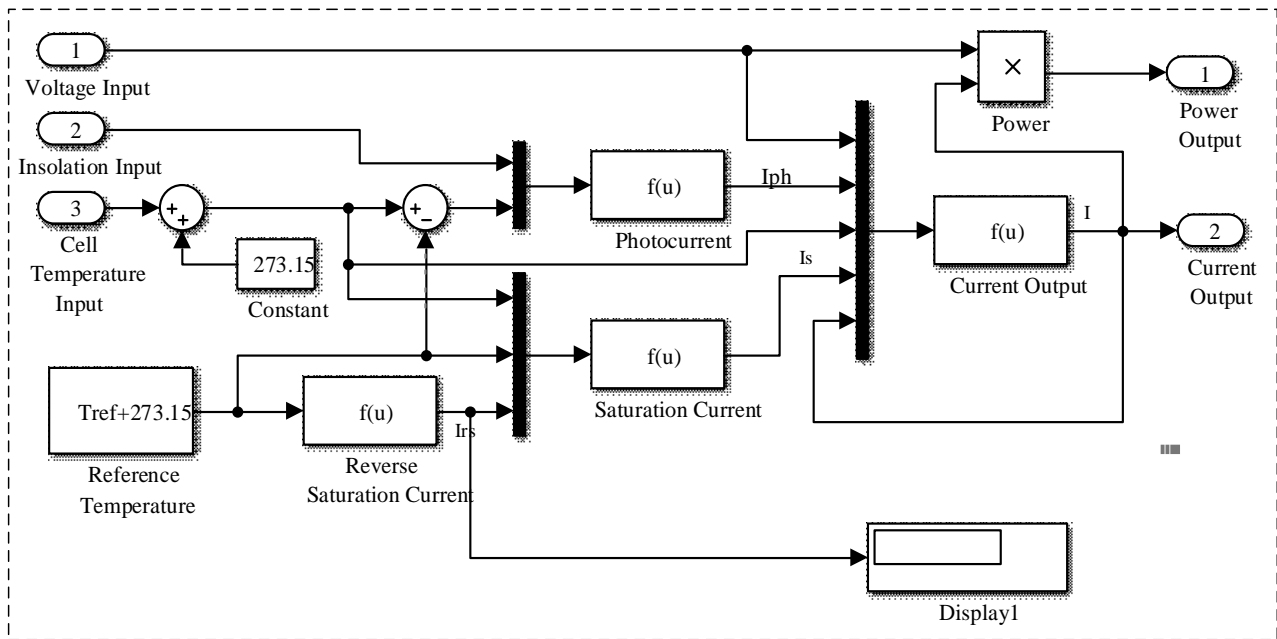
mô hình Half-cell cần phải chia số lượng tế bào quang điện mắc song song và nối tiếp phù hợp như cấu trúc của pin quang điện Half-cell như hình 1. Trong nghiên cứu này, số lượng tế bào quang điện của 01 mô đun quang điện là 144 tế bào quang điện được mắc thành 06 dãy song song mỗi dãy 12 tế bào quang điện. Do đó mô hình mô phỏng hệ thống pin quang điện Half-cell cài đặt số lượng tế bào quang điện mắc song song là 06 dãy mỗi dãy 12 tế bào như bảng 2. Mô hình mô phỏng mô đun quang điện Half-cell được trình bày như hình 4 và hình 5.

**Bảng 2.** Thông số kỹ thuật của pin Canadian CS3W-440MS.

Thông số kỹ thuật	Kí hiệu	Tham số
Công suất cực đại	Pmax	440W
Điện áp định mức	Vmp	40.7V
Dòng định mức	Imp	10.82A
Điện áp hở mạch	Voc	48.7V
Dòng ngắn mạch	Isc	11.48A
Số lượng cell	n <sub>cell</sub>	12×6 (144 cell)
Hiệu suất	-	18.40%
Nhiệt độ hoạt động	P/K	-40 °C ÷ +85 °C



**Hình 4.** Mô hình Half-cell trong môi trường MATLAB/Simulink.

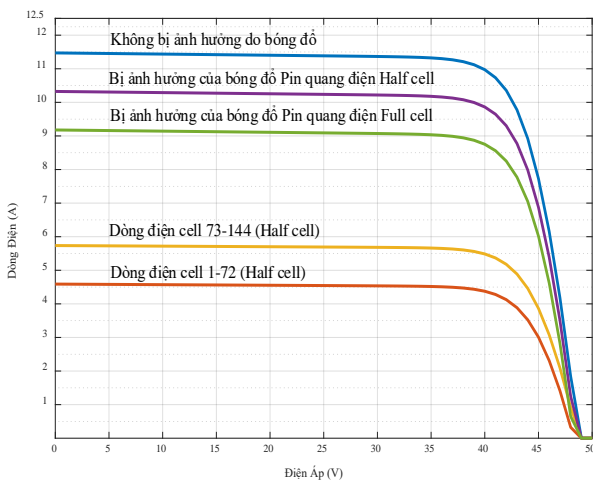


Hình 5. Chương trình con của mô hình pin quang điện.

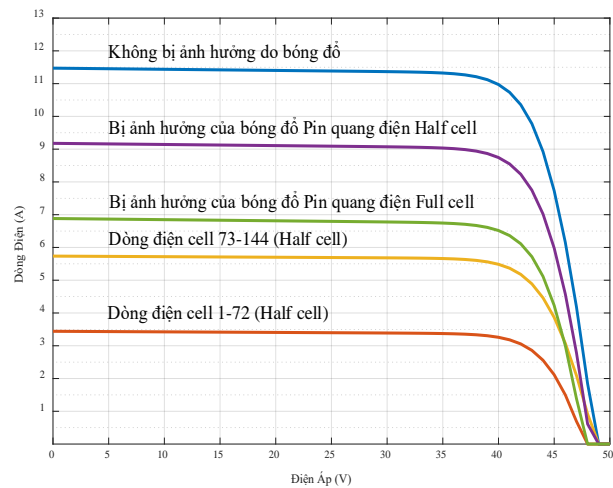
### 3.2. Kết quả mô phỏng

Trong nghiên cứu này, mô phỏng tấm pin quang điện sử dụng hai công nghệ Full-cell và Half-cell để so sánh sự khác biệt về dòng điện và công suất khi bị bóng đổ. Giả sử bức xạ mặt trời suy giảm từ  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.8\text{kW/m}^2$ ,  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.6\text{kW/m}^2$ ,  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.4\text{kW/m}^2$ ,  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.2\text{kW/m}^2$ . Nhiệt độ mô phỏng  $25^\circ\text{C}$ . Kết quả mô phỏng được trình bày từ hình 6 đến hình

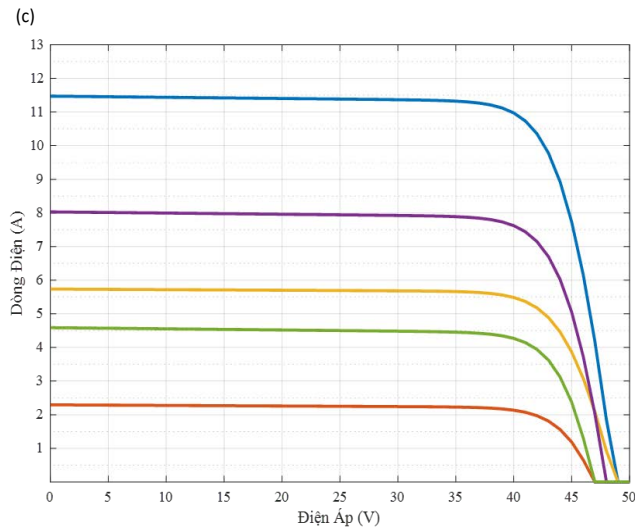
8. Khi bị bóng đổ chiếu vào một phần của pin quang điện. Đối với pin công nghệ Half-cell chỉ chịu ảnh hưởng bức xạ thấp một nửa tấm pin, nửa tấm còn lại vẫn hoạt động với điều kiện bình thường do đó khi bị bóng đổ từ  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.8\text{kW/m}^2$ ,  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.6\text{kW/m}^2$ ,  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.4\text{kW/m}^2$ ,  $1\text{kW/m}^2$  xuống  $0.2\text{kW/m}^2$  thì dòng điện giảm lần lượt là 10.23%, 20.55%, 29.48%, 39.90%.



(a) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.8\text{kWh/m}^2$ .

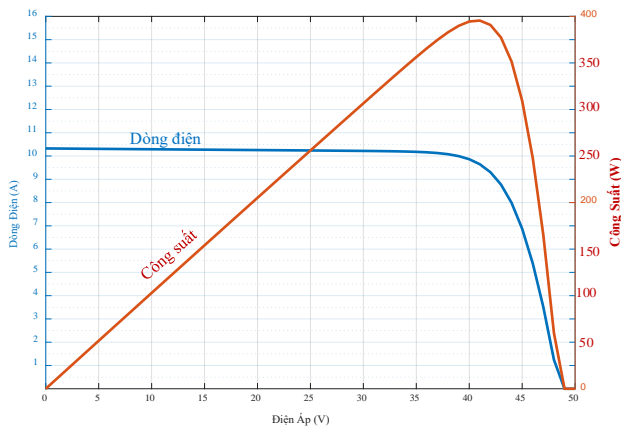


(b) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.6\text{kWh/m}^2$ .

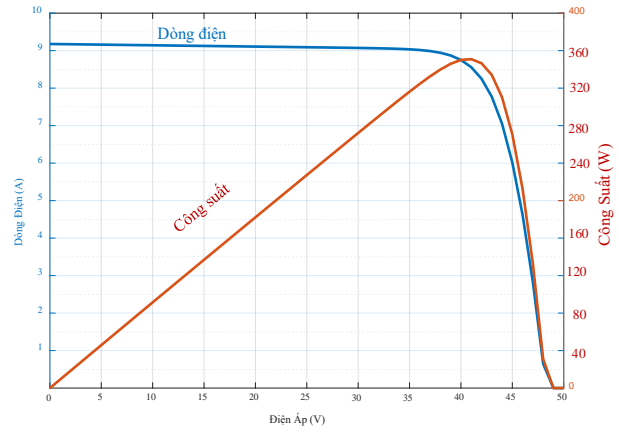


(c) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.4\text{kWh/m}^2$ .

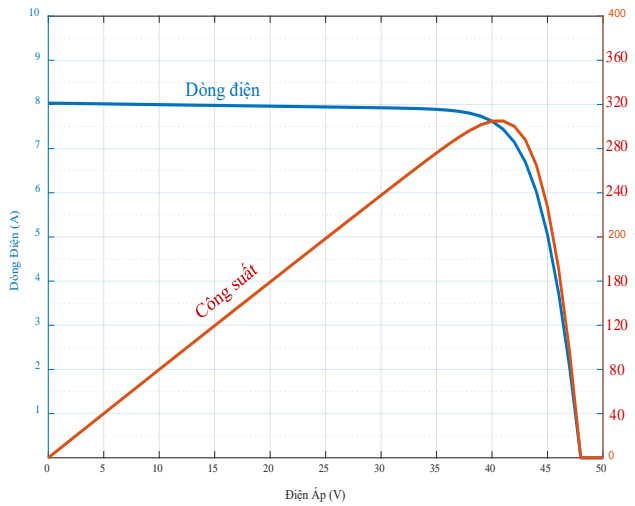
**Hình 6.** So sánh độ suy giảm công suất của hai công nghệ pin quang điện Full-cell và Half-cell.



(a) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.8\text{kWh/m}^2$ .

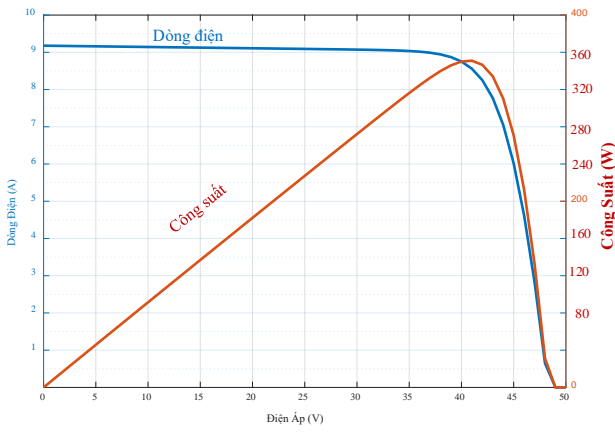


(b) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.6\text{kWh/m}^2$ .

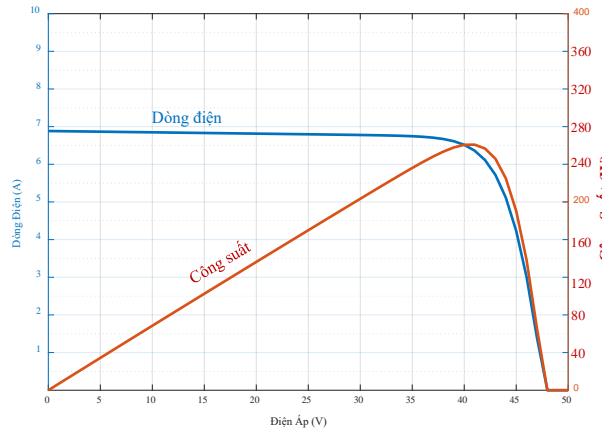


(c) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.4\text{kWh/m}^2$ .

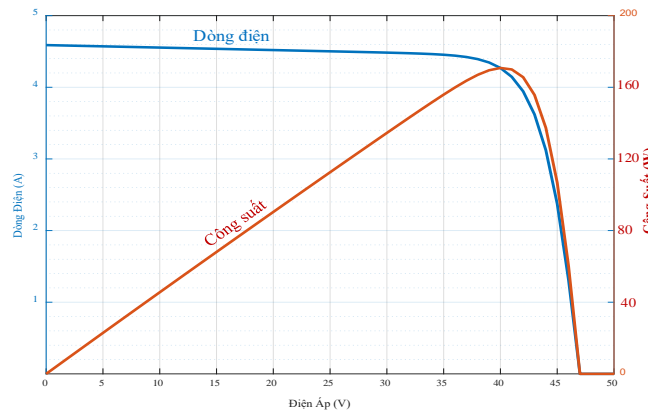
**Hình 7.** Đường đặc tính UIP của công nghệ Half-cell khi bị suy giảm.



(a) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.8\text{kWh/m}^2$ .



(b) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.6\text{kWh/m}^2$ .



(c) Bức xạ giảm từ  $1\text{kWh/m}^2$  xuống  $0.4\text{kWh/m}^2$ .

**Hình 8.** Đường đặc tính UIP của công nghệ Full-cell khi bị suy giảm.

#### 4. Kết quả thực nghiệm và phân tích kết quả

##### 4.1. Thiết đặt thực nghiệm

Hệ thống thực nghiệm bao gồm 01 mô đun quang điện Half-cell CS3W-440MS. Bộ điều khiển sạc MPPT 24V, Inverter 1500W và một ắc quy 50A,

quạt. Các thiết bị đo bao gồm VOM đo dòng và áp của mô đun quang điện, một nhiệt kế để đo nhiệt độ hoạt động của mô đun quang điện, một thiết bị đo bức xạ cầm tay PCESPM 1. Cài đặt thiết bị thực nghiệm được trình bày như hình 9.

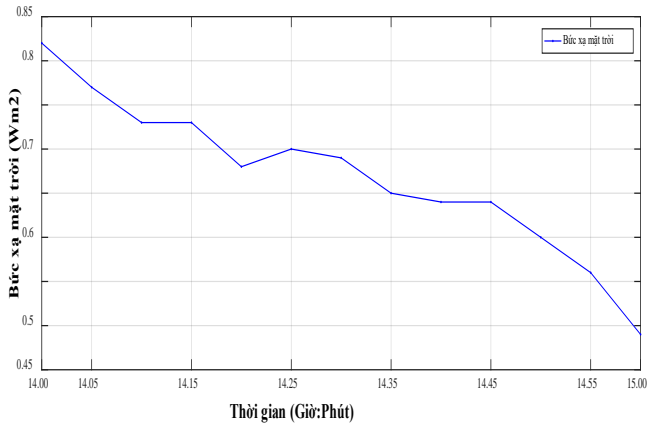


**Hình 9.** Thiết đặt thực nghiệm.

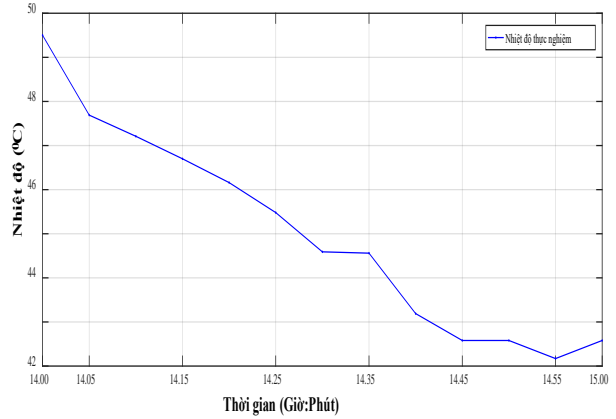
## 4.2. Kết quả thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành trong 01 giờ trong khoảng thời gian từ 14g00 đến 15g00 ngày 21 tháng 10 năm 2020. Kết quả thực nghiệm được trình bày từ hình 10 đến hình 15. Từ kết quả thực nghiệm cho thấy sai lệch dòng điện, công suất

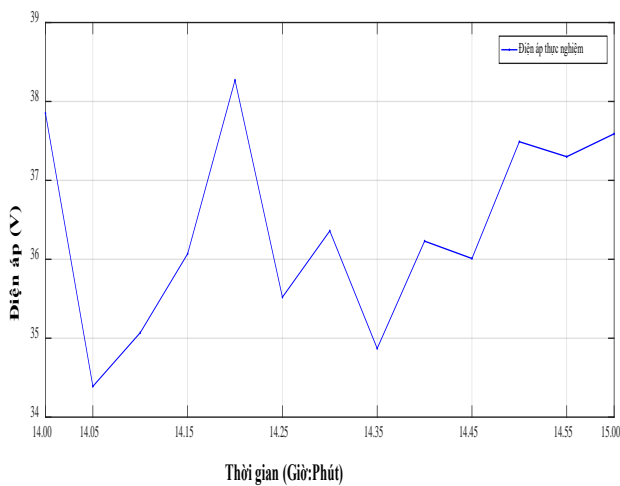
ngõ ra của mô đun pin quang điện CS3W-400MS trong 01 giờ tương ứng từ -0.003 (A) đến 0.25 (A) và từ -0.003 (W) đến 0.25 (W). So sánh kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm ta thấy độ sai lệch giữa dòng điện, công suất mô phỏng và thực nghiệm lần lượt là 1.1% và 1.5%.



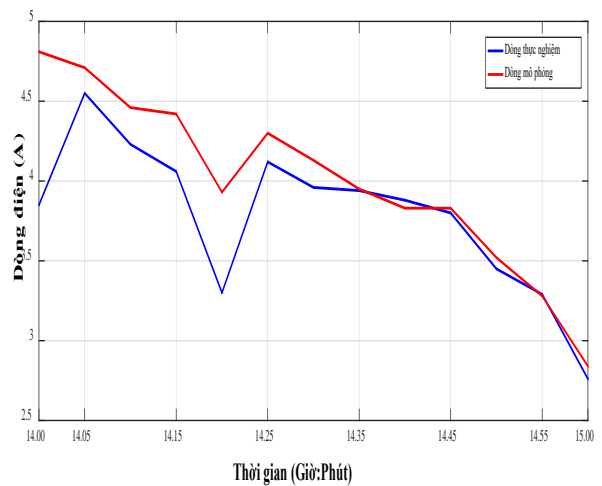
**Hình 10.** Đặc tuyến bức xạ mặt trời trong.



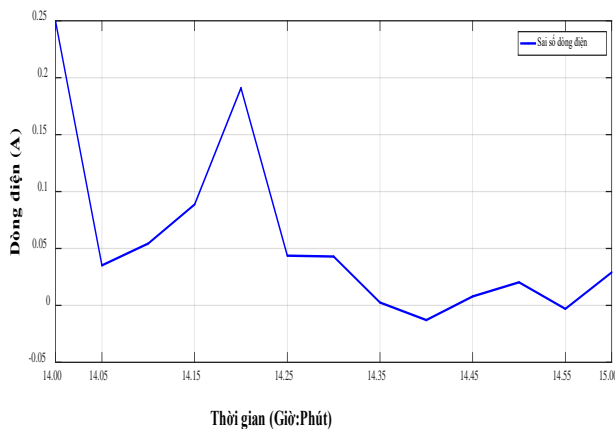
**Hình 11.** Đặc tuyến nhiệt độ tấm pin hoạt động.



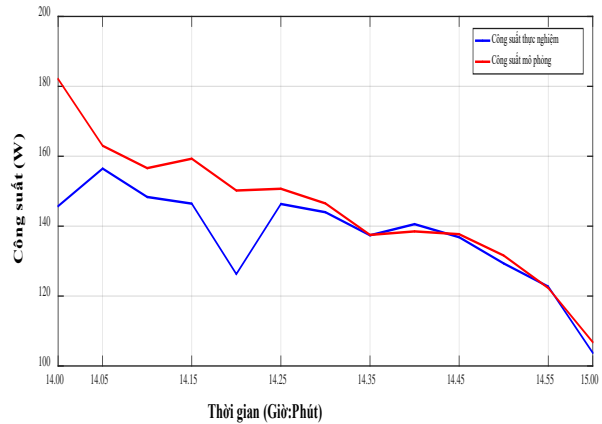
**Hình 12.** Đặc tuyến điện áp ngõ ra trong 01 giờ.



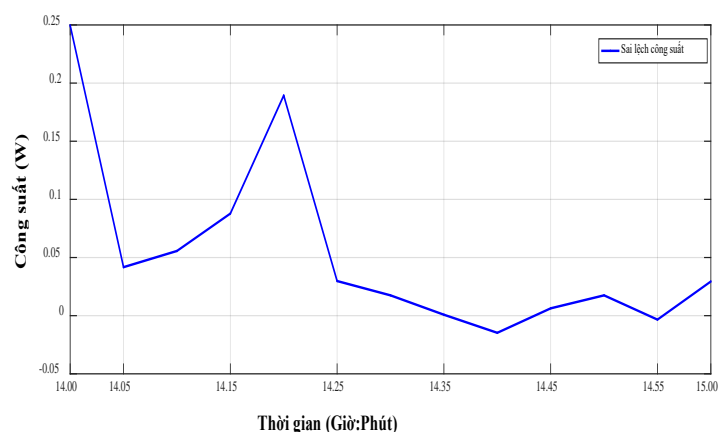
**Hình 13.** Đặc tuyến dòng thực nghiệm và mô phỏng ngõ ra trong 01 giờ.



**Hình 14.** Đặc tuyến sai lệch dòng điện mô phỏng và thực nghiệm.



**Hình 15.** Đặc tuyến công suất thực nghiệm và mô phỏng ngõ ra.



**Hình 16.** Đặc tuyến sai lệch công suất thực nghiệm và mô phỏng.

## 5. Kết luận

Nghiên cứu này xây dựng một mô hình mô phỏng so sánh sự khác biệt giữa hai công nghệ pin Half-cell và Full-cell khi bị bóng đổ dựa trên phần mềm MATLAB/SIMULINK.

Từ đó phân tích sự ảnh hưởng của công nghệ Half-cell đến công suất ngõ ra của pin quang điện. Từ kết quả mô phỏng cho thấy công nghệ Half-cell khi bị bóng đổ ở  $0.8\text{kWh/m}^2$ ;  $0.6\text{kWh/m}^2$ ;  $0.4\text{kWh/m}^2$ ;  $0.2\text{kWh/m}^2$  hiệu suất giảm lần lượt là 10.45%; 21.01%; 30.21%; 40.88%. Trong khi đó công nghệ Full-cell giảm lần lượt là 20.91%; 40.56%; 60.88%; 81.42%. Bên cạnh đó, kết quả thực nghiệm cho thấy sai lệch giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm giữa dòng điện và công suất lần lượt là 1.1% và 1.5%.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Thủ Tướng chính phủ “Cơ chế khuyến khích phát triển điện mặt trời tại Việt Nam”; ban hành ngày 06 tháng 04 năm 2020; có hiệu lực ngày 22 tháng 5 năm 2020.
- [2] G. Trzmiel, D. Gluchy, D. Kurz; “The impact of shading on the exploitation of photovoltaic installations”. *Renewable Energy*. 2020; 153:480-498. DOI:10.1016/j.renene.2020.02.010.
- [3] J. Qian, C. E. Clement, M. Ernst, Y. S. Khoo. “Analysis of hotspots in half cell modules undetected by current test standards”. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2019;9(3):842-848. DOI: 10.1109/JPHOTOV.2019.2898209.
- [4] J. C. Teo, R. H. Tan, V. H. Mok,, V. K. Ramachandaramurthy, C. Tan; “Impact of bypass diode forward voltage on maximum power of a photovoltaic system under partial shading conditions”. *Energy*. 2020; vol 191. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116491.
- [5] Y.-J. Wang, P. -C. Hsu; “An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells”. *Energy*. 2011; 36(5):3069–3078. DOI:10.1016/j.energy.2011.02.052.
- [6] F. Lu, S. Guo, T. M. Walsh, A. G. Aberle; “Improved PV Module Performance under Partial Shading Conditions”. *Energy Procedia*. 2013; 33:248–255. DOI:10.1016/j.egypro.2013.05.065
- [7] S. Bana, , R. P. Saini; “Experimental investigation on power output of different photovoltaic array configurations under uniform and partial shading scenarios”. *Energy*. 2017; 127:438–453. DOI:10.1016/j.energy.2017.03.139.
- [8] J. Qian, et al.; “Comparison of Half-cell and Full-cell Module hotspot-induced temperature by simulation”. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 2018; 8(3):834-839. DOI: 10.1109/JPHOTOV.2018.2817692.
- [9] A. M. Ajmal, et al.; “Static and dynamic reconfiguration approaches for mitigation of partial shading influence in photovoltaic arrays”. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020; vol 40. DOI: 10.1016/j.seta.2020.100738.
- [10] Peng, J., Lu, L., Yang, H., Ho, K. M., & Law, P. (2013); “Experimentally diagnosing the shading

impact on the power performance of a PV system in Hong Kong”. 2013 World Congress on Sustainable Technologies (WCST); 9-12 December 2013; London, UK. IEEE. 2013; pp.18-22. DOI: 10.1109/wcst.2013.6750397.

- [11] R. Steim, et al.; “Flexible polymer photovoltaic modules with incorporated organic bypass diodes to address module shading effects”. Solar

Energy Materials and Solar Cells. 2009; 93(11):1963–1967. DOI:10.1016/j.solmat.2009.07.013.

**Ngày nhận bài: 31/12/2021**

**Ngày chuyển phản biện: 04/01/2022**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 24/01/2022**

**Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2022**