


Danh sách nội dung có sẵn tại [SciVerse ScienceDirect](#)

Năng lượng

trang chủ tạp chí: www.elsevier.com/locate/energy



Nghiên cứu thực nghiệm về các kịch bản che bóng một phần trên các mô-đun PV (quang điện)

Alberto Dolara^{a,*}, George Cristian Lazaroiu^{b,*}, Sonia Leva^a, Giampaolo Manzolini^a

^aKhoa Năng lượng, Politecnico di Milano, Via Lambruschini 4, 20156 Milan, Ý ^bKhoa Hệ thống Điện, Đại học POLITEHNICA Bucharest, Splaiul Independentei 313, 060042 Bucharest, Romania

thông tin bài viết	tóm tắt
<p>Lịch sử bài viết:</p> <p>Nhận ngày 16 tháng 10 năm 2012</p> <p>Đã nhận được dự định dạng đã sửa đổi</p> <p>Ngày 9 tháng 2 năm 2013</p> <p>Đã chấp nhận ngày 9 tháng 4 năm 2013</p> <p>Có sẵn trực tuyến xxx</p>	<p>Quá trình phát điện của hệ thống quang điện bị ảnh hưởng đáng kể bởi việc che bóng một phần hoặc toàn bộ các cell và phụ thuộc vào cấu hình mảng PV, đặc điểm che bóng và sự hiện diện của diode bypass. Bài báo đề cập đến việc điều tra tác động của việc che bóng một phần đến hoạt động của các mô-đun PV đa tinh thể và đơn tinh thể. Một số thí nghiệm bao gồm đo các đường cong dòng điện-điện áp và điện áp-tuổi của các mô-đun quang điện của một nhà máy PV thực tế, cả không che bóng và áp dụng các cấu hình che bóng, đã được thực hiện vào những ngày nắng đẹp. Phân tích thực nghiệm có thể được áp dụng để đưa ra các mô hình toán học nhằm đánh giá tổn thất công suất trong điều kiện che bóng ảnh hưởng đến hoạt động của các mô-đun PV.</p> <p>© 2013 Elsevier Ltd. Bảo lưu mọi quyền.</p>

1. Giới thiệu

Liên minh Châu Âu đã đặt ra mục tiêu đạt được năng lượng sạch và an toàn cho tương lai. Các chính sách về hiệu quả năng lượng và năng lượng tái tạo được thông qua với mục tiêu đạt được các mục tiêu của EU 2020 (giảm 20% lượng khí thải nhà kính, cải thiện 20% hiệu quả năng lượng và 20% năng lượng tái tạo trong mức tiêu thụ năng lượng của EU). Các nguồn năng lượng tái tạo có thể được sử dụng trong các nhà máy điện nhỏ và phi tập trung hoặc trong các hệ thống phát điện lớn [1e3]. Chúng là mô-đun và có thể được xây dựng thành các mô-đun kích thước nhỏ để sử dụng ở các địa điểm khác nhau. Sự thay đổi tự nhiên của các điều kiện môi trường và hành vi phi tuyến tính của máy phát điện quang điện khiến việc sử dụng năng lượng quang điện trở thành một nhiệm vụ đầy thách thức. Các mô-đun quang điện (PV) bao gồm một số ô được kết nối nối tiếp, được cho là giống hệt nhau về các đặc tính điện. Tuy nhiên, các ô này hoạt động khác nhau khi hoạt động trong các điều kiện không lý tưởng quyết định đến tổn thất không khớp của hệ thống PV. Quy trình thiết kế hệ thống PV liên quan đến cả sản xuất năng lượng và hiệu quả yêu cầu

đánh giá hoạt động của chúng trong điều kiện không lý tưởng [4e8]. Do đó, sự chiếu xạ giảm được xác định bởi bóng đổ chiếu lên các mô-đun PV gây ra đường cong đặc tính điện áp công suất lệch khỏi dạng chuẩn, chức năng của các đặc điểm hình học của bóng đổ (như khoảng cách, hình dạng, kích thước, cơ sở độ) và các đặc điểm điện của các tế bào quang điện [9e11].

Ảnh hưởng của các vật thể che bóng lên sản lượng năng lượng PV, chức năng của vị trí tương đối của chúng, là một nhiệm vụ khó khăn. Các ô bị che bóng hấp thụ điện năng do các ô không bị che bóng tạo ra, gây ra các điểm nóng có thể làm hỏng mô-đun không thể phục hồi. Ảnh hưởng của các điều kiện che bóng lên sự không khớp của các hệ thống PV được nghiên cứu trong Tài liệu tham khảo [12e15]. Ảnh hưởng của diode bypass lên các hệ thống PV không khớp được nghiên cứu trong Tài liệu tham khảo [16e18], minh họa các đặc tính IeV của toàn bộ mô-đun PV và công suất đầu ra của mô-đun PV. Phương pháp NewtonRaphson, được sử dụng để giải lập các phương trình phi tuyến tính PV, được áp dụng để nghiên cứu các hệ thống PV không khớp trong Tài liệu tham khảo [19e22]. Các mô hình mô phỏng được triển khai bằng phần mềm để phân tích hiệu ứng che bóng trên các hệ thống PV được đề xuất bằng cách sử dụng các chương trình dành riêng cho PV trong Tài liệu tham khảo [23,24], MAT-LAB trong Tài liệu tham khảo [25], PSpice trong Tài liệu tham khảo [26,27], PSIM trong Tài liệu tham khảo [28] và EMTF trong Tài liệu tham khảo [29]. Các hướng dẫn mô hình hóa và hệ thống chuẩn e trong môi trường phần mềm PSCAD/EMTDC e cho các nghiên cứu mô phỏng hệ thống điện của các hệ thống quang điện (PV) ba pha, một tầng, được kết nối với lưới điện sử dụng bộ biến đổi nguồn điện áp (VSC) làm bộ biến đổi điện được đề xuất trong Tài liệu tham khảo [30].

* Tác giả liên hệ. Điện thoại: þ40 724528546; fax: þ40 214029440.
Địa chỉ email: alberto.dolara@mail.polimi.it (A. Dolara) , clazaroiu@yahoo.com (GC Lazaroiu), sonia.leva@polimi.it (S. Leva), giampaolo.manzolini@polimi.it (G. Manzolini).

Giảm công suất tối đa do kém hiệu quả thuật toán theo dõi điểm công suất tối đa bị ảnh hưởng bởi một phần điều kiện che bóng được nghiên cứu trong Tài liệu tham khảo [31,32], trong khi đã sửa đổi Các mảng PV để cải thiện hiệu suất hệ thống trong điều kiện chiếu xạ không đồng nhất được đề xuất trong Tài liệu tham khảo [33e35]. Tuy nhiên, độ phức tạp mô hình hóa đáng kể và tính toán cao thời gian để tính toán chính xác dòng điện, điện áp và công suất được cung cấp điện áp là bắt buộc.

Trong bài báo hiện tại, một nghiên cứu thực nghiệm về năng lượng PV tồn thất sản xuất trong điều kiện che bóng một phần được tiến hành trên một nhà máy điện mặt trời thực sự trong Phòng thí nghiệm công nghệ năng lượng mặt trời của Politecnico di Milano, Ý. Nhà máy PV bao gồm các mô-đun đơn tinh thể và đa tinh thể, mỗi mô-đun có 60 ô được kết nối nối tiếp và ba diode bypass. Mỗi mô-đun bao gồm 6 cột, mỗi cột với 10 ô, được đặt theo hình học trên cạnh dài của nó. Các đi-ốt bỏ qua được kết nối sau mỗi hai cột, chia mô-đun thành ba phần phụ bằng nhau. Các kích bản tô bóng khác nhau được phân tích, xét một cell đơn và một mô-đun PV được tô bóng từ 0% đến 100%. Được cung cấp đặc tính dòng điện-điện áp và công suất-điện áp được đo trong điều kiện ngoài trời được báo cáo. Thực hiện các thử nghiệm thực nghiệm cung cấp một cuộc điều tra về hiệu ứng bóng tối trên hành vi điện chính của các mô-đun PV và có thể được sử dụng trong đưa ra các mô hình toán học để đánh giá tổn thất điện năng trong điều kiện chiếu xạ không đồng đều.

2. Thiết lập thí nghiệm và quy trình thí nghiệm

2.1. Mô tả về Phòng thí nghiệm công nghệ năng lượng mặt trời và thiết lập thử nghiệm

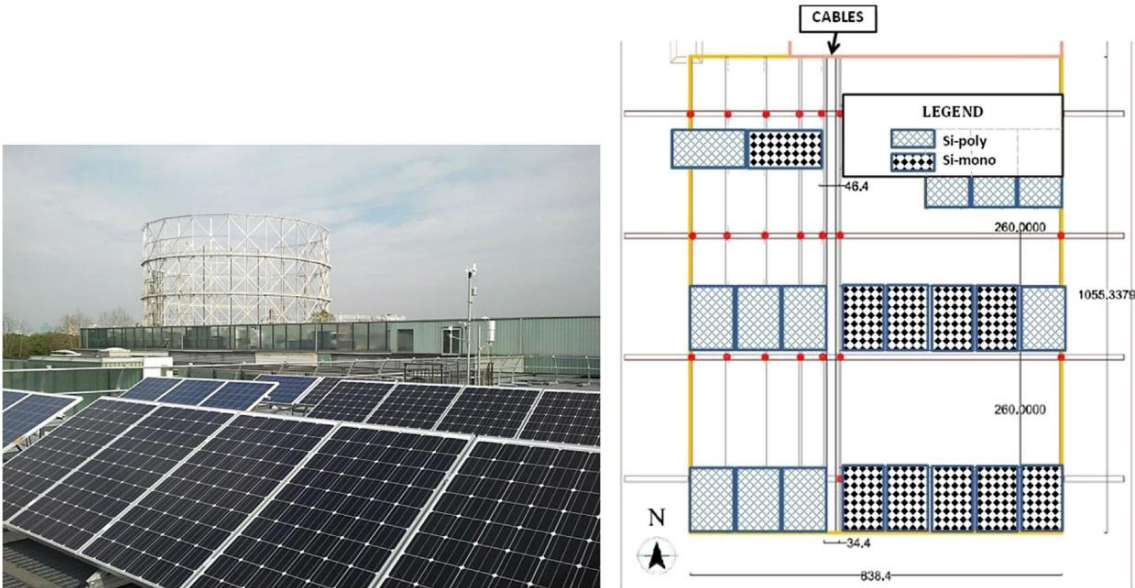
Bố cục của Phòng thí nghiệm công nghệ năng lượng mặt trời được minh họa trong Hình 1, [36]. Hệ thống bao gồm 21 mô-đun: 19 mô-đun (10 đa tinh thể và 9 đơn tinh thể) được đặt trên các cấu trúc hỗ trợ với một góc nghiêng cố định 30° và 2 mô-đun cuối cùng (1 đa tinh thể và 1 đơn tinh thể) được đặt trên một cấu trúc cho phép thủ công điều chỉnh góc nghiêng; tất cả các mô-đun đều hướng về phía Nam. Mỗi mô-đun được kết nối với lưới phân phối điện áp thấp thông qua bộ biến tần siêu nhỏ giúp tối ưu hóa các điều kiện hoạt động. Tọa độ địa lý của Phòng thí nghiệm công nghệ năng lượng mặt trời là vĩ độ 45.502941 Bắc và kinh độ 9.156577 Đông. Cơ sở dữ liệu bức xạ mặt trời của Châu Âu, sử dụng mô hình bức xạ mặt trời và dữ liệu khí hậu

Bảng 1

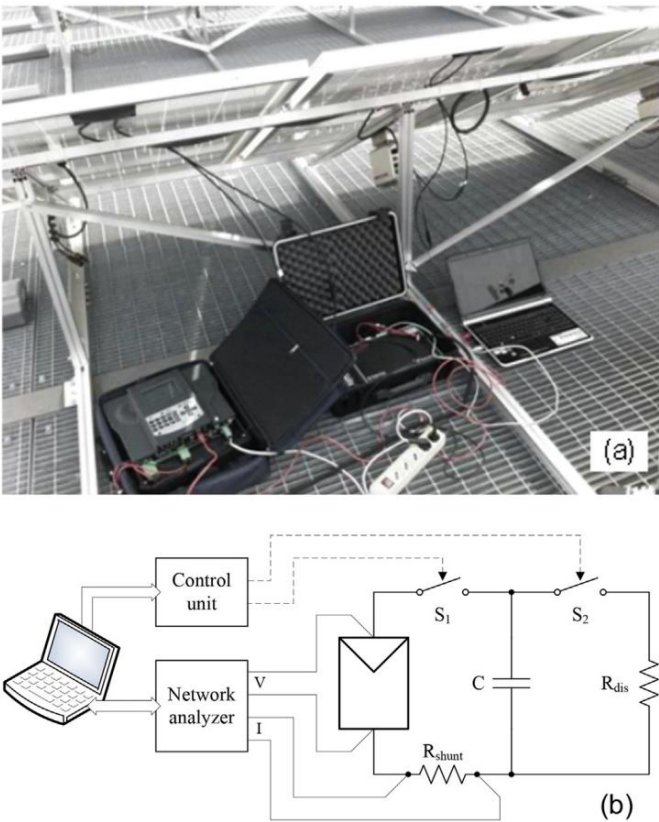
Đặc điểm chính của trạm khí tượng.

	Máy đo bức xạ ròng (LSI DPD504)[42]	Nhiệt kế (LSI, DPA253) [43]
Phạm vi đo lường [W/m2]	<2000	<2000
Phạm vi quang phổ	0,3e60 mm	305e2800 bước sóng
Tổng số có thể đạt được hàng ngày sự không chắc chắn	<5%	<5%
Phi tuyến tính	<1,5%	<4%
Sự trôi nhiệt	<2%	<1,2%

tích hợp trong Hệ thống thông tin địa lý quang điện (PVGIS), được trình bày trong Tài liệu tham khảo [37]. Chiến dịch thí nghiệm được tiến hành đã ghi lại hiện tại điện áp và tính toán các đặc tính điện áp của các mô-đun khác nhau, trong các điều kiện hoạt động khác nhau. Các yêu cầu đối với phép đo dòng điện quang điện đặc điểm được thiết lập trong tiêu chuẩn IEC 60904-1 [38]. Các thủ tục hiệu chỉnh nhiệt độ và độ chiếu xạ để đo Đặc tính I_{sc} của các thiết bị quang điện được chỉ định trong tiêu chuẩn IEC 60891 [39]. Các yêu cầu tối thiểu đối với tài liệu hệ thống, thử nghiệm đưa vào vận hành và kiểm tra PV được kết nối lưới điện hệ thống được quy định trong IEC 62446 [40]. Các ví dụ về phép đo được thực hiện theo các tiêu chuẩn đã đề cập trước đó được báo cáo trong Tài liệu tham khảo [41]. Trong bài báo hiện tại, giá trị tuyệt đối hiệu suất của các mô-đun không được điều tra. Thay vào đó, so sánh hiệu suất của các mô-đun theo các cách khác nhau điều kiện che bóng đã được nghiên cứu. Các điều kiện môi trường được theo dõi bằng khí tượng trạm đo đặc được trang bị cảm biến bức xạ mặt trời, nhiệt độ-độ ẩm và tốc độ/hướng gió. Khả năng đo nhiệt độ môi trường và điều kiện gió không cần thiết cho phân tích được thực hiện trong công trình này. Các phép đo này rất quan trọng cho việc phát triển các mô hình dự đoán PV. Bức xạ mặt trời được đo bằng ba cảm biến khác nhau: một lưới mây đo bức xạ để đo độ rọi trực tiếp bình thường (DNI) và hai máy đo bức xạ nhiệt để đo tổng năng lượng, tương ứng khuếch tán, chiếu xạ trên mặt phẳng ngang. Chính Đặc điểm của các thiết bị đo bức xạ mặt trời được báo cáo trong Bảng 1.



Hình 1. Các mô-đun PV được lắp đặt tại Phòng thí nghiệm công nghệ năng lượng mặt trời, Politecnico di Milano.



Hình 2. Thiết bị đo ghi lại đặc điểm PV: (a) thử nghiệm thực địa phép đo; (b) nguyên lý hoạt động.

Các phép đo điện được thực hiện bằng cách sử dụng nguyên mẫu và các thiết bị đo lường có sẵn trên thị trường được thể hiện trong Hình 2(a). Nguyên lý hoạt động của dụng cụ đo lường được minh họa thông qua sơ đồ khối được thể hiện trong Hình 2(b). Thiết bị chuyển mạch S1 vận hành kết nối của mô-đun PV với tải. Thiết bị chuyển mạch S2 được sử dụng để xả và giữ không tích điện tụ điện. Các thiết bị chuyển mạch được tự động được quản lý bởi đơn vị điều khiển. Bài kiểm tra bắt đầu bằng cách mở S2 và đóng S1.

Dòng điện do mô-đun PV tạo ra sẽ sạc dần tụ điện. Kiểm tra kết thúc khi điện áp tụ điện đạt đến giá trị điện áp mạch hở của mô-đun PV. Điện dung được định cỡ để đảm bảo thời gian thử nghiệm là khoảng 0,2 giây khi cường độ chiếu xạ là 1000 W/m². Vào cuối bài kiểm tra, S1 mở và S2 đóng lại, cho phép tụ điện xả hết điện điện trở tiêu tán R_{dis}. Một máy phân tích mạng trong “phân tích tạm thời” chế độ thực hiện và lưu trữ các giá trị điện áp và dòng điện. máy phân tích được trang bị bộ chuyển đổi A/D 12 bit đồng thời lấy mẫu tín hiệu điện áp và dòng điện. Tần số lấy mẫu là 12,5 kHz. Đo điện áp được thực hiện bằng sử dụng kết nối trực tiếp, trong khi đo dòng điện là gián tiếp, thông qua điện trở shunt R_{shunt}. Độ chính xác của mạng kênh đầu vào của máy phân tích được báo cáo trong Bảng 2. PC, được giao diện với phần mềm quản lý thiết bị, tọa độ và

kiểm soát các hệ thống đo lường. Dữ liệu thu được được lưu trữ tại kết thúc mỗi lần kiểm tra. Thiết bị được lập trình để thực hiện một bài kiểm tra trong 0,5 giây. Dữ liệu được ghi lại bằng bộ chuyển đổi với độ chính xác 1%. Đặc tính dòng điện-điện áp bao gồm 6250 cặp của các giá trị.

2.2. Quy trình thực nghiệm

Đặc tính dòng điện-điện áp của mô-đun PV yêu cầu đo điện áp và giá trị dòng điện tại các đầu cuối của nó. Vì thể đặc tính của một mô-đun PV thay đổi tùy theo mức độ chiếu xạ, cũng như với nhiệt độ của cell, trong đặc tính điện áp dòng điện phép đo là cần thiết để các thông số này vẫn giữ nguyên càng nhiều càng tốt. Đối với các phép đo thực địa, sự chiếu xạ có thể thay đổi nhanh chóng do những thay đổi nhanh chóng trong điều kiện khí quyển, trong khi động lực nhiệt chậm hơn nhiều. Các điều kiện thử nghiệm thực địa yêu cầu thực hiện đặc tính dòng điện-điện áp kiểm tra trong thời gian ngắn nhất có thể. Do đó, mô-đun PV được kết nối với thiết bị tự động đã mô tả trước đó, phải có khả năng thay đổi tải được kết nối với mô-đun PV, cũng như để đo và lưu trữ các giá trị dòng điện và điện áp. Bức xạ mặt trời, nhiệt độ môi trường và tốc độ gió được theo dõi bởi trạm khí tượng. Nhiệt độ của tế bào và mô-đun là được giám sát bằng cách sử dụng camera nhiệt và một cặp nhiệt điện được đặt ở mặt sau của mô-đun.

Mục đích của các cuộc điều tra được tiến hành là để ghi lại và so sánh đặc tính dòng điện-điện áp và công suất-điện áp thu được trong các điều kiện che bóng khác nhau. Dữ liệu đo được được xử lý để so sánh, nhưng chúng không được báo cáo theo tiêu chuẩn điều kiện thử nghiệm (STC).

Các thí nghiệm được thực hiện trên các mô-đun PV dưới nhiều điều kiện khác nhau điều kiện che bóng. Quá trình che bóng loại bỏ cả trực tiếp bức xạ mặt trời và bức xạ khuếch tán chiếu vào mô-đun. Sau đây các trường hợp che bóng đã được xem xét:

- ô đơn được tô bóng theo chiều dọc cũng như theo chiều ngang hồ sơ;
- mô-đun được tô bóng theo chiều dọc, chiều ngang và đường chéo hồ sơ.

Chiến dịch đo lường được tiến hành trên polycrystalline và mô-đun đơn tinh thể.

2.2.1. Quy trình thực nghiệm để che bóng cho một tế bào PV đơn

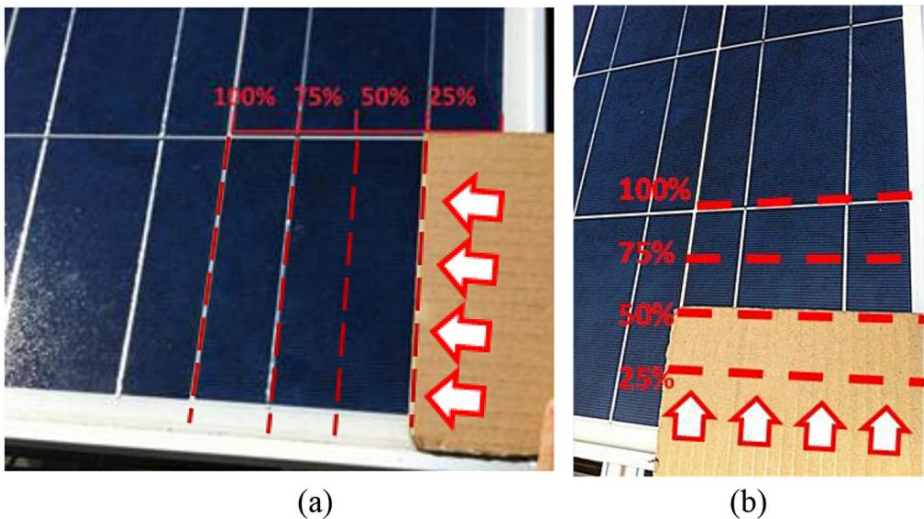
Đối với PV đa tinh thể cũng như PV đơn tinh thể các mô-đun, các thí nghiệm được thực hiện bằng cách áp dụng hai kịch bản tô bóng cho một tế bào đơn lẻ:

- đổ bóng từ phải sang trái, tăng diện tích đổ bóng từ 0% đến 100%, như minh họa trong Hình 3(a);
- tạo bóng đổ từ dưới lên trên, tăng diện tích đổ bóng từ 0% đến 100%, như minh họa trong Hình 3(b).

Đối với mỗi loại mô-đun PV và kịch bản che bóng, dòng điện Đường cong điện áp và công suất được ghi lại. Thực hiện các thử nghiệm có mục đích phân tích ảnh hưởng của bóng râm quá trình áp dụng cho một tế bào đơn lẻ đang gây ra trên toàn bộ PV mô-đun.

Bảng 2
Dữ liệu đặc trưng của thiết bị đo lường.

	Toàn thang đo (FS)	Độ chính xác: 110% của FS	Độ chính xác: 10130% của FS	Độ chính xác: 130150% của FS
Điện áp đầu vào	100V	1 năm	100mV	1 năm
Đầu vào hiện tại từ bộ chuyển đổi	3V	30mV	3mV	30mV



Hình 3. Hồ sơ bóng đổ của một tế bào đơn lẻ: (a) Từ phải sang trái, (b) Từ dưới lên trên.

2.2.2. Quy trình thử nghiệm để che bóng cho mô-đun PV

Đối với các mô-đun PV đa tinh thể cũng như đơn tinh thể, các thí nghiệm mới được thực hiện bằng cách áp dụng ba kịch bản che bóng cho mô-đun PV:

- Hồ sơ che nắng theo chiều dọc, tăng diện tích được che nắng từ 0% đến 100%, như minh họa trong Hình 4(a);
- Hồ sơ che nắng theo chiều ngang, tăng diện tích được che nắng từ 0% đến 100%, như minh họa trong Hình 4(b);
- Dư ờng chéo đổ bóng, tăng diện tích đổ bóng từ bước 0 đến bước 5, như minh họa trong Hình 4(c);

Đối với mỗi loại mô-đun PV và tình huống che bóng, dư ờng cong điện áp dòng điện và điện áp công suất đều được ghi lại.

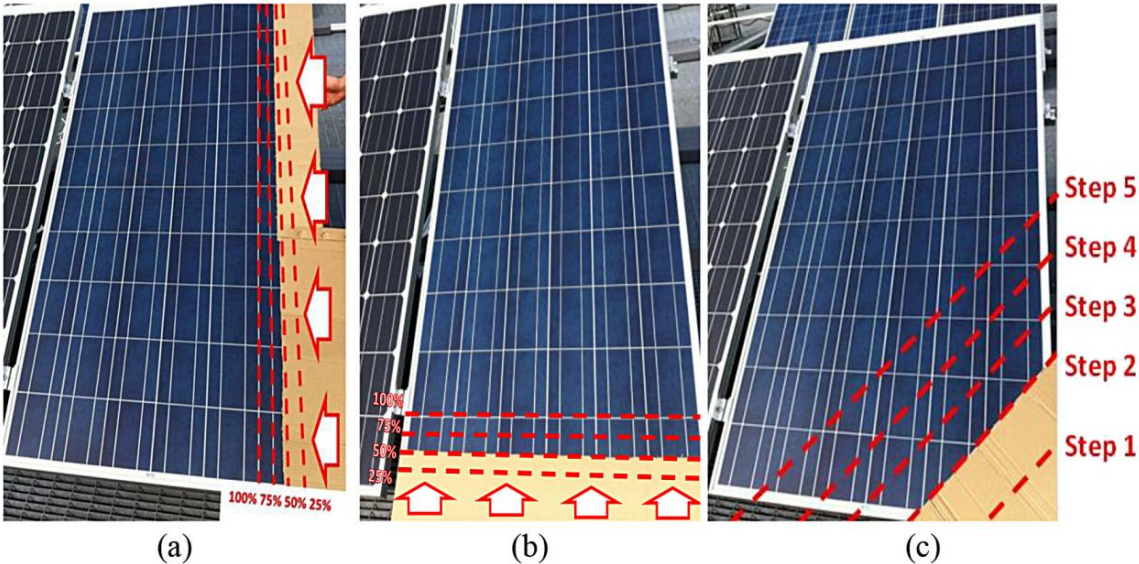
2.2.3. Đo dư ờng và xử lý dữ liệu đo dư ờng được thực hiện bằng cách ghi lại các điều kiện môi trường cũng như các biến số điện và nhiệt liên quan đến mô-đun. Tất cả các thử nghiệm trên các mô-đun đa tinh thể được thực hiện trong

giữa ngày trong xanh và nắng, cũng như các thử nghiệm trên các mô-đun đơn tinh thể (một ngày để thử nghiệm trên các mô-đun đa tinh thể và một ngày khác để thử nghiệm trên các mô-đun đơn tinh thể). Thời gian của một thử nghiệm duy nhất là ít hơn một phút, xét đến cả thời gian đo các dư ờng cong dòng điện-điện áp và công suất-điện áp, và thời gian định vị vật cản tạo ra bóng râm.

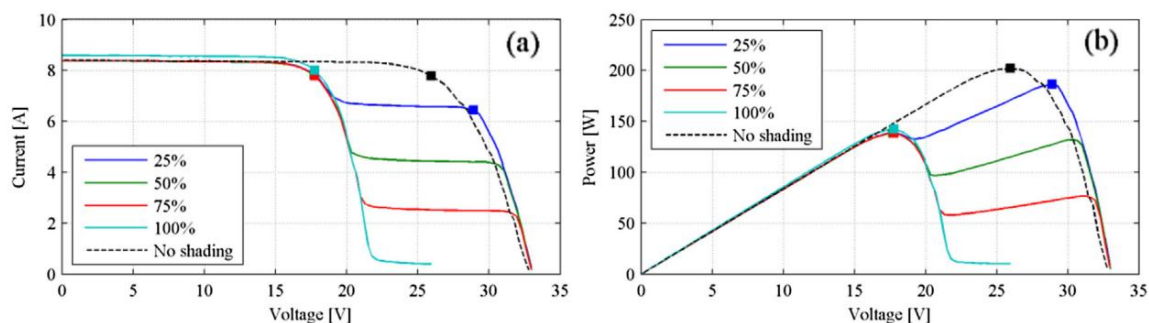
Theo [38], mỗi dư ờng cong dòng điện-điện áp chỉ được đo dư ới ánh sáng mặt trời tự nhiên khi dư ờng độ bức xạ mặt trời toàn cầu không dao động quá 1% trong quá trình đo và dư ờng độ bức xạ ít nhất là 800 W/m² (vượt quá 850 W/m²). Trong suốt quá trình thử nghiệm, không có biến động nhiệt độ đáng kể nào của ô và mô-đun được ghi nhận, trong khi dư ờng độ bức xạ nằm trong khoảng từ 850 W/m² đến 950 W/m².

Để

so sánh dữ liệu đo được, chúng đã được hiệu chỉnh bằng cách xem xét độ rọi tham chiếu là 1000 W/m²; vì nhiệt độ không đổi nên không có hiệu chỉnh nhiệt độ nào được đưa vào. Trong Tài liệu tham khảo [39], ba quy trình hiệu chỉnh được đề xuất; trong tác phẩm này, quy trình hiệu chỉnh 2 (dựa trên mô hình một diode của các thiết bị PV) được tính đến. Quy trình hiệu chỉnh được định nghĩa bởi:



Hình 4. Các kịch bản che bóng của mô-đun PV: (a) Hồ sơ che bóng theo chiều dọc, (b) Hồ sơ che bóng theo chiều ngang và (c) Hồ sơ che bóng theo dư ờng chéo.



Hình 5. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đa tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m²: (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che bóng của một ô từ phải sang trái.

$$I_{ref} = \frac{1}{4} I_m, \delta T_1 \text{ p arel}, \delta T_2 T_1 \text{ p p} \quad \text{Mạnh} \quad (1)$$

$$V_{ref} = \frac{1}{4} V_m \text{ p } V_{OCm}, \text{ brel}, T_{ref} T_m \text{ p a, ln} \quad \text{Mạnh} \quad (2)$$

trong đó các chỉ số ref và m tham chiếu đến tham chiếu, tương ứng với các điều kiện được đo; V là điện áp; VOC là điện áp hở của mô-đun; I là dòng điện; G là độ rọi; arel và brel là các hệ số nhiệt độ dòng điện và điện áp tương đối; a là hằng số (thường được lấy bằng 0,06); R' là điện trở nối tiếp bên trong; không có thể được hiểu là hệ số nhiệt độ của điện trở nối tiếp bên trong. Xem xét các giá trị độ rọi trong quá trình thử nghiệm, có thể đơn giản hóa mạnh mẽ các mối quan hệ hiệu chỉnh như sau:

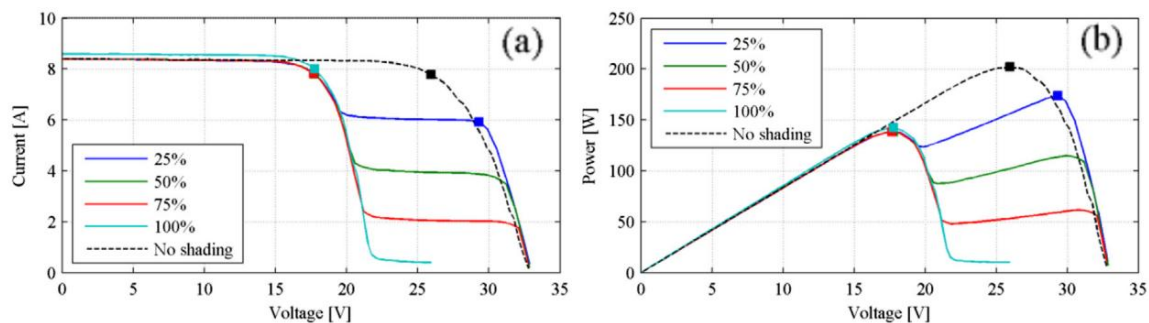
$$T_{ref} = \frac{1}{4} T_{ref}, \quad \text{Mạnh} \quad (3)$$

$$V_{ref} V_m \quad (4)$$

Do đó, MPP ở mức bức xạ mặt trời tham chiếu là 1000 W/m² là:

$$PMPP \text{ tham chiếu } = \frac{1}{4} PMPP_m, \quad \text{Mạnh} \quad (5)$$

Công suất PMPP tham chiếu trong (5) không biểu thị công suất tối đa ở điều kiện STC mà chỉ là giá trị để so sánh hiệu suất của mô-đun trong các điều kiện che bóng khác nhau và xem xét cùng một độ rọi và cùng một nhiệt độ.



Hình 6. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đa tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m²: (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che bóng của một ô từ dưới lên trên.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả thực nghiệm trong trường hợp che bóng tế bào đơn PV

Kết quả thu được từ các thử nghiệm thực nghiệm được thực hiện trên các mô-đun, với các kích bản đồ bóng được áp dụng cho một ô đơn (xem Mục 2.2.1), được minh họa trong Hình 5e8.

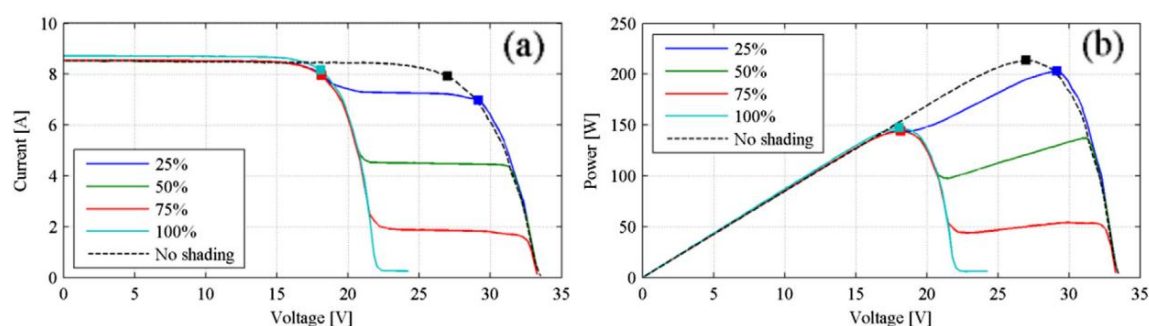
Các đặc tính dòng điện áp và công suất điện áp thu được cho mô-đun PV đa tinh thể được minh họa trong Hình 5 và 6, đối với hai kịch bản che bóng được thử nghiệm thực nghiệm của một cell đơn, được báo cáo với bức xạ mặt trời 1000 W/m². Hình 7 và 8 minh họa các đặc tính dòng điện áp và công suất điện áp thu được cho mô-đun PV đơn tinh thể, đối với hai kịch bản che bóng được thử nghiệm thực nghiệm của một cell đơn, được báo cáo với bức xạ mặt trời 1000 W/m².

Hình 5, tương ứng với Hình 7, minh họa các đường cong dòng điện-điện áp và công suất-điện áp của một mô-đun PV đa tinh thể, tương ứng với một tinh thể đơn, với một cell đơn được tô bóng từ 0% (điều kiện không tô bóng) đến 100%, từ phải sang trái. Các điểm (VMPP, IMPP) và (VMPP, PMPP), cho mỗi điều kiện tô bóng, được minh họa.

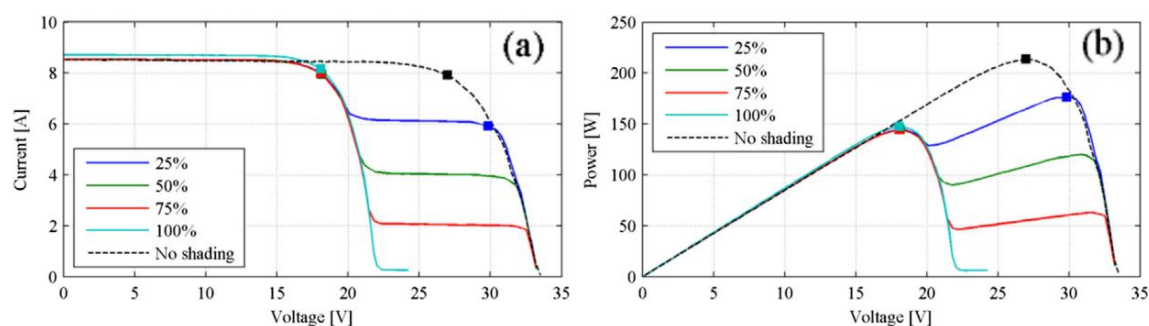
Hình 6, tương ứng với Hình 8, minh họa các đường cong dòng điện-điện áp và công suất-điện áp của mô-đun PV đa tinh thể, tương ứng với mô-đun PV đơn tinh thể, với một cell đơn được tô bóng từ 0% đến 100%, từ dưới lên trên. Các điểm (VMPP, IMPP) và (VMPP, PMPP), cho mỗi điều kiện tô bóng, được tô sáng.

3.2. Kết quả thực nghiệm trong trường hợp che bóng mô-đun PV

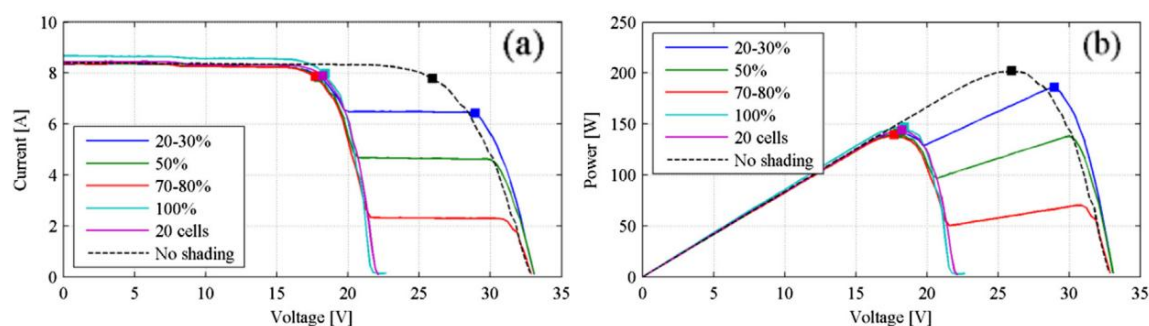
Hình 9e11 minh họa các đặc tính dòng điện áp và công suất điện áp thu được cho các mô-đun PV đa tinh thể, đối với ba kịch bản che bóng được thử nghiệm thực nghiệm được mô tả trong Phần 2.2.2. Hình 12e14 minh họa các đặc tính dòng điện áp và công suất điện áp thu được cho các mô-đun PV đơn tinh thể, đối với cùng các kịch bản che bóng được thử nghiệm thực nghiệm.



Hình 7. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đơn tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m^2 : (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che bóng của một ô từ phải sang trái.



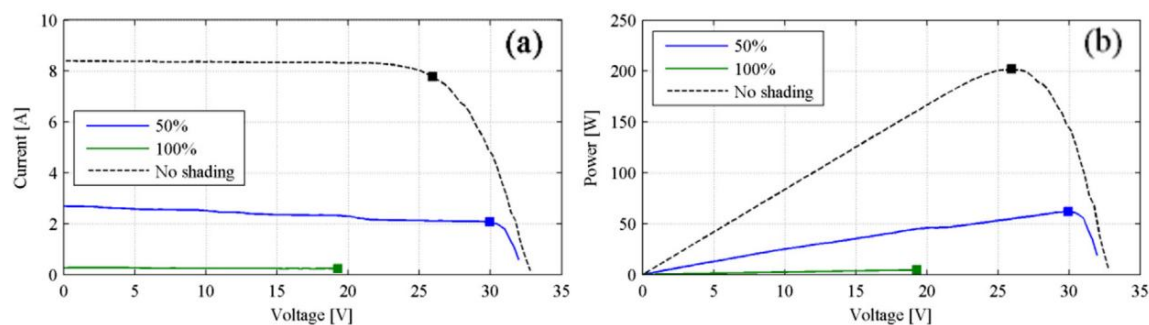
Hình 8. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đơn tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m^2 : (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che bóng của một ô từ dưới lên trên.



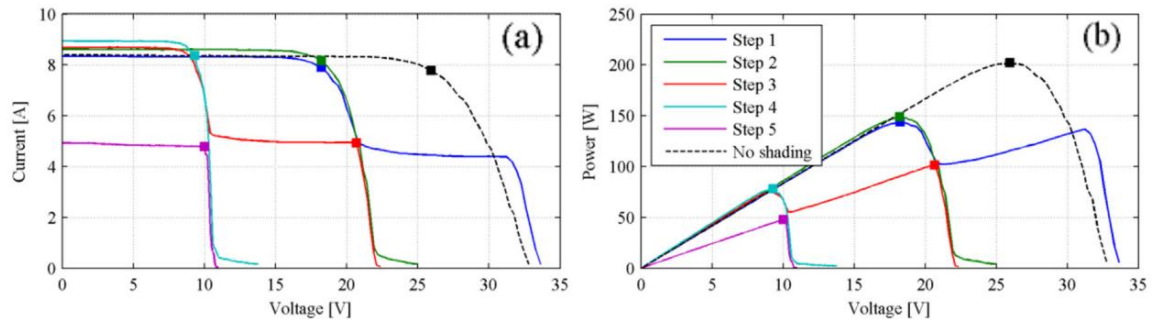
Hình 9. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đa tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m^2 : (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che bóng theo chiều dọc.

Hình 9, tương ứng với Hình 12, minh họa các đường cong dòng điện-điện áp và công suất-điện áp của một mô-đun PV đa tinh thể, tương ứng với một tinh thể đơn, với 10 ô được tô bóng theo chiều dọc từ 0% đến 100% và với 20 ô được tô bóng theo chiều dọc. Các điểm (VMPP, IMPP) và (VMPP, PMPP), cho mỗi điều kiện tô bóng, được minh họa.

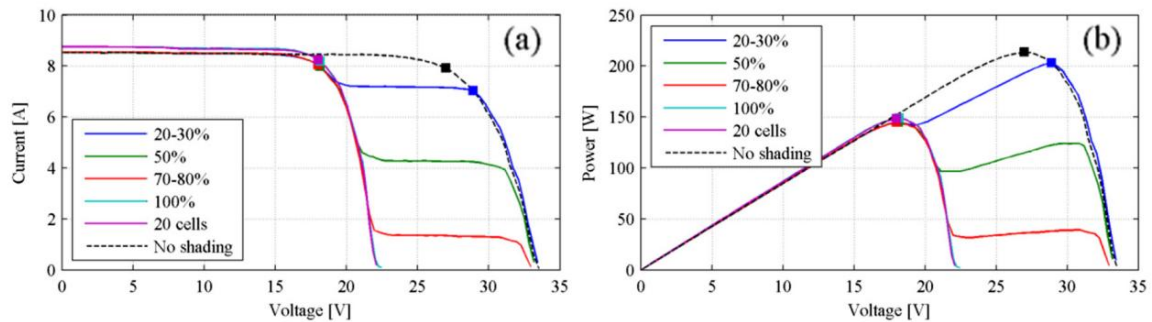
Hình 10, tương ứng với Hình 13, minh họa các đường cong dòng điện-điện áp và công suất-điện áp của mô-đun PV đa tinh thể, tương ứng với mô-đun PV đơn tinh thể, được tô bóng theo chiều ngang cho các trường hợp quan trọng nhất, tức là 0%, 50% và 100%. Các điểm (VMPP, IMPP) và (VMPP, PMPP), cho mỗi điều kiện tô bóng, được tô sáng.



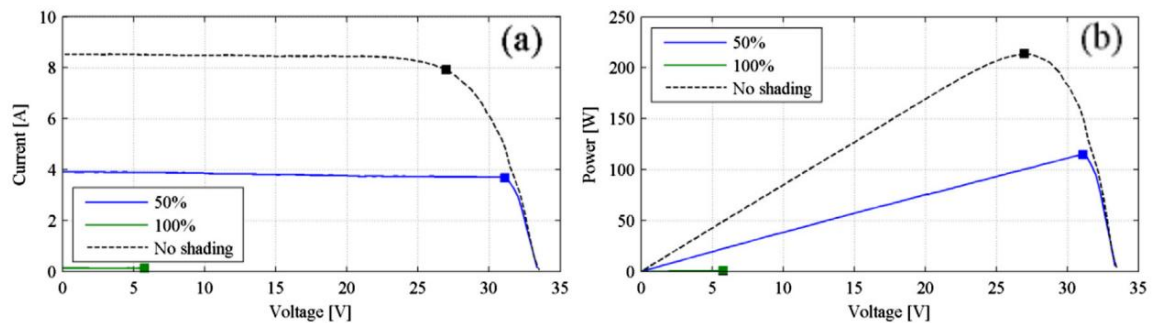
Hình 10. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đa tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m^2 : (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Quy trình che bóng theo chiều ngang.



Hình 11. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đa tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m²: (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Quá trình tạo bóng chéo.



Hình 12. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đơn tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m²: (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che bóng theo chiều dọc.

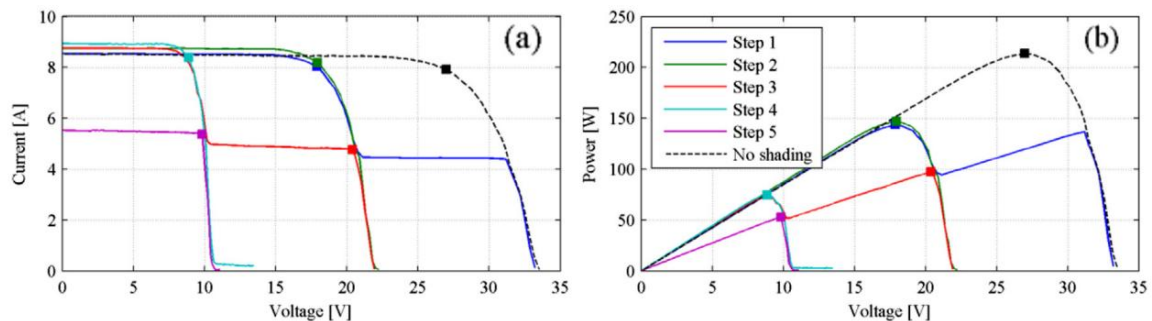


Hình 13. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đơn tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m²: (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ che nắng theo chiều ngang.

Hình 11, tương ứng với Hình 14, minh họa các đường cong dòng điện-điện áp và công suất-điện áp của một mô-đun PV đa tinh thể, tương ứng với một tinh thể đơn, được tô chéo từ bước 1 đến bước 5 và không tô chéo. Các điểm (VMPP, IMPP) và (VMPP, PMPP), cho mỗi điều kiện tô chéo, được minh họa.

3.3. Thảo luận

Như minh họa trong Hình 5e8, dòng điện được tạo ra đang giảm dần khi cấu hình bóng râm thay đổi trong khoảng từ 0% đến 100%. Đối với một ô bóng râm 100%, 20 ô được kết nối nối tiếp của phần phụ



Hình 14. Các đặc tính được ghi lại của các mô-đun đơn tinh thể, được tham chiếu đến 1000 W/m²: (a) dòng điện-điện áp và (b) công suất-điện áp. Hồ sơ đổ bóng theo đường chéo.

Bảng 3
Kịch bản che bóng của một pin mặt trời đơn.

Mc	Kịch bản đổ bóng								
<i>mc</i>	0%		25%		50%		75%		100%
Từ phải sang trái									
IMPP [A]	7,79		6,45		7,82		7,79		8.01
		7,93		6,98		7,97		7,94	8.17
VMPP [V]	25,95		28,90		17,72		17,77		17,76
		26,97		29.14		18.13		18.15	18.06
PMPP [W]	202,1		186,4		138,6		138,4		142,3
		213,9		203,4		144,4		144,1	147,6
PMPP,x%/PMPP,0%-100 [%]	100		92,2		68,6		68,5		70,4
		100		95,1		67,5		67,4	69.0
Từ dư đi lên trên									
IMPP [A]	7,79		5,92		7,85		7.83		8.01
		7,93		29,85		7,95		7,99	8.17
VMPP [V]	25,95		29.31		17,76		17,67		17,76
		26,97		5.91		18.15		18.07	18.06
PMPP [W]	202,1		173,6		138,7		138,4		142,3
		213,9		176,5		144,3		144,4	147,6
PMPP,x%/PMPP,0%-100 [%]	100		85,9		68,6		68,5		70,4
		100		82,5		67,5		67,5	69.0

quan tâm bởi sự theo dõi không được tạo ra và bị ngắn mạch bởi diode bypass, do đó chỉ có 2/3 mô-đun được sản xuất. Kết quả thu được cho các mô-đun đa tinh thể rất gần nhau đối với những cái thu được cho những cái đơn tinh thể. Sự khác biệt nhỏ của giá trị điện áp và dòng điện tại MPP có liên quan đến các giá trị khác nhau công nghệ của mô-đun, đến dung sai trong việc định vị bóng đổ chướng ngại vật và nhiệt độ đặt được bởi các mô-đun khác nhau trong quá trình thử nghiệm được thực hiện. Để ngắn gọn, chỉ có kết quả đo lường trên các mô-đun đa tinh thể được nhắc lại trong văn bản. các giá trị đo được cho cả hai công nghệ mô-đun được báo cáo trong [Bảng 3](#) và 4.

Các kết quả thu được trong quá trình thực hiện thí nghiệm của che bóng một tế bào PV đơn lẻ, được tổng hợp trong [Bảng 3](#). Không có che bóng, công suất cực đại của mô-đun PV là PMPP,0% ¼ 202,1 W tại VMPP,0% ¼ 25,95 V. Khi có bóng râm, sự giảm đáng kể công suất đầu ra được ghi nhận và hai điểm cực đại xuất hiện trên Đường cong điện áp công suất. Phân tích ảnh hưởng của loại tế bào trong độ lệch ngược, lưu ý bóng mờ và số lượng ô được tô bóng của một mô-đun thử nghiệm được tiến hành trong Tài liệu tham khảo [\[44\]](#). Sản lượng điện tối đa giảm nghiêm trọng trong 50% kịch bản đổ bóng (PMPP,50% ¼ 138,6 W cho đổ bóng từ phải sang trái hồ sơ, tương ứng PMPP,50% ¼ 138,7 W cho từ dư đi lên trên

Bảng 4
Kịch bản che bóng của mô-đun PV.

Mc	Kịch bản đổ bóng								
<i>mc</i>	0%		25%		50%		75%		100%
Hồ sơ dọc									
IMPP [A]	7,79		6.43		7,82		7,87		7,99
		7,93		7.04		7,99		8.05	8.20
VMPP [V]	25,95		28,95		17,95		17,70		18.41
		26,97		28,91		18.14		17,99	18.16
PMPP [W]	202,1		186,1		140,3		139,3		147,1
		213,9		203,4		144,96		144,9	148,8
PMPP;x%=PMPP;0%-100 [%]	100		92,1		69,4		68,9		72,3
		100		95,1		67,8		67,7	69,6
Hồ sơ ngang									
IMPP [A]	7,79				2.07				0,24
		7,93				3,68			0,14
VMPP [V]	25,95				29,95				19.28
		26,97				31.11			5,77
PMPP [W]	202,1				62.0				4,59
		213,9				114,4			0,79
PMPP;x%=PMPP;0%-100 [%]	100				30,7				2.2
		100				53,5			0,3

Mc	Hồ sơ chéo									
<i>mc</i>	Bước 0		Bước 1		Bước 2		Bước 3		Bước 4	Bước 5
IMPP [A]	7,79		7,90		8.18		4,92		8,37	4,78
		7,93		8.04		8.19		4,77	8.39	5.37
VMPP [V]	25,95		18.23		18.21		20,67		9 giờ 30	10.02
		26,97		17,89		17,95		20,39	8,87	9,84
PMPP [W]	202,1		144.0		148,9		101,7		78.0	47,9
		213,9		143,9		147.0		97,3	74,5	52,9
PMPP;x%=PMPP;0%-100 [%]	100		71,3		73,7		50,3		38,6	23,7
		100		67,3		68,7		45,5	34,8	24,7

hở sơ bóng râm). Trên giá trị này, các điểm MPP nằm rất xa vùng MPP bình thường (PMPP,100% ¼ 142,3 W tại VMPP,100% ¼ 17,76 V) và chỉ phụ thuộc vào hai phần không có bóng râm của mô-đun PV.

Như minh họa trong Hình 5e8 và cũng được báo cáo trong Bảng 3, việc tạo ra năng lượng của mô-đun bằng cách che bóng cho một cell đơn lẻ không phụ thuộc đáng kể vào cấu hình che bóng (từ phải sang trái và từ dưới lên trên) cũng như vào loại tinh thể đa tinh thể hoặc đơn tinh thể.

Kết quả thu được trong quá trình thực hiện thí nghiệm che bóng mô-đun PV được tổng hợp trong Bảng 4. Như minh họa trong Hình 9e14, dòng điện tạo ra giảm dần khi cấu hình che bóng thay đổi từ 0% đến 100%.

Việc tô bóng theo chiều dọc của mô-đun xác định các kết quả tương tự như các kết quả thu được bằng cách tô bóng một ô đơn lẻ. Vì các ô có kết nối nối tiếp, việc tô bóng một ô hoặc tô bóng một cột gồm 10 ô được kết nối nối tiếp sẽ xác định cùng một kết quả (PMPP,50% ¼ 140,3 W ở VMPP,50% ¼ 17,95 V). Tương tự như vậy, việc tô bóng một dòng ô hoặc tô bóng hai dòng ô tạo thành một phần phụ của mô-đun sẽ dẫn đến cùng một kết quả.

Việc che bóng theo chiều ngang của mô-đun ảnh hưởng đến tất cả ba phần phụ của mô-đun. Trong trường hợp này, dòng điện được tạo ra giảm mạnh cho đến khi bằng không khi toàn bộ một hàng ngang các ô được che bóng (PMPP,100% ¼ 4,59 W tại IMPP,100% ¼ 0,24 A và VMPP,100% ¼ 19,28 V).

Như minh họa trong Hình 11 và 14, việc đổ bóng chéo xác định sự giảm của dòng điện được tạo ra khi cấu hình đổ bóng thay đổi giữa bước 1 và bước 5. Như minh họa trong Hình 11 và 14, việc đổ bóng chéo xác định sự giảm của dòng điện được tạo ra khi cấu hình đổ bóng thay đổi giữa bước 1 và bước 5. Đối với bước 1 của cấu hình đổ bóng chéo (một cell đơn được đổ bóng 50%), mô-đun tạo ra dòng điện IMPP, bước 1 ¼ 7,90 A nhiều như khi một cell đơn PV được đổ bóng 50%. Như minh họa trong Hình 11 và 14, đối với bước 2 của cấu hình đổ bóng chéo (một cell được đổ bóng hoàn toàn và hai cell được đổ bóng 50%), dòng điện được tạo ra bởi phần tô bóng của mô-đun trở thành 0. Trên bước 3, các điểm MPP nằm rất xa vùng MPP bình thường (PMPP, bước 4 ¼ 78,0 W tại VMPP, bước 4 ¼ 9,3 V). Hành vi này cũng được quan sát thấy đối với tiêu mục của mô-đun thứ ba, khi xem xét bước 5.

Như minh họa trong Hình 9e14 và cũng được báo cáo trong Bảng 4, sản lượng điện của mô-đun không phụ thuộc nhiều vào loại tinh thể đa tinh thể hay đơn tinh thể.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác động của bóng râm một phần lên hiệu suất của các mô-đun quang điện đa tinh thể và đơn tinh thể được phân tích. Các thử nghiệm thực nghiệm được thực hiện cung cấp một cuộc điều tra về hiệu ứng bóng râm lên các đặc điểm điện chính của các mô-đun PV. Đặc biệt, không quan sát thấy sự khác biệt lớn về hiệu suất của hai loại PV.

Các diode bypass của mô-đun PV có vai trò rất quan trọng. Các diode này cho phép chia thành nhiều phần cho mỗi mô-đun, hạn chế sự suy giảm sản lượng do điều kiện che bóng. Kết quả cho thấy dòng điện tạo ra đang giảm khi cấu hình che bóng thay đổi từ 0% đến 100%. Kết quả thử nghiệm báo cáo rằng, bằng cách che bóng 50% của một ô PV đơn, sản lượng điện của mô-đun PV giảm hơn 30%.

Các cấu hình che nắng theo chiều dọc, chiều ngang và đứng chéo được áp dụng cho mô-đun PV mang lại kết quả tương tự như kết quả thu được bằng cách che nắng cho một cell đơn.

Phân tích được thực hiện có thể được sử dụng để xây dựng các mô hình toán học nhằm đánh giá tổn thất điện năng do điều kiện che bóng ảnh hưởng đến hoạt động của các mô-đun PV.

Tài liệu tham khảo

[1] Mathiesen BV, Lund H, Karlsson K. Hệ thống năng lượng tái tạo 100%, giảm thiểu khí hậu và tăng trưởng kinh tế. *Năng lượng ứng dụng* 2011;88(2):488e501.

[2] Lund H, Mathiesen BV. Phân tích hệ thống năng lượng của các hệ thống năng lượng tái tạo 100% e trường hợp của Đan Mạch vào những năm 2030 và 2050. *Năng lượng* 2009;34(5): 524e31.

[3] Carcangiu G, Dainese C, Faranda R, Leva S, Sardo M. Các cấu trúc mạng mới cho các hệ thống quang điện quy mô lớn. Trong: *Biên bản hội nghị công nghệ điện IEEE 2009*. tr. 1e7. Bucharest, RO.

[4] Dolara A, Grimaccia F, Leva S, Mussetta M, Faranda R, Gualdoni M. Phân tích hiệu suất của hệ thống PV theo dõi một trục. *Tạp chí quang điện IEEE* 2012;2:524e31.

[5] Kadri R, Andrei H, Gaubert JP, Ivanovici T, Champenois G, Andrei P. Mô hình hóa các thông số mạch tế bào quang điện cho mô hình kết nối tối ưu và trình mô phỏng thời gian thực với điều kiện bóng râm một phần. *Năng lượng* 2012;42(1): 57e67.

[6] Rehman S, El-Amin I. Đánh giá hiệu suất của hệ thống quang điện ngoài lưới điện ở Ả Rập Saudi. *Năng lượng* 2012;46:451e8.

[7] Wang JC, Shieh JC, Su YL, Kuo KC, Chang YW, Liang YT, et al. Một phương pháp mới để xác định điện trở động cho các mô-đun quang điện. *Năng lượng* 2011;36:5968e74.

[8] Jiang JA, Wang JC, Kuo KC, Su YL, Shieh JC, Chou JJ. Phân tích nhiệt độ tiếp giáp và đặc tính nhiệt của các mô-đun quang điện trong các điều kiện vận hành khác nhau. *Năng lượng* 2012;44:292e301.

[9] Woyte V, Nijs J, Belmans R. Bóng râm một phần của các mảng quang điện với các cấu hình hệ thống khác nhau: khảo sát tài liệu và kết quả thực địa. *Năng lượng Mặt trời* 2003;74(3):217e33.

[10] Paraskevakaki EV, Papathanassiou SA. Đánh giá điện áp MPP và công suất của các mô-đun PV mc-Si trong điều kiện che bóng một phần. *Giao dịch IEEE về chuyển đổi năng lượng* 2011;26(3):923e32.

[11] Lam KH, Lai TM, Lo WC, To WM. Ứng dụng các kỹ thuật mô hình động vào hệ thống PV (quang điện) kết nối lưới. *Năng lượng* 2012;46: 264e74.

[12] Bishop JW. Mô phỏng mây tính về tác động của sự không phù hợp về điện trong mạch kết nối tế bào quang điện. *Pin mặt trời* 1988;25:73e89.

[13] Quaschnig V, Hanitsch R. Mô phỏng số các đặc điểm dòng điện-điện áp của hệ thống quang điện với các ô che bóng. *Năng lượng mặt trời* 1996;56(6): 513e20.

[14] Ramaprabha R, Mathur BL. Tác động của việc che bóng một phần lên mô-đun quang điện mặt trời chứa các ô được kết nối nối tiếp. *Tạp chí quốc tế về xu hướng gần đây trong kỹ thuật* 2009;2(7):56e60.

[15] Mäki A, Valkealahti S. Tổn thất điện năng trong chuỗi dài và chuỗi ngắn được kết nối song song của các mô-đun quang điện dựa trên silicon được kết nối nối tiếp do điều kiện che bóng một phần. *Giao dịch IEEE về chuyển đổi năng lượng* 2012;27(1):173e83.

[16] Al-Rawi NA, Al-Kaisi MM, Asfer D. Độ tin cậy của các mô-đun quang điện II. Các kết nối trong và hiệu ứng của diode bypass. *Vật liệu năng lượng mặt trời và pin mặt trời* 1994;31(4):469e80.

[17] Alonso-Garcia MC, Ruiz JM. Phân tích và mô hình hóa đặc tính ngược của pin quang điện. *Vật liệu năng lượng mặt trời và pin mặt trời* 2006;90(7):1105e20.

[18] Silvestre S, Boronat A, Chouder A. Nghiên cứu cấu hình diode bypass trên các mô-đun PV. *Applied Energy* 2009;86(9):1632e40.

[19] Kawamura H, Naka K, Yonekura N, Yamanaka S, Kawamura H, Ohno H, và cộng sự. Mô phỏng đặc tính IeV của mô-đun PV với các ô PV được che bóng. *Vật liệu năng lượng mặt trời và ô năng lượng mặt trời* 2003;75(3):613e21.

[20] Alonso-Garcia MC, Ruiz JM, Herrmann W. Mô phỏng mây tính về hiệu ứng che bóng trong các mảng quang điện. *Năng lượng tái tạo* 2006;31(12):1986e93.

[21] Wang YJ, Hsu PC. Mô hình phân tích về bóng râm một phần và hướng khác nhau của các mô-đun quang điện. *IET Renewable Power Generation* 2010;4(3):272e82.

[22] Liu G, Guang SK, Partridge A. Một phương pháp mô hình hóa chung cho các đặc điểm IeV của các mảng quang điện được cấu hình hình học và điện. *Chuyển đổi và quản lý năng lượng* 2011;52(12):3439e45.

[23] Meyer EL, Van Dyk EE. Ảnh hưởng của điện trở phân luồng giảm và bóng râm lên hiệu suất của mô-đun quang điện. Trong: *Biên bản hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 31 năm 2005*. tr. 1331e4. Orlando, FL.

[24] Van Der Borg NJCM, Jansen MJ. Một năng lượng do che bóng trong ứng dụng BIPV. Trong: *Biên bản hội nghị thế giới lần thứ 3 về chuyển đổi năng lượng quang điện* 2003. tr. 2220e2. Osaka, Nhật Bản.

[25] Patel H, Agarwal V. Mô hình hóa dựa trên MATLAB để nghiên cứu tác động của bóng râm một phần lên đặc điểm của mảng PV. *Giao dịch IEEE về chuyển đổi năng lượng* 2008;23(1):302e10.

[26] Gow JA, Manning CD. Phát triển mô hình mảng quang điện để sử dụng trong các nghiên cứu mô phỏng điện tử công suất. *Biên bản báo cáo IEEE-ứng dụng điện* 1999;146(2):193e200.

[27] Castaner L, Silvestre S. Mô hình hóa hệ thống quang điện sử dụng PSpice. New York: John Wiley & Sons; 2003.

[28] Veerachary M. Mô hình mô phỏng định hướng mạch PSIM cho các nguồn quang điện phi tuyến tính. *Giao dịch IEEE về Hàng không vũ trụ và Hệ thống điện tử* 2006;42(2):735e40.

[29] Wang YJH. Một cuộc điều tra về che bóng một phần của các mô-đun PV với các cấu hình kết nối của các tế bào quang điện. *Năng lượng* 2011;36(5):3069e78.

[30] Yazdani A, Di Fazio AR, Ghoddami H, Russo M, Kazerani M, Jatskevich J, et al. Hướng dẫn mô hình hóa và chuẩn mực cho các nghiên cứu mô phỏng hệ thống điện của hệ thống quang điện ba pha một tầng. *Giao dịch IEEE về phân phối Điện* 2011;26(2):1247e64.

[31] Esram T, Chapman PL. So sánh các kỹ thuật theo dõi điểm công suất cực đại của mảng quang điện. *Giao dịch IEEE về chuyển đổi năng lượng* 2007;22(2):439e49.

[32] García M, Maruri JM, Marroyo L, Lorenzo E, Perez M. Bóng râm một phần, hiệu suất MPPT và cấu hình biến tần: quan sát tại các nhà máy PV theo dõi. *Tiến bộ trong quang điện: Nghiên cứu và ứng dụng* 2008;16: 529e36.

[33] Picault D, Raison B, Bacha S, de la Casa J, Aguilera J. Dự báo sản lượng điện của mảng quang điện chịu tổn thất không khớp. *Năng lượng mặt trời* 2010;84(7): 1301e9.

[34] Gao L, Dougal R, Liu S, Iotova AP. Hệ thống PV mặt trời kết nối song song để giải quyết tình trạng bóng tối thay đổi nhanh và cục bộ. *Giao dịch IEEE về Điện tử Công nghiệp* 2009;56(5):1548e56.

[35] Ramaprabha R, Mathur BL. Đánh giá và phân tích toàn diện về cấu hình mảng quang điện mặt trời trong điều kiện bóng râm một phần. *Tạp chí Năng lượng quang quốc tế* 2012;12 (tháng 2):1e16.

[36] Brenna M, Dolara A, Foiadelli F, Lazaroiu GC, Leva S. Phân tích tức thời của các hệ thống PV quy mô lớn với phần DC nối. *Năng lượng* 2012;5:3736e52.

[37] SURI M, Huld TA, Dunlop ED. PVGIS: cơ sở dữ liệu bức xạ mặt trời dựa trên web để tính toán tiềm năng PV ở Châu Âu. *Tạp chí quốc tế về năng lượng bền vững* 2005;24:55e67.

[38] IEC 60904-1. Thiết bị quang điện. Phần 1: phép đo đặc tính dòng điện-điện áp quang điện. Phiên bản đầu tiên. Geneva: Ủy ban Kỹ thuật Điện quốc tế IEC-60904-1; 2006.

[39] IEC 60891. Thiết bị quang điện. Các thủ tục hiệu chỉnh nhiệt độ và độ rọi đối với các đặc tính I_{EV} được đo. Ấn bản lần thứ 1. Geneva: Ủy ban Kỹ thuật Điện quốc tế IEC 60891; 2010.

[40] IEC 62446. Hệ thống quang điện được kết nối lưu trữ điện - các yêu cầu tối thiểu đối với tài liệu hệ thống, thử nghiệm đưa vào vận hành và kiểm tra. Phiên bản đầu tiên. Geneva: Ủy ban Kỹ thuật Điện quốc tế IEC 62446; 2009.

[41] Muñoz JV, Nofuentes G, Aguilera J, Fuentes M, Vidal PG. Quy trình thực hiện kiểm tra chất lượng trong các hệ thống kết nối lưu trữ điện quang điện: sáu trường hợp nghiên cứu. *Năng lượng ứng dụng* 2011;88:2863e70.

[42] LSI. Cảm biến bức xạ toàn cầu. Milan. Có tại: http://www.lsi-lastem.it/prodotti.php?prod_cat_id%165; 2012 [truy cập ngày 01.02.13].

[43] LSI. Cảm biến bức xạ toàn cầu. Milan. Có tại: http://www.lsi-lastem.it/prodotti.php?prod_cat_id%162; 2012 [truy cập ngày 01.02.13].

[44] Alonso-García M, Ruiz J, Chenlo F. Nghiên cứu thực nghiệm về sự không phù hợp và hiệu ứng che bóng trong đặc tính I_{EV} của mô-đun quang điện. *Vật liệu năng lượng mặt trời và tế bào năng lượng mặt trời* 2006;90:329e40.