




Ôn tập

Đánh giá toàn diện về Diode Bypass Ứng dụng trên các mô-đun quang điện

1 Rumani G. Vieira , Fabio MU của Araujo ², Mahmoud Dhimish ^{3,*} và Maria IS Guerra ¹

¹ Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Đại học Liên bang Bán khô cằn, Francisco Mota Av., Mossoro 59625-900, Brazil; romenia.vieira@ufersa.edu.br (RGV); maria.guerra@ufersa.edu.br (MISG)

² Khoa Kỹ thuật Máy tính và Tự động hóa, Đại học Liên bang Rio Grande do Norte, Natal 59078-970, Brazil; fabio.um@ufersa.edu.br Khoa Kỹ thuật và Công nghệ,

³ Đại học Huddersfield, Huddersfield HD1 3DH, Vương quốc Anh

* Thư từ: MADhimish@hud.ac.uk

Ngày nhận: 22 tháng 3 năm 2020; Ngày chấp nhận: 6 tháng 5 năm 2020; Ngày xuất bản: 14 tháng 5 năm 2020



Tóm tắt: Năng lượng quang điện mặt trời (PV) đã cho thấy sự mở rộng đáng kể về công suất lắp đặt trong những năm gần đây. Hầu hết các hệ thống điện của nó được lắp đặt trên mái nhà, tích hợp vào các tòa nhà. Xem xét sự phát triển nhanh chóng của các nhà máy điện mặt trời, việc hiểu rõ hiệu suất và độ tin cậy của các hệ thống như vậy ngày càng trở nên quan trọng hơn. Một trong những vấn đề phổ biến nhất mà các nhà máy điện mặt trời gặp phải là khi các tế bào quang điện nhận được độ rọi không đồng đều hoặc bị che một phần. Hậu quả của việc che bóng thường được ngăn ngừa bằng diode bypass. Một số lượng lớn các nghiên cứu và báo cáo kỹ thuật đã được công bố cho đến nay, dựa trên kinh nghiệm sâu rộng từ nghiên cứu và phản hồi thực tế. Tuy nhiên, tài liệu như vậy vẫn chưa được lập danh mục hoặc phân tích theo góc độ phát triển công nghệ của các thiết bị diode bypass. Bài báo này trình bày một bản đánh giá toàn diện và nêu bật những tiến bộ gần đây, nghiên cứu đang diễn ra và triển vọng, như đã báo cáo trong tài liệu, về ứng dụng diode bypass trên các mô-đun quang điện. Đầu tiên, bài báo phân tích hiệu ứng che bóng và vấn đề điểm nóng trên các mô-đun PV. Tiếp theo, bài báo giải thích nguyên lý hoạt động của diode bypass, cũng như thảo luận về cách các thiết bị như vậy có thể ảnh hưởng đến công suất đầu ra và độ tin cậy của các mô-đun PV. Sau đó, bài báo đưa ra đánh giá kỹ lưỡng về các nghiên cứu được công bố gần đây, cũng như tình hình hiện tại trong lĩnh vực này. Cuối cùng, bài báo thảo luận về tổng quan và những thách thức đối với diode bypass như một kỹ thuật giảm thiểu.

Từ khóa: diode bypass; che bóng một phần; điểm nóng; không khớp; mô-đun quang điện; kỹ thuật giảm thiểu

1. Giới thiệu

Năng lượng điện được coi là thiết yếu đối với sự phát triển kinh tế, cũng như phúc lợi của người dân. Có mối quan hệ chặt chẽ giữa các nguồn năng lượng và sự phát triển kinh tế và dân số trên thế giới. Trong những năm 1970, các cuộc khủng hoảng dầu mỏ cho thấy sự phụ thuộc của thế giới vào nhiên liệu hóa thạch, và trong hai thập kỷ qua, mối quan tâm là về nhu cầu tăng và sản lượng giảm.

Có thể sử dụng một số nguồn năng lượng thay thế thay cho nhiên liệu hóa thạch. Quyết định về loại nguồn năng lượng nào nên sử dụng phải xem xét một số khía cạnh thiết yếu như sinh thái, an toàn và kinh tế. Do đó, năng lượng mặt trời thường được coi là nguồn thay thế đầy hứa hẹn, xét đến khả năng cung cấp tính bền vững với ít thiệt hại nhất cho môi trường [1].

Năng lượng quang điện mặt trời đã cho thấy sự mở rộng trên toàn thế giới trong những thập kỷ qua. Năm 2018, tổng công suất lắp đặt toàn cầu đạt 500 GW (Giga Watt) [2]. Hầu hết các hệ thống điện của nó được lắp đặt trên mái nhà, kết hợp vào công trình xây dựng. Các nhà máy được lắp đặt trong các tòa nhà công nghiệp, thương mại và dân dụng được gọi là quang điện tích hợp tòa nhà (BIPV) và chúng hoạt động như nguồn điện chính hoặc bổ sung [3].

Thậm chí còn quan trọng hơn khi hiểu được hiệu suất và độ tin cậy của các nhà máy quang điện (PV), khi xem xét đến sự mở rộng nhanh chóng của các hệ thống như vậy. Thời gian phát điện và hoàn vốn của các công trình lắp đặt PV phụ thuộc vào hiệu suất điện của mô-đun PV cũng như tuổi thọ hoạt động của nó [4].

Các lỗi phát sinh trong điều kiện vận hành thực tế có thể dẫn đến ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ tin cậy và hiệu suất của các mô-đun PV theo thời gian. Bên cạnh đó, hiệu suất điện của các mô-đun PV bị hạn chế bởi một số khía cạnh, chẳng hạn như hiệu suất thấp của các ô, sự không liên tục của nguồn năng lượng mặt trời, tính không thể đoán trước của điều kiện thời tiết và cuối cùng là điều kiện làm việc không hiệu quả do sự không phù hợp về điện [5].

Điều kiện không khớp điện trên mô-đun PV có thể xảy ra khi các tế bào năng lượng mặt trời nhận được dòng điện không đồng đều bức xạ hoặc bóng râm một phần, hoặc thậm chí nếu có sự khác biệt giữa các tế bào năng lượng mặt trời vốn có trong quá trình sản xuất. Điều kiện bóng râm là một tình huống phổ biến, đặc biệt là trên BIPV. Quản lý khả năng bóng râm là một thách thức đối với các nhà thiết kế, một khi vấn đề bóng râm một phần có thể xuất hiện từ nhiều nguồn, chẳng hạn như các tòa nhà xung quanh, cây cối, ăng-ten, cột điện và bụi bẩn.

Trong một chuỗi các ô được kết nối nối tiếp, tất cả các ô đều mang cùng một dòng điện. Khi một hoặc nhiều ô bị che bóng, dòng điện tối đa được phép sẽ giảm, do đó làm giảm công suất đầu ra. Hơn nữa, các ô bị che bóng có thể đạt nhiệt độ cao, dẫn đến hiện tượng điểm nóng và gây hư hỏng vĩnh viễn cho mô-đun PV [6].

Có nhiều giải pháp khác nhau được đưa ra để giải quyết vấn đề này. Giải pháp phổ biến nhất là đặt một diode song song với các ô PV hoặc một chuỗi ô con. Nếu dòng điện do một ô tạo ra nhỏ hơn các ô khác, dòng điện sẽ tìm đường đi của diode bypass [7]. Do đó, cấu trúc của diode bypass cũng như cách sắp xếp mảng PV có thể ảnh hưởng đến khả năng xảy ra lỗi điểm nóng [8].

Việc giảm công suất đầu ra của các mô-đun PV do bóng râm và các vấn đề về độ tin cậy như điểm nóng đã được nghiên cứu rộng rãi. Tuy nhiên, không có nhiều thông tin được cung cấp về độ tin cậy của chính các diode bypass.

Bài báo này là một cuộc khảo sát về tài liệu và nghiên cứu được tiến hành về việc sử dụng diode bypass trên các mô-đun PV trong nhiều năm. Mục tiêu chính của nghiên cứu đánh giá này là giúp hiểu được hiệu ứng che bóng và vấn đề điểm nóng, cũng như diode bypass như một kỹ thuật giảm thiểu vấn đề điểm nóng và tổn thất điện năng. Một số lượng lớn các nghiên cứu và báo cáo kỹ thuật đã được công bố cho đến nay, dựa trên kinh nghiệm sâu rộng từ nghiên cứu và phản hồi thực tế. Tuy nhiên, tài liệu như vậy chưa được lập danh mục hoặc phân tích theo góc độ tiến hóa công nghệ của các thiết bị diode bypass.

Do đó, bài báo này cung cấp cái nhìn tổng quan kể từ nghiên cứu đầu tiên được công bố về hiệu ứng che bóng, vấn đề điểm nóng và chủ yếu là về diode bypass như một thiết bị bảo vệ cho các mô-đun PV. Bài viết thảo luận về sự phát triển của diode bypass trong những năm qua và thảo luận ngắn gọn về các kỹ thuật giảm thiểu mới cũng như việc sử dụng diode bypass trên các công nghệ mô-đun PV mới.

Bài báo được cấu trúc tóm tắt như sau. Phần 2 phân tích hiệu ứng che bóng và vấn đề điểm nóng trên các mô-đun PV. Sau đó, Phần 3 giải thích nguyên lý hoạt động của diode bypass, cũng như thảo luận về cách các thiết bị như vậy có thể tác động đến công suất đầu ra và độ tin cậy của các mô-đun PV. Phần 4 trình bày tình hình hiện tại về diode bypass, phân tích kinh nghiệm tích lũy được trong lĩnh vực này. Cuối cùng, ở Phần 5, kết luận chung và những thách thức trong tương lai được thảo luận ngắn gọn.

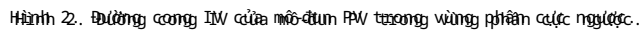
2. Hiệu ứng đổ bóng và vấn đề điểm nóng

Kể từ khi công nghệ quang điện được ứng dụng lần đầu tiên, tình trạng che bóng đã được ghi nhận. Mảng năng lượng mặt trời đầu tiên hoạt động thành công được phóng vào năm 1958, trên vệ tinh Trái đất Vanguard I [9]. Các vấn đề về bóng râm một phần do các bộ phận của tàu vũ trụ gây ra lần đầu tiên được Luft [10] báo cáo vào năm 1961. Kể từ đó, nhiều nghiên cứu về hiệu ứng bóng râm trên các mô-đun PV đã được phát triển [11-14].

Việc che bóng các mô-đun PV mặt trời là một cân nhắc thiết yếu trong thiết kế. Hậu quả chính của việc che bóng là giảm công suất tạo ra từ mảng năng lượng mặt trời. Lượng điện năng bị mất phụ thuộc vào kích thước của bóng râm và cách nó rơi trên các mô-đun PV [15].

3 trong số 21

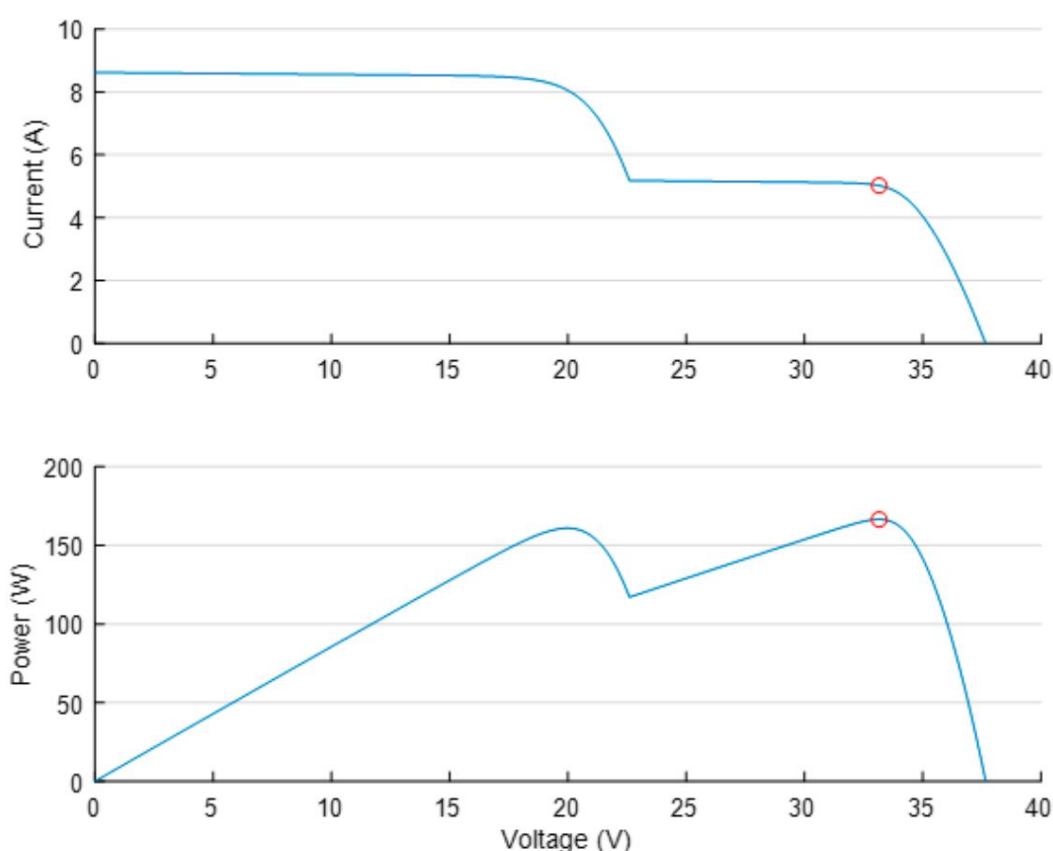
Nhiều nghiên cứu đã điều tra hiện tượng điểm nóng và các kỹ thuật giảm thiểu để tránh mất điện và ngăn ngừa hậu quả bất lợi của nó [22-26]. Dựa trên những kinh nghiệm này, một điểm nóng thử nghiệm độ bền đã trở thành một phần của việc phê duyệt các loại mô-đun silicon tinh thể, theo IEC (Ủy ban Kỹ thuật Điện quốc tế) 61215, xác minh khả năng chịu đựng điểm nóng bằng cách tạo lại điều kiện hoạt động tồi tệ nhất dự kiến [27].



Một khi diode bypass dẫn điện, chúng sẽ gây ra sự sụt giảm điện áp không thể tránh khỏi, có thể nóng lên đáng kể và tiêu thụ điện năng được tạo ra. Do đó, nó ảnh hưởng đến công suất tối đa được cung cấp bởi các mô-đun quang điện [31]. Cấu hình của diode bypass trên các mô-đun PV tạo thành một phần của arra có ảnh hưởng quan trọng đến khả năng phân xạ hotspot 8.

Khi các diode bypass dẫn điện, chúng sẽ gây ra sự sụt giảm điện áp không thể tránh khỏi, có thể nóng lên đáng kể và tiêu thụ điện năng được tạo ra. Do đó, nó ảnh hưởng đến công suất tối đa được cung cấp bởi các mô-đun quang điện [31]. Cấu hình của các diode bypass trên các mô-đun PV tạo thành một phần của mảng có ảnh hưởng quan trọng đến khả năng xuất hiện điểm nóng [8].

Ngay cả khi diode bỏ qua một chuỗi con hoàn chỉnh và chỉ có một cell bị lỗi, điểm công suất cực đại (MPP) có thể cao hơn với các bypass được kích hoạt. Khó khăn với cách tiếp cận này là các diode BP tạo ra nhiều MPP cục bộ, khiến cho việc theo dõi điểm công suất cực đại (MPPT) khó tìm được MPP toàn cục [7]. Do đó, sự biến dạng của đường cong IV được tô bóng có thể dẫn đến lỗi trong việc xác định MPP toàn cục. Hình 4 minh họa các đường cong IV và PV của một mô-đun PV được tô bóng với một diode BP được kích hoạt (xem Hình 3).

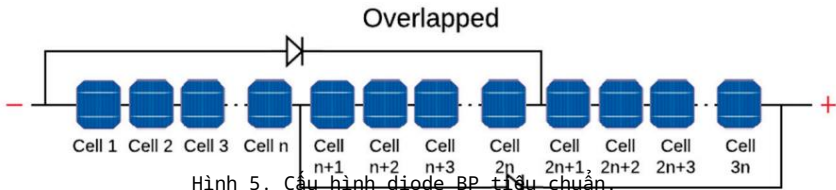


Hình 4. Đường cong IV và PV của mô-đun PV được tô bóng với một diode bypass được kích hoạt.

So sánh Hình 1 và Hình 3, rõ ràng là trong điều kiện che bóng, MPP cao hơn khi sử dụng điốt BP. Tuy nhiên, khi điốt BP được kích hoạt, mô-đun PV thể hiện nhiều cực đại cục bộ (LM), nhưng chỉ một trong số chúng liên quan đến cực đại toàn cục (GM) [32].

Có chồng chéo và không chồng chéo là hai cấu trúc chuẩn của diode bypass, như minh họa trong Hình 5. Điều đáng nói là việc phân tích các mô-đun PV có cấu hình chồng chéo phức tạp hơn so với không chồng chéo vì sẽ có một vài đường dẫn khác nhau cho dòng điện chạy qua [33].

Hơn nữa, cả hai cấu hình đều phải được phân tích trong điều kiện che bóng, như minh họa trong Hình 6. Cấu hình chồng chéo có thể dẫn đến tình trạng quá dòng. Việc tăng dòng điện đầu ra của mô-đun PV không phải lúc nào cũng hấp dẫn đối với nhà máy điện, sau khi toàn bộ dự án được phát triển theo tỷ lệ chuẩn hiện tại và tình huống này có thể dẫn đến hậu quả tiêu cực cho nhà máy PV. Do đó, cấu hình diode BP được ngành công nghiệp mô-đun PV sử dụng nhiều nhất là cấu hình không chồng chéo.



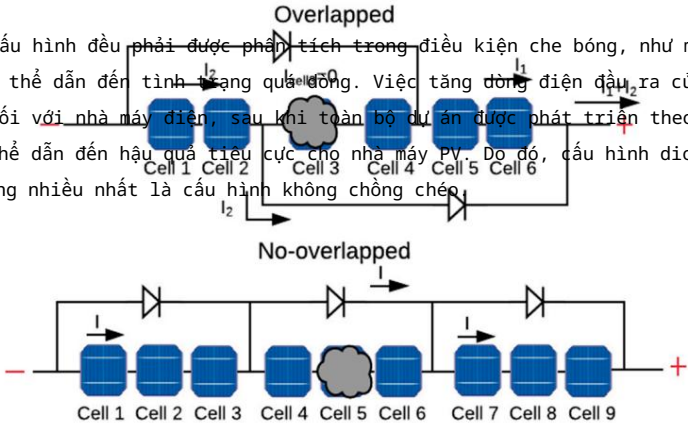
Hình 5. Cấu hình diode BP tiêu chuẩn.



Hình 5. Cấu hình diode BP tiêu chuẩn.

Hơn nữa, cả hai cấu hình đều phải được phân tích trong điều kiện che bóng, như minh họa trong Hình 6. Cấu hình chồng chéo có thể dẫn đến tình trạng quá dòng. Việc tăng dòng điện đầu ra của mô-đun PV không phải lúc nào cũng hấp dẫn đối với nhà máy điện, sau khi toàn bộ dự án được phát triển theo tỷ lệ chuẩn hiện tại và tình huống này có thể dẫn đến hậu quả tiêu cực cho nhà máy PV. Do đó, cấu hình không chồng chéo diode BP được ngành công nghiệp mô-đun PV sử dụng nhiều nhất là cấu hình không chồng chéo.

Hơn nữa, cả hai cấu hình đều phải được phân tích trong điều kiện che bóng, như minh họa trong Hình 6. Cấu hình chồng chéo có thể dẫn đến tình trạng quá dòng. Việc tăng dòng điện đầu ra của mô-đun PV không phải lúc nào cũng hấp dẫn đối với nhà máy điện, sau khi toàn bộ dự án được phát triển theo tỷ lệ chuẩn hiện tại và tình huống này có thể dẫn đến hậu quả tiêu cực cho nhà máy PV. Do đó, cấu hình không chồng chéo diode BP được ngành công nghiệp mô-đun PV sử dụng nhiều nhất là cấu hình không chồng chéo.



Hình 6. Cấu hình diode BP trong điều kiện che bóng.

Nhiều cấu trúc diode BP khác nhau bên trong mô-đun PV có thể tạo ra đường dẫn khác nhau cho dòng điện chạy qua. Do đó, cách sắp xếp diode BP trên tấm pin PV có thể ảnh hưởng đến đặc tính điện áp, dòng điện và công suất của tấm pin. Các cấu trúc khác nhau có thể được sử dụng để cải thiện hiệu suất của mô-đun PV. Tuy nhiên, việc lựa chọn cấu trúc diode BP cần phải dựa trên các yếu tố như chi phí, độ phức tạp, và hiệu suất. Do đó, việc lựa chọn cấu trúc diode BP cần phải dựa trên các yếu tố này.

Hình 6. Cấu hình diode BP trong điều kiện che bóng.

Cách chọn diode bypass

3.1. Cách chọn diode Bypass Các cấu

trúc diode BP khác nhau bên trong mô-đun PV có thể tạo ra đường dẫn khác nhau cho dòng điện chạy qua. Xem xét nguyên lý hoạt động của diode bypass được thảo luận trong Phần 3, diode BP cần phải có các đặc tính như sau: Khi một ô bị che bóng, dòng điện sẽ chảy qua diode BP. Do đó, diode BP cần phải có điện áp thuận thấp để dòng điện có thể chảy qua dễ dàng. Ngoài ra, diode BP cần phải có dòng rò rỉ thấp để tránh tổn thất năng lượng. Do đó, việc lựa chọn diode BP cần phải dựa trên các yếu tố như điện áp thuận, dòng rò rỉ, và chi phí. Diode Schottky là một lựa chọn phổ biến cho diode BP do có điện áp thuận thấp và dòng rò rỉ thấp.

Tuy nhiên, điện áp chuyển tiếp thấp hơn có nghĩa là dòng rò rỉ cao hơn, làm tăng nguy cơ nhiệt. Cách chọn diode BP cần phải dựa trên các yếu tố như điện áp chuyển tiếp, dòng rò rỉ, và chi phí. Diode Schottky là một lựa chọn phổ biến cho diode BP do có điện áp thuận thấp và dòng rò rỉ thấp. Tuy nhiên, điện áp chuyển tiếp thấp hơn có nghĩa là dòng rò rỉ cao hơn, làm tăng nguy cơ nhiệt. Do đó, việc lựa chọn diode BP cần phải dựa trên các yếu tố này.

Việc định cỡ thiết bị chính xác là điều cần thiết. Tiêu chí đầu tiên phải là dòng điện ngắn mạch của mô-đun PV (I_{sc}). Khi chọn diode BP, cần phải đảm bảo rằng diode có thể chịu được dòng điện ngắn mạch của mô-đun PV. Ngoài ra, cần phải xem xét đến điện áp thuận của diode để đảm bảo rằng nó không quá cao so với điện áp của mô-đun PV.

chạy trốn [35]. Chạy trốn nhiệt xảy ra khi diode BP hoạt động ở chế độ chuyển mạch nhanh, VRRM giống như khả năng chịu đựng của diode. Do đó, việc lựa chọn diode BP cần phải dựa trên các yếu tố như VRRM, dòng rò rỉ, và chi phí. Diode Schottky là một lựa chọn phổ biến cho diode BP do có điện áp thuận thấp và dòng rò rỉ thấp. Tuy nhiên, điện áp chuyển tiếp thấp hơn có nghĩa là dòng rò rỉ cao hơn, làm tăng nguy cơ nhiệt. Do đó, việc lựa chọn diode BP cần phải dựa trên các yếu tố này.

Để tránh nguy cơ hư hỏng vĩnh viễn và mất điện liên quan đến diode BP, việc xác định kích thước thiết bị chính xác là điều cần thiết. Tiêu chí đầu tiên phải là dòng điện ngắn mạch của mô-đun PV (I_{sc});

bị giới hạn bởi điện áp đánh thủng của cell (V_{cell}) và điện áp diode thuận (V_{diode}) được tính bằng Phương trình (1) [37].

$$n_{max} < \frac{V_{cell}}{0,5} \frac{V_{diode}}{+ 1} \quad (1)$$

Biết n_{max} và điện áp mạch hở của bảng điều khiển (V_{oc}), giá trị đảo ngược lặp lại tối đa điện áp (V_{RRM}) có thể được tính bằng Phương trình (2).

$$V_{RRM} > \frac{V_{ocmax}}{n \text{ tối đa}} \quad (2)$$

Thông thường, nhà sản xuất hộp nối khác với nhà sản xuất mô-đun PV. Hộp nối không được thiết kế cho một tấm pin cụ thể nhưng có thể được sử dụng bởi nhiều mô-đun PV mặt trời. Do đó, hầu hết các diốt BP được sử dụng đều hiển thị $V_{RRM} = 45 \text{ V}$ [37].

Xem xét nguyên lý hoạt động và tất cả các đặc điểm của diode BP đã thảo luận, Phần 4 sẽ trình bày tổng quan tài liệu toàn diện về các nghiên cứu diode BP, tóm tắt kinh nghiệm đã thu thập được và tình hình hiện tại trong lĩnh vực này.

4. Diốt Bypass: Công nghệ tiên tiến

Một lượng lớn các nghiên cứu đã công bố đã được báo cáo trong các tài liệu về khả năng xuất hiện điểm nóng kể từ khi các ứng dụng ban đầu của hệ thống PV và tầm quan trọng của việc cấu hình diode bypass trên các mô-đun PV để giảm thiểu vấn đề này.

Trong những bước đầu của các nghiên cứu như vậy, Baron và Virobik [38], vào năm 1963, dựa trên vấn đề che bóng, lần đầu tiên đã kết hợp thành công một diode phân luồng trong các mảng năng lượng mặt trời Pioneer Spacecraft. Kể từ đó, một số tác giả đã đóng góp vào việc tối ưu hóa thiết kế mô-đun PV bằng cách sử dụng diode BP như một kỹ thuật giảm thiểu tổn thất điện năng và vấn đề điểm nóng.

Năm 1969, Blake và Hanson [20] đã nghiên cứu chế độ lỗi điểm nóng trên các mảng năng lượng mặt trời không gian và đề xuất sử dụng diốt BP để tránh hiện tượng điểm nóng. Kết luận của họ đã được các tác giả khác củng cố, khẳng định rằng việc bổ sung diốt làm tăng khả năng chịu lỗi và độ tin cậy của các mảng năng lượng mặt trời [39,40]. Cho đến nay, việc sử dụng diốt BP được coi là công cụ thiết kế mạch tốt nhất để giảm tổn thất điện năng và các vấn đề điểm nóng [41].

Trong khi đó, vào những năm 1980, một số chiến lược thiết kế mạch đã được nghiên cứu để nghiên cứu ứng dụng và độ tin cậy của diode BP [42,43]. Ross [44] khẳng định rằng hầu như không khả thi khi lắp một diode bypass xung quanh mọi ô bên trong mô-đun. Do đó, một diode duy nhất nên bảo vệ một loạt ô hoặc toàn bộ tấm pin.

Một cách tiếp cận thay thế cho diode BP đã được Green [45] nghiên cứu, đề xuất một kỹ thuật mới về diode BP được tích hợp vào cell trong quá trình sản xuất của nó. Trong trường hợp này, mỗi cell sẽ có diode BP tích hợp riêng và Green đã quan sát thấy sự giảm thiểu tổn thất điện năng.

Các phương pháp bảo vệ khác chống lại hiện tượng điểm nóng đã được nghiên cứu. Larue và Trieu [21] đã cố gắng giảm thiểu vấn đề gia nhiệt bằng cách tăng số lượng ô song song nhưng kết luận rằng diốt BP tốt hơn phương pháp được đề xuất. Feldman và cộng sự [13] cũng đã nghiên cứu một phương pháp bảo vệ thay thế sử dụng sơ đồ kết nối "giả ngẫu nhiên". Họ kết luận rằng đối với bóng đổ đều đặn trong ứng dụng trên mặt đất, sơ đồ kết nối giả ngẫu nhiên mang lại đầu ra cao hơn đáng kể so với phương pháp diốt shunt thông thường hơn.

Vẫn trong những năm 1980, hai nghiên cứu khác đã thử nghiệm các kỹ thuật thay thế cho vấn đề che bóng. Năm 1982, Cox et al. [46] đã khám phá việc lắp một diode bypass ngoại vi, nhằm mục đích giảm sự cố đánh thủng ngược của tế bào quang điện. Swaleh và Green [47] đã kết hợp một điện trở phân luồng tương đối thấp trong tế bào quang điện. Họ kết luận rằng các diode bypass trên từng cell cung cấp khả năng chịu đựng hiệu quả hơn đối với hiệu ứng của bóng đổ.

Forman và Ross [48,49] đã thực hiện các thử nghiệm thực nghiệm trên các mô-đun PV trên mặt đất. Họ quan sát thấy nhiều lỗi tế bào trên hệ thống PV thử nghiệm và một số mô-đun PV không sử dụng diốt BP, dẫn đến kết luận rằng mức độ nghiêm trọng của tình trạng này sẽ được hạn chế bằng cách sử dụng diốt bảo vệ.

Hơn nữa, vào năm 1984, Shepard và Sigmura [50] đã thảo luận về một số cấu hình diode BP trên mô-đun PV, đề xuất tích hợp thiết bị như vậy vào giá đỡ mảng và bên ngoài cấu hình mảng. Họ quan sát thấy rằng càng nhiều diode BP được kết nối thì tổn thất điện năng càng nhỏ.

Gonzalez et al. [51] đã so sánh một mô-đun PV có và không có diode BP và kết luận việc sử dụng diode BP như một chiến lược để kiểm soát vấn đề điểm nóng.

Đồng thời, General Electric (GE) đã phát triển một nghiên cứu theo hợp đồng của Jet Propulsion Laboratories (JPL) để nghiên cứu các kỹ thuật thiết kế và xử lý cần thiết để kết hợp diode bypass vào mô-đun PV. Nghiên cứu đã phân tích một số cấu trúc lắp đặt cho diode BP và so sánh hiệu suất của chúng về hành vi cơ học, điện và nhiệt [34].

Báo cáo kết luận rằng việc sử dụng điốt BP là cần thiết cho các ứng dụng của mảng PV mặt đất. Số lượng diode BP phải tỷ lệ thuận với diện tích mảng PV, không vượt quá 15 cell pin mặt trời được kết nối nối tiếp trong một nhóm bỏ qua. Độ tin cậy của hệ thống PV có thể đạt tới tuổi thọ 20 năm nếu được thiết kế và lắp đặt đúng cách với diode BP [52].

Nghiên cứu này chỉ ra việc sử dụng hộp nối để chứa các điốt BP trên mô-đun PV, như các nhà sản xuất vẫn thực hành cho đến nay. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng chi phí tích hợp các điốt như vậy có thể làm tăng chi phí mô-đun PV [53].

Kể từ nghiên cứu của GE, các diode bypass tích hợp vào các mô-đun PV đã được sản xuất và đặt song song với các nhóm tế bào năng lượng mặt trời được kết nối nối tiếp và được bố trí ở mặt sau của tấm pin tại một vị trí được thiết kế để lắp các thiết bị này, hộp nối. Mặc dù đã thiết lập một kỹ thuật tiêu chuẩn để bảo vệ chống lại các tác động phá hoại của điểm nóng, nhưng nếu che bóng bất kỳ tế bào nào trong số các tế bào này, diode BP sẽ ngăn phần còn lại của nhóm đóng góp vào công suất đầu ra của mô-đun. Tương tự như vậy, số lượng diode cũng như độ tin cậy của chúng tiếp tục được nghiên cứu trong những năm tiếp theo [54,55].

Năm 1988, Bishop [56] đã tiến hành các thí nghiệm ban đầu về hiệu suất của các tế bào PV trong điều kiện chiếu xạ không đồng đều và sử dụng điốt BP. Công trình của ông mô tả một phần mềm được phát triển để mô phỏng các hiệu ứng trên mô-đun PV do các điều kiện không khớp, chẳng hạn như điều kiện không khớp hoặc điều kiện che khuất của nhà sản xuất. Sử dụng phần mềm được phát triển, Bishop kết luận rằng việc giảm hiệu suất của tế bào PV do điều kiện không phù hợp là điều không thể tránh khỏi, vì vậy việc sử dụng điốt BP là điều cần thiết. Hơn nữa, Abete et al. [57] đã sử dụng phương pháp của Bishop trên một mảng PV không khớp với điốt BP để đánh giá hiệu suất của nó. Các kết luận đã giúp hiểu được thời điểm điốt BP đi vào hoạt động.

Cùng năm đó, Lashway [58] đã nêu ra một cuộc thảo luận về các kỹ thuật thử nghiệm cụ thể cho các mô-đun PV. Một trong những quy trình này là về việc đo dòng điện của diode BP để xác định mô-đun bị lỗi. Bên cạnh đó, tác giả đã chỉ ra những loại lỗi tương tự có thể xảy ra trên các mô-đun PV và điốt BP chịu trách nhiệm cho 2% các lỗi phổ biến nhất trên một mảng PV.

Trong giai đoạn 1990-2005, không có nghiên cứu sâu rộng nào nhấn mạnh đến việc phát triển các khái niệm mới hoặc ít nhất là một cuộc điều tra mới về tác động của điểm nóng đến độ tin cậy của mô-đun PV. Molenbroek et al. [22] đã kiểm tra khả năng nhạy cảm với điểm nóng của các mô-đun PV và kết luận rằng tình trạng tồi tệ nhất của quá trình làm nóng điểm nóng là che phủ hoàn toàn một ô đơn lẻ. Tuy nhiên, tình trạng điểm nóng có thể được giảm thiểu bằng cách sử dụng điốt BP để giới hạn điện áp phản cực ngược trên một mô-đun xuống dưới 1 V. Ngay sau đó, Nabeel et al. [59,60] đã kiểm tra độ tin cậy của các mô-đun PV bằng kết quả lý thuyết và thực nghiệm. Thí nghiệm về diode BP giúp họ kết luận rằng độ tin cậy của mô-đun tăng lên khi số lượng diode phân luồng tăng lên.

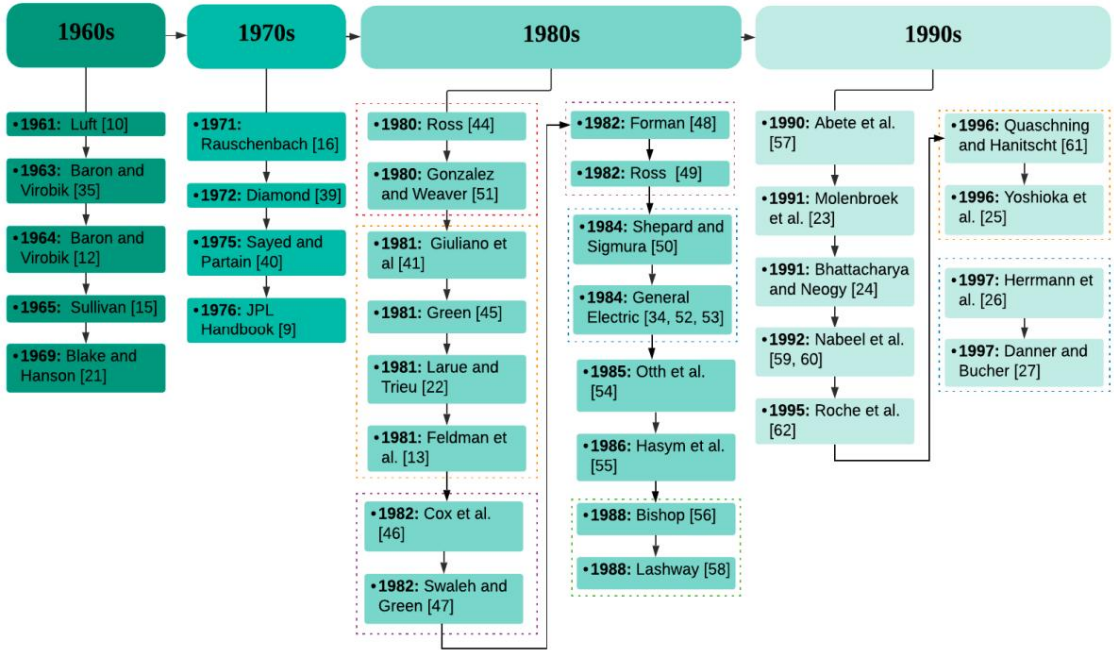
Sau đó, Herrmann et al. [25] đã nghiên cứu thiết kế mô-đun liên quan đến diode bypass. Theo kết luận của họ, để tránh tình trạng quá nhiệt do che bóng một phần, một diode bypass đơn lẻ nên bảo vệ tối đa 20 cell. Quaschnig và Hanitsch [61] đã phát triển một phương pháp mô phỏng để tái tạo đường cong IV của cell pin mặt trời. Thông qua phương pháp này, có thể nghiên cứu hiệu suất điện của hệ thống PV trong điều kiện che bóng bằng cách sử dụng diode BP. Họ quan sát thấy rằng việc sử dụng diode BP làm giảm công suất bị mất khi che bóng.

Vẫn trong những năm 1990, các nghiên cứu so sánh ứng dụng của diode tích hợp và diode BP thông thường vào các mô-đun PV đã được thực hiện. Phân tích có bao nhiêu ô của một mô-đun PV được bảo vệ bởi một

Vào những năm 1990, các nghiên cứu so sánh ứng dụng của diode tích hợp và diode BP thông thường cho các mô-đun PV đã được thực hiện. Phân tích số lượng ô của mô-đun PV được bảo vệ bởi một diode BP có thể bị ảnh hưởng bởi bóng râm, Bhattacharya và Neogy [23] đã so sánh việc sử dụng diode tích hợp diode BP đơn có thể bị ảnh hưởng bởi bóng râm, Bhattacharya và Neogy [23] đã so sánh việc sử dụng diode hoặc diode đơn cho một nhóm tế bào. Họ chỉ ra rằng diode tích hợp với tế bào năng lượng mặt trời diode tích hợp hoặc diode đơn cho một nhóm cell. Họ chỉ ra rằng diode tích hợp với sẽ là giải pháp tốt nhất về mặt sản xuất điện.

Hơn nữa, Roche et al. [62] đã so sánh ba phương pháp để giảm tổn thất không khớp: Việc sử dụng diode BP tích hợp, kết nối nối tiếp/song song trên mô-đun PV và giảm điện trở shunt. Các tác giả đã xác định rằng diode BP tích hợp là một kỹ thuật khả thi để ngăn ngừa điểm nóng và tổn thất điện năng trên các hệ thống PV. Hơn nữa, Yoshioka et al. [24] đã thử nghiệm hai mô-đun PV, một mô-đun sử dụng diode BP tích hợp và mô-đun còn lại sử dụng diode bypass bên ngoài thông thường. Kết quả của họ chỉ ra rằng các mô-đun có và cái còn lại với diode bypass bên ngoài thông thường. Kết quả của họ chỉ ra rằng các mô-đun có chức năng diode bypass cho thấy công suất đầu ra lớn hơn và nhiệt độ tăng thấp hơn khi hoạt động chức năng của diode bypass cho thấy công suất đầu ra lớn hơn và nhiệt độ tăng thấp hơn khi hoạt động trong điều kiện che bóng. Ngoài ra, các kết luận gợi ý việc sử dụng các mô-đun PV với diode BP để lắp đặt tại nhà.

Cuối cùng, Danner và Bucher [26] đã phân tích các đặc điểm IV ngược của các tế bào thương mại đã lắp đặt tại nhà. Cuối cùng, Danner và Bucher [26] đã phân tích các đặc điểm IV ngược của các ô thương mại được đo và tác động đến sự tiêu tán điện năng. Theo nghiên cứu, số lượng diode BP trong tấm pin PV không nên được xác định bởi số lượng cell mà bởi công suất của chuỗi một tấm pin quang điện không nên được xác định bởi số lượng ô, mà bởi công suất của các ô pin chuỗi nếu chúng bị bỏ qua. Công trình này một lần nữa nhấn mạnh tầm quan trọng của việc kết hợp các diode bypass vào các mô-đun. Hình 7 tóm tắt theo trình tự thời gian các tài liệu tham khảo chính đã đề cập đến trong những năm 1990.



Hình 7. Tài liệu tham khảo chính trong những năm 1990.
Hình 7. Tài liệu tham khảo chính trong những năm 1990.

Các nghiên cứu khác [63-67] chỉ ra những cách khác nhau để hiểu tác động của bóng râm và điểm nóng không đồng đều của bức xạ mặt trời đối với việc tạo ra công suất đầu ra của PV, trong khi sử dụng tia hồng ngoại cũng như sự không đồng đều của bức xạ mặt trời trên sản lượng điện đầu ra của PV, trong khi sử dụng kỹ thuật hình ảnh hồng ngoại, lần đầu tiên được sử dụng trong lĩnh vực lắp đặt PV.

Sự quản lý nhiệt trong việc tìm hiểu tác động của các điểm nóng và bóng râm tăng lên khi sản xuất PV sản xuất tăng lên trên toàn cầu. Năm 2005, Meyer và Van Dyk [67] đã điều tra mối quan hệ của các mô-đun PV tăng trên toàn cầu. Năm 2005, Meyer và Van Dyk [67] đã nghiên cứu mối quan hệ giữa sự tăng/giảm điện trở phân luồng của các tế bào PV và sự tồn tại của các điểm nóng.

Mối quan hệ giữa sự tăng/giảm điện trở shunt của tế bào PV và sự tồn tại của nó đã được xác nhận cùng với các nghiên cứu khác, chẳng hạn như [68-70], rằng điện trở shunt gây ra các điểm nóng trong điểm nóng. Nó đã xác nhận cùng với các nghiên cứu khác, chẳng hạn như [68-70], rằng điện trở shunt gây ra các mô-đun PV và việc giảm thiểu vấn đề này sẽ không chỉ có thể thực hiện được bằng cách tích hợp tái điện trở với hộp nối diode bypass. Các nhà nghiên cứu khẳng định điều đó là cần thiết một tải điện trở riêng biệt được tích hợp với hộp nối diode bypass. Các nhà nghiên cứu khẳng định nó cũng có thể sử dụng cho nhiệt ảnh.

Cũng cần thiết cho việc sử dụng nhiệt ảnh. Đầu năm 2010, Simon và Meyer [71] đã phát triển một phương pháp phù hợp để phát hiện và phân tích các điểm nóng.

Đầu năm 2010, Simon và Meyer [71] đã phát triển một phương pháp phù hợp để phát hiện và phân tích bằng cách sử dụng một cách tiếp cận đọc đảo. Kỹ thuật được đề xuất bao gồm việc sử dụng nhiệt ảnh hồng ngoại (IR) điểm nóng sử dụng một cách tiếp cận đọc đảo. Kỹ thuật được đề xuất bao gồm sử dụng hồng ngoại (IR)

để đánh giá sự phân bố nhiệt trên bề mặt các mô-đun PV. Hơn nữa, bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử quét, người ta quan sát thấy rằng vật liệu cấu trúc của các tế bào quang điện bị nóng bị ảnh hưởng bởi sự phá hủy không thể đảo ngược.

Ngoài ra, Kernahan [72] đã đề xuất một phương pháp phát hiện và ngăn ngừa mới để giảm thiểu điểm nóng trong các tế bào năng lượng mặt trời. Nói một cách đơn giản, ông đề xuất kết nối các tế bào con bị ảnh hưởng bởi điểm nóng với một diode BP bên ngoài hoặc kết nối toàn bộ chuỗi con với một kết nối diode bypass bên ngoài, điều này sẽ kế thừa dòng điện ngược đi qua chuỗi điểm nóng, làm tăng dòng điện đầu ra và do đó, làm tăng công suất phát điện của mô-đun PV.

Cho đến đầu những năm 2000, có một sự tiến hóa tương đối chậm về nghiên cứu đã công bố về điốt BP. Kể từ đó, năng lượng mặt trời PV đã nổi lên như một nguồn năng lượng thay thế khả thi, vì vậy độ tin cậy của các hệ thống như vậy đã được khám phá rộng rãi. Do đó, vấn đề che bóng và điểm nóng, cũng như điốt BP và các kỹ thuật giảm thiểu khác, được nghiên cứu rộng rãi và sẽ được thảo luận trong Phần 4.1.

4.1. Tình hình hiện tại về các kỹ thuật giảm thiểu điểm nóng

Cho đến nay, diode BP được hợp nhất thành một thiết bị bảo vệ chống lại tổn thất điện năng và vấn đề điểm nóng, mặc dù một số lỗi và tổn thất vẫn được quan sát thấy trên các mô-đun PV. Do đó, nghiên cứu về diode BP vẫn tiếp tục được phát triển. Các công trình gần đây sẽ được phân loại thành năm loại nhóm nghiên cứu : Partial Shading, Bypass Diode Topology, Field Tests, Artificial Intelligence và New Mitigation Techniques. Các nghiên cứu như vậy được tóm tắt trong Bảng 1.

Bảng 1. Phân loại tài liệu tham khảo theo chủ đề cụ thể.

Nhóm nghiên cứu	Mục đích	Thẩm quyền giải quyết
Bóng râm một phần	Ước tính hiệu ứng che bóng đến công suất đầu ra trên các mô-đun PV bằng cách sử dụng các kết nối khác nhau của diode BP	[6,29,32,73-85]
Cấu trúc điốt bỏ qua	Để nghiên cứu cách sắp xếp các điốt BP khác nhau trong mô-đun PV ảnh hưởng đến đặc tính điện áp, dòng điện và công suất	[5,8,17,19,31,86-91]
Bài kiểm tra đã nộp	Đánh giá hiệu suất của hệ thống PV trong điều kiện thực tế	[27,92-96]
Trí tuệ nhân tạo	Áp dụng các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo để mô hình hóa và dự đoán hiệu suất của hệ thống PV	[97-108]
Kỹ thuật giảm thiểu mới	Tìm kiếm các chiến lược mới để giải quyết vấn đề điểm nóng và bóng râm	[7,18,109-111], [112]

Thể loại Partial Shading xem xét lại tác động của việc che bóng lên mô-đun PV, cũng như toàn bộ hệ thống PV, đánh giá tổn thất điện năng và khả năng điểm nóng tăng lên. Che bóng một phần là một cuộc thảo luận quan trọng, đặc biệt là khi các hệ thống PV đô thị trở nên phổ biến. Các bài báo này đã nêu lên nhu cầu đối với các nghiên cứu được phát triển trong thể loại Bypass Diode Topology. Trong các nghiên cứu này, số lượng diode BP được lắp trên mô-đun PV, cùng với cách sắp xếp bên trong tấm pin, đã được thảo luận rộng rãi.

Về hạng mục Thử nghiệm thực địa, trong nghiên cứu này, hiệu suất của các mô-đun PV thương mại đã được phân tích trong điều kiện thực tế và trong thời gian dài. Trong loại nghiên cứu này, có thể xác định các yêu cầu của nhà máy PV, đặc biệt là các yêu cầu liên quan đến độ tin cậy của mô-đun PV.

Thể loại Trí tuệ nhân tạo (AI) trên Bảng 1 đề cập đến nghiên cứu áp dụng kỹ thuật AI để mô hình hóa [97,98,101] hệ thống PV và dự đoán hiệu suất của chúng [102-104], đặc biệt là những kỹ thuật liên quan đến việc phân tích hiệu ứng che bóng [105], vấn đề điểm nóng và điốt bỏ qua [106]. Sử dụng các kỹ thuật AI về mối quan tâm này cho phép giảm chi phí thử nghiệm khi kết quả có thể gần với

thực tế. Mặt khác, sẽ có một số tình huống không thể đoán trước mà không được tính đến trong quá trình đào tạo mô hình.

Một xu hướng mới liên quan đến diode BP là chẩn đoán lỗi trên các thiết bị này bằng AI, được phát triển bởi [99,100,107,108]. Đây là một công cụ tuyệt vời để xác định lỗi trên diode BP, cũng như phát hiện sự cố điểm nóng. Điều cần thiết là phải xác định sớm loại lỗi này để tránh mất điện, có thể gây hư hỏng vĩnh viễn cho các mô-đun PV và do đó, độ tin cậy của hệ thống PV.

Mặc dù diốt bypass được sử dụng để bảo vệ, đánh giá và thử nghiệm để giảm sự không khớp tế bào, một số nghiên cứu đã báo cáo rằng các chiến lược này là không đủ để ngăn ngừa điểm nóng. Một số tác giả gần đây đã khẳng định nhu cầu về các kỹ thuật giảm thiểu mới.

Bauwens và Doutreloigne [7] đã phát triển một thiết bị chuyển mạch bỏ qua thông minh, sử dụng NDMOS (MOSFET khuếch tán kép). Các mô phỏng sử dụng bỏ qua thông minh, một diode BP điển hình và một diode lý tưởng đã được thực hiện. Các tác giả kết luận rằng bỏ qua thông minh hiệu quả hơn khi nó không tạo ra nhiệt hoặc tổn thất điện năng, chẳng hạn như diode BP thông thường.

Kim và Krein [18] đã kiểm tra lại các diốt BP, chỉ ra rằng chúng không đủ khả năng bảo vệ điểm nóng. Các tác giả kết luận rằng điểm nóng có thể dẫn đến sự cố hỏng hóc thứ hai hoặc hư hỏng lớp bao bọc tế bào và làm suy giảm vĩnh viễn tấm pin PV hoặc gây ra các mối lo ngại về an toàn. Bài báo đã nêu chi tiết các điều kiện điểm nóng và cách chúng có thể xảy ra. Hơn nữa, nghiên cứu đã khám phá một số phương pháp ngăn ngừa điểm nóng, cụ thể là: diốt BP, công tắc bỏ qua chủ động, tế bào PV điện áp đánh thủng ngược thấp và phát hiện và bảo vệ điểm nóng chủ động. Những phát hiện này chứng minh rằng diốt BP có hiệu quả hơn trong việc giảm thiểu điểm nóng đối với chiều dài chuỗi PV ngắn, nhưng điều này không được triển khai theo cách thông thường trong kết cấu tấm pin hiện đại.

Một trong những phương pháp ngăn ngừa điểm nóng được nghiên cứu bởi [18] là các tế bào quang điện có điện áp đánh thủng ngược thấp. Về vấn đề này, công ty SunPower® sản xuất một tế bào quang điện chịu bóng râm tốt hơn. Loại cell này có điện áp đánh thủng thấp, xảy ra đồng đều trên toàn bộ cell. Trong tình huống che bóng hoặc bất kỳ điều kiện phân cực ngược nào khác, hiện tượng mất nhiệt được giảm thiểu, làm giảm nhiệt độ của cell PV và do đó, tránh được điểm nóng, bất kể có hay không có diode BP. Tuy nhiên, khi đủ số cell ở phân cực ngược, tổn thất điện năng tích lũy từ các cell bị che bóng có thể vượt quá công suất được tạo ra từ các cell ở phân cực thuận, do đó SunPower bao gồm bảo vệ diode để tăng năng suất [113].

Nhiệt độ thấp hơn trên loại pin này xảy ra vì cấu trúc pin đặt một vùng dương được pha tạp mạnh ngay cạnh một vùng âm được pha tạp mạnh đều khắp mặt sau của pin, dẫn đến điện thế thấp hơn cho pin trong phân cực ngược. Ngoài ra, pin SunPower® được kết nối bằng thanh đồng giảm ứng suất và sáu miếng hàn trên mỗi pin. Mỗi hàn nhỏ, do đó sự không khớp do giãn nở nhiệt dẫn đến ứng suất ít hơn ở mỗi hàn [113].

Pannebakker et al. [109] đã đề xuất mô phỏng và thử nghiệm sử dụng diode bỏ qua thông minh. Họ đã mô phỏng và thử nghiệm nhiều kiểu đổ bóng khác nhau, sử dụng diode BP 60, 20, 12, 6 và 3, để đánh giá mức giảm tổn thất công suất và nhiệt do diode BP gây ra. Nghiên cứu kết luận rằng càng sử dụng nhiều diode BP thì công suất cực đại trong điều kiện đổ bóng càng cao, tạo ra mô-đun có khả năng chống đổ bóng tốt hơn. Mặc dù cấu trúc đề xuất cho thấy kết quả tuyệt vời, nhưng chi phí tích hợp kỹ thuật mới này được coi là cao.

Mặc dù các nghiên cứu trước đây cho thấy chi phí cao và không khả thi khi đặt một diode vào mỗi cell trong tấm pin PV, nhưng vẫn có một số nhà sản xuất sản xuất các mô-đun với cấu trúc diode BP này. Ví dụ, AE Solar® sản xuất một loại mô-đun PV cụ thể, có tên là "smart hotspot-free", đặt một diode bypass cho mỗi cell trong mô-đun. Các diode BP không được đặt trên hộp nối, như được lắp đặt theo cách truyền thống, mà trên kết nối cell, như minh họa trong Hình 8.

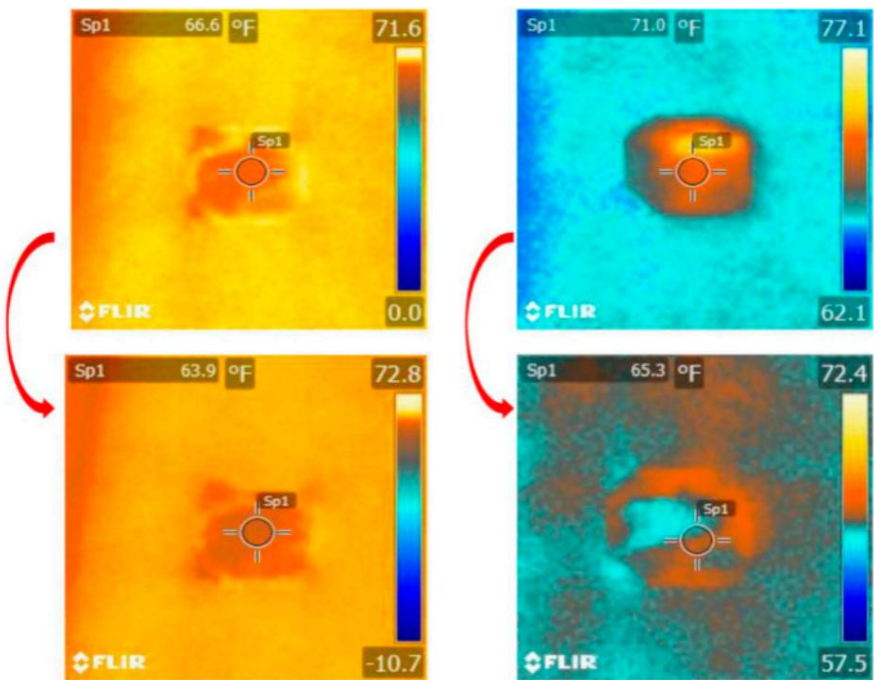
ên công suất đầu ra của các mô-đun PV. Người ta kết luận rằng tồn thất công suất đầu ra có thể giảm 15% khi các điểm nóng giảm nhiệt độ khác nhau trong mô-đun PV.

Swich1 Phimishen et al. [11] đã tiến hành một quan sát khác về tác động của kỹ thuật giảm nhiệt thứ hai được thể hiện trong Hình 9 và 10. Với nhiệt độ của các tế bào nóng lượng mặt trời nóng. Người ta nhận thấy rằng nhiệt độ của các tế bào nóng có thể giảm trong khoảng 7,5, 7 °F, như thể hiện trong Hình 10.

(Mặt)

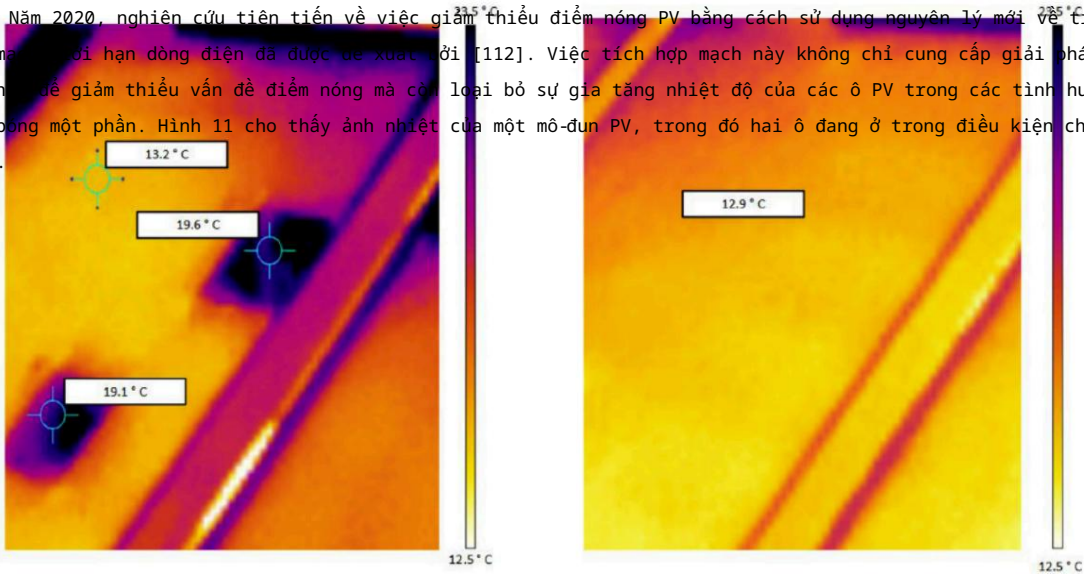
(b)

Nghiên cứu mới nhất [122-124] đã thảo luận về thực tế là các điểm nóng trong các mô-đun PV có khả năng xảy ra khi các mô-đun PV bị ảnh hưởng bởi các vết nứt/vết nứt nhỏ. Nó đã được quan sát thấy trong ba lần gần đây nhất. Nhiều năm qua, nhiều mô-đun PV cũ bị ảnh hưởng bởi các điểm nóng, thường xuyên nhất là các vết nứt nhỏ.



Hình 10. Tác động của kỹ thuật giảm thiểu điểm nóng đến sự phân bố nhiệt độ điểm nóng [115].

Năm 2020, nghiên cứu hiện đại về việc giảm thiểu các điểm nóng PV bằng cách sử dụng nguyên lý mới ngược lại với kết quả [111], [118-121] đã quan sát thấy rằng nhiệt độ điểm nóng tích hợp mạch giới hạn dòng điện được đề xuất bởi [112]. Việc tích hợp mạch này không chỉ phân phối phụ thuộc mạnh mẽ vào nhiều điều kiện khác nhau bao gồm (1) sự tích hợp của MPPT, cung cấp giải pháp phù hợp để giảm thiểu vấn đề điểm nóng, nhưng cũng loại bỏ sự gia tăng nhiệt độ của các ô PV trong các tình huống che bóng một phần. Hình 11 cho thấy ảnh nhiệt của một mô-đun PV, trong đó hai ô đang ở trong điều kiện che bóng. Nghiên cứu mới nhất [122-124] đã thảo luận về thực tế là các điểm nóng trong các mô-đun PV có khả năng xảy ra khi các mô-đun PV bị ảnh hưởng bởi các vết nứt/vết nứt nhỏ. Người ta đã quan sát thấy trong ba năm qua rằng nhiều mô-đun PV cũ bị ảnh hưởng bởi các điểm nóng, thường xuyên nhất, bị ảnh hưởng bởi các vết nứt nhỏ.



Hình 11. Tác động của kỹ thuật giảm thiểu điểm nóng do [112] phát triển trên mô-đun PV bị ảnh hưởng bởi hai tế bào quang điện được che bóng.

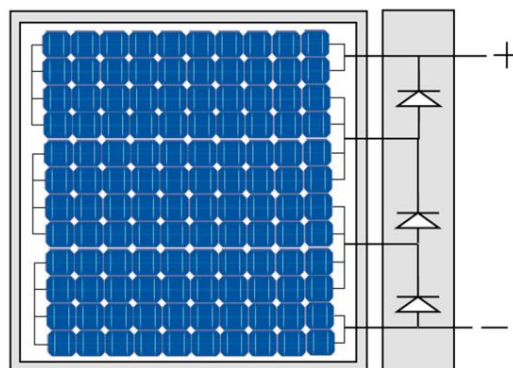
Người ta đã trình bày rằng, sau khi sử dụng kỹ thuật giảm thiểu được đề xuất, nhiệt độ của vùng bóng râm kết quả cho thấy sau khi sử dụng kỹ thuật giảm thiểu được đề xuất, nhiệt độ của các tế bào giảm đều so với các tế bào liền kề. Các ô tế bào bóng mờ giảm dần so với các ô liền kề.

4.2. Công nghệ mô-đun mới nổi và thiết bị bảo vệ diode bypass

Cho đến nay, bài báo đã thảo luận chi tiết về diode BP và các kỹ thuật giảm thiểu bóng râm trên các mô-đun PV thông thường. Tuy nhiên, có một số công nghệ mô-đun mới nổi, chẳng hạn như mô-đun dạng tấm lợp và mô-đun nửa ô. Các thiết bị này cũng phải chịu các tình huống bóng râm và

Năng lượng 2020, 13, x ĐỂ ĐÁNH GIÁ BÌNH LUẬN 15 trong số 22 mô-đun. Số lượng diode BP phải tuân theo các nguyên tắc tương tự được áp dụng cho PV thông thường

Hình 13.



Với những kinh nghiệm quý báu và phản hồi liên tục từ các tài liệu được trình bày, phần cuối của bài đánh giá này, Mục 5, đưa ra kết luận chung và thảo luận về các vấn đề trong tương lai về điốt BP và các kỹ thuật giảm thiểu điểm nóng.

Với những kinh nghiệm quý báu và phản hồi liên tục từ các tài liệu được trình bày, phần cuối của bài đánh giá này, Mục 5, đưa ra kết luận chung và thảo luận về các vấn đề trong tương lai về điốt BP và các kỹ thuật giảm thiểu điểm nóng.

5. Kết luận

Bài đánh giá này được xây dựng để cung cấp tổng quan về ứng dụng diode bypass trên các mô-đun PV. Đầu tiên, hiệu ứng che bóng một phần được thảo luận, nhằm mục đích hiểu cách nó có thể dẫn đến vấn đề điểm nóng, cũng như cách nó có thể dẫn đến tổn thất điện năng và biến dạng đường cong IV và PV.

Hơn nữa, điểm nóng có thể gây tổn thương vĩnh viễn cho cell pin và vẫn là một trong những hiện tượng được báo cáo thường xuyên nhất làm hạn chế tuổi thọ của mô-đun.

Phương pháp phòng ngừa chính cho điểm nóng là một diode bypass, được đấu dây song song với mô-đun phụ của tế bào quang điện và được lắp trên hộp nối ở mặt sau của các mô-đun PV. Diode bypass thực hiện chức năng cung cấp đường dẫn bypass cho dòng điện chạy qua trong trường hợp một số tế bào bị che bóng một phần, tránh được vấn đề điểm nóng và tăng MPP. Tuy nhiên, sau khi diode bypass được kích hoạt, MPPT trở nên mất phương hướng do nhiều đỉnh trên đường cong PV. Hơn nữa, khi diode bypass dẫn điện, chúng tiêu thụ một phần công suất được tạo ra, ảnh hưởng đến công suất tối đa mà các mô-đun PV cung cấp.

Cuối cùng, nghiên cứu này mang đến cái nhìn tổng quan về mọi tiến trình nghiên cứu về diode bypass kể từ lần đầu tiên sử dụng, cho phép chúng ta hiểu được công nghệ này đã phát triển và tiến bộ như thế nào trong những năm gần đây. Các nghiên cứu gần đây được chia thành năm loại, như thể hiện trong Bảng 1.

Bóng râm một phần liên quan đến các nghiên cứu về tác động của bóng râm lên hệ thống PV. Đây là một lĩnh vực nghiên cứu thiết yếu vì nó giúp hiểu rõ về tổn thất điện năng và khả năng hư hỏng vĩnh viễn đối với các mô-đun PV liên quan đến tình huống bóng râm. Nó ngày càng trở nên quan trọng với sự phát triển gần đây của các hệ thống PV được lắp đặt tại các khu vực đô thị. Mặt khác, các nghiên cứu sâu rộng đã chỉ ra rằng sẽ luôn có một số tình huống không thể đoán trước liên quan đến bóng râm của các mô-đun PV.

Về danh mục Cấu trúc Diode Bypass, nó đã là chủ đề của nhiều nghiên cứu sâu rộng trong những thập kỷ qua. Các nghiên cứu này nêu rằng độ tin cậy của hệ thống PV liên quan đến số lượng diode BP được lắp trên các mô-đun PV. Càng lắp nhiều diode thì càng ít tổn thất điện năng liên quan đến bóng râm, cũng như giảm sự gia tăng điểm nóng. Tuy nhiên, việc tăng số lượng diode rất tốn kém và làm cho việc sắp xếp mô-đun PV trở nên phức tạp. Do đó, việc thay đổi cấu trúc diode BP không cho thấy sự gia tăng đáng kể về năng suất của hệ thống PV. Cho đến nay, diode Schottky là loại thiết bị được ứng dụng nhiều nhất trong ngành công nghiệp mô-đun PV. Do đó, có thể kết luận rằng nghiên cứu này đã dẫn chúng tôi đến việc nghiên cứu các kỹ thuật giảm thiểu mới đối với vấn đề bóng râm và điểm nóng.

Các chiến lược mới cho hiện tượng đổ bóng và điểm nóng, cũng như các điốt BP, đã được nghiên cứu trong các nghiên cứu gần đây. Ví dụ, các nghiên cứu do [109,111] phát triển đã sử dụng một điốt BP thông minh và một MOSFET, tương ứng, thay thế cho điốt BP thông thường. Cả hai nghiên cứu đều đã chứng minh là hiệu quả trong việc giảm điểm nóng và tổn thất điện năng. Mặc dù, giống như bất kỳ công nghệ mới nào, hầu hết các nghiên cứu này đều cho thấy tốn kém

Thử nghiệm thực địa là một hạng mục không thể thiếu vì nó phân tích các hệ thống PV tiếp xúc với điều kiện thực tế, do đó kết quả của nó có thể mang lại sự hỗ trợ cho các nhà nghiên cứu khác và điều chỉnh các nghiên cứu khác theo những vấn đề cần giải quyết trên các hệ thống PV. Tuy nhiên, nó có thể tốn kém hơn so với các nghiên cứu mô phỏng và có thể mất nhiều thời gian hơn. Thử nghiệm thực địa được phân tích trong bài viết đã củng cố rằng các điốt BP rất cần thiết cho độ tin cậy của các mô-đun PV, mặc dù chúng là thiết bị dễ bị hỏng, có thể dẫn đến hậu quả là mất điện và hiện tượng điểm nóng.

Một số nhà nghiên cứu gần đây đang áp dụng các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo vào lĩnh vực hệ thống PV. Có thể sử dụng để mô hình hóa và dự đoán hiệu suất của hệ thống PV. Cụ thể là về bóng râm, điểm nóng và điốt BP, các nghiên cứu này cải thiện khả năng phát hiện lỗi thiết bị, hỗ trợ kiểm tra trực quan và phát hiện bóng râm trên hệ thống PV. Đây có thể là một công cụ hữu ích vì nó cho phép phát hiện các lỗi sớm hơn có thể gây ra tổn thất hoặc hư hỏng cho hệ thống. Tuy nhiên, sẽ có một số tình huống không được dự đoán trong quá trình đào tạo AI.

Tất cả các danh mục được phân tích trong bài đánh giá này đều nhằm mục đích giảm thiểu hiệu ứng che bóng và vấn đề điểm nóng. Chiến lược chính là sử dụng diốt BP, như đã thảo luận trước đó, nhưng tất cả các nghiên cứu được trích dẫn đều có mối tương quan với mục đích giảm thiểu tổn thất điện năng, có thể là hư hỏng vĩnh viễn và độ tin cậy tổng thể của mô-đun PV liên quan đến tình huống che bóng.

Mặc dù diốt bypass là một kỹ thuật giảm thiểu hợp nhất cho vấn đề che bóng, một số nghiên cứu đã báo cáo rằng các chiến lược này không đủ để ngăn ngừa điểm nóng, đặc biệt liên quan đến mức tiêu thụ điện năng, lỗi diốt và tạo ra nhiều đỉnh trên đường cong PV.

Đóng góp của tác giả: RGV đã hình thành phương pháp luận, phát triển lý thuyết và thực hiện mô phỏng. FMUDA đã hình thành ý tưởng, thực hiện giám sát và đóng góp vào việc sửa đổi bản thảo. MD đã phát triển lý thuyết, cung cấp phản hồi quan trọng và giúp định hình nghiên cứu. MISG đã cung cấp phản hồi quan trọng và đóng góp vào việc sửa đổi bản thảo. Tất cả các tác giả đã đọc và đồng ý với phiên bản đã xuất bản của bản thảo.

Tài trợ: Nghiên cứu này không nhận được bất kỳ nguồn tài trợ bên ngoài nào.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Đại học Liên bang Bán khô cằn, Đại học Rio Grande do Norte và Đại học Huddersfield trong khuôn khổ đóng góp quốc tế.

Xung đột lợi ích: Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích.

Tài liệu tham khảo

1. Kalogirou, S. Kỹ thuật năng lượng mặt trời: Quy trình và hệ thống, ấn bản lần thứ 1; Elsevier Inc.: London, Vương quốc Anh, 2009; Mã số 9780123745019.
2. IEA. Tổng quan về thị trường quang điện toàn cầu; IEA: Brussels, Bỉ, 2018. 3.
Tiwari, GN; Dubey, S. Cơ sở của mô-đun quang điện và ứng dụng của chúng, ấn bản lần thứ 1; Hội Hóa học Hoàng gia: Cambridge, Vương quốc Anh, 2010; ISBN 978-1-84973-020-4.
4. Tsanakas, JA; Ha, L.; Buerhop, C. Lỗi và chẩn đoán nhiệt hồng ngoại trong các mô-đun quang điện c-Si đang hoạt động: Tổng quan về nghiên cứu và những thách thức trong tương lai. Làm mới. Duy trì. Energy Rev. 2016, 62, 695-709.
[\[Tham chiếu chéo\]](#)
5. Manna, D.; Cây nho, V.; Riva Sanseverino, E.; Cửa Chúa, V.; Romano, P. Các chiến lược kết nối điện có thể định cấu hình lại cho mảng quang điện: Một đánh giá. Làm mới. Duy trì. Tạp chí Năng lượng 2014, 33, 412-426. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
6. Ramaprabha, R.; Mathur, BL Đánh giá và phân tích toàn diện về mảng quang điện mặt trời
Cấu hình trong điều kiện bóng râm một phần. Int. J. Photoenergy 2012, 2012, 1-16. [\[CrossRef\]](#)
7. Bauwens, P.; Doutrelaigne, J. Giảm tổn thất điện năng do che bóng một phần bằng Smart Bypass tích hợp.
Sol. Năng lượng 2014, 103, 134-142. [\[CrossRef\]](#)
8. Silvestre, S.; Boronat, A.; Chouder, A. Nghiên cứu về cấu hình diode bypass trên các mô-đun PV. Appl. Energy 2009, 86, 1632-1640. [\[CrossRef\]](#)
9. JPL. Sổ tay thiết kế mảng pin mặt trời, ấn bản lần thứ 1; NASA: Pasadena, CA, Hoa Kỳ, 1976; Tập I.
10. Luft, W. Che bóng một phần của tấm chuyển đổi pin mặt trời silicon. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị AIEE, Los Angeles, CA, Hoa Kỳ, 9-11 tháng 5 năm 1961; trang 62-204.
11. Conn, AA Tính toán máy tính về hiệu ứng bóng đổ trên các mảng pin mặt trời; Eng. Rep. 9361.11-E72; TRW Systems, Inc.: Redondo Beach, CA, Hoa Kỳ, ngày 21 tháng 12 năm 1966.
12. Baron, WR; Virobik, PF Tắt che nắng cho tấm pin mặt trời và phương pháp giảm tổn thất điện năng liên quan.
Trong Biên bản Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 4, Cleveland, OH, Hoa Kỳ, ngày 2-3 tháng 6 năm 1964.
13. Feldman, J.; Singer, S.; Braunstein, A. Sự kết nối của tế bào năng lượng mặt trời và năng lượng mặt trời 1981, 26, 419-428.
[\[Tham chiếu chéo\]](#)
14. Jett, PL; Miller, JL Phân tích tác động của pin mặt trời có bóng và hở lên hiệu suất mảng pin mặt trời của xưởng quỹ đạo .
Trong Biên bản báo cáo Hội nghị IECE lần thứ 6, Boston, MA. Hoa Kỳ, 3-5 tháng 8 năm 1971.
15. Sullivan, RM Hiệu ứng bóng tối trên mảng song song của tế bào năng lượng mặt trời; Đại diện N6529814; NASA Goddard Space
Trung tâm bay: Greenbelt, MD, Hoa Kỳ, 1965.
16. Rauschenbach, HS Đầu ra điện của mảng năng lượng mặt trời bị che khuất. IEEE Trans. Thiết bị điện tử 1971, 18, 483-490. [\[Tham chiếu chéo\]](#)

17. Kaushika, ND; Rai, AK Một cuộc điều tra về tổn thất không khớp trong mạng lưới tế bào quang điện mặt trời. *Năng lượng* 2007, 32, 755–759. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
18. Kim, KA; Krein, PT Kiểm tra lại điểm phát sáng quang điện để chỉ ra sự không đầy đủ của điốt bỏ qua. *IEEE J. Quang điện* 2015, 5, 1435–1441. [\[CrossRef\]](#)
19. Daliendo, S.; Di Napoli, F.; Guerriero, P.; d'Alessandro, V. Một mạch bypass được sửa đổi để cải thiện độ tin cậy của điểm nóng của các tấm pin mặt trời chịu bóng râm một phần. *Sol. Energy* 2016, 134, 211–218. [\[CrossRef\]](#)
20. Blake, FA; Hanson, KL Chế độ lỗi điểm nóng cho các mảng năng lượng mặt trời. Trong *Biên bản báo cáo của IECEC lần thứ 4* Hội nghị, Washington, DC, Hoa Kỳ, 22–26 tháng 9 năm 1969.
21. Larue, JC; Du Trieu, E. Ảnh hưởng của bóng đổ một phần lên điểm nóng hay sự cố của tấm pin mặt trời? Trong *Biên bản Hội nghị Năng lượng Mặt trời Quang điện*, Cannes, Pháp, 27–31 tháng 10 năm 1980; trang 490–495.
22. Molenbroek, E.; Waddington, DW; Emery, KA Khả năng phát sinh điểm nóng và thử nghiệm các mô-đun PV. Trong *Biên bản Hội nghị của Hội nghị Chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 22*, Las Vegas, NV, Hoa Kỳ, 7–11 tháng 10 năm 1991; trang 547–552.
23. Bhattacharya, G.; Neogy, C. Loại bỏ vấn đề điểm nóng trong các mô-đun và mảng quang điện. *Sol. Cells* 1991, 31, 1–12. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
24. Yoshioka, H.; Nishikawa, S.; Nakajima, S.; Asai, M.; Takeoka, S.; Matsutani, T.; Suzuki, A. Mô-đun PV không có điểm nóng sử dụng pin mặt trời có chức năng diode bypass. Trong *Biên bản báo cáo Hội nghị của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ hai mươi lăm*, Washington, DC, Hoa Kỳ, 13–17 tháng 5 năm 1996; trang 1271–1274.
25. Herrmann, W.; Wiesner, W.; Vaassen, W. Các cuộc điều tra điểm nóng trên các mô-đun PV - các khái niệm mới cho một tiêu chuẩn thử nghiệm và hậu quả đối với thiết kế mô-đun liên quan đến điốt bypass. Trong *Biên bản biên bản hội nghị của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ hai mươi sáu*, Anaheim, CA, Hoa Kỳ, 29 tháng 9–3 tháng 10 năm 1997; trang 1129–1132.
26. Danner, M.; Bucher, K. Đặc điểm ngược của pin mặt trời silicon thương mại - tác động đến nhiệt độ điểm nóng và tính toàn vẹn của mô-đun. Trong *Biên bản báo cáo Hội nghị của Hội nghị Chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 26*, Anaheim, CA, Hoa Kỳ, 29 tháng 9–3 tháng 10 năm 1997; trang 1137–1140.
27. Woyte, A.; Nijs, J.; Belmans, R. Bóng đổ của các mảng quang điện với các cấu hình hệ thống khác nhau: Tài liệu. *Sol. Energy* 2003, 74, 217–233. [\[CrossRef\]](#)
28. IEA. Đánh giá về sự cố của các mô-đun quang điện; IEA: Brussels, Bỉ, 2013.
29. Ko, SW; Ju, YC; Hwang, HM; So, JH; Jung, YS; Song, HJ; Song, HE; Kim, SH; Kang, GH Đặc tính điện và nhiệt của các mô-đun quang điện trong điều kiện che bóng một phần và có điốt bypass bị hỏng. *Năng lượng* 2017, 128, 232–243. [\[CrossRef\]](#)
30. Wirth, H.; Weiß, K.-A.; Wiesmeier, C. Công nghệ và độ tin cậy của mô-đun quang điện, ấn bản lần 1; De Gruyter: Berlin, Đức, 2016; ISBN 978-3-11-034827-9.
31. Teo, JC; Tan, RHG; Mok, VH; Ramachandaramurthy, VK Ảnh hưởng của cấu hình diode bypass đến công suất cực đại của mô-đun quang điện. *Int. J. Smart Grid Clean Energy* 2017, 6, 225–232. [\[CrossRef\]](#)
32. Ahmad, R.; Murtaza, AF; Ahmed Sher, H.; Tabrez Shami, U.; Olalekan, S. Một cách tiếp cận phân tích để nghiên cứu hiệu ứng che bóng một phần trên mảng PV được hỗ trợ bởi tài liệu. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 74, 721–732. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
33. Ekpenyong, EE; Anyasi, F. Ảnh hưởng của bóng râm lên tế bào quang điện. *IOSR J. Điện tử Electron*. Tiếng Anh 2013, 8, 2278.
34. General Electric. Báo cáo cuối cùng về tích hợp Didode bỏ qua; General Electric: Pasadena, CA, Hoa Kỳ, 1981; Tập 4.
35. Petrone, G.; Ramos-Paja, CA; Spagnuolo, G. Mô hình hóa nguồn quang điện, ấn bản lần thứ 1; Wiley: Hoboken, NJ, Hoa Kỳ, 2017; Mã số 9781118679036.
36. Shiradkar, N.; Gade, V.; Sundaram, K. Dự đoán tuổi thọ của diode bypass trong mô-đun quang điện. Trong *Biên bản Hội nghị chuyên gia quang điện lần thứ 42 của IEEE năm 2015 (PVSC 2015)*, New Orleans, LA, Hoa Kỳ, 14–19 tháng 6 năm 2015.
37. STMicroelectronics. Cách chọn điốt Bypass cho hộp nối tấm silicon; DOC ID 019041 Rev 1; STMicroelectronics: Geneva, Thụy Sĩ, 2011.
38. Baron, WR; Virobik, PF Ảnh hưởng của bóng tối đến sản lượng mảng năng lượng mặt trời. Trong *Biên bản báo cáo của IEEE lần thứ 4 Photovoltaic Hội nghị chuyên gia*, Cleveland, OH, Hoa Kỳ, ngày 2–3 tháng 6 năm 1964.
39. Diamond, RM Những phát triển tiên tiến của diode tích hợp trong pin mặt trời. Trong *Biên bản báo cáo của IEEE lần thứ 9* Hội nghị chuyên gia về quang điện, Silver Springs, MD, Hoa Kỳ, 2–4 tháng 5 năm 1972.
40. Sayed, M.; Partain, L. Ảnh hưởng của bóng râm đến pin mặt trời CdS CuxS và thiết kế mảng pin mặt trời tối ưu. *Energy Convers.* 1975, 14, 61–71. [\[Tham khảo chéo\]](#)

41. Gonzalez, C.; Weaver, R. Các cân nhắc về thiết kế mạch cho các mô-đun và hệ thống quang điện. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 14, San Diego, CA, Hoa Kỳ, 7-10 tháng 1 năm 1980.
42. Friedrich, G.; Rasch, KD; Roy, K. Điốt cho các mảng năng lượng mặt trời không gian. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị năng lượng mặt trời quang điện lần thứ 3 Hội nghị Năng lượng, Cannes, Pháp, 27-31 tháng 10 năm 1980.
43. Giuliano, M.; Starley, D.; Warfield, D.; Schuyler, T. Thiết kế diode bỏ qua, ứng dụng và nghiên cứu độ tin cậy cho mảng pin mặt trời. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị chuyên gia quang điện lần thứ 15, Kissimmee, FL, Hoa Kỳ, 12-15 tháng 5 năm 1981.
44. Ross, RG Tối ưu hóa thiết kế mảng quang điện phẳng. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị quang điện IEEE lần thứ 14 Hội nghị chuyên gia, San Diego, CA, Hoa Kỳ, 7-10 tháng 1 năm 1980.
45. Green, MA; Gauja, E.; Withayachamnankul, W. Pin mặt trời silicon với diode bypass tích hợp. Sol. Cells 1981, 3, 233-244. [\[Tham khảo chéo\]](#)
46. Cox, CH; Silversmith, DJ; Mountain, RW Giảm sự cố ngược của tế bào quang điện bằng điốt bỏ qua ngoại vi. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 16, San Diego, CA, Hoa Kỳ, ngày 28 tháng 9 năm 1982; trang 834-839.
47. Swaleh, MS; Green, MA Ảnh hưởng của điện trở shunt và diode bypass lên khả năng chịu bóng của các mô-đun pin mặt trời. Sol. Cells 1982, 5, 183-198. [\[CrossRef\]](#)
48. Forman, SE Hiệu suất của các mô-đun quang điện mặt đất thử nghiệm. IEEE Trans. Reliab. 1982, 31, 235-245. [\[Tham khảo chéo\]](#)
49. Ross, RG Độ tin cậy và Kinh nghiệm về hiệu suất với các mô-đun quang điện tấm phẳng. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị năng lượng mặt trời quang điện EC lần thứ tư, Stresa, Ý, 10-14 tháng 5 năm 1982; trang 169-178.
50. Shepard, NF, Jr.; Sugimura, RS Tích hợp các điốt Bypass với các mô-đun và mảng quang điện trên mặt đất. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 17, Kissimmee, FL, Hoa Kỳ, 1-4 tháng 5 năm 1984; trang 676-681.
51. Gonzalez, CC; Weaver, RW; Ross, RG, Jr.; Spencer, R.; Arnett, JC Xác định độ nhạy điểm nóng của các mô-đun quang điện đa chuỗi trong ứng dụng trạm trung tâm. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 17, Kissimmee, FL, Hoa Kỳ, 1-4 tháng 5 năm 1984; Tập 13, trang 668-675.
52. General Electric. Điốt trong các mô-đun và mảng quang điện; General Electric: Pasadena, CA, Hoa Kỳ, 1984.
53. General Electric. Đóng gói diode bỏ qua mô-đun quang điện; General Electric: Pasadena, CA, Hoa Kỳ, 1983.
54. Otth, DH; Sugimura, RS; Ross, RG, Jr. Phát triển Tiêu chuẩn Thiết kế và Kiểm tra Chất lượng cho Bypass Didodes trong Ứng dụng Quang điện. Trong Biên bản của Viện Khoa học Môi trường - Cuộc họp Kỹ thuật Thường niên lần thứ 31, Las Vegas, NV, Hoa Kỳ, 29 tháng 4-3 tháng 5 năm 1985.
55. Hasyim, ES; Wenham, SR; Green, MA Độ chịu bóng của các mô-đun kết hợp các tế bào năng lượng mặt trời điốt bỏ qua tích hợp. Sol. Cells 1986, 19, 109-122. [\[CrossRef\]](#)
56. Bishop, JW Mô phỏng máy tính về tác động của sự không phù hợp về điện trong mạch kết nối tế bào quang điện. Sol. Cells 1988, 25, 73-89. [\[CrossRef\]](#)
57. Abete, A.; Barbisio, E.; Cane, F.; Demartini, P. Phân tích các mô-đun quang điện có điốt bảo vệ khi có sự không khớp. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị IEEE về các chuyên gia quang điện, Kissimmee, FL, Hoa Kỳ, 21-25 tháng 5 năm 1990; trang 1005-1010.
58. Lashway, C. Kỹ thuật và kết quả thử nghiệm hệ thống quang điện. IEEE Trans. Energy Convers. 1988, 4, 503-506. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
59. Al-Rawi, NA; Al-Kaisi, MM; Asfer, D. Độ tin cậy của các mô-đun quang điện I. Những cân nhắc về mặt lý thuyết. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 1994, 31, 455-468. [\[CrossRef\]](#)
60. Al-Rawi, NA; Al-Kaisi, MM; Asfer, DJ Độ tin cậy của các mô-đun quang điện II. Kết nối và bỏ qua hiệu ứng diode. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 1994, 31, 469-480. [\[CrossRef\]](#)
61. Quasching, V.; Hanitscht, R. Mô phỏng số các đặc tính dòng điện-điện áp của hệ thống quang điện với các tế bào năng lượng mặt trời có bóng râm. Sol. Energy 1996, 56, 513-520. [\[CrossRef\]](#)
62. Roche, D.; Outhred, H.; Kaye, RJ Phân tích và kiểm soát tổn thất công suất không khớp trong mảng quang điện. Prog. Photovolt. Res. Appl. 1995, 3, 115-127. [\[CrossRef\]](#)
63. Kovach, A.; Schmid, J. Xác định tổn thất năng lượng đầu ra do che bóng của các mảng quang điện tích hợp trong tòa nhà bằng kỹ thuật dò tia. Sol. Energy 1996, 57, 117-124. [\[CrossRef\]](#)
64. Kaminski, A.; Jougla, J.; Mergui, M.; Jourlin, Y.; Bouille, A.; Vuillermoz, PL; Laugier, A. Đặc tính hồng ngoại của các điểm nóng trong pin mặt trời với độ chính xác cao nhờ xử lý tín hiệu. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 1998, 51, 233-242. [\[CrossRef\]](#)

65. King, DL; Kratochvil, JA; Quintana, MA; McMahon, TJ Ứng dụng cho thiết bị hình ảnh hồng ngoại trong thử nghiệm tế bào quang điện, mô-đun và hệ thống. Trong Biên bản báo cáo Hội nghị của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ hai mươi tám , Anchorage, AK, Hoa Kỳ, 15-22 tháng 9 năm 2000; trang 1487-1490.
66. Meyer, EL; Van Dyk, EE Đánh giá độ tin cậy và sự suy giảm hiệu suất của mô-đun quang điện tham số. IEEE Trans. Reliab. 2004, 53, 83-92. [\[CrossRef\]](#)
67. Meyer, EL; Van Dyk, EE Tác động của điện trở shunt giảm và che bóng lên hiệu suất của mô-đun quang điện. Trong Biên bản báo cáo Hội nghị của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ ba mươi mốt, Lake Buena Vista, FL, Hoa Kỳ, 3-7 tháng 1 năm 2005; trang 1331-1334.
68. Muñoz, J.; Lorenzo, E.; Martínez-Moreno, F.; Marroyo, L.; García, M. Một cuộc điều tra về các điểm nóng trong hai nhà máy điện mặt trời lớn được kết nối với lưới điện. Prog. Photovolt. Res. Appl. 2008, 16, 693-701. [\[CrossRef\]](#)
69. TamizhMani, G.; Sharma, S. Đánh giá điểm nóng của các mô-đun quang điện. Mô-đun tế bào quang điện đáng tin cậy. Linh kiện Syst. 2008, 7048, 70480K.
70. Bauer, J.; Wagner, JM; Lotnyk, A.; Blumtritt, H.; Lim, B.; Schmidt, J.; Breitenstein, O. Điểm nóng trong pin mặt trời silicon đa tinh thể: Sự cố tuyết lở do hồ khắc. Phys. Status Solidi (RRL)-Rapid Res. Lett. 2009, 3, 40-42. [\[CrossRef\]](#)
71. Simon, M.; Meyer, EL Phát hiện và phân tích sự hình thành điểm nóng trong pin mặt trời. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 2010, 94, 106-113. [\[CrossRef\]](#)
72. Kernahan, K. Phát hiện và ngăn ngừa điểm nóng trong tấm pin mặt trời 2011, 8.050.804; Bằng sáng chế và nhãn hiệu Hoa Kỳ: Washington, DC, Hoa Kỳ, 2011.
73. Nageh, M.; Anis, WR; Hafez, IM Một giải pháp được đề xuất cho bóng đổ một phần. Int. J. Comput. Appl. 2015, 121, 28-38. [\[CrossRef\]](#)
74. Sathyanarayana, P.; Ballal, R.; Sagar, PL; Kumar, G. Ảnh hưởng của việc che bóng đến hiệu suất của tấm pin mặt trời PV. Năng lượng điện 2015, 5, 1-4.
75. Dash, R.; Swain, S.; Panda, P. Pin quang điện mặt trời trong điều kiện che bóng. Trong Biên bản báo cáo Hội nghị quốc tế về công nghệ mạch, điện và máy tính, Nagercoil, Ấn Độ, 18-19 tháng 3 năm 2016.
76. Torres, JPN; Nashih, SK; Fernandes, CAF; Leite, JC Tác động của bóng râm lên tấm pin mặt trời quang điện. Hệ thống năng lượng 2018, 9, 195-208. [\[CrossRef\]](#)
77. Mahammed, IH; Ả Rập, AH; Berrah, S.; Bakelly, Y.; Khennene, M.; Oudjana, SH; Fezzani, A.; Zaghba, L. Nghiên cứu ngoài trời về tác động của bóng râm một phần lên các công nghệ mô-đun PV khác nhau. Energy Procedia 2017, 141, 81-85. [\[CrossRef\]](#)
78. Lee, H.-G.; Shah, JN; Tyagi, PMV Phân tích hiệu ứng che bóng một phần của cấu hình mô-đun PV năng lượng mặt trời Sử dụng MATLAB/Simulink. Am. J. Energy Res. 2018, 6, 8-18. [\[CrossRef\]](#)
79. Alonso-García, MC; Ruiz, JM; Herrmann, W. Mô phỏng máy tính về hiệu ứng che bóng trong quang điện mảng. Làm mới. Năng lượng 2006, 31, 1986-1993. [\[CrossRef\]](#)
80. Patel, H.; Agarwal, V. Mô hình hóa dựa trên MATLAB để nghiên cứu tác động của bóng râm một phần trên mảng PV đặc điểm. IEEE Trans. Energy Convers. 2008, 23, 302-310. [\[CrossRef\]](#)
81. Benghanem, MS; Alamri, SN Mô hình hóa mô-đun quang điện và xác định thực nghiệm của chuỗi sức đề kháng. J. Taibah Univ. Sci. 2009, 2, 94-105. [\[CrossRef\]](#)
82. Martínez-Moreno, F.; Muñoz, J.; Lorenzo, E. Mô hình thực nghiệm để ước tính tổn thất do che bóng trên mảng PV. Sol. Năng lượng Mater. Sol. Cells 2010, 94, 2298-2303. [\[CrossRef\]](#)
83. Ishaque, K.; Salam, Z. Syafaruddin Một trình mô phỏng hệ thống PV Simulink MATLAB toàn diện với khả năng che bóng một phần dựa trên mô hình hai diode. Sol. Energy 2011, 85, 2217-2227. [\[CrossRef\]](#)
84. Guo, S.; Walsh, TM; Aberle, AG; Peters, M. Phân tích hiện tượng che bóng một phần của mô-đun PV bằng mô hình mạch. Trong Biên bản Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 38 năm 2012, Austin, TX, Hoa Kỳ, 3-8 tháng 6 năm 2012; trang 2957-2960.
85. Bai, J.; Cao, Y.; Hao, Y.; Zhang, Z.; Liu, S.; Cao, F. Đặc tính đầu ra của hệ thống PV dưới bóng râm một phần hoặc điều kiện không phù hợp. Sol. Energy 2015, 112, 41-54. [\[CrossRef\]](#)
86. Shin, WG; Ko, SW; Song, HJ; Ju, YC; Hwang, HM; Kang, GH Nguồn gốc của lỗi diode bypass trong các mô-đun quang điện c-Si: Dòng điện rò rỉ ở nhiệt độ xung quanh cao. Năng lượng 2018, 11, 2416. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
87. Mermoud, A.; Lejeune, T. Partial Shades on Pv Arrays: By-Pass Diode Benefits Analysis. Trong Biên bản báo cáo của Hội nghị Năng lượng Mặt trời Quang điện Châu Âu lần thứ 25, Feria Valencia, Tây Ban Nha, 6-10 tháng 9 năm 2010; trang 6-10.

88. Zheng, H.; Li, S.; Challoor, R.; Proano, J. Tác động của diode che bóng và bypass đến việc khai thác năng lượng của mảng PV dưới các cấu hình bộ chuyển đổi khác nhau. *Làm mới. Năng lượng* **2014**, *68*, 58–66. [\[CrossRef\]](#)
89. Aliyu, S.; Lawan, S.; Araga, IA; Olatunde, AF Mô hình hóa tác động của diode bypass lên hiệu suất của tế bào quang điện dưới bóng râm một phần. *Acad. J. Sci. Eng.* **2016**, *10*, 24–30.
90. Duong, MQ; Sava, GN; Ionescu, G.; Necula, H.; Leva, S.; Mussetta, M. Cấu hình diode bypass tối ưu cho các mảng PV dưới ảnh hưởng của bóng râm. Trong *Biên bản báo cáo của Hội nghị quốc tế IEEE năm 2017 về Môi trường và Kỹ thuật điện và Hệ thống điện công nghiệp và thương mại IEEE năm 2017 Châu Âu (EEEIC/I&CPS Châu Âu)*, Milan, Ý, 6–9 tháng 6 năm 2017.
91. Fadlioni, F.; Isyanto, H.; Budiyanto, B. Đốt bỏ qua để cải thiện hiệu suất của tấm pin mặt trời. *Int. J. Electr. Comput. Eng.* **2018**, *8*, 2703–2708. [\[CrossRef\]](#)
92. Greacen, C.; Green, D. Vai trò của diode bypass trong sự cố hỏng hóc của các trạm sạc pin năng lượng mặt trời ở Thái Lan. *Sol. Năng lượng Mater. Sol. Cells* **2001**, *70*, 141–149. [\[CrossRef\]](#)
93. Alonso-García, MC; Herrmann, W.; Böhmer, W.; Proisy, B. Các hiệu ứng nhiệt và điện do thử nghiệm điểm nóng ngoài trời trong các hiệp hội pin quang điện. *Prog. Photovolt. Res. Appl.* **2003**, *11*, 293–307. [\[CrossRef\]](#)
94. Kato, K. PVResQ!: Hoạt động nghiên cứu về độ tin cậy của hệ thống PV theo quan điểm của người dùng tại Nhật Bản. *Reliab. Photovolt. Cells Modul. Components Syst. IV* **2011**, 8112, 81120K.
95. Dhere, NG; Shiradkar, N.; Schneller, E.; Gade, V. Độ tin cậy của diode bypass trong mô-đun PV. *Reliab. Photovolt. Cells Modul. Components Syst. VI* **2013**, 8825, 88250I.
96. Bana, S.; Saini, RP Nghiên cứu thực nghiệm về công suất đầu ra của các cấu hình mảng quang điện khác nhau trong các kịch bản bóng râm đồng đều và một phần. *Năng lượng* **2017**, *127*, 438–453. [\[CrossRef\]](#)
97. Elshatter, TF; Elhagry, MT; Abou-Elzahab, EM; Elkousy, AAT Mô hình hóa mờ của mạch C tương đương tấm pin quang điện. Trong *Biên bản báo cáo Hội nghị của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ hai mươi tám-2000* (Mã số danh mục 00CH37036), Anchorage, AK, Hoa Kỳ, 15–22 tháng 9 năm 2000; trang 1656–1659.
98. Karatepe, E.; Boztepe, M.; Çolak, M. Phát triển mô hình phù hợp để mô tả đặc điểm của mảng quang điện với các tế bào năng lượng mặt trời được che bóng. *Sol. Energy* **2007**, *81*, 977–992. [\[CrossRef\]](#)
99. Zaki, SA; Zhu, H.; Yao, J. Phát hiện và chẩn đoán lỗi của hệ thống quang điện bằng cách sử dụng điều khiển logic mờ. Trong *Biên bản Hội nghị quốc tế lần thứ 4 về Kỹ thuật năng lượng bền vững và tái tạo, Bắc Kinh, Trung Quốc*, 11–13 tháng 5 năm 2019; Tập 107, trang 1–6.
100. Kaid, I.; Hafafa, A.; Guemana, M.; Hadroug, N.; Kouzou, A.; Mazouz, L. Chẩn đoán lỗi hệ thống quang điện dựa trên phương pháp suy luận thần kinh mờ thích ứng: Nhà máy điện mặt trời Nam Algeria. *J. Clean. Prod.* **2018**, *204*, 169–182. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
101. Askarzadeh, A.; Rezazadeh, A. Xác định tham số cho các mô hình pin mặt trời sử dụng tìm kiếm hài hòa dựa trên thuật toán. *Sol. Energy* **2012**, *86*, 3241–3249. [\[CrossRef\]](#)
102. Kalogirou, SA Ứng dụng của mạng nơ-ron nhân tạo cho hệ thống năng lượng. *Appl. Năng lượng* **2000**, *67*, 17–35. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
103. Balzani, M.; Reatti, A. Mô hình dựa trên mạng nơ-ron của một mảng PV cho hiệu suất tối ưu của hệ thống PV. Trong *Biên bản báo cáo nghiên cứu tiến sĩ năm 2005 về vi điện tử và điện tử*, Lausanne, Thụy Sĩ, ngày 28 tháng 7 năm 2005; Tập II, trang 323–326.
104. Elsheikh, AH; Sharshir, SW; Abd Elaziz, M.; Kabeel, AE; Guilan, W.; Haiou, Z. Mô hình hóa hệ thống năng lượng mặt trời sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo: Một đánh giá toàn diện. *Sol. Energy* **2019**, *180*, 622–639. [\[CrossRef\]](#)
105. Giraud, F.; Salameh, ZM Phân tích tác động của đám mây trôi qua trên hệ thống quang điện tương tác với lưới điện có lưu trữ pin bằng mạng nơ-ron. *IEEE Trans. Energy Convers.* **1999**, *14*, 1572–1577. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
106. Dhimish, M.; Holmes, V.; Mehrdadi, B.; Dales, M.; Mather, P. Phát hiện diode bypass lỗi trong mô-đun quang điện bằng cách sử dụng hệ thống logic mờ Mamdani. *Glob. J. Res. Eng. F Electr. Electron. Eng.* **2017**, *17*, 33–44.
107. Triki-Lahiani, A.; Bennani-Ben Abdelghani, A.; Slama-Belkhdja, I. Hệ thống phát hiện và giám sát lỗi cho các hệ thống lắp đặt quang điện: Một bản đánh giá. *Làm mới. Duy trì. Energy Rev.* **2018**, *82*, 2680–2692. [\[CrossRef\]](#)
108. Dhimish, M.; Holmes, V.; Mehrdadi, B.; Dales, M. Thuật toán phát hiện lỗi quang điện nhiều lớp. *High Volt.* **2017**, *2*, 244–252. [\[CrossRef\]](#)
109. Pannebakker, BB; de Waal, AC; van Sark, WGHM Pin quang điện trong bóng râm: Một diode bypass cho mỗi pin mặt trời được xem xét lại. *Prog. Photovolt. Res. Appl.* **2017**, *25*, 836–849. [\[CrossRef\]](#)

110. Dhimish, M.; Holmes, V.; Mather, P.; Sibley, M. Kỹ thuật giảm thiểu điểm nóng mới để tăng cường quang điện hiệu suất công suất đầu ra của tấm pin mặt trời. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2018**, *179*, 72–79. [\[CrossRef\]](#)
111. Dhimish, M.; Holmes, V.; Mehrdadi, B.; Dales, M.; Mather, P. Tăng cường công suất đầu ra PV bằng cách sử dụng hai kỹ thuật giảm thiểu cho các điểm nóng và các tế bào quang điện bị che bóng một phần. *Electr. Power Syst. Res.* **2018**, *158*, 15–25. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
112. Dhimish, M.; Badran, G. Mạch giới hạn dòng điện để tránh các điều kiện không phù hợp quang điện bao gồm điểm nóng và bóng râm. *Làm mới. Năng lượng* **2020**, *145*, 2201–2216. [\[CrossRef\]](#)
113. Power, S. SunPower®Module có thời hạn sử dụng 40 năm; SunPower Corporation: San Jose, CA, Hoa Kỳ, 2013.
114. Solar, A. AE Smart Hot-Spot Free; WEE DE 20958316; AE Solar Alternative Energie: Königsbrunn, Đức, 2019.
115. Dhimish, M.; Holmes, V.; Mehrdadi, B.; Dales, M.; Mather, P. Tăng cường công suất đầu ra cho pin mặt trời quang điện đa tinh thể có điểm nóng. *IEEE Trans. Device Mater. Reliab.* **2017**, *18*, 37–45. [\[CrossRef\]](#)
116. Chaudhary, AS; Chaturvedi, DK Quan sát các điểm nóng và mất điện trong mảng quang điện mặt trời dưới tác động của bóng râm bằng cách sử dụng camera hình ảnh nhiệt. *Int. J. Electr. Mach. Drives* **2017**, *3*, 15–23.
117. Ahsan, S.; Niazi, K.; Khan, HA; Yang, Y. Điểm nóng và đánh giá hiệu suất của silicon tinh thể và mô-đun quang điện màng mỏng. *Microelectron. Reliab.* **2018**, *88*, 1014–1018. [\[CrossRef\]](#)
118. Niazi, KAK; Akhtar, W.; Khan, HA; Dương, Y.; Chấn đoán Athar, S. Hotspot cho các mô-đun quang điện mặt trời sử dụng bộ phân loại Naive Bayes. *Sol. Energy* **2019**, *190*, 34–43. [\[CrossRef\]](#)
119. Dhimish, M. Đánh giá các kỹ thuật MPPT trên các mô-đun quang điện có điểm nóng và bóng râm một phần: Đánh giá toàn diện dựa trên dữ liệu thực nghiệm. *IEEE Trans. Electron Devices* **2019**, *66*, 1132–1144. [\[Tham chiếu chéo\]](#)
120. Chen, H.; Yi, H.; Jiang, B.; Zhang, K.; Chen, Z. Phát hiện điểm nóng dựa trên dữ liệu trong năng lượng quang điện Hệ thống. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst.* **2019**, *49*, 1731–1738. [\[CrossRef\]](#)
121. Herraiz, Á.H.; Marugán, AP; Márquez, FPG Đánh giá về hệ thống giám sát tình trạng cho các nhà máy điện mặt trời dựa trên nhiệt ảnh. Trong *Kỹ thuật giám sát tình trạng và thử nghiệm không phá hủy cho tài sản công nghiệp năng lượng tái tạo*; Butterworth-Heinemann: Oxford, Vương quốc Anh, 2020.
122. Dhimish, M. Phân bố vết nứt nhỏ và sự suy giảm công suất của tấm wafer pin mặt trời đa tinh thể: Quan sát được xây dựng từ phân tích 4000 mẫu. *Renew. Energy* **2010**, *145*, 466–477. [\[CrossRef\]](#)
123. Moretón, R.; Lorenzo, E.; Narvarre, L. Quan sát thực nghiệm về điểm nóng và tiêu chí chấp nhận/từ chối được suy ra. *Sol. Energy* **2015**, *118*, 28–40. [\[CrossRef\]](#)
124. Manganiello, P.; Balato, M.; Vitelli, M. Khảo sát về sự không khớp và lão hóa của các mô-đun PV: Vòng lặp kín. *Bản dịch Ind. Electron.* **2015**, *62*, 7276–7286. [\[CrossRef\]](#)
125. Kunz, O.; Evans, RJ; Juhl, MK; Trupke, T. Hiểu về hiệu ứng che bóng một phần trên các mô-đun PV dạng tấm lợp. *Sol. Năng lượng* **2020**, *202*, 420–428. [\[CrossRef\]](#)
126. Hanifi, H.; Schneider, J.; Bagdahn, J. Giảm hiệu ứng che bóng trên các mô-đun nửa ô-Đo lường. Trong *Biên bản Hội nghị và Triển lãm Năng lượng Mặt trời Quang điện Châu Âu lần thứ 31*, Hamburg, Đức, 14–18 tháng 9 năm 2015; trang 2529–2533.



© 2020 của tác giả. Người được cấp phép MDPI, Basel, Thụy Sĩ. Bài viết này là bài viết truy cập mở được phân phối theo các điều khoản và điều kiện của Creative Commons Attribution

Giấy phép (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).