

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP SỬ DỤNG DUAL-MPPT NÂNG CAO HIỆU SUẤT CHO HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

RESEARCH ON A PROPOSED DUAL-MPPT SOLUTION FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

NGUYỄN VĂN TIẾN*, ĐỖ KHẮC TIỆP

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: nguyenvantien@vimaru.edu.vn

DOI: <http://doi.org/10.65154/jmst.i%cy%.%ID> (%i: số phát hành;%cy: năm phát hành)

Tóm tắt

Hiệu suất của hệ thống quang điện PV (Photovoltaics) bị ảnh hưởng hiện tượng che bóng, khiến các thuật toán dò tìm điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracker) truyền thống không thể xác định được điểm công suất toàn cục, gây lãng phí năng lượng. Bài báo trình bày việc thiết kế và mô phỏng một bộ điều khiển MPPT kép (Dual-MPPT) sử dụng MATLAB & Simulink. Cấu trúc này cho phép hai chuỗi PV được điều khiển độc lập, bởi hai bộ MPPT riêng rẽ. Kết quả mô phỏng cho thấy trong điều kiện che bóng một phần, hệ thống MPPT kép khai thác được công suất cao hơn đáng kể so với hệ thống MPPT đơn (Single-MPPT), qua đó chứng minh tính hiệu quả của giải pháp cho các hệ thống năng lượng mặt trời.

Từ khóa: Dual-MPPT, quang điện, lưu trữ năng lượng, bộ điều khiển sạc, MATLAB/Simulink.

Abstract

The performance of photovoltaic systems is significantly affected by partial shading, which prevents traditional Maximum Power Point Tracking algorithms from identifying the global maximum power point, leading to energy waste. This paper presents the design and simulation of a dual-MPPT charge controller based on MATLAB & Simulink. This configuration allows two PV strings to be controlled independently, each by its own MPPT algorithm. Simulation results show that under partial shading conditions, the dual-MPPT system harvests significantly more power than a single MPPT system, thereby demonstrating the effectiveness of the solution for solar energy storage charging systems.

Keywords: Dual- MPPT, Photovoltaic system, energy storage, charge controller, MATLAB & Simulink.

1. Mở đầu

Trong bối cảnh toàn cầu đang hướng tới các nguồn năng lượng sạch và bền vững, năng lượng mặt trời đã và đang khẳng định vị thế là một trong những giải pháp tiềm năng nhất. Tuy nhiên, hiệu suất chuyển đổi của các hệ thống quang điện phụ thuộc rất lớn vào các điều kiện vận hành, đòi hỏi các giải pháp kỹ thuật tiên tiến để tối đa hóa sản lượng điện. Bộ điều khiển dò tìm điểm công suất cực đại MPPT đã trở thành một thành phần không thể thiếu, giúp tấm pin hoạt động tại điểm hiệu suất cao nhất.

Mặc dù vậy, các thuật toán MPPT kinh điển như Perturb & Observe (P&O) hay Incremental Conductance (IC) bộc lộ nhược điểm lớn khi hoạt động trong điều kiện che bóng một phần (partial shading) gây ra bởi các vật cản như cây cối, tòa nhà, hay mây, làm cho đặc tính công suất-điện áp của giàn pin trở nên phức tạp với sự xuất hiện của nhiều đỉnh công suất cục bộ. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các thuật toán truyền thống rất dễ bị “kẹt” tại một trong các đỉnh cục bộ này, dẫn đến tổn thất năng lượng có thể lên tới 70 % [1, 2].

Để giải quyết vấn đề này, nhiều phương pháp cải tiến đã được đề xuất, trong đó cấu trúc MPPT đa kênh được xem là một trong những giải pháp phản ứng hiệu quả và mạnh mẽ nhất. Thay vì sử dụng một bộ MPPT duy nhất cho toàn bộ giàn pin, cấu trúc này chia giàn pin thành các chuỗi nhỏ hơn, hoạt động độc lập và được quản lý bởi các kênh MPPT riêng biệt. Các nghiên cứu của Patel [3] và S. B. Kjaer [4] đã chứng minh rằng phương pháp này cho phép mỗi kênh MPPT dò tìm hiệu quả trên một đường cong đơn đỉnh, qua đó tổng công suất thu được tiệm cận rất gần với điểm công suất đỉnh toàn cục.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất thiết kế và xây dựng mô hình mô phỏng cho một bộ điều khiển sạc với bộ MPPT kép trên cơ sở MATLAB & Simulink. Mục tiêu của nghiên cứu là kiểm chứng khả năng dò tìm và bám theo điểm công suất cực đại của từng chuỗi PV một cách độc lập, đồng thời đánh giá và định lượng

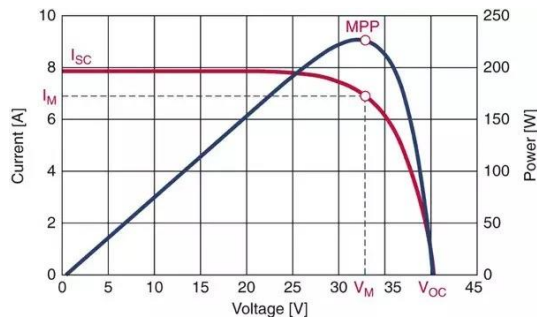
hiệu quả vượt trội của cấu trúc Dual-MPPT so với cấu trúc MPPT đơn (Single-MPPT) truyền thống, đặc biệt là trong kịch bản che bóng một phần.

2. Cơ sở lý thuyết nghiên cứu

2.1. Thuật giải MPPT (P&O)

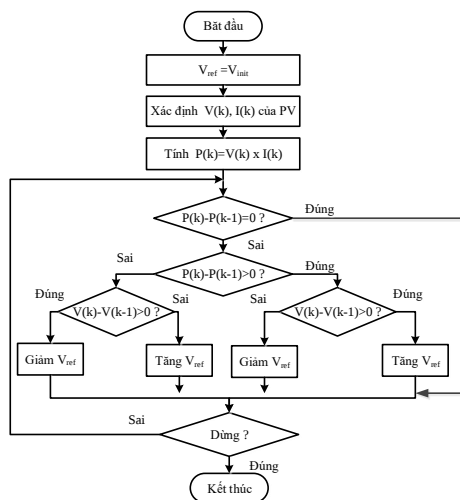
Nguyên lý MPPT là một phương pháp điều khiển thông minh để đảm bảo tấm pin mặt trời luôn hoạt động tại điểm có thể tạo ra công suất lớn nhất, bất chấp sự thay đổi của điều kiện môi trường.

Công suất của một tấm pin mặt trời không phải là hằng số. Mối quan hệ giữa điện áp và công suất của nó có dạng một đường cong với một đỉnh cao nhất duy nhất. Đỉnh này chính là điểm công suất cực đại MPP (Maximum Power Point) như Hình 1.



Hình 1. Đường cong mô tả mối quan hệ giữa điện áp và công suất của tấm pin mặt trời

Thuật giải phổ biến nhất để thực hiện MPPT là P&O [5,6]. Mục đích chính của thuật toán này là liên tục điều chỉnh điểm làm việc của tấm pin quang điện để tìm điểm MPP, bất chấp sự thay đổi của điều kiện môi trường như cường độ nắng và nhiệt độ. Thuật toán MPPT là P&O được mô tả trong Hình 2.



Hình 2. Lưu đồ giải thuật MPPT (P&O)

Thuật toán MPPT bắt đầu bằng việc xác định điện áp $V(k)$ và dòng điện $I(k)$ của PV từ đó tính ra công suất $P(k)$ tại thời điểm hiện tại và so sánh với giá trị công suất ở bước tính trước đó là $P(k-1)$.

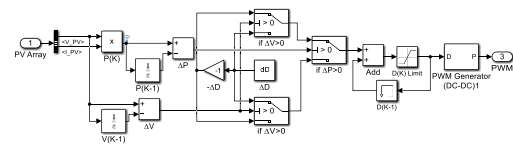
- Nếu $\Delta P > 0$: Điều này có nghĩa là sự thay đổi điện áp ở bước tính trước làm tăng công suất như vậy thuật toán sẽ tiếp tục thay đổi điện áp theo cùng hướng với bước trước đó bằng cách điều chỉnh điện áp tham chiếu V_{ref} .

- Nếu $\Delta P < 0$: Công suất đã giảm, thuật toán sẽ đảo ngược hướng thay đổi điện áp.

- Nếu $\Delta P = 0$: Thuật toán đã tìm thấy điểm MPP và sẽ không thay đổi V_{ref} .

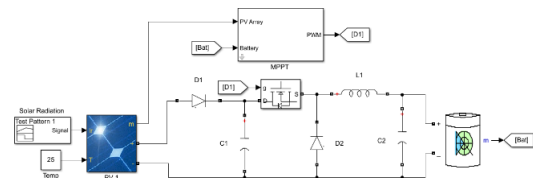
Vòng lặp sẽ tiếp tục chạy để liên tục dò tìm điểm công suất cực đại và chỉ dừng lại khi có lệnh từ người dùng hoặc hệ thống.

Trên Hình 3 là sơ đồ triển khai giải thuật MPPT (P&O) trên phần mềm MATLAB & Simulink.



Hình 3. Cấu trúc giải thuật MPPT thực thi trên phần mềm MATLAB & Simulink

Công suất hiện tại $P(k)$ được tính bằng cách nhân V_{PV} với I_{PV} . Các khối trễ ($1/z$) sử dụng để xác định công suất $P(k-1)$ từ vòng lặp trước. Mô hình tính toán sự thay đổi công suất $\Delta P = P(k) - P(k-1)$ để quyết định việc tăng hoặc giảm D (duty) đi một lượng là dD . Giá trị D cuối cùng được đưa vào khối PWM Generator (DC-DC). Khối này tạo ra tín hiệu xung PWM tương ứng để điều khiển MOSFET trong bộ biến đổi bộ chuyển đổi hạ áp (Buck Converter) (Hình 4), để giảm điện áp xuống mức điện áp sạc phù hợp cho ắc quy, qua đó điều chỉnh điểm làm việc của tấm pin mặt trời để đạt công suất tối đa.

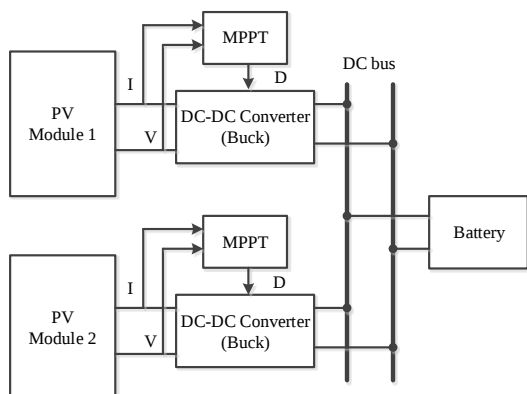


Hình 4. Mô hình hoàn chỉnh mô phỏng một hệ thống sạc ắc quy với thuật toán MPPT và bộ biến đổi Buck

2.2. Cấu trúc Dual-MPPT

Nguyên lý của cấu trúc Dual-MPPT như Hình 5, thay vì kết nối tất cả các tấm pin vào một bộ MPPT

duy nhất, hệ thống được chia thành hai chuỗi độc lập. Mỗi chuỗi được quản lý bởi một kênh MPPT riêng.



Hình 5. Mô tả cấu trúc Dual-MPPT

Cách tiếp cận này đảm bảo mỗi bộ điều khiển MPPT chỉ phải làm việc trên một đường cong công suất-điện áp (P-V) đơn đỉnh của chuỗi PV mà nó quản lý. Do đó, nó có thể dễ dàng và nhanh chóng xác định điểm công suất cực đại của chuỗi đó.

Ngoài ra, trong thiết kế này ở đầu ra của mỗi một bộ chuyển đổi DC-DC (Buck Converter) cần sử dụng thêm một diode ở đầu ra. Các diode có nhiệm vụ tổng hợp dòng điện từ hai kênh đã được tối ưu và ngăn dòng ngược, cho phép quá trình dò tìm MPP diễn ra độc lập ở từng kênh. Do vậy tổng công suất của toàn hệ thống là tổng công suất cực đại của các chuỗi thành phần, cho phép hệ thống tiệm cận rất gần với điểm công suất cực đại thực sự.

Mô hình trong Hình 6 trình bày sơ đồ mô phỏng một hệ thống sạc ắc quy sử dụng năng lượng từ hai giàn pin mặt trời riêng biệt, hoạt động đồng thời và độc lập.

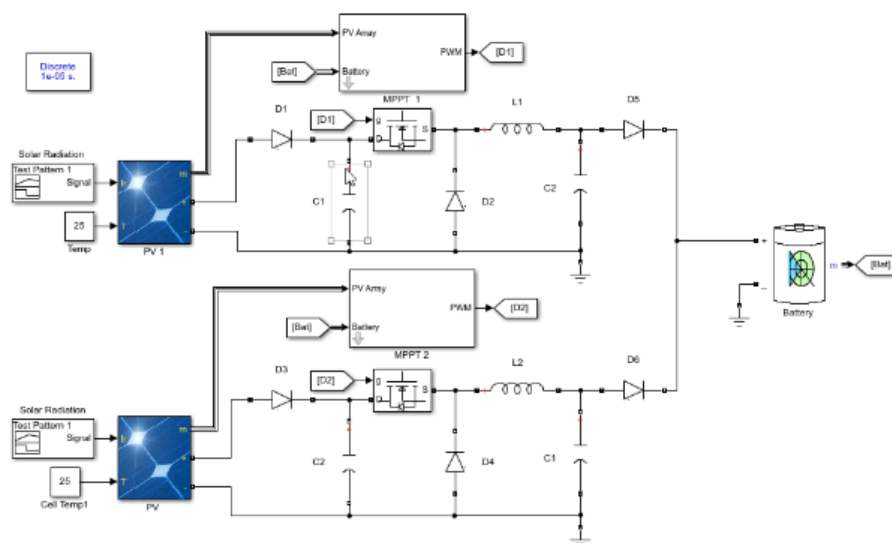
Hai khối PV riêng biệt, cho phép thiết lập các giá trị bức xạ mặt trời và nhiệt độ khác nhau để mô phỏng chính xác điều kiện vận hành độc lập. Khối mạch lực gồm hai bộ chuyển đổi DC-DC đầu ra của chúng được đấu song song (DC bus) và một khối Battery mô phỏng hệ thống ắc quy lưu trữ năng lượng.

Để sạc được cho ắc quy, cả hai bộ Buck đều phải tạo ra một điện áp ở đầu ra cao hơn điện áp của ắc quy để dòng điện có thể chạy vào. Thuật toán MPPT sẽ tự động điều chỉnh chu kỳ đóng cắt (duty cycle) của mỗi bộ Buck để đạt được điều này. Khi cả hai kênh đều hoạt động, chúng sẽ cùng tạo ra dòng điện đẩy vào ắc quy. Cấu trúc ghép song song qua diode sẽ tự động cân bằng. Kênh nào có khả năng tạo ra công suất lớn hơn sẽ đóng góp dòng điện nhiều hơn.

Giả sử kênh 2 bị che bóng dẫn tới có điện áp đầu ra thấp hơn kênh 1 khi đó diode D6 của kênh 2 sẽ không bị khóa hoàn toàn. Thuật toán MPPT của kênh 2 vẫn sẽ làm việc, nó sẽ điều chỉnh bộ Buck 2 để đẩy công suất tối đa có thể (dù thấp) vào ắc quy, diode D6 vẫn sẽ mở và kênh 2 vẫn đóng góp công suất vào hệ thống. Cả hai kênh sẽ luôn tích cực điều chỉnh để đóng góp công suất vào tải chung, chứ không có tình trạng một kênh bị khóa hoàn toàn.

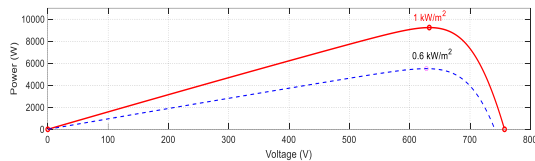
3. Kết quả mô phỏng

Mục tiêu mô phỏng để chứng minh rằng hệ thống sạc sử dụng bộ Dual-MPPT cho hiệu suất thu năng lượng cao hơn so với hệ thống sử dụng bộ Single-MPPT trong điều kiện giàn pin mặt trời bị che bóng. Môi trường mô phỏng dùng phần mềm MATLAB R2022, với thư viện Simscape Electrical™.



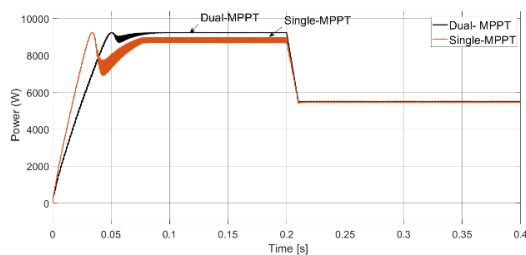
Hình 6. Sơ đồ mô phỏng trên MATLAB & Simulink cho một hệ thống sạc ắc quy sử dụng cấu trúc Dual-MPPT

Mô hình mô phỏng sẽ bao gồm hệ Dual-MPPT và Single-MPPT chạy song song để so sánh trực tiếp. Tài của cả hai hệ thống là một khối ác quy có điện áp danh định 600V, dung lượng 100Ah. Khối PV bao gồm 42 tấm A10 Green Tech A10J-M60 [7] có công suất 220W/tấm, được chia thành 2 dây (strings), cho công suất cực đại là 9,2kW ở điều kiện cường độ bức xạ 1000W/m² và 5,5kW ở điều kiện cường độ bức xạ là 600W/m². Đặc tính công suất - điện áp của khối PV trong mô phỏng như trên Hình 7.



Hình 7. Đặc tính công suất - điện áp của PV trong mô phỏng

Trong kịch bản thứ nhất, mô phỏng ở điều kiện các tấm pin không bị che bóng, cường độ bức xạ 1000W/m² sau đó giảm dần về 600W/m² ở thời điểm 0,2 giây. Kết quả mô phỏng công suất đầu ra như trên Hình 8.



Hình 8. So sánh công suất ra Dual-MPPT và Single-MPPT trong điều kiện bức xạ 1000W/m² và 600W/m²

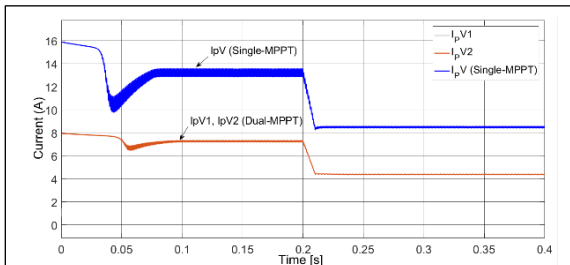
Hệ thống Dual-MPPT duy trì được mức công suất cao hơn một cách rõ rệt. Cụ thể, Dual-MPPT đạt 9,11kW (hiệu suất 99%), trong khi Single-MPPT chỉ đạt 8,9kW (hiệu suất 96%).

Nguyên nhân của việc hiệu suất của Dual-MPPT cao hơn 3% là do hệ thống Single-MPPT phải làm việc với dòng điện lớn hơn dẫn tới tổn hao gia tăng trong MOSFET và Diode. Điều này có thể thấy thông qua đồ thị đáp ứng dòng điện Hình 9. Theo kết quả mô phỏng có thể thấy rằng dòng làm việc của hệ Single-MPPT luôn cao hơn gấp 2 lần hệ Dual-MPPT.

Tại chính xác thời điểm 0,2 giây, cường độ bức xạ giảm từ 1000W/m² xuống 600W/m². Ngay lập tức, công suất của cả hai hệ thống đều giảm mạnh tương ứng với sự sụt giảm của bức xạ.

Trong giai đoạn này, công suất đầu ra của cả hai

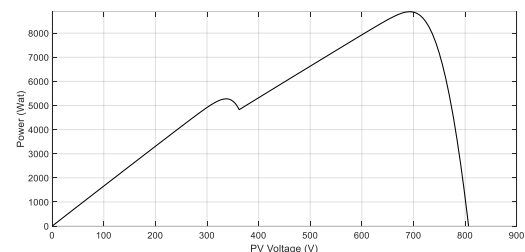
hệ thống Dual-MPPT và Single-MPPT là gần như giống hệt nhau, cùng ổn định ở mức khoảng 5,45kW tương đương hiệu suất 99%. Ở mức bức xạ thấp hơn, sự khác biệt về hiệu suất giữa hai hệ thống trở nên không đáng kể. Điều này là do ở công suất thấp, tổn hao đóng cắt giảm đi, không còn rõ rệt như ở công suất cao.



Hình 9. So sánh dòng điện của các tấm PV trong kịch bản thứ nhất

Trong kịch bản thứ 2, các tấm pin bị che bóng một phần, giả thiết 1/2 số lượng tấm pin bị che bóng dẫn tới cường độ mức xạ của nhóm này bị giảm xuống chỉ còn 600 W/m². Trên Hình 10 là đồ thị đặc tính công suất-điện áp của hệ thống pin mặt trời đang trong điều kiện bị che bóng một phần của kịch bản 2.

Khi một phần của PV bị che bóng, chúng không thể tạo ra đủ dòng điện như phần còn lại. Để dòng điện của cả hệ thống không bị kéo xuống thì diode bypass tích hợp bên trong PV sẽ được kích hoạt. Điều này cho phép dòng điện bỏ qua nhóm đang bị yếu đó. Việc kích hoạt diode bypass này tạo ra một bậc thang trên đồ thị đặc tính như Hình 10.

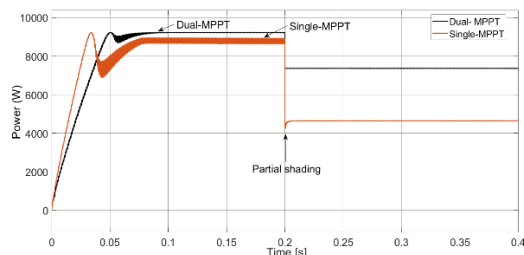


Hình 10. Đặc tính công suất - điện áp của tấm pin khi bị che bóng một phần

Kết quả mô phỏng công suất của PV theo kịch bản thứ hai chỉ ra như trên Hình 11. Đặc tính cho thấy một cách rõ ràng sự vượt trội của công nghệ Dual-MPPT so với Single-MPPT, đặc biệt là khả năng duy trì sản lượng điện khi xảy ra hiện tượng che bóng một phần (Partial Shading).

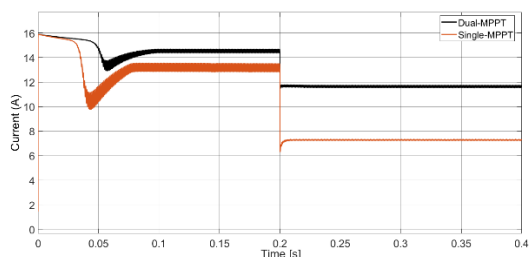
Tại thời điểm 0,2 giây hiện tượng che bóng một phần bắt đầu tác động lên hệ thống pin mặt trời. Với hệ thống Single-MPPT, công suất sụt giảm một cách

đột ngột và nghiêm trọng, từ 8,9 kW xuống chỉ còn khoảng 4,8kW. Mức sụt giảm là hơn 46%. Công suất của hệ thống Dual-MPPT cũng sụt giảm nhưng ít nghiêm trọng hơn rất nhiều. Công suất giảm từ 9,1 kW xuống khoảng 7,5kW, mức sụt giảm chỉ khoảng 18 %.



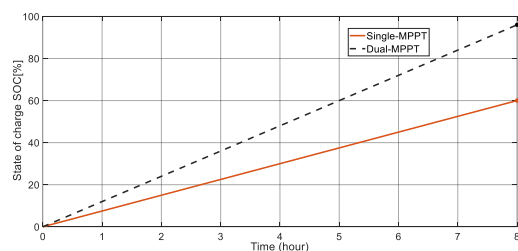
Hình 11. So sánh công suất của Dual-MPPT và Single-MPPT trong điều kiện bị che bóng một phần

Hình 12 cho thấy hệ thống Dual-MPPT duy trì được dòng điện cao hơn khoảng 61,6% so với hệ thống Single-MPPT.



Hình 12. So sánh dòng điện tổng của PV trong trường hợp bị che bóng một phần

Đồ thị Hình 13, cho thấy hệ thống sử dụng Dual-MPPT sạc ắc quy nhanh hơn đáng kể so với hệ thống Single-MPPT khi tấm pin mặt trời bị che bóng một phần.



Hình 13. Trạng thái sạc SOC của ắc quy trong trường hợp PV bị che bóng một phần sử dụng Single-MPPT và Dual-MPPT

Với hệ Dual-MPPT sau 8 giờ, ắc quy đạt đến khoảng 96% SOC (state of charge). Điều này chứng tỏ hệ thống Dual-MPPT đã khai thác được nhiều năng lượng hơn từ các tấm pin bị che bóng, tạo ra dòng sạc lớn hơn. Đường liền nét (của Single-MPPT) có độ dốc thấp hơn, thể hiện tốc độ sạc chậm, sau 8 giờ, ắc quy

chỉ đạt được khoảng 60% SOC.

Nguyên nhân của sự khác biệt này là do Single-MPPT chỉ có một bộ dò tìm điểm công suất cực đại cho toàn bộ các chuỗi pin mắc vào nó. Khi một phần của giàn pin bị che bóng, nó sẽ kéo hiệu suất của cả chuỗi pin đó xuống.

Với Dual-MPPT có hai bộ MPPT hoạt động độc lập. Điều này cho phép chia giàn pin thành hai phần. Khi một phần giàn pin bị che bóng, chỉ có một MPPT phải điều chỉnh để tìm công suất tối ưu cho phần bị ảnh hưởng. Trong khi đó, MPPT còn lại vẫn tiếp tục hoạt động với công suất tối đa cho phần giàn pin không bị ảnh hưởng. Tổng công suất của hệ thống là tổng của hai MPPT, do đó mức sụt giảm thấp hơn rất nhiều.

Kịch bản mô phỏng cho thấy ưu điểm của cấu hình Dual-MPPT trong việc tối ưu hóa công suất, ngay cả trong điều kiện lý tưởng và điều kiện bị che bóng. Nó có khả năng khai thác được nhiều năng lượng hơn so với Single-MPPT, đặc biệt là ở điều kiện bức xạ cao.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày thành công việc thiết kế, xây dựng mô phỏng và đánh giá hiệu quả của một bộ điều khiển sạc Dual-MPPT cho hệ thống lưu trữ năng lượng mặt trời thông. Kết quả mô phỏng đã chứng minh một cách rõ ràng những ưu điểm vượt trội của cấu trúc Dual-MPPT so với cấu trúc Single-MPPT truyền thống, đặc biệt trong khi các hệ thống quang điện gặp phải hiện tượng che bóng một phần.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Ishaque and Z. Salam (2013), *A comprehensive review on maximum power point tracking criteria for photovoltaic systems under partial shading conditions*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.19, pp.425-442.
- [2] T. Eseram and P. L. Chapman (2007), *Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.22, No.2, pp.439-449.
- [3] H. Patel and V. Agarwal (2008), *A new algorithm for global maximum power point tracking under partial shading conditions for photovoltaic systems*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.55, No.4, pp.1689-1698.
- [4] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg (2005), *A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.41, No.5, pp.1292-1306.

- [5] Võ Ngọc Vinh, Phạm Hồng Sơn, Nguyễn Vũ Quỳnh (2020), *Nghiên cứu cải tiến giải thuật dò tìm điểm công suất cực đại của tấm pin năng lượng mặt trời sử dụng thuật toán BAT và bộ điều khiển mờ*, Tạp chí Khoa học Lạc Hồng, Số 13, tr.1-6.
- [6] Nguyễn Thái Sơn, Nguyễn Chánh Nghiệm, Quách Ngọc Thịnh (2023), *Nghiên cứu các thuật toán dò tìm điểm công suất cực đại P&O và FLC cho máy phát điện gió PMSG*, Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, Tập 59, tr.216-225.
- [7] Go Solar California (2018), *PV Module List (Simplified Data)*. [Online]. Available: <https://www.itsolar.com/files/128188368.pdf>

Ngày nhận bài:	05/08/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	26/08/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	04/09/2025
Ngày duyệt đăng:	04/09/2025