

NÂNG CAO HIỆU SUẤT PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI KẾT HỢP VỚI HỆ THỐNG BƠM NƯỚC TƯỚI

ENHANCE ENERGY SOLAR CELL WITH COMPATIBILITY WATER PUMP SYSTEM

Lương Xuân Trường¹,
Nguyễn Tùng Linh^{2*}, Trương Việt Anh¹

TÓM TẮT

Các hệ thống pin mặt trời công suất vừa và nhỏ có thể vận hành độc lập sẽ là những hệ thống năng lượng điện phù hợp cho việc cung cấp điện cho các vùng mà lưới điện khó có thể cung cấp được. Bài báo này đề xuất phương pháp nghiên cứu tối đa hóa công suất hệ thống mặt trời công suất nhỏ và vận hành độc lập dùng trong bơm nước tưới tiêu bằng cách vừa biến đổi điện áp vừa thay đổi tổng trở tải. Kết quả nghiên cứu ban đầu đã được thực nghiệm dựa trên mô phỏng trên PSIM và một mô hình thực tế sử dụng 3 động cơ DC.

Từ khóa: Hệ thống bơm nước dùng pin mặt trời; dò điểm công suất cực đại; bộ biến đổi điện áp DC - DC; động cơ một chiều; điều khiển ổn áp.

ABSTRACT

Independent PV system with small and moderate power is the suitable solution for these areas, which are far away from the grid. This paper propose a new method to optimize the power of the small independent PV systems for irrigation by combining voltage converter with load impedance adjustment. The initial results are tested on a PSIM simulation model and one prototype using 3 DC motors.

Keywords: PV pumping system, MPPT, DC - DC converter, DC motor, voltage regulator.

¹Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật TP.HCM

²Trường Đại học Điện lực

*Email: linhnt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/10/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2019

1. GIỚI THIỆU

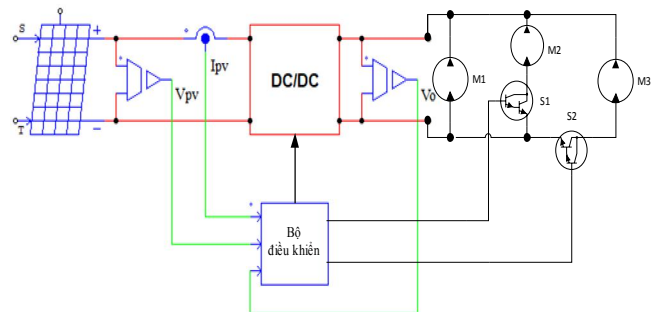
Cùng với sự biến đổi khí hậu và phát triển đập thủy điện ở ngoài biên giới Việt Nam, nhu cầu cung cấp nước tưới tiêu cho nông nghiệp ngày càng gặp khó khăn khi các hệ thống tưới tiêu cho vùng sâu vùng xa ở đồng bằng sông Cửu Long không còn đủ khả năng tự chảy [1]. Vì vậy, để đảm bảo nước cho khu vực này cần có một hệ thống tưới tiêu có chi phí thấp và hiệu quả. Tuy nhiên, việc kéo điện để lập các trạm bơm và hệ thống dẫn nước ở vùng này cần có chi phí khá lớn. Việc xây dựng các trạm bơm lưu động, công suất nhỏ tỏ ra phù hợp với nhu cầu và kinh phí của người dân địa phương. Các hệ thống pin quang điện (PV) độc lập,

không lưu trữ phù hợp hơn hệ thống bơm bằng nhiên liệu hóa thạch.

Vấn đề lớn nhất trong việc sử dụng pin quang điện là làm sao để lấy được công suất cực đại, do đặc điểm công suất phát phụ thuộc vào điều kiện môi trường của tấm pin. Hiện nay phương pháp dò điểm cực đại phổ biến nhất là biến đổi điện áp [2]. Một bản so sánh các giải thuật MPPT đơn giản đã được thể hiện trong [3] cho thấy phương pháp dò theo đạo hàm $\Delta P/\Delta V$ là tối ưu nhất trong các phương pháp được khảo sát. Tuy nhiên, công suất phát trong ngày của pin mặt trời biến động rất mạnh, dẫn tới việc phải lựa chọn thiết bị bơm có phạm vi điện áp hoạt động lớn tương ứng. Điều kiện này trở nên bất khả thi với các thiết bị dân dụng đồng thời hiệu suất của động cơ bị giảm mạnh. Bài báo [3] đề xuất một phương án kết hợp với acquy để có thể tạo ra một bus DC ổn áp mà vẫn thu được công suất tối đa. Nhược điểm của phương pháp này là chi phí đầu tư và chi phí vận hành tăng lên do phải thay acquy. Chính vì vậy, bài báo này đề xuất một phương án mới chia tải thành nhiều động cơ vừa dò điểm cực đại bằng bộ biến đổi điện áp vừa thay đổi số động cơ tùy vào cường độ bức xạ.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

Hệ thống đề xuất được mô tả trong hình 1. Trong đó, bộ điều khiển đóng vai trò điều khiển 3 tham số: Hệ số biến đổi điện áp và 2 trong số 3 động cơ tải, động cơ còn lại nối trực tiếp với hệ thống. Số động cơ hoạt động phụ thuộc vào công suất lớn nhất của nguồn phát.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống

2.1. Mô hình Pin mặt trời

Một module pin mặt trời gồm nhiều tế bào quang điện được ghép nối tiếp và song song với nhau. Mô hình toán

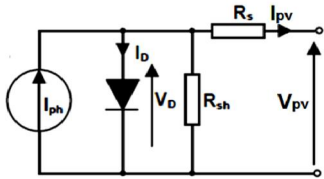
của một tế bào quang điện thường sử dụng là mô hình 1 diode như hình 2. Nguồn phát là một nguồn dòng mắc song song ngược với diode và 2 điện trở mắc nối tiếp và song song đại diện cho tổn hao của tấm pin. Áp dụng định luật Kirchoff ta có công thức cho 1 cell như sau:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{Rsh} \tag{1}$$

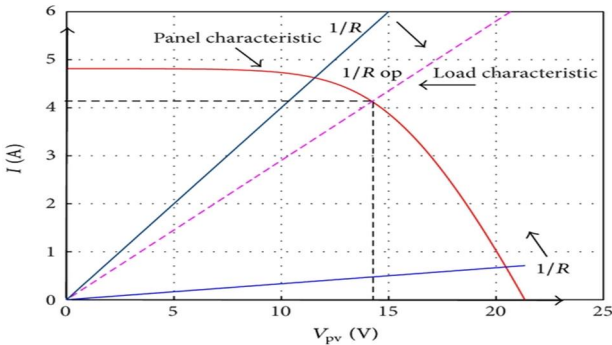
Từ (1) ta tổng quát thành công thức cho 1 module pin mặt trời:

$$I_{pv} = N_p \cdot I_{ph} - P_1 \cdot E [1 + P_2 (E - E_{ref}) + P_2 (T_{TC} - T_{ref}) - N_p \cdot I_{rs} \cdot [\exp(\frac{V}{A \cdot N_s \cdot V_T}) - 1]] \tag{2}$$

Trong đó, N_p và N_s lần lượt là số tấm pin mắc nối tiếp và song song với nhau, I_{ph} là dòng điện tạo ra bởi hiệu ứng quang điện phụ thuộc vào cường độ bức xạ, q là điện tích của 1 electron ($1,02 \cdot 10^{-19}C$), A là hệ số lý tưởng của diode và T là nhiệt độ của môi trường ($^{\circ}C$).



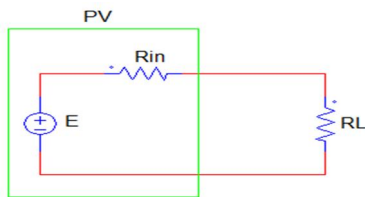
Hình 2. Mô hình tế bào quang điện



Hình 3. Điểm hoạt động của hệ PV

Để đơn giản, việc mô hình hóa một hệ thống PV thường sử dụng với tải trở. Hình 3 biểu diễn quan hệ giữa tải và một đặc tuyến điển hình của một tấm pin PV. Điểm làm việc của hệ thống chính là giao điểm giữa đường I - V của tấm pin và đường đặc tính của tải ($I = U/R$).

2.2. Dò điểm cực đại của Pin mặt trời



Hình 4. Sơ đồ tương đương pin mặt trời nối tải

Áp dụng các phép biến đổi tương đương Thevenin - Norton, mô hình tương đương được chia làm hai trường hợp. Trường hợp 1, điện áp trên R_{sh} lớn hơn điện áp phân cực thuận của diode, diode dẫn, $I_{pv} = 0$. Ngược lại, diode

không dẫn, biến đổi nguồn dòng I_{ph} thành 1 nguồn áp ta có sơ đồ như hình 4 với:

$$E = I_{ph} \cdot R_{sh} \tag{3}$$

$$R_{in} = R_{sh} + R_s \tag{4}$$

Công suất tiêu thụ trên tải được tính bằng công thức:

$$P_L = UI = (\frac{E}{R_{in} + R_L})^2 \cdot R_L = E^2 \cdot \frac{R_L}{(R_s + R_L)^2} \tag{5}$$

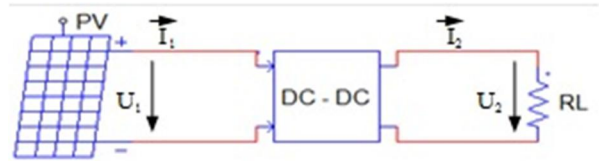
Điều kiện cần để công suất trên tải đạt cực đại là đạo hàm P_L bằng 0:

$$P'_L = 0 \Leftrightarrow E^2 \cdot \frac{R_s - R_L}{(R_s + R_L)^3} = 0 \Rightarrow R_{in} = R_L \tag{6}$$

Công thức trên là điều kiện để đạt được công suất cực đại trên tấm pin với R_s là nội trở của pin PV ứng với bức xạ và nhiệt độ tại thời điểm t . Tuy nhiên, trong thực tế điều kiện môi trường (bức xạ và nhiệt độ) biến thiên liên tục theo thời gian. Nói cách khác, nội trở R_{in} không phải là hằng số. Ý nghĩa của bài toán dò điểm công suất cực đại (MPPT) là biến đổi tổng trở tải sao cho điện trở biến đổi được có giá trị bằng với R_{in} tại thời điểm đang xét. Hiện nay, phương pháp phổ biến nhất là biến đổi điện áp.

2.3. Sử dụng bộ biến đổi điện áp DC

Khi đặt bộ biến đổi điện áp DC - DC làm mạch trung gian giữa nguồn pin mặt trời và tải, ta có thể quy đổi toàn bộ mạch điện phía sau tấm pin thành một điện trở tương đương RL' với công suất vào và công suất ngõ ra của mạch DC - DC là hằng số. Việc tính toán biến đổi điện trở tương đương của hệ thống tương tự như trong các máy biến áp. Ta có sơ đồ khối của hệ thống như hình 5, điện áp đặt trên tấm pin U_1 , dòng điện đi từ tấm pin vào bộ biến đổi I_1 , điện áp và dòng điện trên tải U_2, I_2 .



Hình 5. Sơ đồ khối bộ biến đổi điện áp nối pin mặt trời

Điện trở tương đương của tải nhìn từ tấm pin:

$$RL' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 / k}{k I_2} = \frac{U_2}{I_2} \cdot \frac{1}{k^2} = \frac{RL}{k^2} \tag{7}$$

Như vậy, khi thay đổi tỉ số điện áp k , điện trở tương đương nối với pin PV cũng đồng thời thay đổi. Ta có thể điều chỉnh công suất trên tải bằng cách thay đổi hệ số k .

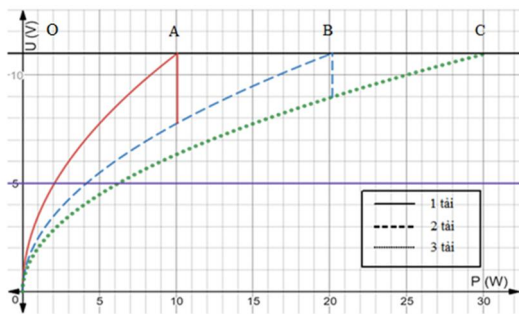
Đối với một mạch tăng áp cơ bản như hình 6, hệ số k được điều chỉnh bằng cách thay đổi thời gian dẫn của khóa điện trong một chu kỳ. Quan hệ điện áp được tính theo công thức:

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 - D} \tag{8}$$

Với D là hệ số chu kỳ của khóa điện (%).

2.4. Thay đổi tải

Nhờ các bộ biến đổi điện áp MPPT, hệ thống có thể thu được công suất cực đại trong thời gian ngắn. Tuy nhiên, việc chỉ sử dụng thuần các bộ biến đổi điện áp có nhược điểm lớn là điện áp trên tải thay đổi rất mạnh, trong khi các thiết bị dân dụng công suất nhỏ thường có tầm điện áp hoạt động rất bé, chính tầm điện áp này tạo ra một rào giới hạn về mật công suất không để thiết bị hư hỏng do quá áp.



Hình 6. Đồ thị P - V khi thay đổi tải

Để điện áp nằm trong phạm vi cho phép mà vẫn có được công suất lớn nhất, phương pháp chia phụ tải thành nhiều tải nhỏ có thể được sử dụng. Trong nghiên cứu này, do tính phức tạp các tác động của quá trình quá độ khi khởi động động cơ không được xét đến.

Giả sử hệ thống đang chạy với n động cơ, gọi U(n) là điện áp trên tải với số động cơ đang hoạt động là n. Ta có điều kiện để bật thêm động cơ là khi điện áp tải lớn hơn giá trị cho phép:

$$U(n) > 1,1U_{dm}$$

Điều kiện để cắt giảm số động cơ là khi thiếu áp:

$$U(n) < 0,6U_{dm}$$

Tuy nhiên, muốn đạt hiệu suất tối đa cần thỏa mãn điều kiện điện áp động cơ không phải là điện áp lớn nhất trong phạm vi cho phép. Hay nói cách khác, khi n giảm đi 1 thì động cơ vẫn không bị quá áp $U_{(n-1)} < 1,1U_{dm}$. Giả sử đặc tính của mỗi động cơ là tuyến tính và như nhau, ta được:

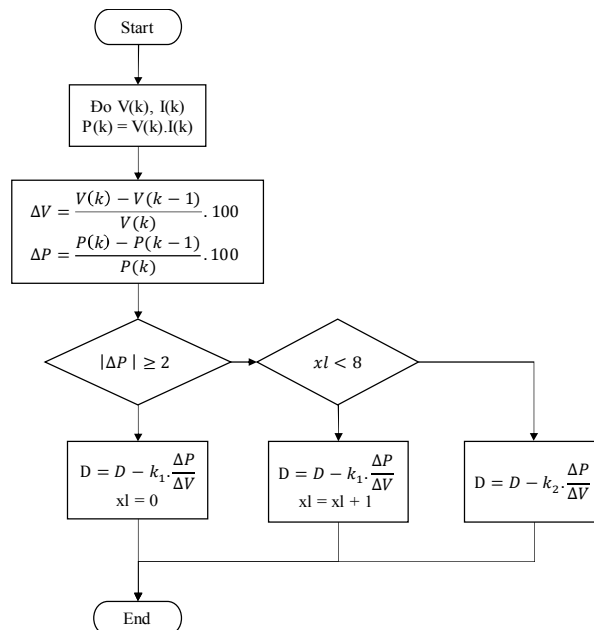
$$U_{(n-1)} = \frac{n}{n-1}U_n \Rightarrow \frac{n}{n-1}U_n < 1,1U_{dm}$$

$$\Rightarrow U_n < \frac{n-1}{n} \cdot 1,1U_{dm}$$

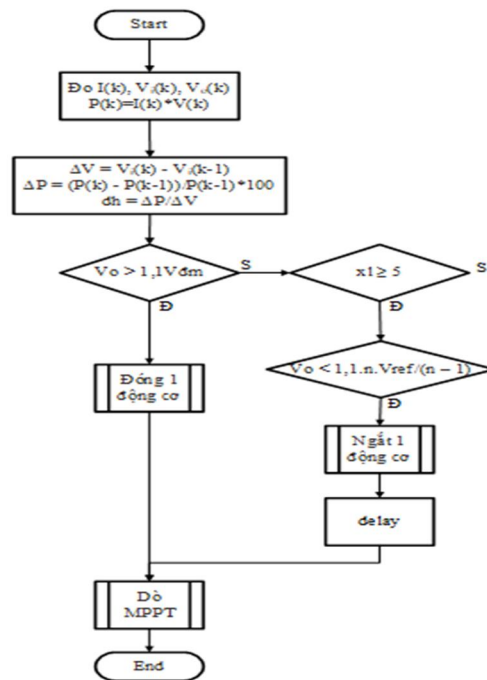
Hệ thống cần phải cắt giảm tải khi thỏa mãn một trong hai điều kiện trên.

Ngoài ra, trong các ứng dụng điều khiển động cơ, khi cường độ bức xạ xuống thấp, điện áp đặt vào 2 đầu cực của động cơ cũng giảm theo do không có đủ công suất từ nguồn mặt trời. Như vậy, khi đó momen sinh ra bị giảm đáng kể. Với các hệ thống năng lượng mặt trời nhỏ không sử dụng acquy, nếu chỉ sử dụng một động cơ có khả năng sẽ không khởi động được. Điều này dẫn đến hiệu suất của hệ thống thấp hơn tính toán do chỉ hoạt động ở mức bức xạ trung bình trở lên. Do vậy, mô hình bài báo đề xuất lựa chọn kết hợp hai phương án trên vừa sử dụng mạch biến đổi điện áp vừa có thể linh hoạt thay đổi số động cơ.

3. PHƯƠNG PHÁP NÂNG CAO HIỆU SUẤT PIN MẶT TRỜI KẾT HỢP VỚI BƠM NƯỚC



Hình 7. Sơ đồ giải thuật dò điểm cực đại kết hợp điều khiển số động cơ



Hình 8. Thuật toán điều khiển số lượng bơm

Bài báo đề xuất một lưu đồ giải thuật cho mô hình bơm nước bằng năng lượng mặt trời có bộ dò điểm công suất cực đại kết hợp với điều khiển số động cơ chạy theo công suất đầu vào như sau: Gọi n là số động cơ đang chạy, U(k - 1), I(k - 1) là điện áp và dòng điện tại lần đo thứ (k - 1), U(k) và I(k) là điện áp và dòng điện tại lần đo thứ k. Đầu tiên, bộ điều khiển tiến hành dò MPPT bằng giải thuật P&O thích nghi (hình 7) với độ rộng xung D được điều khiển tỉ lệ với đạo hàm của P theo V. k₁ và k₂ lần lượt là các hệ số tỉ lệ điều chỉnh sự thay đổi của D trong trường hợp nằm xa

điểm cực trị ($x_1 < 8$) và gần cực trị ($x_1 = 8$). Trong quá trình dò MPPT, từ đặc tuyến thay đổi tải ta có các kịch bản sau:

- Quá áp: khi điện áp lớn hơn $1,1U_{đmV}$ hệ thống cho đóng thêm một động cơ nữa.
- Thấp áp: sau khi có điểm cực đại, điện áp động cơ nhỏ hơn $0,6U_{đmV}$, khóa điện cho ngắt một động cơ.
- Điện áp trong phạm vi cho phép: $U = (0,6 - 1,1)U_{đmV}$ kiểm tra điều kiện số động cơ đang chạy trong phạm vi điện áp cho phép là ít nhất, nếu chưa thỏa điều kiện thì giảm một động cơ.

Từ kịch bản trên, ta có lưu đồ điều khiển số bơm như hình 8.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Mô hình bài toán cụ thể đòi hỏi phải thiết kế một hệ thống bơm nước đáp ứng được các yêu cầu như sau: Bể chứa có thể tích là $15m^3$, chiều cao cột áp là 5m, cần bơm đầy bể trong 10 giờ. Với yêu cầu như trên, hệ thống có:

- Lưu lượng nước: $Q = 2,78.10^{-4}m^3/s$;
- Công suất bơm: $P_{bơm} = 17W$
- Công suất động cơ: $P_{đ/c} = 21,3W$
- Công suất tấm pin $P_{pv-p} = 60W$

Đối với các tấm pin mặt trời ngày nay, mức bức xạ tối thiểu để có thể thu được công suất là $200W/m^2$, vì từ mức bức xạ này, nội trở tấm pin mới bắt đầu thay đổi tuyến tính. Như vậy, thiết kế lựa chọn phương án sử dụng 3 động cơ để đảm bảo hiệu suất chuyển đổi năng lượng thu được là lớn nhất.

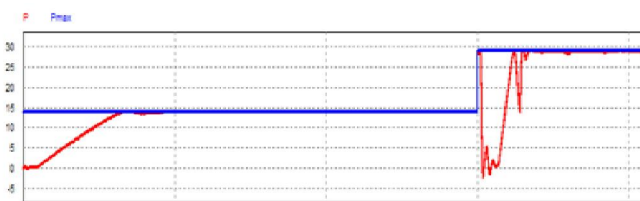
Với thiết kế và lý thuyết phía trên, một mạch mô phỏng đã được thực thi bằng phần mềm PSIM. Phương án điều khiển để xuất nằm trong hình 9.

Các thông số sử dụng trong mạch mô phỏng:

- Công suất đỉnh của pin mặt trời tại $1000W/m^2$: 60Wp
- Điện áp tại điểm cực đại: 17,6V
- Dòng điện tại điểm cực đại: 3,4A
- Nhiệt độ trên tấm pin: $T = 25^{\circ}C$
- Điện áp định mức động cơ: 48V
- Công suất định mức mỗi động cơ: 22W
- Giới hạn điện áp tối đa trên động cơ: 53V

Các hình từ 9 đến 12 biểu thị kết quả mô phỏng dựa trên 4 thí nghiệm thay đổi cường độ bức xạ ứng với số tải ưu từ 1 tải lên 2 tải, từ 1 tải lên 3 tải và ngược lại. Các kết quả thu được bao gồm công suất thu được so với công suất cực đại, dòng điện trên mỗi tải về điện áp ra.

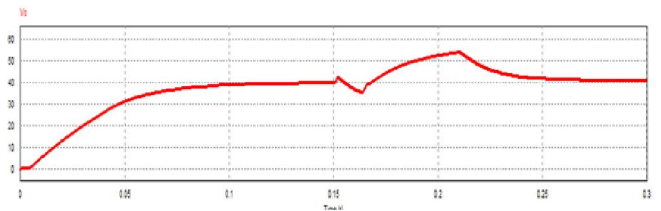
Kết quả mô phỏng 1: Tăng công suất đỉnh từ 15W lên 30W (từ 1 tải lên 2 tải):



(a) $P_{thực\ tế}$ so với $P_{l\ i\ thuyết}$



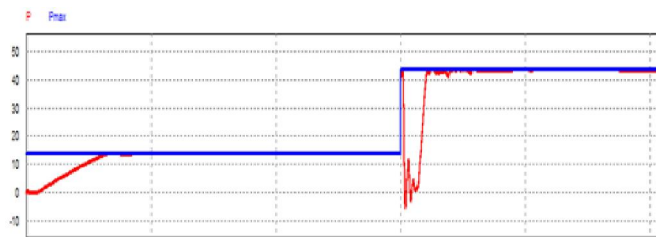
(b) Dòng điện trên mỗi tải



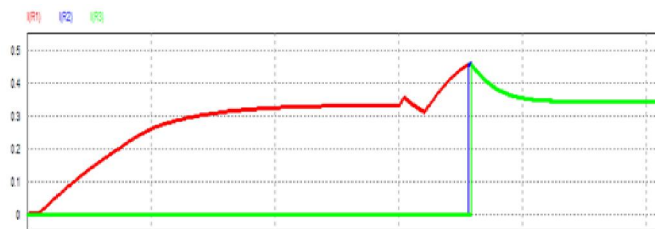
(c) Điện áp ngõ ra

Hình 9. Kết quả mô phỏng tăng từ 1 tải lên 2 tải

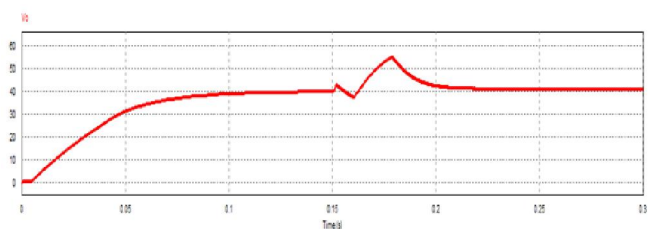
Kết quả mô phỏng 2: Tăng công suất đỉnh thay đổi từ 15W lên 45W



(a) $P_{thực\ tế}$ so với $P_{l\ i\ thuyết}$



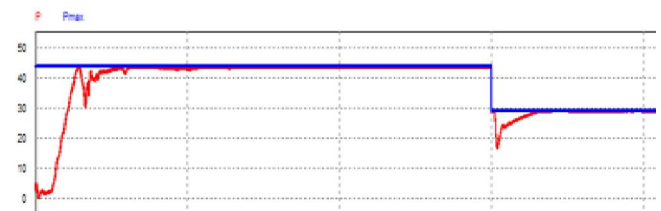
(b) Dòng điện trên mỗi tải



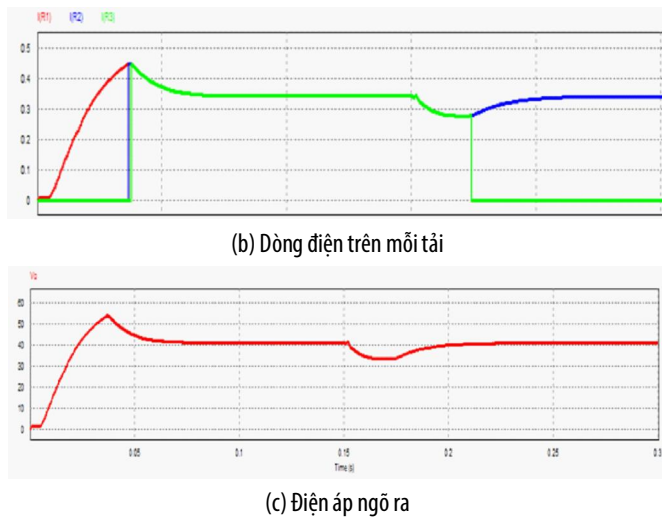
(c) Điện áp ngõ ra

Hình 10. Kết quả mô phỏng tăng từ 1 tải lên 3 tải

Kết quả mô phỏng 3: Giảm công suất đỉnh trên tấm pin từ 45W xuống 30W (từ 3 động cơ cắt giảm đi 1 động cơ).

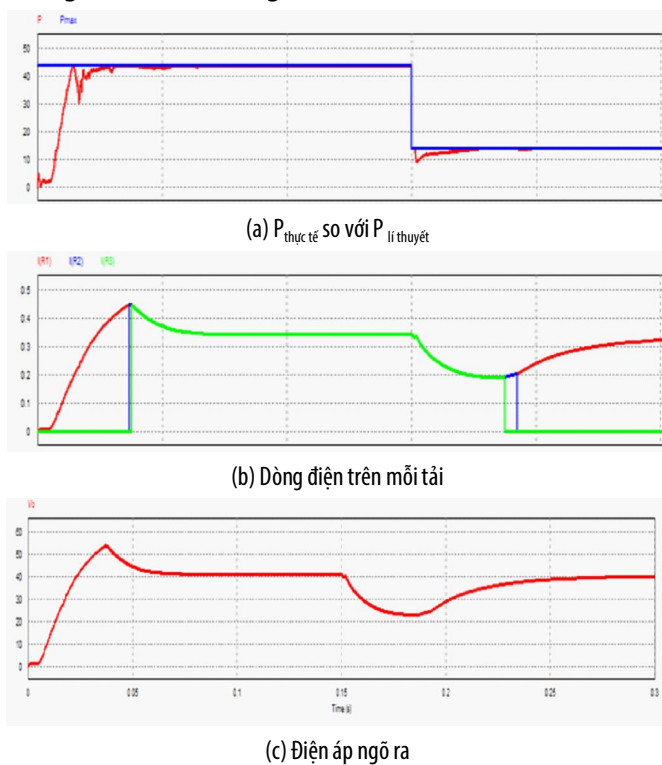


(a) $P_{thực\ tế}$ so với $P_{l\ i\ thuyết}$



Hình 11. Kết quả mô phỏng tăng từ 1 tải lên 3 tải

Kết quả mô phỏng 4: cho bức xạ giảm mạnh (công suất đỉnh giảm từ 45W xuống 15W).



Hình 12. Kết quả mô phỏng tăng từ 1 tải lên 3 tải

Qua các thí nghiệm trên, ta có thể rút ra các nhận xét sau:

- Ở tất cả các thí nghiệm mô phỏng, hệ số khuếch đại điện áp ban đầu là giống nhau nhưng công suất cực đại lý thuyết là khác nhau dẫn đến điểm hội tụ sau đó với mỗi mức công suất là khác nhau. Tuy nhiên, thời gian để dò ra điểm công suất cực đại của hệ thống gần như bằng nhau với tất cả các trường hợp (0,03s). Đây là một điểm cải tiến so với giải thuật P&O truyền thống có thời gian hội tụ phụ thuộc vào khoảng cách giữa điểm làm việc ban đầu và điểm làm việc cực đại.

- So với những biến động nhỏ, độ chính xác khi dò lại điểm công suất cực đại cao hơn và mức độ dao động công suất đầu vào thấp hơn.

- Thời gian giải thuật dò ra điểm cực đại khi bức xạ giảm xuống nhanh hơn 10% so với khi bức xạ tăng lên do điểm làm việc của tấm pin di chuyển về bên trái điểm cực đại là vùng có độ dốc của P theo V thấp hơn nên nằm gần điểm cực đại mới hơn so với khi tăng cường độ bức xạ.

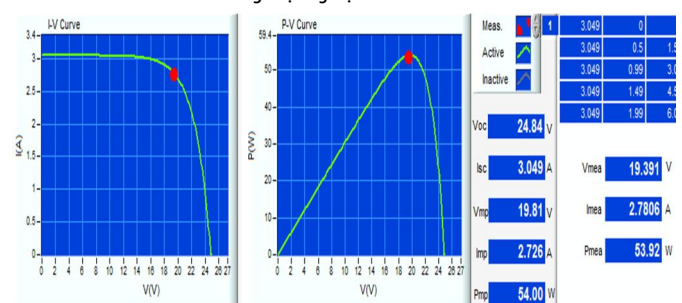
- Quá trình điều khiển ngắt động cơ ra khỏi mạch diễn ra chậm hơn so với khi đóng động cơ vào do sự khác nhau về điều kiện đóng/ngắt: để ngắt động cơ cần phải chờ hệ thống dò ra điểm cực đại còn điều kiện đóng thì không.

Kết quả thực nghiệm:

Bằng các thí nghiệm tương tự trên, một mô hình thí công thực nghiệm đã được kiểm chứng (hình 13). Mô hình sử dụng vi xử lý Arduino Uno R3, công suất của tấm pin thực nghiệm là 60Wp và lần lượt thực nghiệm thay đổi ở 3 mức cường độ bức xạ: 200W/m², 600W/m² và 900W/m². Điểm làm việc của tấm pin tại bức xạ 900W/m² được ghi lại nhờ bộ mô phỏng pin mặt trời Chroma Simulation Array là điểm màu đỏ trong hình 14. Theo hình 14, công suất thu được là 53,9W so với công suất cực đại lý thuyết là 54W. Số động cơ chạy trong trường hợp này là 3 động cơ.



Hình 13. Mô hình thí công thực nghiệm



Hình 14. Kết quả đo được và ghi lại trên máy tính

Các kết quả của thí nghiệm thực hiện với mô hình trong hình 14 được đo và ghi lại các thông số điện ở đầu vào và đầu ra của bộ chuyển đổi điện áp. Trên thực tế, thời gian ổn định của bộ biến đổi chậm hơn so với khi mô phỏng do phải giới hạn của mạch đo lường. Ngoài ra, các thông số còn lại cho thấy tương đồng với các tính toán lý thuyết và kết quả mô phỏng.

5. KẾT LUẬN

Phương pháp đề xuất đã nâng cao được hiệu suất công suất của pin mặt trời khi có sự thay đổi bức xạ nhiệt thông qua việc tìm điểm cực đại kết hợp với việc lựa chọn số

lượng bơm phù hợp với điểm cực đại tương ứng. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm trong các trường hợp thay đổi bức xạ cho thấy phương pháp đề xuất đã giảm được phạm vi dao động điện áp trong khi vẫn lấy được công suất cực đại nâng cao hiệu suất của hệ thống bơm PV.

Vi điều khiển Arduino sử dụng trong mô hình có ưu điểm dễ sử dụng nhưng lại không phù hợp cho những hệ thống phức tạp. Do đó để mở rộng hệ thống đề xuất cần sử dụng vi điều khiển phù hợp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Tiến Thái, Nguyễn Tuấn Anh, Lê Chí Nguyễn, 2012. *Nghiên cứu xác định mô hình bơm hợp lý cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, S. 36.

[2]. B. Nayak, A. Mohapatra, and K. B. Mohanty, 2017. *Selection criteria of dc-dc converter and control variable for MPPT of PV system utilized in heating and cooking applications*. Cogent Eng., vol. 4, no. 1, pp. 1–16, 2017.

[3]. Sumanth Pala, S. P. Singh Praveen, 2012. *Design, Modeling and Implementation of Bi-directional Buck and Boost Converter*. IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (IICPE).

[4]. O. Bingol, A. Altinta, and Y. Oner, 2006. *Microcontroller based solar-tracking system and its implementation*. Journal of Engineering Sciences, vol. 12, pp. 243–248, 2006.

[5]. R. U. Rahman, D. I. Ahmed, M. A. Fahmi, T. Tasnuva, M. F. Khan, 2009. *Performance Enhancement of PV solar system by Diffused Reflection*. Intl. Conf. on the Developments in Renewable Energy Technology, pp. 96-99, December, 2009.

AUTHORS INFORMATION

Luong Xuan Truong¹, Nguyen Tung Linh², Truong Viet Anh¹

¹Ho Chi Minh City University of Technology and Education

²Electric Power University