

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG LÔGIC MỜ TRONG ĐIỀU KHIỂN BĂM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI CHO HỆ THỐNG QUANG ĐIỆN ĐỘC LẬP CÔNG SUẤT NHỎ

RESEARCH ON FUZZY LOGIC APPLICATION IN MAXIMUM POWER POINT TRACKING CONTROL FOR SMALL-CAPACITY STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Đỗ Thành Hiếu<sup>1</sup>, Nguyễn Hữu Cường<sup>1</sup>,  
Phạm Văn Cường<sup>2,3,\*</sup>, Trần Minh Hải<sup>3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huinh5804.2025.277>

## TÓM TẮT

Bài báo ứng dụng logic mờ vào điều khiển theo dõi điểm công suất cực đại (MPPT - Maximum Power Point Tracking) trong hệ thống quang điện độc lập công suất nhỏ. Đầu tiên, mô hình toán học và đặc tuyến của tấm pin mã hiệu RS-P630-230 được thiết lập và khảo sát dưới sự thay đổi của điều kiện môi trường gồm nhiệt độ và cường độ chiếu sáng mặt trời. Tiếp theo, bộ điều khiển logic mờ được phân tích và thiết kế với hai tín hiệu đầu vào là sự thay đổi điện áp ( $\Delta V$ ) và công suất ( $\Delta P$ ) đầu ra tấm PV, sử dụng 5 biến ngôn ngữ và 25 luật hợp thành. Mô hình hệ thống quang điện độc lập với thuật toán MPPT để xuất dựa trên logic mờ và thuật toán MPPT nhiễu loạn & quan sát (P&O - Perturbation and Observation) được triển khai trên Matlab nhằm so sánh hiệu quả giữa chúng. Từ kết quả mô phỏng trong các kịch bản khác nhau cho thấy thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ đạt hiệu suất trên 99,5%, giúp giảm đáng kể dao động công suất và cải thiện thời gian đáp ứng nhanh hơn 50% so với thuật toán P&O khi cường độ chiếu sáng đột ngột thay đổi. Nghiên cứu này khẳng định rằng việc ứng dụng kỹ thuật điều khiển logic mờ cho thuật toán MPPT trong hệ thống quang điện độc lập giúp nâng cao hiệu suất, đồng thời thúc đẩy khả năng khai thác điện mặt trời ngày một tối ưu, bền vững và kinh tế hơn.

**Từ khóa:** Hệ thống quang điện, theo dõi điểm công suất cực đại, logic mờ, bộ giảm áp.

## ABSTRACT

The paper applies fuzzy logic to Maximum Power Point Tracking (MPPT) control in a standalone photovoltaic (PV) system with small capacity. First, the mathematical model and characteristics of the RS-P630-230 solar panel are established and analyzed under varying environmental conditions, including temperature and solar irradiance. Next, the fuzzy logic controller is analyzed and designed with two input signals, namely output voltage variation ( $\Delta V$ ) and output power variation ( $\Delta P$ ) of the PV panel, utilizing five linguistic variables and 25 fuzzy rules. The standalone photovoltaic system model, incorporating the proposed fuzzy logic-based MPPT algorithm and the Perturbation and Observation (P&O) MPPT algorithm, is implemented in Matlab to compare their effectiveness. The simulation results across different scenarios indicate that the proposed fuzzy logic-based MPPT algorithm achieves an efficiency of over 99.5%, significantly reducing power fluctuations and improving response time by 50% compared to the P&O algorithm, particularly when solar irradiance fluctuates abruptly. This study confirms that applying fuzzy logic control techniques to the MPPT algorithm in standalone photovoltaic systems enhances efficiency while promoting more optimal, sustainable, and cost-effective solar energy utilization.

**Keywords:** Photovoltaic system, Maximum power point tracking (MPPT), Fuzzy logic (FL). Buck converter.

<sup>1</sup>Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Trường Đại học Thái Bình

\*Email: [cuongpv0610@hau.edu.vn](mailto:cuongpv0610@hau.edu.vn)

Ngày nhận bài: 25/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 24/6/2025

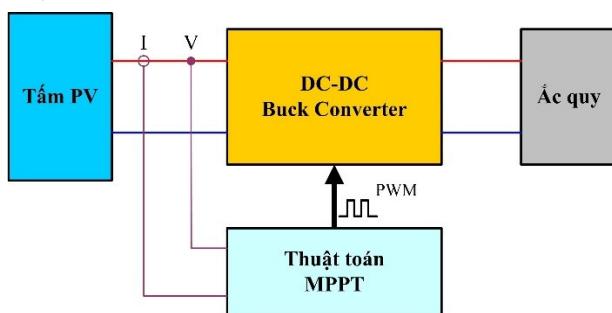
Ngày chấp nhận đăng: 28/7/2025

## 1. MỞ ĐẦU

Năng lượng mặt trời đang dần trở thành giải pháp quan trọng trên toàn cầu nhằm đối phó với những thách thức năng lượng và sinh thái hiện nay. Với đặc tính xanh, sạch, bền vững và không phát khí thải độc hại, năng lượng mặt trời dần trở thành giải pháp tối ưu nhằm giải quyết nhu cầu ngày càng tăng về năng lượng của con người [1]. Trên phạm vi toàn cầu, xu hướng khai thác năng lượng mặt trời đang được đẩy mạnh và đóng vai trò then chốt trong chính sách phát triển năng lượng lâu dài.

Với điều kiện khí hậu nhiệt đới thuận lợi và lượng bức xạ mặt trời phong phú tại Việt Nam, việc lắp đặt các hệ thống điện năng lượng mặt trời ngày càng nhiều, chủ yếu tập trung ở khu vực miền Nam và miền Trung [2-6]. Cả hệ thống năng lượng điện mặt trời trên mái và nhà máy điện mặt trời với quy mô công nghiệp đều đang góp phần giảm sự phụ thuộc vào nguồn điện truyền thống, đồng thời hỗ trợ cam kết với quốc gia về giảm thiểu phát thải khí nhà kính. Nhưng do những hạn chế về chính sách, công nghệ và tài chính nên năng lượng điện mặt trời ở Việt Nam vẫn chưa đạt được tính bền vững. Hiện tại, các hệ thống quang điện độc lập với công suất nhỏ chủ yếu được nghiên cứu, triển khai và lắp đặt cho các hộ gia đình ở khu vực vùng sâu vùng xa chưa được phủ điện lưới quốc gia, đèn đường, chiếu sáng sân vườn,...

Hình 1 mô tả cấu trúc tổng thể của hệ quang điện độc lập công suất nhỏ được nhóm nghiên cứu. Hệ thống bao gồm một tấm pin quang điện (Photovoltaic - PV) bán trên thị trường với công suất khoảng 230W, bộ biến đổi giảm áp (Buck converter) và bình ắc quy dùng để tích trữ năng lượng.



Hình 1. Cấu trúc tổng thể mô hình hệ thống nghiên cứu

Hiệu suất chuyển đổi của hệ thống PV thường bị hạn chế do công suất của tấm pin phụ thuộc bởi nhiệt độ môi trường và cường độ chiếu sáng của mặt trời, dẫn đến tổn thất năng lượng có thể lên tới 25% so với giá trị danh định. Để nâng cao hiệu suất chuyển đổi, việc áp dụng thuật toán theo dõi điểm công suất cực đại của tấm pin (MPPT - Maximum Power Point Tracking) là giải pháp hiệu

quả [7-20]. Tuy nhiên, sự biến động trong ngày của nhiệt độ môi trường và cường độ chiếu sáng của mặt trời khiến quá trình theo dõi và bám sát MPPT trở nên khó khăn. Thuật toán MPPT với bài toán đơn điểm công suất cực đại cho hệ thống PV độc lập công suất nhỏ đã nghiên cứu và được đề xuất nhiều, trong đó thường gặp nhất là thuật toán nhiễu loạn và quan sát (Perturb and Observe - P&O) [7-10] và dẫn điện gia tăng (Incremental Conductance - INC) [11-14]. Các thuật toán này khác nhau về số lượng cảm biến đo lường, mức độ phức tạp, yêu cầu phần cứng, hiệu suất theo dõi, chi phí và nhiều yếu tố khác. Trong đó, thuật toán P&O được nghiên cứu và đưa vào sản phẩm thực tế nhiều do tính đơn giản và dễ thực hiện. Hơn nữa, trong điều kiện cường độ chiếu sáng của mặt trời và nhiệt độ môi trường ổn định, thuật toán P&O có thể đạt hiệu quả bám điểm công suất cực đại tương đương với các phương pháp phức tạp hơn. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của P&O là dao động quanh điểm MPP, làm giảm hiệu suất chuyển đổi năng lượng. Đáng chú ý, khi bức xạ mặt trời thay đổi nhanh, thuật toán P&O gần như không thể tìm và bám sát điểm công suất tối đa, dẫn đến giảm tốc độ phản hồi hệ thống.

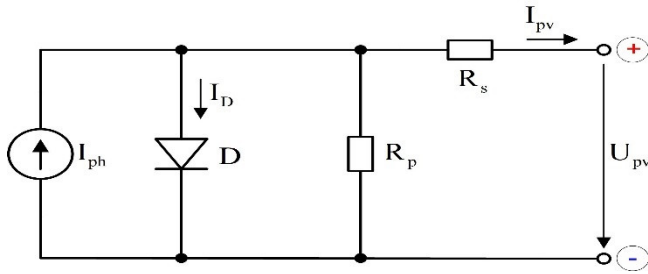
Với cấu hình hệ thống quang điện độc lập công suất nhỏ, để khắc phục khó khăn trong việc lựa chọn giá trị bước nhảy tối ưu đối với thuật toán P&O, một số tác giả đã đề xuất thuật toán MPPT dựa trên điều khiển mờ [15-20]. Cụ thể, trong công bố [15] đã thiết kế cho bộ điều khiển logic mờ với cặp thông số đầu vào là  $\Delta V$  và  $dP/dV$ , trong khi bài báo [17] sử dụng  $\Delta V$  và  $\Delta P$ , còn các bài báo [18-20] lựa chọn  $E = \Delta P/\Delta V$  và  $\Delta E = E(t) - E(t-1)$ , với cùng tín hiệu đầu ra là tỉ số chu kỳ  $D$ . Từ kết quả mô phỏng ở các nghiên cứu [15-20], có thể thấy rằng sự lựa chọn tín hiệu đầu vào và dải giá trị thay đổi của chúng chưa thực sự tối ưu.

Trong bài báo này, nhóm chúng tôi ứng dụng logic mờ vào tìm và theo dõi MPPT cho hệ thống PV độc lập công suất nhỏ. Thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ nhằm giải quyết hạn chế của thuật toán P&O, bao gồm dao động công suất lớn quanh MPP và thời gian đáp ứng chậm khi cường độ chiếu sáng thay đổi nhanh. Ngoài ra, hiệu suất chuyển đổi cũng được cải thiện nhờ lựa chọn hợp lý dải giá trị thay đổi đầu vào và thiết lập luật hợp thành tối ưu. Mô hình hệ thống được triển khai trên Matlab để mô phỏng nhằm đánh giá hiệu quả thuật toán MPPT dựa trên logic mờ.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC VÀ ĐẶC TÍNH CỦA TẤM PV MÃ HIỆU RS-P630-230

Tấm PV cấu tạo từ vật liệu bán dẫn, bao gồm các tế bào quang điện được ghép nối tiếp và song song. Hình 2

minh họa sơ mạch điện tương đương của một cell PV [6, 18].



Hình 2. Sơ đồ mạch điện tương đương của một cell PV

Dòng điện đầu ra cell PV được xác định dựa vào công thức:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \cdot \left\{ e^{\left[ \frac{q(U_{pv} + I_{pv} \cdot R_s)}{A \cdot K \cdot T_c} \right]} - 1 \right\} - \frac{U_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

Trong đó:  $I_{pv}$  và  $U_{pv}$  tương ứng là dòng điện và điện áp đầu ra;  $I_{ph}$  là dòng quang điện;  $I_s$  là dòng điện bão hòa;  $K$  là hằng số Boltzmann,  $K = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ;  $q$  là điện tích electron,  $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $T_c$  là nhiệt độ ở lớp tiếp giáp với đơn vị tính là Kelvin.

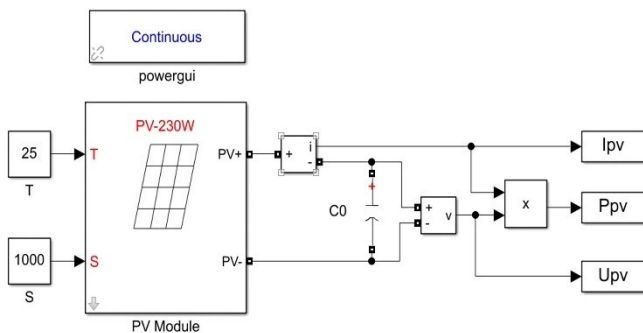
Dòng điện  $I_{ph}$  phụ thuộc vào nhiệt độ ( $T$ ) xung quanh tấm PV và cường độ chiếu sáng của mặt trời ( $S$ ), được tính bởi công thức sau:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i \cdot (T_c - T_{ref})] \cdot \frac{S}{S_{ref}} \quad (2)$$

Với  $I_{sc}$  là dòng điện ngắn mạch;  $K_i$  là hệ số nhiệt độ;  $T_{ref}$  là nhiệt độ môi trường tiêu chuẩn bằng  $25^\circ\text{C}$  và  $S_{ref}$  là cường độ chiếu sáng tiêu chuẩn bằng  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Vì giá trị điện trở  $R_s$  rất nhỏ và ngược lại điện trở  $R_p$  giá trị tương đối lớn, do đó  $I_{pv}$  có thể được xấp xỉ tính theo công thức:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \cdot \left\{ e^{\left[ \frac{q(U_{pv} + I_{pv} \cdot R_s)}{A \cdot K \cdot T_c} \right]} - 1 \right\} \quad (3)$$



Hình 3. Mô hình mô phỏng tấm pin quang điện

Dựa trên các hệ thức từ (1) đến (3), mô hình mô phỏng của tấm pin quang điện có công suất 230W đã được tiến hành xây dựng trên Matlab/Simulink, mô hình như minh họa trong hình 3. Các thông số của tấm PV mã hiệu RS-P630-230 được trình bày ở bảng 1.

Bảng 1. Bảng thông số của tấm PV mã hiệu RS-P630-230

| Thông số            | Giá trị | Thông số             | Giá trị                    |
|---------------------|---------|----------------------|----------------------------|
| Điện áp hở mạch     | 37,02V  | Hiệu suất của mô đun | 14,17                      |
| Dòng điện ngắn mạch | 8,34A   | Hệ số alpha          | 0,0004A/ $^\circ\text{C}$  |
| Điện áp cực đại     | 29,6V   | Hệ số Beta           | 0,09                       |
| Dòng điện cực đại   | 7,79A   | Hệ số Gamma          | -0,0035V/ $^\circ\text{C}$ |
| Công suất cực đại   | 230W    | Màng cell            | 6 x 10                     |

Bảng 2 trình bày kết quả mô phỏng đối với công suất của tấm PV mã hiệu RS-P630-230 trong trường hợp cường độ chiếu sáng  $S$  biến đổi và  $T$  cố định ở  $25^\circ\text{C}$ . Các dữ kiện này dùng để đối chiếu nhằm kiểm chứng và đánh giá tính hiệu quả tìm và bám của thuật toán MPPT.

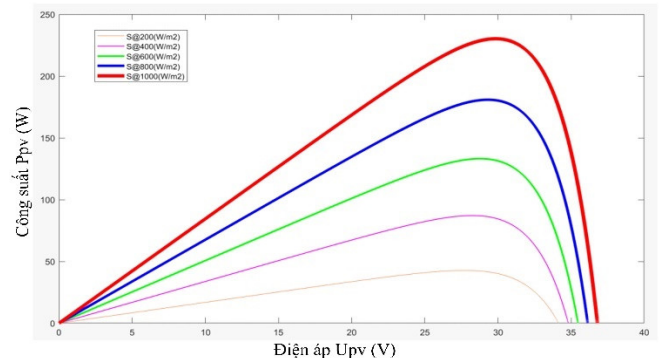
Bảng 2. Bảng tổng hợp công suất tấm PV khi  $T = 25^\circ\text{C}$  và  $S$  biến đổi

| TT | Cường độ chiếu sáng $S (\text{W/m}^2)$ | Công suất (W) |
|----|----------------------------------------|---------------|
| 1  | 200                                    | 42,731        |
| 2  | 400                                    | 87,12         |
| 3  | 600                                    | 133,167       |
| 4  | 800                                    | 180,871       |
| 5  | 1000                                   | 230,234       |

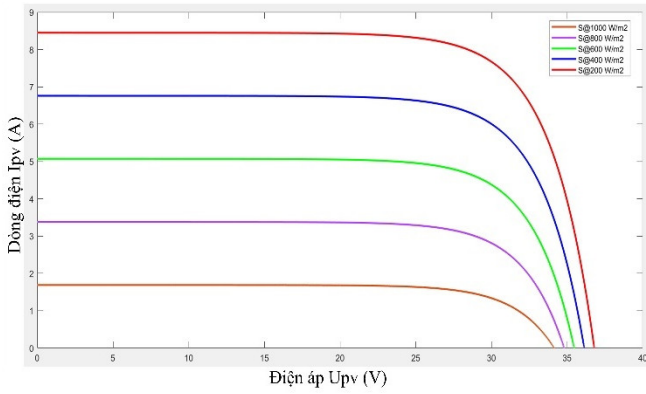
Hình 4 và 5 lần lượt thể hiện họ đặc tuyến của tấm PV mã hiệu RS-P630-230 trong hai trường hợp: khi  $T = 25^\circ\text{C}$  và  $S$  thay đổi và khi  $S = 1000 \text{ W/m}^2$  và  $T$  thay đổi. Từ các họ đặc tuyến đó, có thể nhận thấy rằng:

○ Công suất đầu ra của tấm PV thay đổi đáng kể khi  $S$  biến đổi.

○ Dòng điện của tấm PV thay đổi tỉ lệ thuận cùng với sự thay đổi của cường độ chiếu sáng  $S$ .



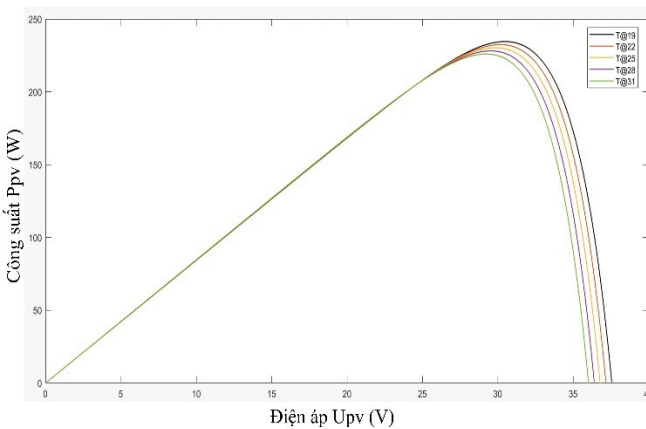
a)



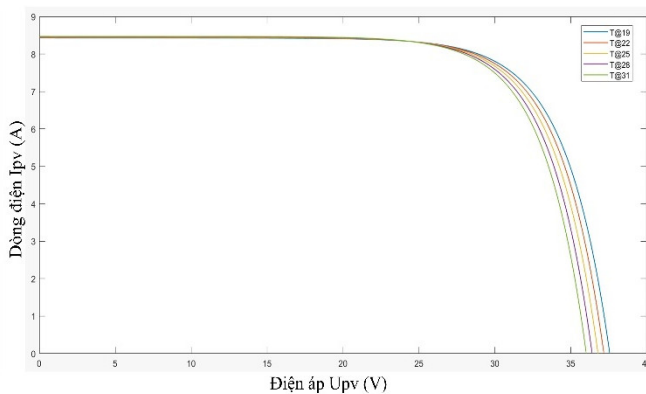
b)

Hình 4. Họ đặc tuyến của tấm PV khi nhiệt độ  $T = 25^\circ\text{C}$  và  $S$  biến đổi

a) Đặc tuyến P-V; b) Đặc tuyến I-V



a)



b)

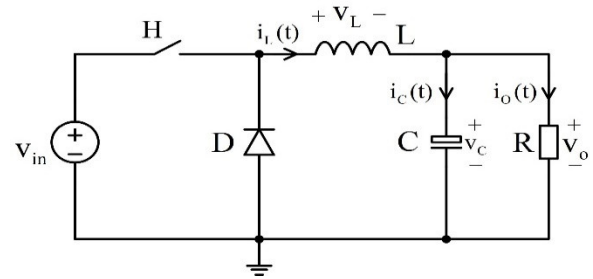
Hình 5. Họ đặc tuyến của tấm PV khi  $S = 1000\text{W/m}^2$  và  $T$  biến đổi

a) Đặc tuyến P-V; b) Đặc tuyến I-V

### 3. TÍNH TOÁN THÔNG SỐ MẠCH BIẾN ĐỔI GIẢM ÁP BUCK

#### 3.1. Mạch biến đổi giảm áp Buck

Sơ đồ mạch biến đổi giảm áp Buck được minh họa trong hình 6. Khóa H có thể được thực hiện bằng các linh kiện bán dẫn như MOSFET, IGBT.



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý mạch biến đổi giảm áp Buck

Theo [7], điện áp của đầu ra mạch biến đổi giảm áp Buck được tính theo công thức:

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} \cdot V_{in} = D \cdot V_{in} \quad (4)$$

Trong đó:  $T$  là chu kỳ đóng cắt;  $D$  gọi là tỉ số chu kỳ và  $D = T_{on}/T$ .

#### 3.2. Tính toán thông số mạch biến đổi Buck

Từ sơ đồ khối hệ thống nghiên cứu trong hình 1, có thể thấy rằng điện áp đầu vào của mạch biến đổi Buck được cung cấp từ đầu ra của tấm PV và đầu ra của mạch này được kết nối với ắc quy 12V-23Ah. Bảng 3 cung cấp các thông số định mức, từ đó có thể tính toán và chọn giá trị cuộn cảm và tụ điện cho mạch Buck.

Bảng 3. Thông số định mức cho trước của mạch biến đổi giảm áp Buck

| TT | Thông số                                                     | Giá trị            | Đơn vị đo |
|----|--------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|
| 1  | Công suất (P)                                                | 230                | W         |
| 2  | Điện áp đầu vào ( $V_{in}$ )                                 | $37,02 \times 0,8$ | V         |
| 3  | Điện áp đầu ra ( $V_o$ )                                     | 12                 | V         |
| 4  | Tần số đóng cắt ( $f_{sw}$ )                                 | 10                 | kHz       |
| 5  | Độ gợn sóng của dòng điện chảy qua cuộn cảm $\Delta I_L/I_o$ | 20%                |           |
| 6  | Độ nhấp nhô của điện áp đầu ra $\Delta V/V_o$                | 1%                 |           |

- Tỉ số chu kỳ đóng cắt của van là:

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{12}{29,616} = 0,405$$

- Dòng điện đầu ra của mạch:  $I_o = \frac{P}{V_o} = \frac{230}{12} = 19,167\text{A}$

- Giá trị độ gợn sóng của dòng điện chảy qua cuộn cảm:  $\Delta I_L = 0,02 \cdot 19,167 = 383,34 \cdot 10^{-3}\text{A}$

Dựa vào tài liệu thiết kế do hãng Texas Instruments cung cấp [21], thông số tụ điện và cuộn cảm của mạch biến đổi giảm áp Buck được tính chọn như sau:

- Tụ điện có giá trị điện dung là:

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot \Delta V_o \cdot f_{sw}} = \frac{383,34 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 0,12 \cdot 10^4} = 39,93 \cdot 10^{-6}\text{F}$$

→ chọn tụ có giá trị  $47\mu\text{F}/50\text{V}$ .

- Cuộn cảm L có độ tự cảm là:

$$L = \frac{V_o \cdot (V_{in} - V_o)}{\Delta I_L \cdot f_{sw} \cdot V_{in}}$$

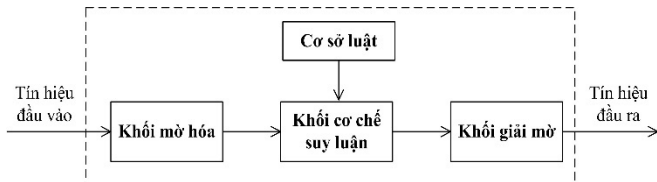
$$= \frac{12 \cdot (29,616 - 12)}{383,34 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot 29,616} = 1,816 \cdot 10^{-3} \text{H}$$

→ chọn cuộn cảm có giá trị 1,8mH.

#### 4. THUẬT TOÁN MPPT ĐỂ XUẤT DỰA TRÊN LÓGIC MỜ

##### 4.1. Bộ điều khiển logic mờ

Bộ điều khiển mờ là hệ thống điều khiển được thiết kế dựa vào lý thuyết về tập mờ và nguyên tắc mờ, giúp xử lý thông tin mơ hồ hoặc không chắc chắn. Nó mô phỏng cách con người đưa ra quyết định căn cứ vào trực giác và kinh nghiệm. Hình 7 trình bày sơ đồ khối của một bộ điều khiển logic mờ.



Hình 7. Sơ đồ khối bộ điều khiển logic mờ

Bộ điều khiển logic mờ gồm các khối sau:

- **Khối mờ hóa:** Giá trị thực ở đầu vào được chuyển thành giá trị ngôn ngữ mờ và xác định mức độ thuộc của chúng trong các tập mờ.
- **Cơ sở luật:** Đưa ra các luật dạng if-then nhằm mô tả quan hệ giữa các đầu vào và đầu ra. Các luật này được thiết lập dựa trên kinh nghiệm của chuyên gia hoặc dữ liệu thu thập từ thực tế.
- **Khối cơ chế suy luận:** Nhằm xử lý các luật if-then và áp dụng các phép toán logic mờ. Phổ biến có hai phương pháp là Mamdani và Sugeno.
- **Khối giải mờ:** Vai trò chuyển đổi kết quả mờ từ giá trị ngôn ngữ sang giá trị thực.

##### 4.2. Thiết kế khối điều khiển logic mờ cho thuật toán MPPT để xuất

###### a) Phân tích và lựa chọn tín hiệu đầu vào/ra cho bộ điều khiển mờ

Căn cứ vào kết quả đưa ra trong các bài báo [7-12], có thể nhận thấy rằng việc lựa chọn tín hiệu đầu vào hoặc phạm vi biến đổi của đầu vào/ra trong khối logic mờ chưa thực sự tối ưu, do đó hiệu suất chuyển đổi của tấm PV chưa đạt mức cao. Hơn nữa, dựa trên các họ đặc tuyến P-V và I-V của tấm PV ở mức 2, có thể nhận thấy rằng công suất và điện áp tấm PV biến đổi đáng kể khi nhiệt độ (T) và ánh sáng mặt trời (S) thay đổi. Sau khi phân tích và

đánh giá, hai tín hiệu đầu vào là  $\Delta V$  &  $\Delta P$  đã được nhóm nghiên cứu lựa chọn và xác định thông qua hệ thức sau:

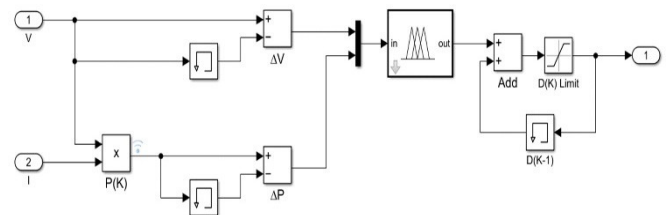
$$\Delta V = V(k) - V(k-1) \quad (5)$$

$$\Delta P = P(k) - P(k-1) \quad (6)$$

Đầu ra bộ điều khiển mờ là  $\Delta D(k)$  và có mối liên hệ với  $D(k)$  như sau:

$$D(k) = \Delta D(k) + D(k-1) \quad (7)$$

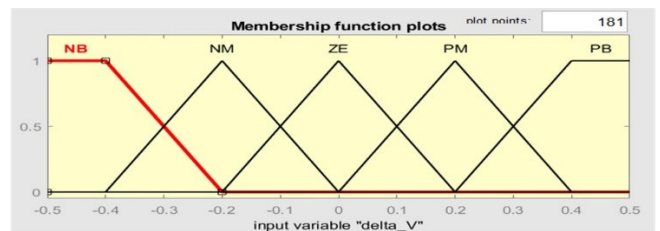
Hình 8 là sơ đồ khối tổng thể của khối MPPT để xuất dựa trên logic mờ.



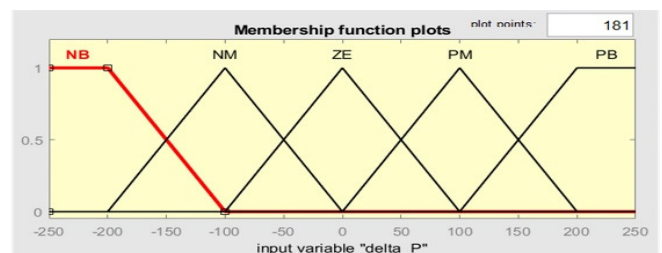
Hình 8. Sơ đồ khối tổng thể của bộ điều khiển MPPT sử dụng logic mờ

###### b) Lựa chọn số biến ngôn ngữ và dải thay đổi của đầu vào/ra

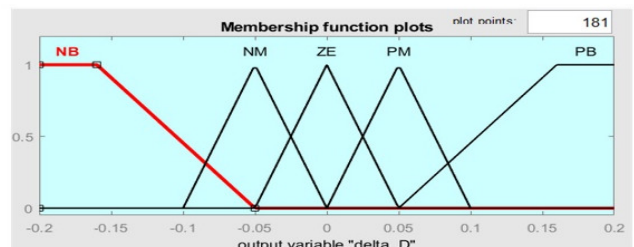
Hình 9 trình bày hàm liên thuộc được xây dựng trên Matlab/Simulink của khối điều khiển logic mờ.



a)



b)



c)

Hình 9. Hàm liên thuộc được xây dựng trên Matlab

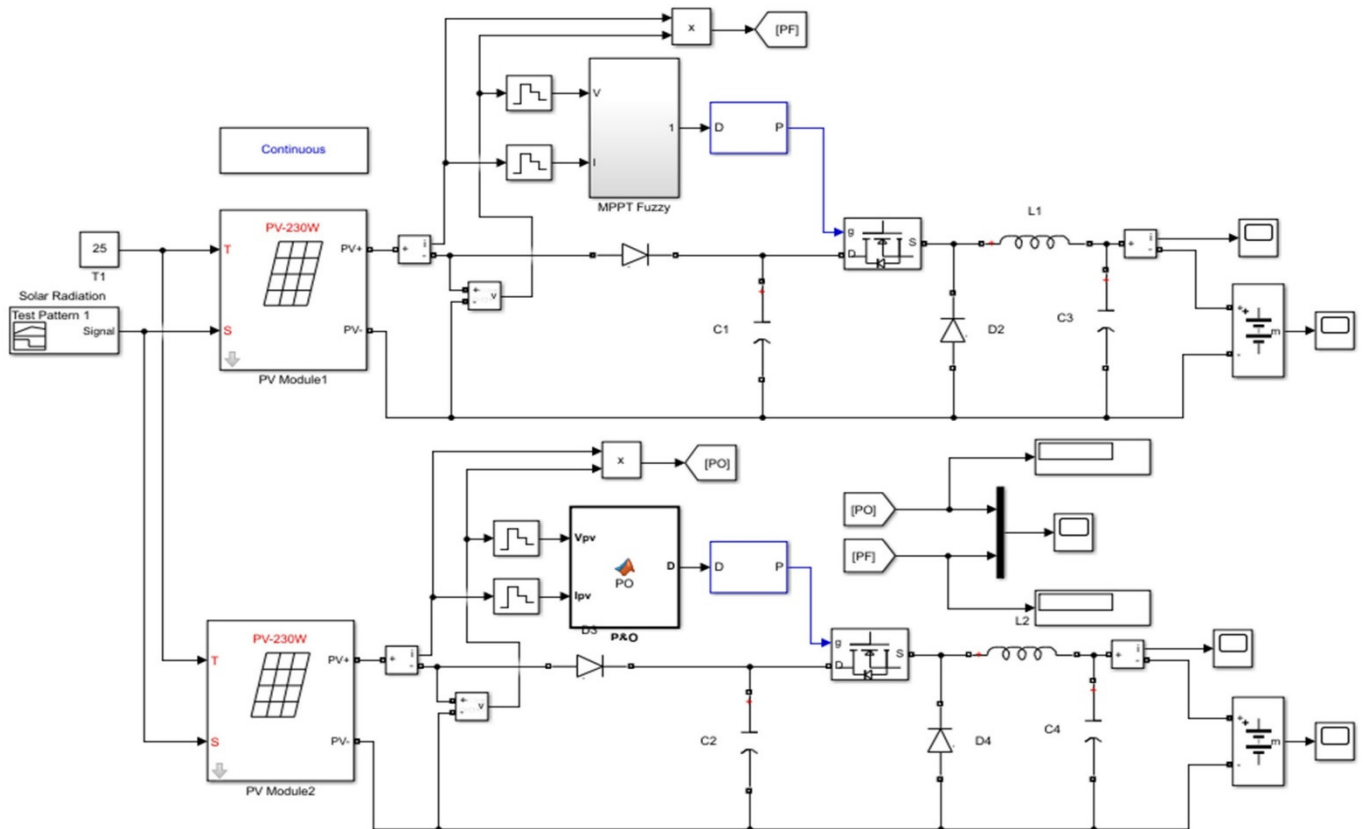
a) Đầu vào thứ nhất; b) Đầu vào thứ hai; c) Đầu ra

Dựa trên việc tham khảo các bài báo [7-12] và phân tích sự liên hệ giữa hai đầu vào  $\Delta V$  &  $\Delta P$  với đầu ra  $\Delta D$ , nhóm nghiên cứu đã chọn 5 biến ngôn ngữ cho đầu vào  $\Delta V$  &  $\Delta P$  và đầu ra  $\Delta D$ , bao gồm: PB (Positive Big), PM (Positive Medium), ZE (Zero), NM (Negative Medium) và NB (Negative Big). Phạm vi thay đổi của đầu vào thứ nhất là  $[-0,5 \div 0,5]$ , đầu vào thứ hai là  $[-250 \div 250]$  và đầu ra là  $[-0,2 \div 0,2]$ . Hàm liên thuộc được lựa chọn có dạng tam giác và hình thang.

## 5. MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

### 5.1. Xây dựng mô hình trên Matlab/Simulink

Với các thông số tính chọn cho hệ thống đã được đề cập trước đó, nhóm nghiên cứu đã xây dựng mô hình của hệ thống quang điện độc lập công suất nhỏ trên Matlab/Simulink, và nó được trình bày trong hình 10. Kết quả mô phỏng của thuật toán MPPT dựa trên logic mờ để xuất sẽ được so sánh với thuật toán P&O.



### c) Thiết kế luật hợp thành

Với 5 biến ngôn ngữ cho hai tín hiệu đầu vào  $\Delta V$  &  $\Delta P$ , nhóm tác giả đã xây dựng 25 luật hợp thành. Bằng cách áp dụng sự hiểu biết và điều chỉnh các luật hợp thành cho hợp lý, cuối cùng các luật hợp thành tối ưu được xây dựng mô tả trên bảng 4.

Bảng 4. Bảng các luật điều khiển

| $\Delta D$ |    | $\Delta V$ |    |    |    |    |
|------------|----|------------|----|----|----|----|
|            |    | NB         | NM | ZE | PM | PB |
| $\Delta P$ | PB | PB         | PM | PM | NM | NB |
|            | PM | PM         | PM | ZE | NM | NM |
|            | ZE | ZE         | ZE | ZE | ZE | ZE |
|            | NM | NM         | NM | ZE | PM | PM |
|            | NB | NB         | NM | NM | PM | PB |

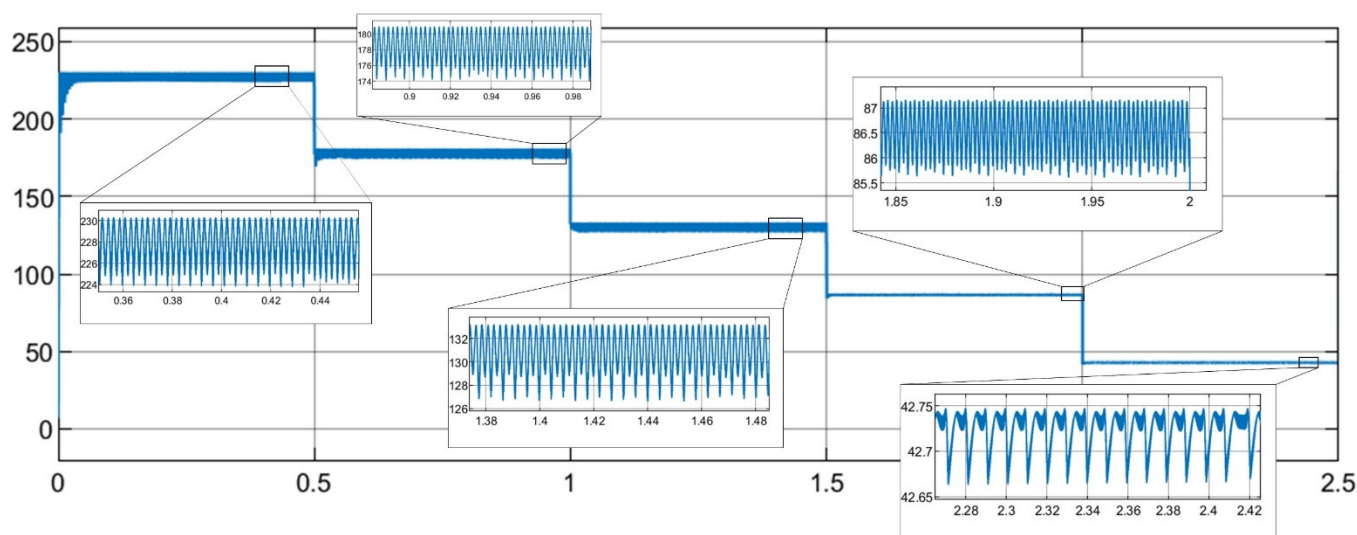
Hình 10. Mô hình mô phỏng xây dựng nhằm so sánh giữa thuật toán MPPT để xuất dựa trên logic mờ và thuật toán P&O

### 5.2. Mô phỏng và đánh giá

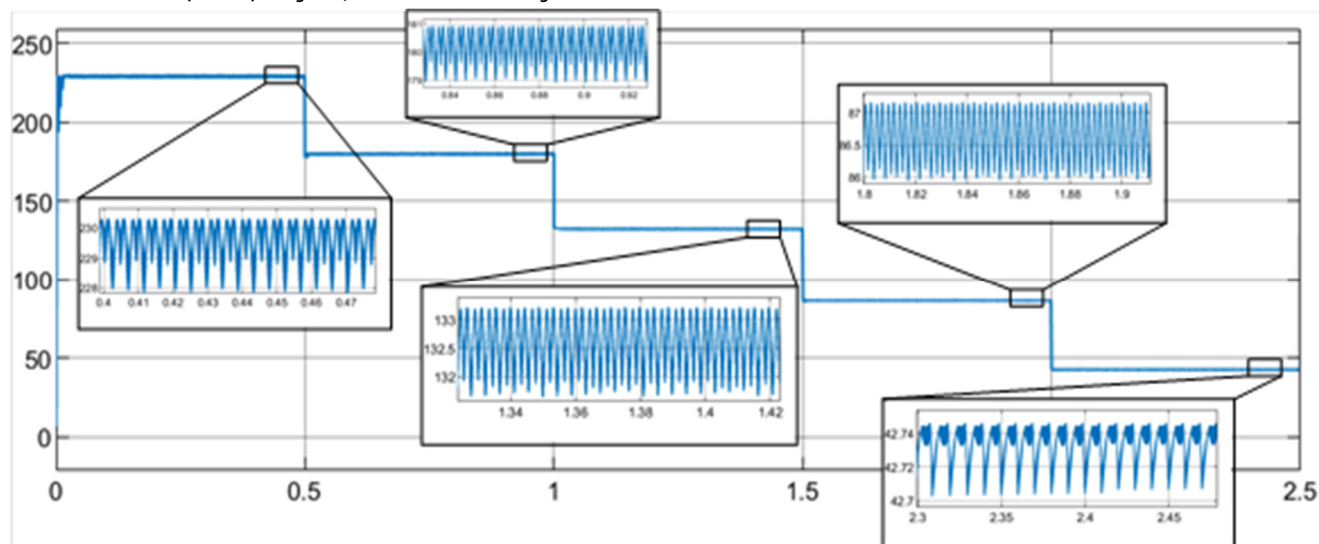
Kịch bản mô phỏng được thiết lập như sau:

- Nhiệt độ môi trường  $T$  không thay đổi và bằng  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Cường độ chiếu sáng  $S = 1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$ , và cứ sau  $0,5s$  thì  $S$  giảm  $200 \text{ (W/m}^2\text{)}$ ;
- Bước nhảy  $\Delta D$  của thuật toán P&O được thiết lập là  $0,0006; 0,0004$  và  $0,0002$ .
- Thời gian mô phỏng là  $2,5s$ .

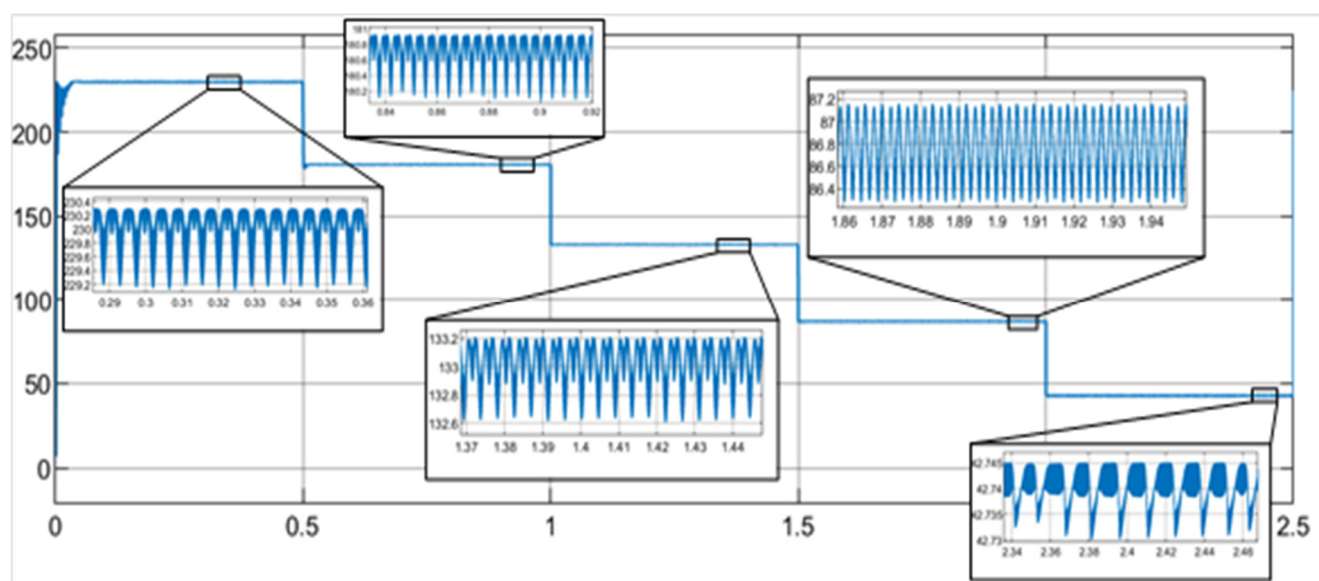
Các kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab với thuật toán MPPT để xuất dựa trên logic mờ và thuật toán P&O được đưa ra trên hình 11 đến 14.



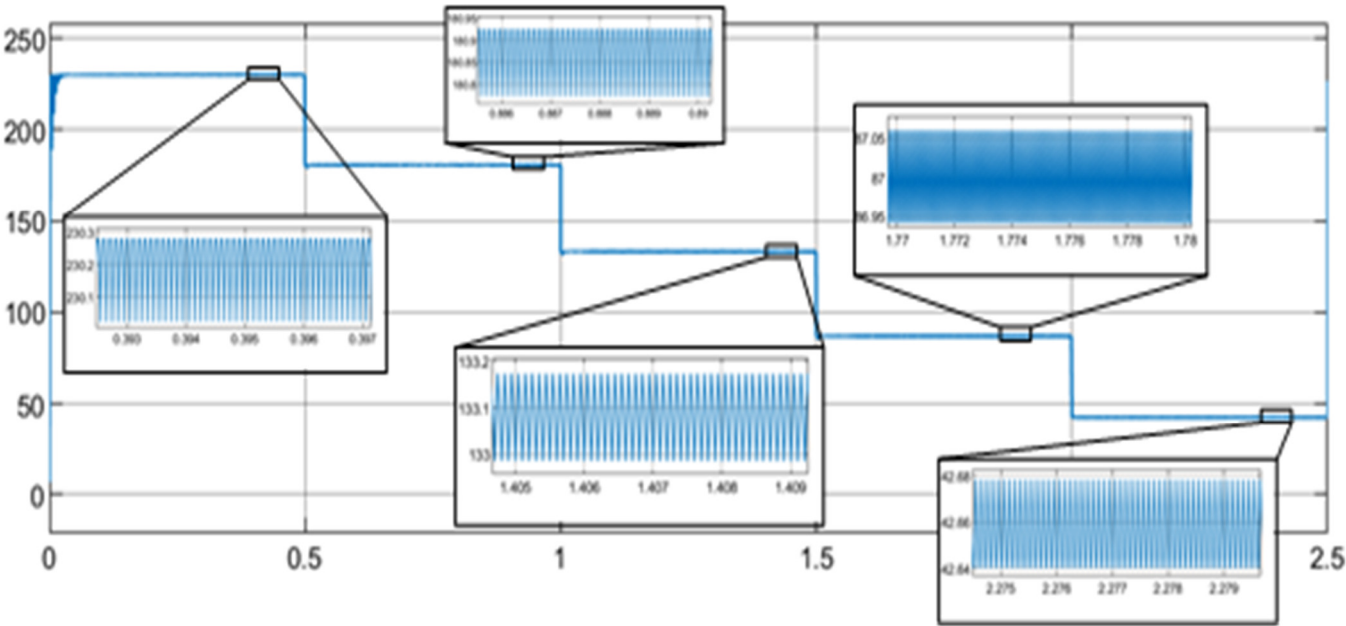
Hình 11. Kết quả mô phỏng thuật toán P&O với  $\Delta D$  bằng 0,0006



Hình 12. Kết quả mô phỏng thuật toán P&O với  $\Delta D$  bằng 0,0004



Hình 13. Kết quả mô phỏng thuật toán P&O với  $\Delta D$  bằng 0,0002



Hình 14. Kết quả của thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ

Bảng 5. Bảng tổng hợp kết quả của thuật toán P&O

| TT | S<br>(W/m²) | MPP<br>của<br>tấm pin | Thuật toán P&O                     |                    |                                    |                    |                                    |                    |
|----|-------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|
|    |             |                       | $\Delta D = 0,0006$                |                    | $\Delta D = 0,0004$                |                    | $\Delta D = 0,0002$                |                    |
|    |             |                       | Công<br>suất<br>dao<br>động<br>(W) | Điểm<br>MPP<br>(W) | Công<br>suất<br>dao<br>động<br>(W) | Điểm<br>MPP<br>(W) | Công<br>suất<br>dao<br>động<br>(W) | Điểm<br>MPP<br>(W) |
| 1  | 200         | 42,731                | 0,1                                | 42,73              | 0,04                               | 42,74              | 0,01                               | 42,74              |
| 2  | 400         | 87,12                 | 1,48                               | 87,01              | 1,1                                | 87,1               | 0,5                                | 87,1               |
| 3  | 600         | 133,167               | 6,07                               | 133,05             | 1,62                               | 133,12             | 0,56                               | 133,16             |
| 4  | 800         | 180,971               | 6,54                               | 180,64             | 1,83                               | 180,83             | 0,75                               | 180,94             |
| 5  | 1000        | 230,234               | 6,67                               | 230,1              | 2,38                               | 230,18             | 1,12                               | 230,23             |

Bảng 6. Bảng tổng hợp các kết quả của thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ

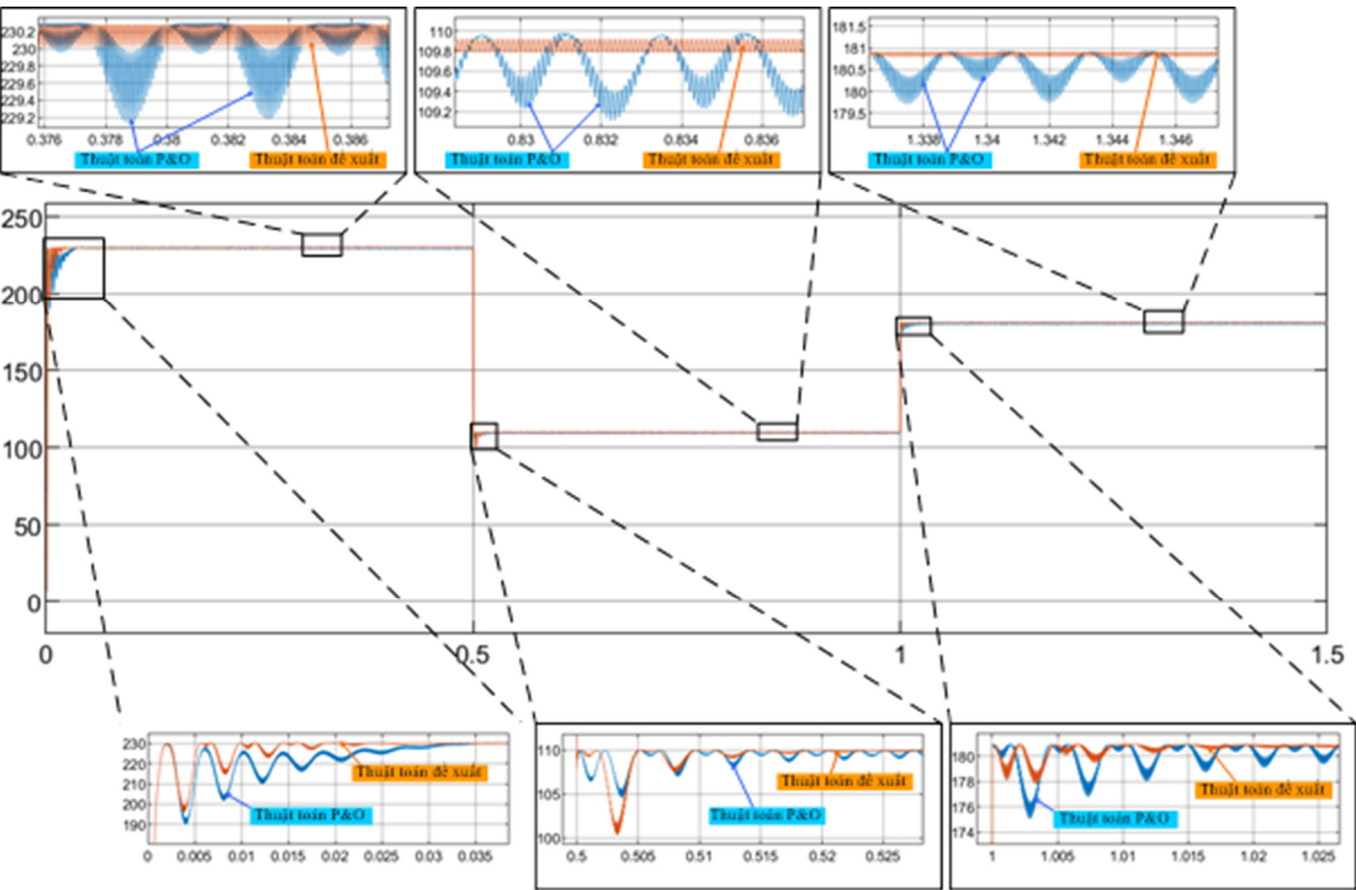
| TT | S<br>(W/m²) | MPP<br>của tấm pin<br>(W) | Thuật toán MPPT đề xuất      |                 |                  |
|----|-------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|
|    |             |                           | Công suất<br>dao động<br>(W) | Điểm MPP<br>(W) | Hiệu suất<br>(%) |
| 1  | 200         | 42,731                    | 0,03                         | 42,67           | 99,79            |
| 2  | 400         | 87,12                     | 0,13                         | 87,052          | 99,77            |
| 3  | 600         | 133,167                   | 0,26                         | 133,16          | 99,8             |
| 4  | 800         | 180,971                   | 0,37                         | 180,92          | 99,78            |
| 5  | 1000        | 230,234                   | 1,01                         | 230,21          | 99,55            |

Bảng 5 và 6 lần lượt là bảng tổng hợp kết quả từ mô phỏng với thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ và P&O. Từ kết quả đó có thể đưa ra các kết luận sau:

- Bước nhảy  $\Delta D$  càng nhỏ, thì công suất dao động xung quanh MPP càng nhỏ. Tuy nhiên, thời gian đáp ứng của hệ thống sẽ chậm hơn.
- Thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ cho hiệu suất chuyển đổi cao hơn so với thuật toán P&O (khi  $\Delta D$  là 0,0002) ở cường độ chiếu sáng lớn hơn 300 (W/m²).
- Độ dao động công suất với thuật toán MPPT đề xuất xung quanh MPP là nhỏ, cao nhất là 1,03W, tương ứng với công suất 230,234W của tấm PV.
- Dao động công suất với thuật toán đề xuất xung quanh MPP là nhỏ và mang tính chu kỳ, giúp cải thiện chất lượng quá trình sạc điện, từ đó tăng tuổi thọ của ắc quy.

Ngoài ra, một kịch bản mô phỏng khác cũng được thực hiện khi S thay đổi đột ngột từ 1000W/m² xuống 500W/m² và từ 500W/m² tăng lên 800W/m². Hình 15 thể hiện kết quả ứng với thuật toán MPPT dựa trên logic mờ và thuật toán P&O với bước nhảy tối ưu  $\Delta D$  bằng 0,0002 cho kịch bản này.

Dựa trên kết quả mô phỏng trên hình 15, có thể thấy rằng trong điều kiện S thay đổi đột ngột, so với thuật toán P&O thì thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ có thời gian đáp ứng nhanh hơn, và dao động xung quanh MPP nhỏ hơn. Bảng 7 tổng hợp kết quả nhằm đối sánh chi tiết giữa hai thuật toán.



Hình 15. Kết quả so sánh giữa thuật toán MPPT dựa trên logic mờ để xuất và thuật toán P&O khi S thay đổi đột ngột

Bảng 7. Bảng tổng hợp kết quả mô phỏng so sánh giữa thuật toán MPPT dựa trên logic mờ để xuất và thuật toán P&O với bước nhảy  $\Delta D$  tối ưu bằng 0,0002

| Cường độ chiếu sáng                                    | Chỉ tiêu chất lượng | Thuật toán P&O | Thuật toán MPPT để xuất |
|--------------------------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|
| Từ 0W/m <sup>2</sup> tăng lên 1000W/m <sup>2</sup>     | Thời gian quá độ    | 0,03s          | 0,015s                  |
|                                                        | Dao động công suất  | 1,12W          | 1,01W                   |
| Từ 1000W/m <sup>2</sup> giảm xuống 500W/m <sup>2</sup> | Thời gian quá độ    | 0,015s         | 0,01s                   |
|                                                        | Dao động công suất  | 0,5W           | 0,12W                   |
| Từ 500W/m <sup>2</sup> tăng lên 800W/m <sup>2</sup>    | Thời gian quá độ    | 0,025s         | 0,01s                   |
|                                                        | Dao động công suất  | 0,75W          | 0,37W                   |

6. KẾT LUẬN

Bài báo ứng dụng logic mờ trong thuật toán MPPT cho hệ thống quang điện độc lập công suất nhỏ. Bộ điều khiển logic mờ trong bài toán tìm và theo dõi MPPT được thiết kế bao gồm 2 đầu vào là  $\Delta V$  và  $\Delta P$ , 5 biến ngôn ngữ cho đầu vào/ra và 25 luật hợp thành tối ưu. Từ kết quả mô phỏng với Matlab/Simulink có thể kết luận rằng thuật toán MPPT sử dụng logic mờ đạt hiệu suất trên 99,5% và

có độ dao động công suất quanh điểm công suất cực đại thấp, với mức dao động lớn nhất là 1,01W khi cường độ chiếu sáng đạt 1000W/m<sup>2</sup>. So với phương pháp P&O có bước nhảy  $\Delta D$  tối ưu, thuật toán MPPT đề xuất dựa trên logic mờ có thời gian đáp ứng nhanh hơn (giảm 50%) và giảm đáng kể độ dao động công suất, đặc biệt khi S thay đổi nhanh. Điều này giúp chất lượng quá trình sạc được nâng cao, đồng thời tăng tuổi thọ của ắc quy. Kết quả từ nghiên cứu có thể ứng dụng vào các hệ thống quang điện độc lập công suất nhỏ như hộ gia đình, đèn đường và chiếu sáng sân vườn.

Nghiên cứu đề xuất mới chỉ dừng lại mô phỏng trên Matlab/Simulink, do đó cần triển khai thêm thí nghiệm thực tế để kiểm chứng tính hiệu quả của thuật toán MPPT dựa trên logic mờ để xuất. Bên cạnh đó, có thể nghiên cứu sang hệ thống quang điện mặt trời nối lưới công suất lớn với bài toán đa điểm cực trị đối với dàn PV.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. G. R. Malik, et al., "Evolving Energy Landscapes: A Comprehensive Analysis of Renewable Power in the 21st Century," in 2024 *International Conference on E-mobility, Power Control and Smart Systems (ICEMPS)*, Thiruvananthapuram, India, 1-7, 2024.

- [2] P. N. Tran Thanh, "The Current Status of Using Renewable Energy Towards Energy Efficiency in Vietnam," in *2023 Asia Meeting on Environment and Electrical Engineering (EEE-AM)*, Hanoi, Vietnam, 1-3, 2023.
- [3]. Nguyễn Bình Nam, Nguyễn Văn Tấn, Lê Thành Bắc, Trương Đình Minh Đức, "Đánh giá hiệu quả của các thuật toán MPPT P&O, INC và Fuzzy Logic trong hệ thống pin năng lượng mặt trời," *Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 18, 20-25, 2020.
- [4]. Nguyễn Thị Bích Hạnh, Trần Văn Hiến Thông, "Ứng dụng IoT giám sát và điều hướng hệ thống pin năng lượng mặt trời công suất nhỏ," *Tạp chí khoa học & công nghệ, Đại học Duy Tân*, 52, 3-13, 2022.
- [5]. Đàm Khánh Linh, Vũ Minh Pháp, "Nghiên cứu giải pháp nâng cao hiệu quả cung cấp điện mặt trời tại đảo An Bình, tỉnh Quảng Ngãi," *Tạp chí Khoa học và công nghệ năng lượng - Trường Đại học Điện Lực*, 33, 55-66, 2023.
- [6]. Nguyễn Hồ Sĩ Hùng, Nguyễn Quang Tân, Nguyễn Văn Tấn, Nguyễn Hồng Việt Phương, Nguyễn Bình Nam, "Ứng dụng thuật toán điều khiển bắt điểm công suất cực đại dựa trên tối ưu hóa bầy đàn cho cây quang điện theo thời gian thực," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 60, 7, 82-89, 2024.
- [7]. A. Altamimi, Z. A. Khan, "A DC-DC buck converter with maximum power point tracking implementation for photovoltaic module application," in *2017 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 305-310, 2017.
- [8]. K. Pal, M. Pattnaik, "Performance of a Synchronous Buck Converter for a Standalone PV System: an Experimental Study," in *2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP)*, Chennai, India, 1-6, 2019.
- [9]. S. Potturi, B. Bairwa, Mallikarjuna K., Mayur C., "Development of Solar Coupled Synchronous Buck Converter. 2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics," *Computer Science and Technology (ICERECT)*, Mandya, India, 1-5, 2022.
- [10]. L. Vite, "Stabilization of a DC-DC buck converter for photovoltaic MPPT applications," in *2023 20th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, Mexico City, Mexico, 1-5, 2023.
- [11]. K. Jain, M. Gupta, A. Kumar Bohre, "Implementation and Comparative Analysis of P&O and INC MPPT Method for PV System," in *2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, Jaipur, India, 1-6, 2018.
- [12]. J. Mishra, S. Das, D. Kumar, M. Pattnaik, "Performance Comparison of P&O and INC MPPT Algorithm for a Stand-alone PV System," in *2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, Vellore, India, 1-5, 2019.
- [13]. L. Assiya, D. Aziz, H. Ahmed, "Comparative study of P&O and INC MPPT algorithms for DC-DC Converter Based PV System on MATLAB/SIMULINK," in *2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)*, Kenitra, Morocco, 1-5, 2020.
- [14]. H. Saber, A. E. Bendaouad, L. Rahmani, H. Radjeai, "A comparative study of the FLC, INC and P&O methods of the MPPT algorithm for a PV system," in *2022 19th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Sétif, Algeria, 2010-2015, 2022.
- [15]. S. Yan, J. Yuan, L. Xu, "Fuzzy logic control of MPPT for photovoltaic power system," in *2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Chongqing, China, 448-451, 2012.
- [16]. S. Baraskar, S. K. Jain, P. K. Padhy, "Fuzzy logic assisted P&O based improved MPPT for photovoltaic systems," in *2016 International Conference on Emerging Trends in Electrical Electronics & Sustainable Energy Systems (ICETEESES)*, Sultanpur, India, 250-255, 2016.
- [17]. M. L. Shah, A. Dhaneria, P. S. Modi, H. Khambhadiya, Krishna K. D., "Fuzzy Logic MPPT for Grid Tie Solar Inverter," in *2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCN)*, Bangluru, India, 1-6, 2020.
- [18]. M. Dabboussi, A. Hmidet, O. Boubaker, "An efficient Fuzzy Logic MPPT Control Approach for Solar PV System: A Comparative Analysis with the Conventional Perturb and Observe Technique," in *2020 6th IEEE International Energy Conference*, Gammarth, Tunisia, 366-371, 2020.
- [19]. M. R. Hans, M. B. Gaikwad, M. K. Nigam, B. Patel, "Comparative Analysis of The Traditional Perturb and Observe with Studied FPPT Method and Fuzzy Logic Control Strategy Based P and O for the MPPT of a Photovoltaic System," in *2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, Hassan, India, 372-377, 2021.
- [20]. R. K. Rai, O. P. Rahi, "Fuzzy Logic based Control Technique using MPPT for Solar PV System," in *2022 First International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies (ICEEICT)*, Trichy, India, 01-05, 2022.
- [21]. <https://www.ti.com/lit/pdf/slva477>

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Do Thanh Hieu<sup>1</sup>, Nguyen Huu Cuong<sup>1</sup>, Pham Van Cuong<sup>2,3</sup>,  
Tran Minh Hai<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Electronic and Electrical, Hung Yen University of Technology and Education, Vietnam

<sup>2</sup>Hanoi University of Industry, Vietnam

<sup>3</sup>Thai Binh University, Vietnam