

THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI THEO THỜI GIAN THỰC SỬ DÙNG PHẦN MỀM MATLAB/SIMULINK

Nguyễn Hữu Lập Trường^{1*}, Đinh Trung Trọng²

¹ Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

² Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế

* Email: nhltruong@dut.udn.vn

Ngày nhận bài: 17/10/2025; ngày hoàn thành phản biện: 12/11/2025; ngày duyệt đăng: 11/12/2025

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp xây dựng và mô phỏng mô hình pin năng lượng mặt trời (PV) sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink nhằm đánh giá các thông số kỹ thuật làm việc của các tấm pin PV thương mại. Mô hình được xây dựng dựa trên phương trình toán học mô tả đặc tuyến I-V và P-V của PV, có tính đến ảnh hưởng của bức xạ mặt trời. Các thông số mô phỏng được hiệu chỉnh theo thông số thực tế pin năng lượng mặt trời của nhà sản xuất Solarex MSX-60. Kết quả cho thấy sai số giữa thông số mô phỏng và thông số kỹ thuật nhà sản xuất cao nhất là 2.94% và thấp nhất 0%. Kết quả cho thấy độ chính xác và khả năng ứng dụng cao của mô hình nghiên cứu. Ngoài ra, mô hình có thể mở rộng để tích hợp với bộ điều khiển điểm công suất cực đại (MPPT) hoặc hệ thống giám sát thời gian thực phục vụ trong giảng dạy, nghiên cứu và ứng dụng công nghiệp.

Từ khóa: MATLAB/Simulink, pin năng lượng mặt trời, MPPT, mô phỏng thời gian thực.

1. MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh nhu cầu sử dụng năng lượng sạch ngày càng gia tăng, năng lượng mặt trời đang trở thành một trong những giải pháp bền vững hàng đầu nhờ tính tái tạo, thân thiện với môi trường và khả năng khai thác rộng rãi [9]. Trong đó, pin năng lượng mặt trời (PV) đóng vai trò then chốt, với tốc độ phát triển nhanh chóng và nhiều tiềm năng ứng dụng trong thực tiễn. Tuy nhiên, hiệu suất hoạt động thực tế của các tấm pin PV thường chịu ảnh hưởng đáng kể từ các điều kiện môi trường như bức xạ mặt trời, nhiệt độ, cũng như các đặc tính phi tuyến của thiết bị. Điều này gây ra không ít khó khăn trong công tác tối ưu hóa và giám sát hiệu quả vận hành của hệ thống [3,4]. Do đó, việc

đánh giá và dự đoán chính xác các tham số của PV là hết sức cần thiết nhằm đảm bảo tính ổn định, tin cậy và hiệu quả lâu dài của toàn hệ thống điện mặt trời.

Nghiên cứu này nhằm mục tiêu xây dựng và mô phỏng mô hình pin năng lượng mặt trời (PV) chính xác trên MATLAB/Simulink. Phạm vi bao gồm phát triển mô hình diode đơn để phân tích đặc tính I-V, P-V dưới các điều kiện bức xạ mặt trời thay đổi, sau đó kiểm định bằng dữ liệu thực tế của nhà sản xuất Solarex MSX-60.

Các vấn đề chính cần giải quyết: Thiết lập mô hình toán học pin năng lượng mặt trời trên phần mềm Matlab/Simulink, đánh giá sai số, và tạo nền tảng cho hệ thống giám sát PV trong ứng dụng công nghiệp và nghiên cứu [3, 4, 7].

Điểm mới của nghiên cứu này là xây dựng mô hình Simulink đơn giản, trực quan nhưng đạt độ chính xác cao (sai số < 3%), vượt trội hơn so với một số công trình trước của Hashim & Khazaal có sai số đến 6.76% [5]. Ngoài ra, mô hình có khả năng mở rộng kết nối với cảm biến bức xạ và nhiệt độ trong thời gian thực thông qua hệ thống SCADA, cho phép giám sát và đánh giá hiệu suất PV theo thời gian thực.

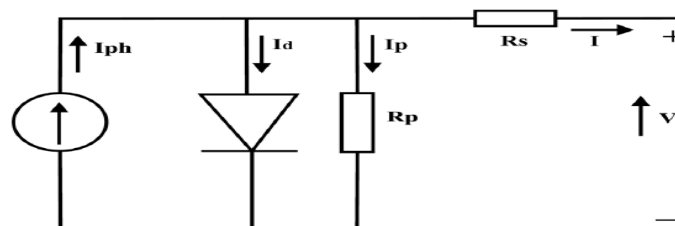
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô tả tấm pin PV

Tế bào quang điện (PV cell) là phần tử cơ bản trong hệ thống pin mặt trời, có nhiệm vụ chuyển đổi ánh sáng thành điện năng nhờ hiệu ứng quang điện. Khi được chiếu sáng, vật liệu bán dẫn tạo ra các cặp electron – lỗ trống, sinh dòng điện một chiều khi kết nối mạch ngoài. Để đáp ứng nhu cầu công suất thực tế, nhiều tế bào được ghép nối tiếp (tăng điện áp) và song song (tăng dòng) để tạo thành tấm pin mặt trời (PV), và tiếp tục ghép thành mảng PV (PV array) cho các ứng dụng công suất lớn hơn.

2.2. Mô hình toán học tấm pin PV và mô phỏng Simulink

Về mặt mô hình hóa, một tấm pin năng lượng mặt trời (PV) được biểu diễn bằng mạch điện tương đương theo mô hình diode đơn (single-diode model), bao gồm một nguồn dòng quang điện (I_{ph}) tạo ra bởi bức xạ mặt trời, một diode mô phỏng tiếp giáp P-N, một điện trở nối tiếp (R_s) đại diện cho tổn hao nội tại và một điện trở song song (R_p) mô tả dòng rò trong tế bào quang điện [2, 5, 8].



Hình 1. Mô hình mạch điện tương đương của mô hình tấm pin PV

Theo định luật Kirchhoff về dòng điện, phương trình dòng điện đầu ra của một module PV (I) được biểu diễn bởi mối quan hệ dòng điện-điện áp (I-V) sau:

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (1)$$

Dòng quang điện (I_{ph}): Dòng quang điện là dòng điện được tạo ra khi ánh sáng mặt trời chiếu vào tế bào PV. I_{ph} phụ thuộc vào cường độ bức xạ mặt trời (G) và nhiệt độ môi trường (T_{op}), được tính bằng:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I(T_{op} - T_{ref})] \frac{G}{G_{ref}} \quad (2)$$

I_{sc} : Dòng ngắn mạch tại điều kiện tiêu chuẩn STC (A); K_I : Hệ số nhiệt độ của dòng ngắn mạch ($A/^\circ C$); T_{op} : Nhiệt độ hoạt động của tấm pin PV (K); T_{ref} : Nhiệt độ tiêu chuẩn ($25^\circ C$ hoặc 298.15 K); G: Cường độ bức xạ mặt trời thực tế (W/m^2); G_{ref} : Cường độ bức xạ mặt trời tiêu chuẩn ($1000 W/m^2$)

Dòng diode (I_d): Dòng điện qua diode, mô tả sự tái hợp của các hạt mang điện.

$$I_d = I_s \left[\exp \left(\frac{q(V+I R_s)}{n N_s k T_o} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

I_s : Dòng bão hòa của diode (A); q: Điện tích electron ($1.602 \times 10^{-19} C$); V: Điện áp đầu ra của module PV (V); I : Dòng điện đầu ra của module PV (A); R_s : Điện trở nối tiếp (Ω); N_s : Số tế bào mắc nối tiếp trong module; n: Hệ số lý tưởng của diode; k: Hằng số Boltzmann ($1.380 \times 10^{-23} J/K$); T_{op} : Nhiệt độ hoạt động của tế bào PV (K).

Dòng điện qua điện trở R_p (I_p): Đại diện cho các đường rò rỉ.

$$I_p = \frac{V+I R_s}{R_p} \quad (4)$$

Dòng bão hòa (I_s): Dòng bão hòa là một tham số phụ thuộc vào nhiệt độ.

$$I_s = I_{rs} \left(\frac{T_{op}}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{q E_g}{n k} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

I_{rs} : Dòng bão hòa ngược (A); E_g : Năng lượng vùng cấm của vật liệu bán dẫn (eV); T là nhiệt độ mỗi nối.

Dòng bão hòa ngược (I_{rs}): thường được xác định ở điều kiện tiêu chuẩn (STC).

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp \left(\frac{V_{oc}}{n V_t} \right) - 1} \quad (6)$$

V_{oc} : Điện áp hở mạch (V); $V_t = \frac{k T_{op}}{q}$: Điện áp nhiệt (V_t).

Phương trình đặc tính I - V đầy đủ của một module PV được viết lại như sau:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V+I R_s)}{N_s n k T_{op}} \right) - 1 \right] - \frac{(V+I R_s)}{N_s R_p} \quad (7)$$

I : Dòng điện đầu ra (A); V: Điện áp đầu ra (V); q: Điện tích của electron ($1.602 \times 10^{-19} C$); n: Hệ số lý tưởng của diode; k: Hằng số Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} J/K$);

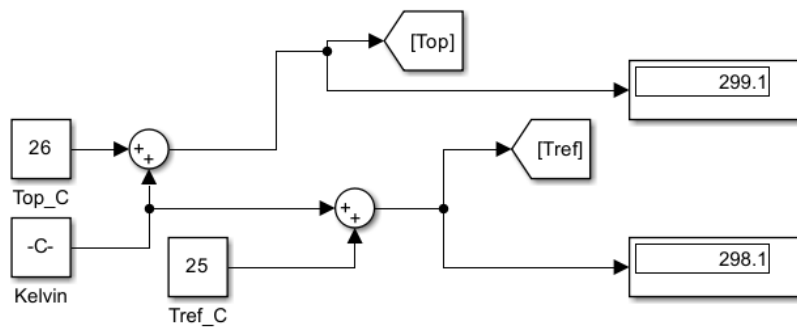
T: Nhiệt độ mỗi nối (K); Rs: Điện trở nối tiếp (Ω); Rp: Điện trở song song (Ω); Np: Số chuỗi tế bào song song trong module.

2.3. Mô phỏng trên Matlab/Simulink

Các mô hình mô phỏng MATLAB/Simulink tương đương của các phương trình toán học mô tả các đặc tính động của quá trình chuyển đổi năng lượng mặt trời thành điện năng của PV được trình bày như sau:

2.3.1. Mô hình dữ liệu nhiệt độ

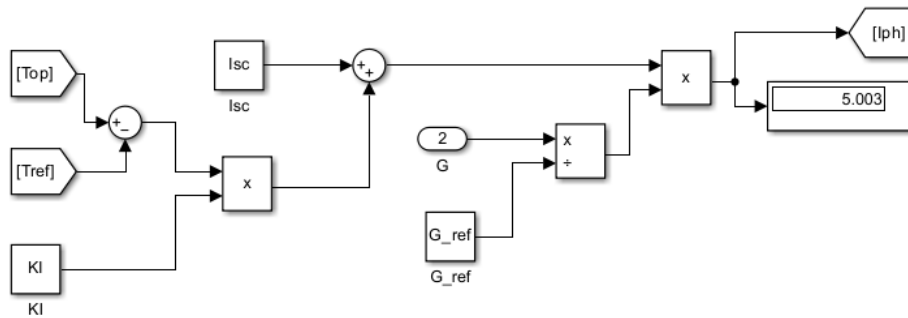
Nhiệt độ được xem là tham số đầu vào tính theo độ C trong hệ thống PV mặt trời, nhưng trong mô hình toán học nó được biểu diễn bằng Kelvin.



Hình 2. Mô hình chuyển đổi nhiệt độ

2.3.2. Mô hình dòng quang điện (Iph)

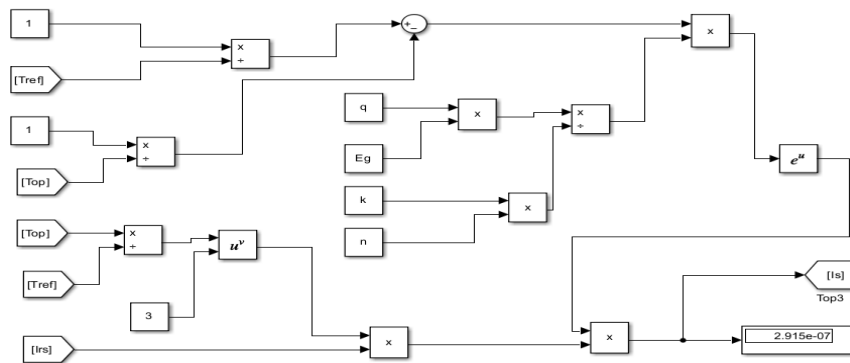
Mô hình Simulink của dòng quang điện của tấm pin PV được thể hiện trong Hình 3 được phát triển bằng cách sử dụng công thức (2).



Hình 3. Mô hình dòng quang điện.

2.3.3. Mô hình dòng bão hòa (Is)

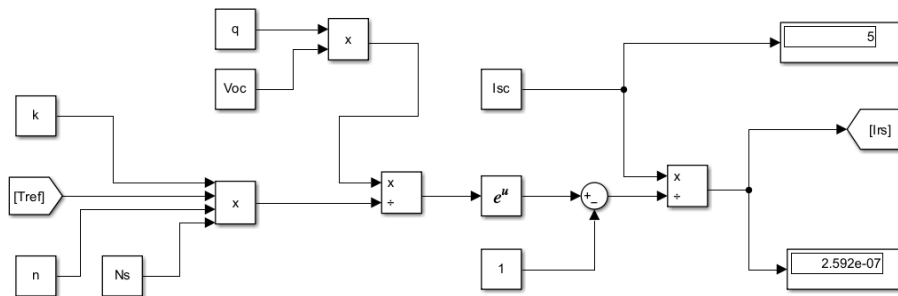
Thay đổi theo nhiệt độ tế bào và mô hình Simulink của nó đại diện cho công thức (5) được thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. Mô hình dòng bão hòa.

2.3.4. Mô hình dòng bão hòa ngược (Irs)

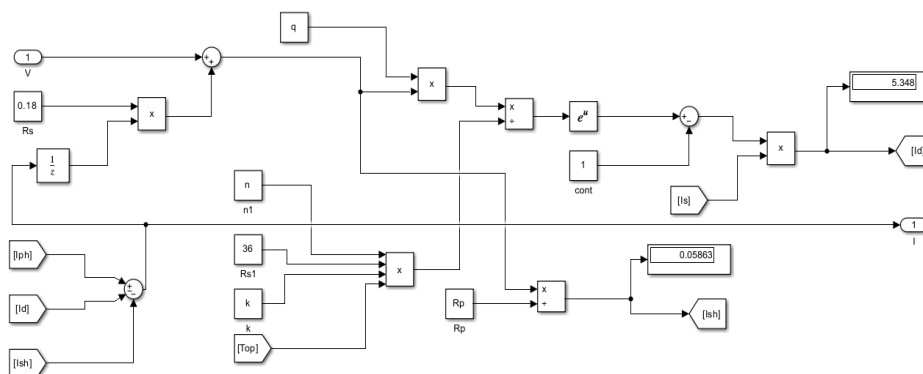
Mô hình dòng bão hòa ngược trong công thức (6) được biểu diễn trong Simulink như trong Hình 5.



Hình 5. Mô hình dòng bão hòa ngược.

2.3.5. Mô hình dòng diode (Id) và dòng đầu ra (I)

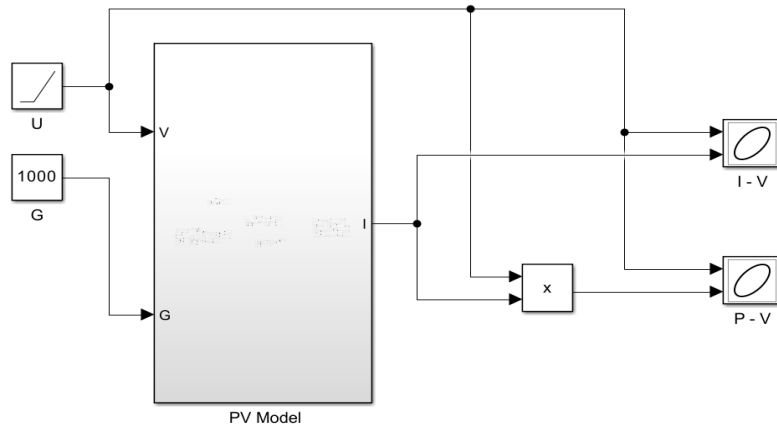
Mô hình Simulink của phương trình dòng diode trong thức (3) và dòng đầu ra trong công thức (7) được thể hiện trong Hình 6.



Hình 6. Mô hình dòng diode và dòng đầu ra

2.3.6. Mô hình tấm pin PV

Hình 7 cho thấy mô hình tấm pin PV tổng quát được phát triển trong môi trường Simulink. Nó bao gồm cường độ bức xạ và các tham số đầu vào của pin năng lượng mặt trời (PV) và cho các kết quả đầu ra là dòng điện (I) và điện áp (V).



Hình 7. Mô hình của tấm pin PV.

Việc xây dựng các mô hình Simulink chi tiết như vậy cho phép phân tích các đặc tính hoạt động của tấm pin PV dưới các điều kiện vận hành khác nhau. Tuy nhiên, độ chính xác của mô hình phụ thuộc rất nhiều vào việc xác định chính xác các tham số của module (như R_s , R_p , G ,...) từ bảng dữ liệu của nhà sản xuất. Việc sử dụng các giá trị tham số không chính xác, đặc biệt là các giá trị mặc định có thể gây ra lỗi trong kết quả mô phỏng [2].

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

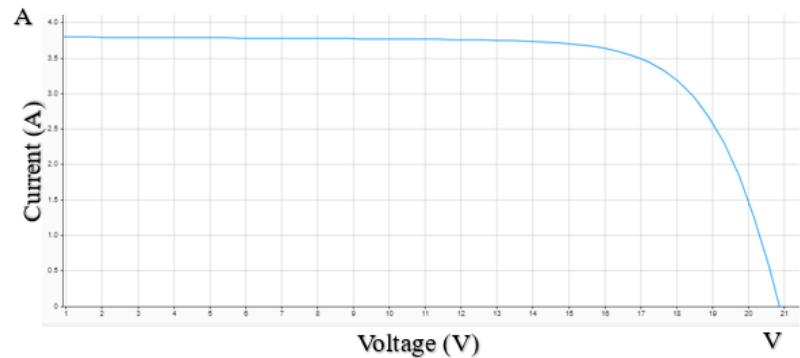
Để thực hiện mô phỏng mô hình tấm pin mặt trời, nhóm tác giả chọn tấm pin PV mặt trời của nhà sản xuất Solarex MSX-60, tấm pin PV này bao gồm 36 tế bào quang điện silicon đa tinh thể được cấu hình thành hai chuỗi nối tiếp ($N_s = 36$), mỗi chuỗi 18 tế bào quang điện.

Bảng 1. Bảng dữ liệu thông số kỹ thuật của nhà sản xuất

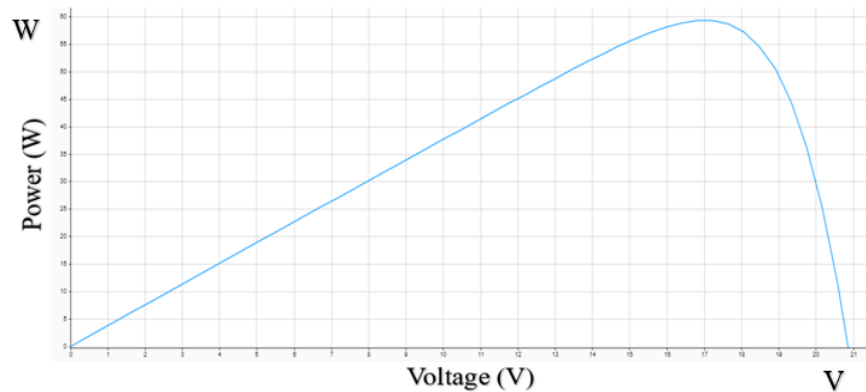
	MSX-64	MSX-60
Maximum power (P_{max})	64W	60W
Voltage @ P_{max} (V_{mp})	17.5V	17.1V
Current @ P_{max} (I_{mp})	3.66A	3.5A
Guaranteed minimum P_{max}	62W	58W
Short-circuit current (I_{sc})	4.0A	3.8A
Open-circuit voltage (V_{oc})	21.3V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage	 $-(80 \pm 10) \text{mV}/^\circ\text{C}$	
Temperature coefficient of short-circuit current	 $(0.065 \pm 0.015) \%/^\circ\text{C}$..	
Temperature coefficient of power	 $-(0.5 \pm 0.05) \%/^\circ\text{C}$...	
NOCT ²	 $47 \pm 2^\circ\text{C}$	

3.1 Mô phỏng tại điều kiện tiêu chuẩn (STC – Standard Test Conditions)

Việc đánh giá mô hình PV trong nghiên cứu này được thực hiện ở điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn (STC). Các điều kiện này được thống nhất trên toàn thế giới và được thực hiện dưới cường độ bức xạ 1000 W/m² tại nhiệt độ 25° C. Mô phỏng mô hình PV mặt trời thực hiện bởi các đường đặc tuyến dòng điện-điện áp (I-V) và công suất-điện áp (P-V) ở cường độ bức xạ thay đổi (nhiệt độ không đổi). Kết quả mô phỏng được trình bày trong Hình 8 và Hình 9.



Hình 8. Đặc tuyến I-V ở cường độ bức xạ 1000 W/m²



Hình 9. Đặc tuyến P-V ở cường độ bức xạ 1000 W/m²

Bảng 2. So sánh các tham số mô phỏng với các tham số của nhà sản xuất tại STC

Tham số	Ký hiệu	Tham số kỹ thuật MSX -60	Tham số mô phỏng	Sai số tuyệt đối	Sai số tương đối (%)
Công suất tối đa (W)	Pmax	60 W	59.3 W	0.7	1.17 %
Điện áp tại điểm công suất cực đại (V)	Vmp	17.5 V	17.0 V	0.5	2.86 %
Dòng điện tại điểm công suất cực đại (A)	Imp	3.5 A	3.49 A	0.01	0.29 %
Dòng điện ngắn mạch (A)	Isc	3.8 A	3.8 A	0.00	0.00 %
Điện áp hở mạch (V)	Voc	21.1 V	20.5 V	0.6	2.94 %

Sai số tuyệt đối được xác định bằng cách sử dụng công thức:

$$\text{Sai số tuyệt đối} = |\text{Giá trị mô phỏng} - \text{Giá trị thực tế}|$$

Sai số tương đối được xác định bằng cách sử dụng công thức:

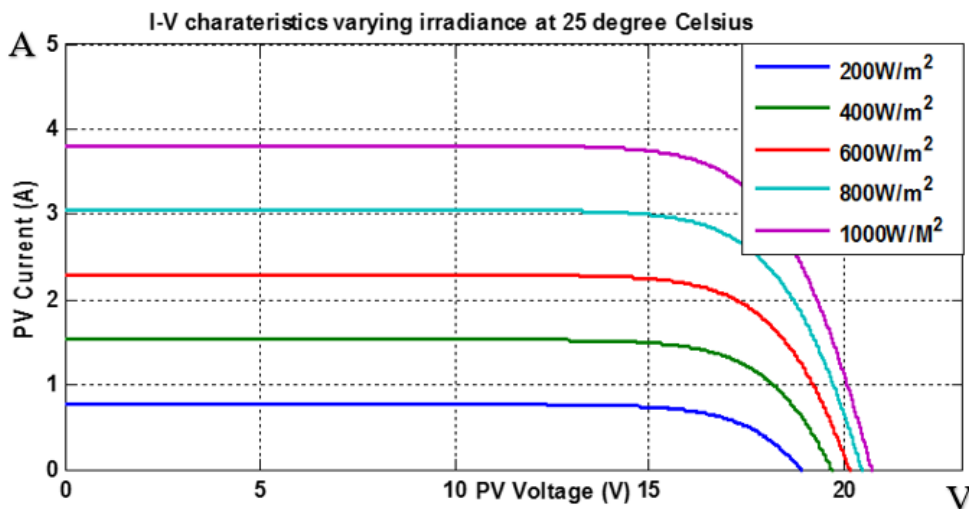
$$\text{Sai số tương đối (\%)} = \left(\frac{\text{Sai số tuyệt đối}}{\text{Giá trị thực tế}} \right) \times 100$$

Để xác nhận độ chính xác của mô hình Simulink, mô phỏng được thực hiện đã kiểm tra bằng cách đánh giá sai số tương đối giữa kết quả mô phỏng và giá trị tương ứng các thông số trong bảng dữ liệu của nhà sản xuất tại điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn (STC). Bảng 2 cho thấy sai số tương đối được tìm thấy của các thông số như I_{sc} , V_{oc} ,... từ 0.00 % đến 2.94 % so với thông số kỹ thuật thực tế của PV. Trong một thử nghiệm mô phỏng được thực hiện cho 15 loại hệ thống PV khác nhau bởi Hashim và Khazaal (2017), sai số tương đối được tìm thấy dao động từ 0.1 % đến 6.76 % [5].

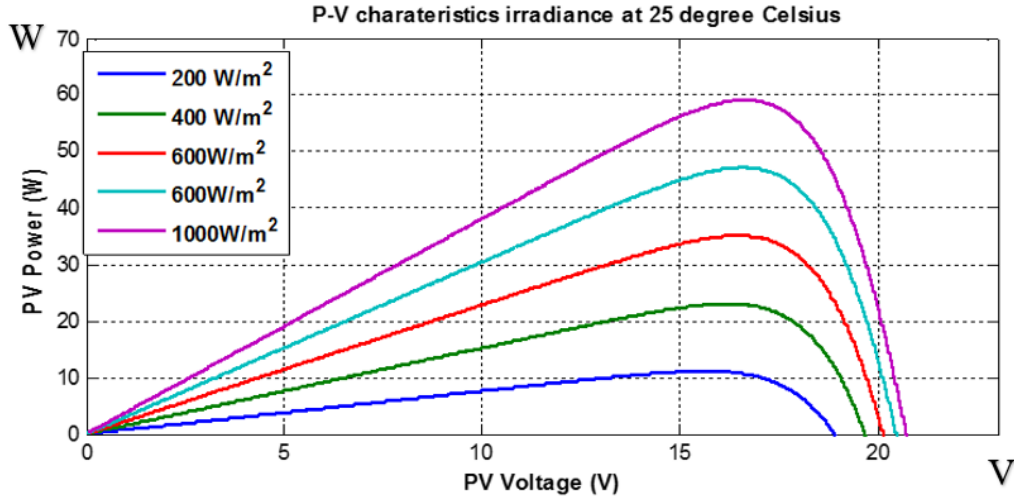
Kết quả mô phỏng cho thấy công suất cực đại đạt 59,3 W (Hình 9), rất gần với giá trị danh định 60 W được nêu trong bảng thông số kỹ thuật của nhà sản xuất (Bảng 1), chứng tỏ độ chính xác cao của mô hình. Điều này khẳng định rằng mô phỏng trong nghiên cứu này phù hợp với các đặc tính kỹ thuật của tấm pin PV Solarex MSX-60.

3.2. Ảnh hưởng của cường độ bức xạ lên tấm pin PV mặt trời

Ảnh hưởng của việc thay đổi cường độ bức xạ lên các đường đặc tuyến I-V và P-V của tấm pin PV mặt trời ở nhiệt độ không đổi 25°C được thể hiện trong Hình 10 và Hình 11. Sự thay đổi cường độ bức xạ thay đổi từ 200 W/m² đến 1000 W/m² ở nhiệt độ không đổi 25°C.



Hình 10. Đặc tuyến I-V ở cường độ bức xạ thay đổi



Hình 11. Đặc tuyến P-V ở cường độ bức xạ thay đổi

Kết quả mô phỏng đặc tuyến I - V trong Hình 10 cho thấy dòng điện đầu ra duy trì gần như không đổi khi điện áp tăng đến khoảng 15 V, sau đó giảm dần về 0 khi đạt đến điện áp hở mạch. Đồng thời, dòng điện tăng đáng kể khi cường độ bức xạ tăng từ 200 W/m² đến 1000 W/m², phản ánh mối quan hệ gần tuyến tính giữa dòng ngắn mạch (I_{sc}) và mức bức xạ. Ngược lại, điện áp hở mạch (V_{oc}) chỉ biến đổi nhẹ, đúng theo tính chất logarit của nó đối với bức xạ mặt trời. Những kết quả này phù hợp với mô hình vật lý của tế bào quang điện.

Hình 11 minh họa rõ sự dịch chuyển của điểm công suất cực đại (MPP) theo hướng tăng khi cường độ bức xạ tăng. Nghĩa là, khi chiếu sáng mạnh hơn, cả dòng điện và công suất đầu ra đều tăng theo, trong khi điện áp gần MPP thay đổi không đáng kể. Kết quả này khẳng định vai trò quyết định của bức xạ mặt trời trong hiệu suất chuyển đổi năng lượng của tấm pin PV, đúng theo lý thuyết hiệu ứng quang điện trong vật liệu bán dẫn là bức xạ mạnh hơn tạo ra nhiều cặp electron – lỗ trống hơn, dẫn đến dòng điện lớn hơn và công suất cao hơn.

3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và các tham số R_s , R_p đến đặc tính PV

Sau khi phân tích ảnh hưởng của cường độ bức xạ mặt trời trong điều kiện nhiệt độ không đổi (25°C), phần này xem xét tác động của nhiệt độ và các tham số nội tại R_s , R_p đến đặc tính làm việc của tấm pin PV. Các nhận định được rút ra dựa trên mô hình toán học ở các công thức (2), (5) và (7), vì các đại lượng này chi phối trực tiếp đặc tuyến I – V, P – V và hiệu suất tổng thể của tấm pin.

Từ phương trình đặc trưng của mô hình diode đơn:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{N_s n k T_{op}} \right) - 1 \right] - \frac{(V + IR_s)}{N_s R_p} \quad (7)$$

Từ (7) có thể thấy nhiệt độ hoạt động **Top** cùng với các điện trở **R_s** và **R_p** xuất hiện trực tiếp trong các thành phần dòng của mô hình, vì vậy chúng ảnh hưởng đồng thời đến dòng điện đầu ra và hình dạng đặc tuyến I-V.

Ảnh hưởng của nhiệt độ: Theo phương trình (2), dòng quang điện **I_{ph}** tăng nhẹ khi nhiệt độ tăng do hệ số nhiệt độ **K_I > 0**. Ngược lại, theo phương trình (5), dòng bão hòa ngược **I_s** tăng mạnh theo nhiệt độ do phụ thuộc hàm mũ vào **Top**. Khi xét điều kiện hở mạch (**I = 0**) và giả thiết **R_p** lớn, từ (7) suy ra điện áp hở mạch:

$$V_{oc} \approx \frac{nkTop}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right). \quad (8)$$

Do **I_s** tăng nhanh hơn **I_{ph}** khi nhiệt độ tăng, tỉ số $\frac{I_{ph}}{I_s}$ giảm, làm **V_{oc}** giảm và kéo theo công suất cực đại **P_{max}** suy giảm. Hiện tượng này phù hợp với bản chất vật lý của tế bào quang điện: nhiệt độ cao làm tăng tái hợp hạt mang điện trong tiếp giáp P-N, từ đó làm giảm điện áp đầu ra thực tế và hiệu suất chuyển đổi năng lượng của tấm pin.

Ảnh hưởng của các tham số **R_s** và **R_p**: là hai tham số then chốt của mô hình diode đơn và ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tuyến I – V theo (7). Khi điện trở nối tiếp **R_s** tăng, sụt áp nội **IR_s** tăng, làm tăng tổn hao nối tiếp và giảm điện áp hiệu dụng trên nhánh diode, dẫn đến giảm dòng đầu ra ở vùng điện áp cao, đồng thời làm giảm điện áp tại điểm công suất cực đại **V_{mpp}** và công suất cực đại **P_{max}**. Ngược lại, khi điện trở song song **R_p** giảm, dòng rò $I_p = \frac{V + IR_s}{R_p}$ tăng lên, làm suy giảm điện áp hở mạch **V_{oc}** và công suất cực đại **P_{max}**. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của **R_s**, **R_p** được rút ra từ phân tích lý thuyết của phương trình (7).

Từ các phân tích trên, có thể khẳng định rằng nhiệt độ hoạt động cùng các tham số **R_s** và **R_p** là những yếu tố quyết định đặc tính điện và hiệu suất của tấm pin PV.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng thành công mô hình mô phỏng tấm pin năng lượng mặt trời (PV) trong môi trường MATLAB/Simulink dựa trên mô hình diode đơn [1, 2, 8]. Kết quả mô phỏng các đặc tuyến I – V và P – V cho thấy sự tương thích cao với dữ liệu kỹ thuật của nhà sản xuất, với sai số dao động từ 0% đến 2,94 %. Điều này khẳng định tính chính xác và khả năng ứng dụng thực tiễn của mô hình trong phân tích, giám sát và thiết kế hệ thống điện mặt trời.

Mô hình được thiết kế trực quan bằng các khối Simulink, dễ sử dụng và linh hoạt điều chỉnh thông số, phù hợp cho nhiều loại tấm pin PV [1,8]. Điều này không chỉ hỗ trợ giảng dạy và nghiên cứu mà còn đặt nền tảng vững chắc cho việc phát triển hệ thống giám sát và điều khiển thông minh trong ứng dụng năng lượng mặt trời [3, 4, 7]. Nghiên cứu hiện tại mới dừng ở mức mô phỏng dựa trên dữ liệu datasheet, chưa có kiểm chứng

thực nghiệm. Trong thời gian tới, nhóm tác giả sẽ tiến hành đo đạc thực tế trên hệ thống PV tại phòng thí nghiệm, đồng thời tích hợp mô hình với SCADA để đánh giá khả năng ứng dụng real-time. Bên cạnh đó, nghiên cứu tập trung phát triển thuật toán tìm điểm công suất cực đại (MPPT) [6] và khả năng kết nối mô hình với hệ thống lưu trữ hoặc hòa lưới điện, nhằm tối ưu hóa khai thác năng lượng mặt trời và góp phần vào sự phát triển bền vững của ngành năng lượng tái tạo trong thực tế [9].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Lê Hòa, Phạm Tiến Đạt, Đỗ Xuân Khải (2018). Thiết kế và mô phỏng hệ thống điện năng lượng mặt trời không nối lưới, *Tạp chí khoa học và công nghệ – Đại học Đà Nẵng*, số 1(122), tr. 22–27, <https://jst-ud.vn/jst-ud/article/view/337>
- [2]. Nguyen Duc Tuyen (2020). Single-Diode Models of PV Modules: A Comparison of Conventional Approaches and Proposal of a Novel Model, *Energies*, 13(6), 1296, <https://doi.org/10.3390/en13061296>
- [3]. Nelson A. Salazar-Peña (2024). AI-Powered Dynamic Fault Detection and Performance Assessment in Photovoltaic Systems, *eess.SP*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.00052>
- [4]. Agussalim Syamsuddin (2024). Predictive maintenance based on anomaly detection in photovoltaic system using SCADA data and machine learning, *ScienceDirect*, Vol. 24, pp. 103589, Website: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103589>
- [5]. Hashim, E.T., & Khazaaal, S.Q. (2017). Modelling and output power evaluation of series-parallel photovoltaic modules, *International Journal of Computer Application*, Vol. 158(8), pp.35-46, <http://dx.doi.org/10.5120/ijca2017912846>
- [6]. Podder, A. K., Roy, N. K., & Pota, H. R. (2019). MPPT methods for solar PV systems: a critical review based on tracking nature. *IET Renewable Power Generation*, 13(10), 1615–1632, <https://doi.org/10.1049/IET-RPG.2018.5946>
- [7]. Dimara, A., Papaioannou, A. Grigoropoulos, K., et al. (2023). A Novel Real-Time PV Error Handling Exploiting Evolutionary-Based Optimization, *Applied Sciences*, 13(23), 12682, <https://doi.org/10.3390/app132312682>
- [8]. Radhika, G., & Kumar, R. P. (2014). A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB, *Energy and Environmental Engineering*, 3(4), 218-226, <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2014.04.001>
- [9]. Caixia Li, Yuanyuan Xu, et al. (2025). Assessing solar-to-PV power conversion models: Physical, ML, and hybrid approaches across diverse scales, *Energy*, Vol. 323, 13574, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135744>

DESIGN AND SIMULATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN REAL TIME USING MATLAB/SIMULINK

Nguyen Huu Lap Truong^{1*}, Đinh Trung Trọng²

¹ University of Science and Technology, The University of Danang

² Hue Industrial College

* Email: nhltruong@dut.udn.vn

ABSTRACT

This paper presents a methodology for designing and simulating a photovoltaic (PV) module model using MATLAB/Simulink to evaluate the operating performance of commercial PV modules. The model is developed based on mathematical equations that describe the I–V and P–V characteristics of PV modules, taking into account the effects of solar irradiance. The simulation parameters are calibrated according to the actual specifications of the Solarex MSX-60 module provided by the manufacturer.

The simulation results indicate that the maximum deviation between the simulated data and the manufacturer's specifications is 2.94%, while the minimum deviation is 0%. These results confirm the high accuracy and strong practical applicability of the proposed model. Furthermore, the model can be extended for integration with maximum power point tracking (MPPT) algorithms or real-time monitoring systems, making it suitable for educational, research, and industrial applications.

Keywords: MATLAB/Simulink, photovoltaic module, MPPT, real-time simulation.



Nguyễn Hữu Lập Trường sinh ngày 26/01/1985 tại Đà Nẵng. Ông tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành Kỹ thuật điện, tại trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng; tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa, tại Đại học Đà Nẵng năm 2016. Hiện nay, công công tác tại Khoa Khoa học Công nghệ tiên tiến, Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng.

Lĩnh vực nghiên cứu: Kỹ thuật điều khiển, năng lượng tái tạo, học máy (machine learning), AIoT.



Đinh Trung Trọng sinh ngày 16/09/1984, tại thành phố Huế. Ông tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành Sản xuất tự động, tại Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng, năm 2007; tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa, tại Đại học Đà Nẵng, năm 2015. Hiện nay, ông công tác tại Khoa Cơ khí – Ô tô, Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Nghiên cứu các hệ thống cơ điện tử, tự động hóa trong công nghiệp, mô hình hóa các hệ thống.