

NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN THU NHIỆT NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI  
ĐỂ SẠC TRỰC TIẾP CHO XE Ô TÔ ĐIỆN CỠ NHỎ

Trần Văn Hoàng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thế Định<sup>1</sup>, Trần Bảo Lâm<sup>1</sup>, Trần Mai Phương<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Nghiên cứu sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng, xây dựng mô hình chuỗi pin, phân tích đặc tính I-V, P-V ở các điều kiện bức xạ và nhiệt độ khác nhau. Sử dụng tấm pin 450 W, đưa thông số vào khối PV array trong Matlab/Simulink để đánh giá đặc tính và so sánh với thực nghiệm nhằm kiểm tra điện áp thu được trong điều kiện bức xạ và nhiệt độ khác nhau để sạc pin cho xe ô tô điện cỡ nhỏ. Kết quả cho thấy, cường độ bức xạ và nhiệt độ là hai yếu tố môi trường quyết định hiệu suất đầu ra, cụ thể là. Dòng ngắn mạch  $I_{sc}$  và công suất tăng khi bức xạ tăng, điện áp gần như không đổi; Khi nhiệt độ tăng, điện áp và công suất giảm, dòng điện thay đổi ít.

**Từ khóa:** Mô phỏng quang điện (PV), đặc tính I-V và P-V, ảnh hưởng của bức xạ và nhiệt độ, sạc pin cho xe điện.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nhu cầu năng lượng toàn cầu ngày càng tăng, việc khai thác và sử dụng hiệu quả các nguồn năng lượng tái tạo đóng vai trò then chốt trong quá trình phát triển bền vững. Trong số đó, năng lượng mặt trời nổi lên như một giải pháp khả thi nhờ tính sẵn có, thân thiện với môi trường và tiềm năng ứng dụng rộng rãi (Kah Yung Yap; Hon Huin Chin; Jiří Jaromír Klemesš, 2022; M. Sechilariu; A. Reinders; Y. Krim; S. Cheikh-Mohamad; A. Sierra; G. Seiler; K. Ben Slimane, 2021). Hệ thống quang điện (PV) đang ngày càng được ứng dụng trong sản xuất điện, đặc biệt trong lĩnh vực giao thông vận tải xanh như sạc pin cho xe ô tô điện cỡ nhỏ (Masafumi Yamaguchi, Taizo Masuda, Yasuyuki Ota, 2024; Saheb Ghanbari Motlagh; Jamiu Oladigbolu; Li Li, 2025).

Tuy nhiên, hiệu suất của hệ thống PV chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ các yếu tố môi trường, đặc biệt là bức xạ mặt trời và nhiệt độ. Bức xạ quyết định dòng ngắn mạch và công suất đầu ra, trong khi nhiệt độ làm thay đổi điện áp và hiệu suất của tấm pin. Do đó, việc phân tích đặc tính I-V và P-V của pin quang điện dưới các điều kiện môi trường khác nhau là cần thiết để dự đoán hiệu quả hoạt động và tối ưu hóa ứng dụng thực tế.

Trong nghiên cứu này, phần mềm Matlab/Simulink được sử dụng để mô phỏng và xây dựng mô hình chuỗi pin mặt trời, với dữ liệu đầu vào là tấm pin 450 W. Kết quả mô phỏng được so sánh với thực nghiệm (Luu Ngọc An và cộng sự, 2023), nhằm đánh giá độ chính xác của mô hình và kiểm chứng điện áp, dòng điện trong các điều kiện bức xạ và nhiệt độ khác nhau. Nghiên cứu hướng tới việc xác định vai trò của các yếu tố môi trường đối với hiệu suất đầu ra, đồng thời cung

cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế và tối ưu hóa hệ thống sạc pin xe điện sử dụng năng lượng mặt trời.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Để phân tích và đánh giá đặc tính của pin mặt trời trong các điều kiện môi trường khác nhau. Dựa trên mô hình diode, ảnh hưởng của bức xạ và nhiệt độ đến đặc tính I-V, P-V, cũng như cơ sở mô phỏng trên Matlab/Simulink.

Mô hình tương đương của pin mặt trời: Dòng quang điện chạy trong mạch phải đi qua các lớp bán dẫn p và n, các điện cực, các tiếp xúc... Đặc trưng cho tổng các điện trở của các lớp đó là một điện trở  $R_s$  mắc nối tiếp trong mạch.

Phương trình điện áp – dòng điện của một tế bào quang điện pin mặt trời được tính bằng công thức [Nguyễn Đắc Hải và cộng sự, 2022]:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}$$

Ảnh hưởng của bức xạ mặt trời: Dòng quang sinh  $I_{ph}$  tỷ lệ thuận với cường độ bức xạ:

$$I_{ph} \approx \frac{G}{G_{ref}} \cdot I_{ph,ref}$$

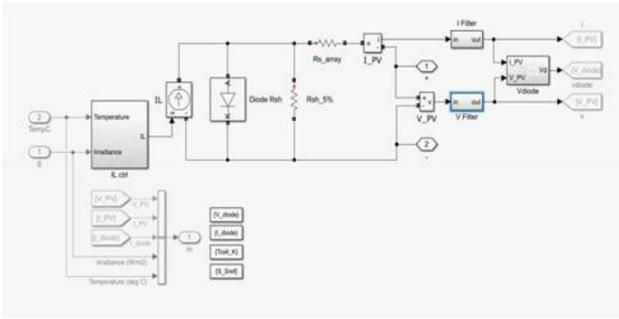
Ảnh hưởng của nhiệt độ: Dòng điện bão hòa pin quang điện thay đổi theo nhiệt độ của tế bào quang điện, theo công thức [Nguyễn Đắc Hải và cộng sự, 2022]:

$$I_0(T) = I_0 T_{ref} \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[ \frac{E_g}{k} \left( \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Xây dựng mô hình trên Matlab/Simulink: Cung cấp khối PV array cho phép nhập thông số kỹ thuật của tấm pin. Nhờ đó, có thể mô phỏng trực quan các đặc tính I-V và P-V của chuỗi pin mặt trời trong điều kiện môi trường khác nhau. 2 Tấm pin 450W được sử dụng làm cơ sở mô hình, thông số tấm pin theo tiêu chuẩn (John Wiley & Sons, 1995), từ đó xây dựng chuỗi pin PV và phân tích đặc tính phục vụ cho ứng dụng sạc pin ô tô điện cỡ nhỏ.

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí - Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

\* Tác giả liên hệ

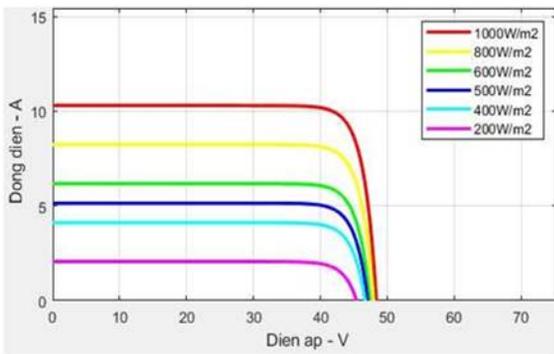


Hình 1. Mô hình mô phỏng PV trong Matlab/Simulink (Dingyü Xue & Feng Pan, 2024)

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Ảnh hưởng của môi trường

##### Ảnh hưởng của bức xạ



Hình 2. Đặc tính I-V khi cường độ ánh sáng thay đổi

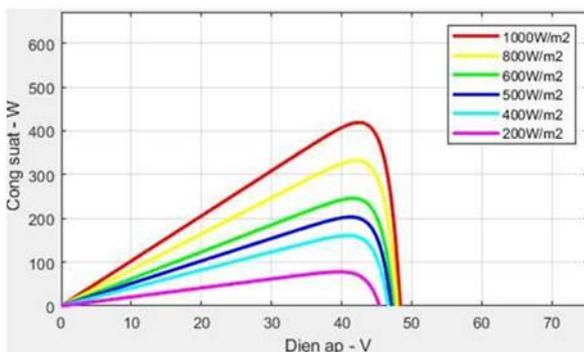
Ở mỗi mức bức xạ, biên dạng đồ thị dòng điện giữ gần như không đổi khi điện áp tăng cho tới một giá trị ngưỡng, sau đó dòng điện sụt nhanh về 0.

Isc: Giá trị dòng điện khi điện áp = 0, tăng tuyến tính theo bức xạ.

Voc: Giá trị điện áp khi dòng điện = 0, gần như cố định ở mức ~48 V.

MPP (Maximum Power Point): Điểm công suất cực đại nằm ở đoạn “góc vuông” của mỗi đường cong. Bức xạ càng cao → MPP càng lớn.

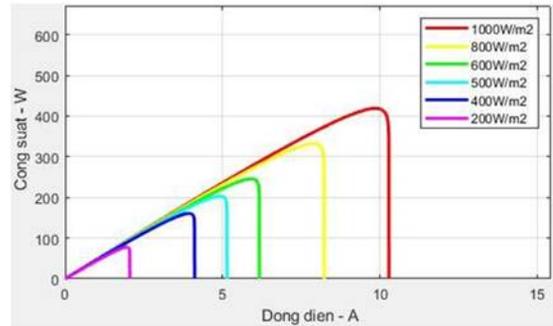
Khi bức xạ thay đổi V sẽ thay đổi giá trị không đáng kể nhưng giá trị I sẽ thay đổi khá lớn.



Hình 3. Đường đặc tính V-P khi cường độ ánh sáng thay đổi

Mỗi đường cong bắt đầu từ 0 (tại V=0) → tăng dần theo điện áp → đạt đỉnh công suất cực đại (MPP) → giảm về 0 tại Voc (~47–50 V). Đỉnh công suất dịch lên cao khi bức xạ tăng.

Khi bức xạ thay đổi, V sẽ thay đổi giá trị không đáng kể nhưng giá trị P sẽ thay đổi khá lớn.



Hình 4. Đường đặc tính I-P khi cường độ ánh sáng thay đổi

Công suất tăng gần tuyến tính khi dòng điện tăng, đạt cực đại (Pmax) ở một giá trị dòng điện nhất định (Imp), rồi nhanh chóng giảm về 0 khi dòng điện tiến tới dòng ngắn mạch (Isc). Với mỗi mức bức xạ, Pmax khác nhau, nhưng Imp tỉ lệ thuận với bức xạ.

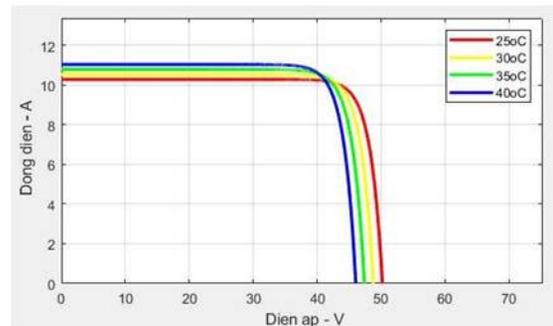
Khi thay đổi điều kiện của cường độ ánh sáng mặt trời từ:  $W = 200 \text{ W/m}^2$  tới bức xạ  $W = 1000 \text{ W/m}^2$  thu được đặc tính I – V, P – V và I-P. Từ đó có một số kết luận như sau:

Dòng ngắn mạch Isc tỉ lệ thuận với cường độ bức xạ chiếu sáng.

Khi dòng điện và điện áp tăng dần tới công suất hoạt động của pin cũng tăng.

Công suất đầu ra tỉ lệ nghịch với nhiệt độ và tỉ lệ thuận với cường độ bức xạ mặt trời.

##### Ảnh hưởng của nhiệt độ

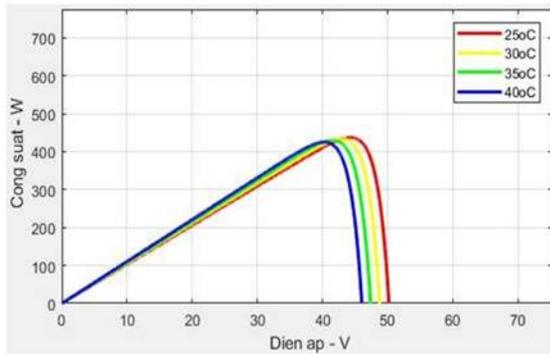


Hình 5. Đặc tính I-V khi nhiệt độ thay đổi

Khi nhiệt độ tăng thì điện áp hoạt động của pin mặt trời giảm, còn dòng điện thì tăng nhẹ. Dòng ngắn mạch (Isc) hầu như không thay đổi nhiều khi nhiệt độ tăng (từ ~11 A → 11.2 A). Điện áp hở mạch (Voc) giảm rõ rệt khi nhiệt độ tăng.

25°C: Voc ≈ 50 V; 40°C: Voc ≈ 46 V.

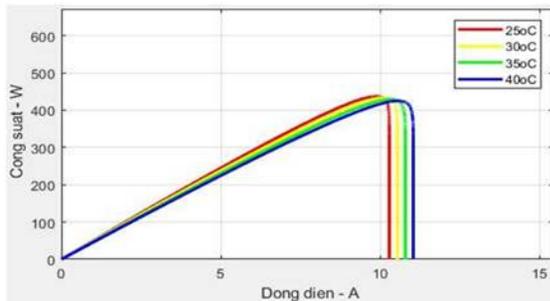
Độ dốc đoạn sụt dòng cuối đồ thị tăng theo nhiệt độ, tức là khi nhiệt độ cao, điện áp giảm nhanh hơn.



Hình 6. Đặc tính P-V khi nhiệt độ thay đổi

Công suất của pin mặt trời giảm khi nhiệt độ tăng. Khi nhiệt độ tăng, ta thấy: Đỉnh công suất giảm dần, vị trí đỉnh dịch sang bên trái ( $V_{mpp}$  giảm).

Nhiệt độ  $25^{\circ}\text{C}$ :  $P_{max} \approx 460-480 \text{ W}$ ;  $40^{\circ}\text{C}$ :  $P_{max} \approx 400 \text{ W}$ .



Hình 7. Đặc tính I-P khi nhiệt độ thay đổi

Công suất tăng gần tuyến tính với dòng điện khi I còn thấp. Mỗi đường đạt một đỉnh công suất cực đại ( $P_{max}$ ) tại dòng điện  $I_{mpp} \sim 9.5-10 \text{ A}$ .

Sau đỉnh, công suất rất nhanh khi dòng điện tiến tới dòng ngắn mạch  $I_{sc} (\sim 11-11.5 \text{ A})$ .

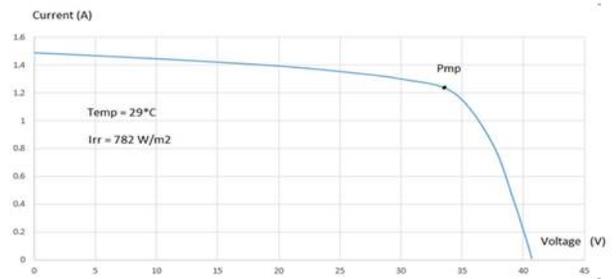
Khi nhiệt độ tăng:  $P_{max}$  giảm dần (đỉnh công suất thấp hơn).  $I_{mpp}$  gần như không đổi ( $\sim 9.5-10 \text{ A}$ ).

### 3.2. Thực nghiệm hiện trường

Kết quả thực nghiệm tại hiện trường cho thấy (điều kiện tốt: không có mây che, bóng mờ, bức xạ và nhiệt độ ổn định).



Hình 8. Đo thực nghiệm  $I_{sc}$  tại hiện trường



Hình 9. Đồ thị đặc tính I-V của chuỗi pin ở bức xạ  $800 \text{ w/m}^2$  và  $T=30^{\circ}\text{C}$

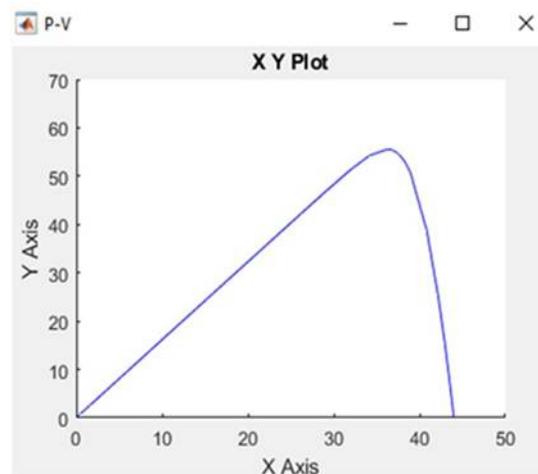
Khi  $V \approx 0 \rightarrow I$  đạt giá trị lớn nhất (dòng ngắn mạch  $I_{sc} \approx 1.5 \text{ A}$ ).

Khi  $V$  tăng,  $I$  giữ gần như ổn định gần đến  $V_{oc}$  ( $\sim 45 \text{ V}$ ), dòng sụt nhanh về 0.

Pin mặt trời cung cấp dòng điện gần như không đổi trong dải điện áp hoạt động, nhưng bị giới hạn tại  $V_{oc}$ .



Hình 10. Đo thực nghiệm  $V_{oc}$  tại hiện trường



Hình 11. Đồ thị đặc tính P-V của chuỗi pin ở bức xạ  $800 \text{ w/m}^2$  và  $T=30^{\circ}\text{C}$

Công suất tăng tuyến tính khi điện áp tăng ở vùng thấp. Đạt cực đại tại  $V_{mpp} \approx 45 \text{ V}$ , với công suất cực đại  $P_{max} \approx 55-60 \text{ W}$ . Sau đó, công suất giảm mạnh về 0 khi  $V$  tiến đến  $V_{oc}$ .

Kết quả đo được tương đối giống với mô phỏng trong cùng điều kiện, chứng tỏ chất lượng nguồn pin đang hoạt động khá tốt và ổn định.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng và phân tích đặc tính làm việc của tấm pin năng lượng mặt trời bằng Matlab/Simulink, đồng thời so sánh với kết quả thực nghiệm để đánh giá khả năng ứng dụng trong sạc pin cho ô tô điện cỡ nhỏ. Kết quả cho thấy, bức xạ mặt trời là yếu tố quyết định trực tiếp đến dòng điện ngắn mạch và công suất đầu ra, trong khi nhiệt độ môi trường làm giảm điện áp và công suất phát của

pin. Điều này chứng tỏ hiệu suất của hệ thống PV phụ thuộc vào điều kiện môi trường và cần có thuật toán theo dõi điểm công suất cực đại (MPPT) để tối ưu khả năng khai thác.

Mô hình chuỗi pin được xây dựng trên Simulink cho kết quả khá sát với thực nghiệm, chứng minh tính khả thi của phương pháp mô phỏng trong việc dự đoán hiệu quả hoạt động của hệ thống. Đây là cơ sở quan trọng để phát triển và tối ưu hóa các giải pháp sạc pin xe điện sử dụng năng lượng mặt trời, góp phần thúc đẩy xu hướng giao thông xanh, bền vững và giảm thiểu phát thải khí nhà kính.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Lưu Ngọc An, Trần Thị Minh Dung, Phạm Nguyễn Quốc Huy, Giáp Quang Huy và Đoàn Anh Tuấn, *Thiết kế, chế tạo cây năng lượng gồm nguồn gió và mặt trời*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ – Đại học Đà Nẵng, Volume 21, Số 7, 2023.
- Nguyễn Đắc Hải, Hà Thị Phương, Nguyễn Ngọc Anh, Nguyễn Thị Thu Hà, *Giáo trình Điện tử Tương tự*, NXB Thống kê Hà Nội, 2022.
- Kah Yung Yap; Hon Huin Chin; Jiří Jaromír Klemeš, *Solar energy-powered BEV charging*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2022.
- M. Sechilariu; A. Reinders; Y. Krim; S. Cheikh-Mohamad; A. Sierra; G. Seiler; K. Ben Slimane, *PV-Powered Electric Vehicle Charging Stations* – Báo cáo kỹ thuật IEA-PVPS Task 17, 2021.
- Masafumi Yamaguchi, Taizo Masuda, Yasuyuki Ota, *Topical Review for Vehicle Integrated Photovoltaics*, 2024.
- Saheb Ghanbari Motlagh; Jamiu Oladigbolu; Li Li, *Review: EV charging station operation with market/grid interactions* – *Applied Energy*, 2025.
- John Wiley & Sons, *Solar Cells and Their Applications*, Hoboken, NJ, USA, 1995.
- Dingyü Xue & Feng Pan, *MATLAB and Simulink in Action: Programming, Scientific Computing and Simulation*, Springer Singapore, 2024.

#### Abstract:

#### STUDY AND CALCULATION OF SOLAR ENERGY HARVESTING FOR ONBOARD CHARGING OF COMPACT ELECTRIC CARS

*This study employs Matlab/Simulink to model and simulate a photovoltaic (PV) module string, focusing on the analysis of I-V and P-V characteristics under varying irradiance and temperature conditions. A 450-W PV module is used, and its technical parameters are incorporated into the PV Array block in Matlab/Simulink to evaluate performance characteristics and compare them with experimental measurements. The objective is to verify the obtainable voltage across different irradiance and temperature scenarios for charging a small electric vehicle battery. The results indicate that irradiance and temperature are the two dominant environmental factors governing output performance. Specifically, the short-circuit current ( $I_{sc}$ ) and output power increase with rising irradiance, while the voltage remains nearly constant; conversely, as temperature increases, the voltage and power decrease, with only minor variations in current.*

**Keywords:** Photovoltaic (PV) simulation, I-V and P-V characteristics, irradiance and temperature effects, electric vehicle battery charging.

---

Ngày nhận bài: 09/10/2025

Ngày chấp nhận đăng: 11/12/2025