

XÂY DỰNG MÔ HÌNH PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI QUANG ĐIỆN SỬ DỤNG MATLAB/SIMULINK

Development of a photovoltaic model using MATLAB/Simulink

Ngô Văn Bình¹, Lê Phương Trường²

¹ngovanbinh@lhu.edu.vn, ²lephuongtruong@lhu.edu.vn
Khoa Cơ Điện – Điện Tử, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam
Đến tòa soạn: 08/06/2017; Chấp nhận đăng: 14/06/2017

Tóm tắt. Bài báo này trình bày một phương pháp phát triển mô hình mô phỏng pin năng lượng mặt trời quang điện (PV) sử dụng phần mềm MATLAB / Simulink. Mô hình này được xây dựng dựa trên các khối thư viện đồ họa sẵn có của Simulink. Mô hình mô phỏng đặc điểm và tính chất ngõ ra I-V (dòng điện – điện áp) và P-V (công suất – điện áp) của pin PV. Bên cạnh đó, mô hình còn cho phép các nhà nghiên cứu kiểm tra ảnh hưởng của bức xạ mặt trời và nhiệt độ hoạt động của pin PV đến dòng điện tạo ra và điểm công suất làm việc của các mô đun PV thương mại.

Từ khóa: Pin năng lượng mặt trời; Đánh giá pin mặt trời (PV) sử dụng phần mềm MATLAB / Simulink; Đại học Lạc Hồng

Abstract. This paper presents a method for the development of general photovoltaic (PV) model using MATLAB / Simulink. This model development based on graphic block library of Simulink. This model is used to simulated, optimized the output current (I-V) and power (P-V) characteristics of PV module based on the difference solar radiation and operation temperature of PV module. Furthermore, PV model easily simulated and analyzed in conjunction with power electronics for a maximum power point tracker.

Keywords: PV evaluation; MATLAB/Simulink; Lac Hong University

1. GIỚI THIỆU

Nguồn năng lượng mặt trời là nguồn năng lượng tái tạo vô tận với trữ lượng lớn, ở Việt Nam năng lượng mặt trời luôn có sẵn quanh năm, ổn định, thân thiện với môi trường, hoàn toàn miễn phí và phân bố rộng rãi trên các vùng miền khác nhau của đất nước. Gần đây, hệ thống pin quang điện đã được công nhận và sử dụng rộng rãi, đi đầu trong các ứng dụng về điện năng. Pin năng lượng mặt trời tạo ra dòng điện trực tiếp không ảnh hưởng đến môi trường và ô nhiễm khi tiếp xúc với bức xạ mặt trời. Bên cạnh đó, pin quang điện là một thiết bị bán dẫn, không có bộ phận chuyển động, điều đó giúp hệ thống ít chi phí hoạt động và bảo trì. Các đặc tính đầu ra của mô đun PV phụ thuộc vào bức xạ mặt trời, nhiệt độ và điện áp ra của tế bào quang điện. Các mô hình toán học PV được sử dụng trong mô phỏng máy tính đã được xây dựng và nghiên cứu rất nhiều trong và ngoài nước [1,2]. Hầu như tất cả các mô hình PV phát triển đều mô tả các đặc tính đầu ra chủ yếu bị ảnh hưởng bởi bức xạ mặt trời, nhiệt độ hoạt động của PV và điện áp tải.

Bảng 1 liệt kê các công trình nghiên cứu xây dựng mô hình PV trên các phần mềm khác nhau của các tác giả khác nhau [9]. Phương pháp phát triển hệ thống đánh giá pin mặt trời giao tiếp với phần cứng Atmega 2560 lập trình trong MATLAB/Simulink.

Bảng 1. Các phương pháp so sánh đánh giá mô hình PV

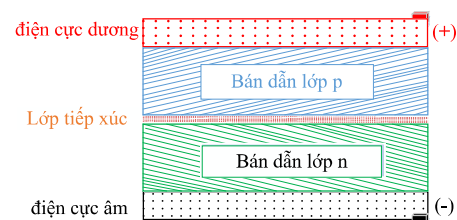
Phần mềm mô phỏng	Tác giả
Circuit simulator	Villalva et al. [4]
Mathematica 6.0	Sandrolini et al. [5]
Simulator with LabVIEW	Blanes et al. [7]
MATLAB/Simulink	Le et al. [9]
MATLAB/Simulink	Bài nghiên cứu này

Bài báo này xây dựng một mô hình pin mặt trời tổng quát sử dụng MATLAB/Simulink. Mô hình sử dụng để dàng mô phỏng và phân tích các pin mặt trời thương mại. Bên cạnh

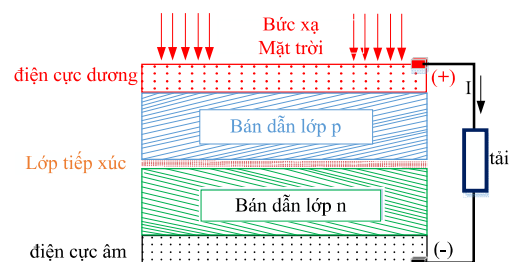
đó, ứng dụng mô hình pin mặt trời là một công cụ tốt cho nghiên cứu và ứng dụng thực tế cũng như trong đào tạo.

2. MÔ HÌNH PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI QUANG ĐIỆN

Ngày nay, vật liệu chủ yếu tạo ra pin mặt trời (và cho các thiết bị bán dẫn) là các silic tinh thể, tạo ra bán dẫn loại n và bán dẫn loại p rồi ghép lại với nhau bởi lớp tiếp xúc p – n. Pin mặt trời là thiết bị chuyển hóa bức xạ mặt trời thành điện năng thông qua hiệu ứng quang điện được trình bày như Hình 1.



Hình 1.(a) Cấu tạo pin quang điện

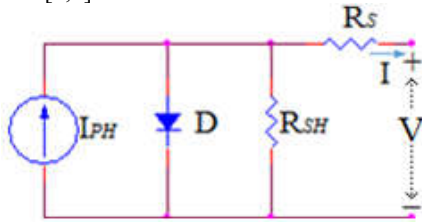


Hình 1.(b) Nguyên lý hoạt động pin quang điện

2.1 Mô hình và phương trình toán học tế bào quang điện mặt trời

Pin mặt trời hoạt động theo đặc tính phi tuyến I-V và P-V, thay đổi tuyến tính theo bức xạ mặt trời và nhiệt độ hoạt động của tế bào quang điện.

Phương trình toán học chung cho đặc tính đầu ra I-V cho một tế bào quang điện PV đã được nghiên cứu trong suốt bốn thập kỷ [1,2]. Xây dựng mô hình tổng quát của tế bào quang điện Hình 2. [7,8]



Hình 2. Mô hình tổng quát của tế bào quang điện

Phương trình điện áp - dòng điện của một tế bào quang điện pin mặt trời được tính bằng công thức (1):

$$I = I_{PH} - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_S)}{kT_C A}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

Trong đó:

I_{PH} : Dòng quang điện

I_S : Dòng bão hòa

$q = 1.6 \times 10^{-19}C$: điện tích nguyên tử

$k = 1.38 \times 10^{-23}J/K$: hằng số Boltzmann

T_C : nhiệt độ làm việc của tế bào quang điện

A : hằng số lý tưởng của vật liệu bán dẫn

R_{SH} : điện trở song song (shunt)

R_S : điện trở nối tiếp (series)

Dòng quang điện của Pin quang điện phụ thuộc vào bức xạ của mặt trời và nhiệt độ làm việc của tế bào quang điện, theo công thức (2)

$$I_{PH} = I_{SC}^{STC} + K_i (T_{PV} + T_{PV}^{STC}) \frac{\lambda}{\lambda^{STC}} \quad (2)$$

Với:

I_{SC}^{STC} : dòng ngắn mạch của pin quang điện tại 25°C và 1kW/m²

T_{PV}^{STC} : nhiệt độ ở điều kiện chuẩn của pin quang điện (25°C)

T_{PV} : nhiệt độ làm việc của pin quang điện °C

K_i : hệ số nhiệt độ dòng ngắn mạch của tế bào quang điện

λ^{STC} : bức xạ mặt trời 1kW/m²

Dòng điện bão hòa pin quang điện thay đổi theo nhiệt độ của tế bào quang điện, theo công thức (3) như sau:

$$I_S = I_{RS} \left(\frac{T_C}{T_{PV}^{STC}} \right)^3 \left[\exp \frac{qE_\lambda \left(\frac{1}{T_{PV}^{STC}} - \frac{1}{T_C} \right)}{kA} \right] \quad (3)$$

Trong đó:

I_{RS} : dòng điện chạy qua nội trở song song R_{SH}

E_λ : năng lượng khoảng cách của chất bán dẫn của tế

bào quang điện

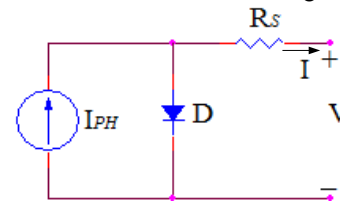
T_{PV}^{STC} : nhiệt độ ở điều kiện chuẩn của tế bào quang điện °C

A : hằng số lý tưởng vật liệu PV [3] thống kê bảng 2

Bảng 2. Hằng số lý tưởng vật liệu phụ thuộc vào công nghệ PV

Công nghệ	Hằng số lý tưởng vật liệu A
Si-mono	1.2
Si-poly	1.3
a-si:H	1.8
a-si:H tandem	3.3
a-si:H triple	5
CdTe	1.5
CIS	1.5
AsGe	1.3

Dòng điện ra I của tế bào quang điện ít phụ thuộc vào sự thay đổi của điện trở shunt R_{SH} , chủ yếu chịu sự biến đổi của điện trở nối tiếp R_S , nên R_S làm thay đổi công suất ngõ ra của pin năng lượng mặt trời. Mô hình tương thích của tế bào quang điện mặt trời PV được thể hiện trong Hình 3 [4].

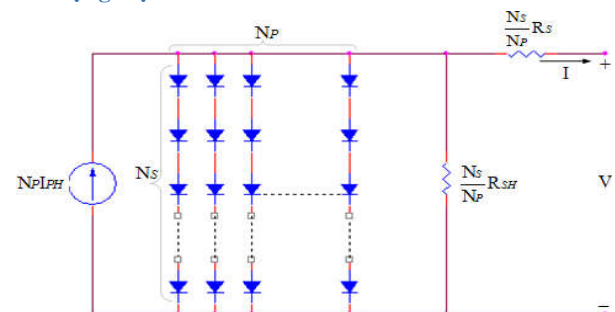


Hình 3. Mô hình tương thích của tế bào quang điện

Khi xây dựng một mô hình pin mặt trời tổng quát sử dụng MATLAB/Simulink cho dòng ngõ ra của tế bào quang điện giả định điện trở shunt $R_{SH} = \infty$, thay đổi giá trị R_S theo các giá trị $R_S = 0.001\Omega$, $R_S = 0.01\Omega$, $R_S = 0.01\Omega$ [8], phương trình điện áp - dòng điện của một tế bào quang điện pin mặt trời (1) được viết lại như phương trình (4).

$$I = I_{PH} - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_S)}{kT_C A}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

2.2 Mô hình và phương trình toán học mô-đun Pin năng lượng mặt trời



Hình 4. Mô hình tổng quát của mô-đun NLMT [6]

Một tế bào quang điện tạo ra công suất khoảng 2W ($P_{max} \leq 2W$) và điện áp khoảng 0.5V. Trên thực tế, các mô-đun năng lượng mặt trời thương mại có công suất từ 2W đến 300W. Xây dựng mô-đun năng lượng mặt trời tạo ra công suất như trên thì ghép song song các tế bào quang điện trên

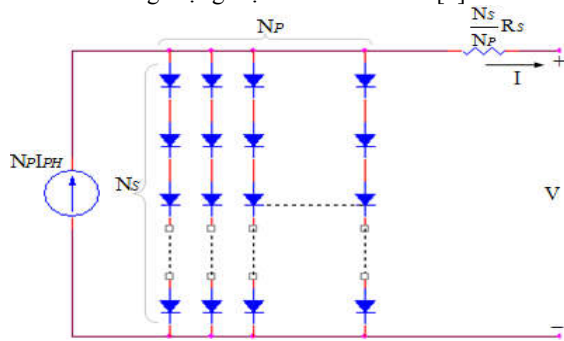
một mô-đun PV và nhiều mô-đun PV nối tiếp lại với nhau để tạo ra dòng điện và điện áp đáp ứng được nhu cầu thực tế [6]. Sơ đồ mạch tương đương cho mô-đun năng lượng mặt trời Hình 4.

$$I = I_p I_{PH} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + I R_s \right)}{k T_c A} \right) - 1 \right] - \frac{\left(\frac{N_p V}{N_s} + I R_s \right)}{R_{SH}} \quad (5)$$

N_p : các tế bào quang điện nối song song

N_s : các mô-đun quang điện ghép nối tiếp

Như phân tích ở Hình 3 của tế bào quang điện, với mô-đun năng lượng mặt trời PV thương mại thì điện trở nối tiếp R_s là yếu tố tác động trực tiếp đến công suất ngõ ra của mô-đun năng lượng mặt trời. Từ đó mô-đun pin năng lượng mặt trời thương mại trên thị trường được xây dựng theo cấu trúc nối tiếp - song song và mô hình tương đương thích hợp cho các mô-đun năng lượng mặt trời như Hình 5 [6].



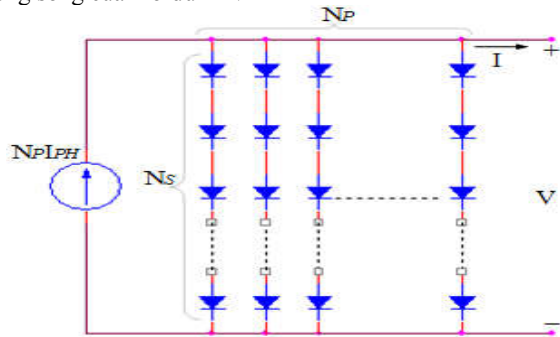
Hình 5. Mô hình mở rộng của Pin NLMT [6]

$N_s = N_p = 1$: cấu trúc của một tế bào quang điện

$N_p = 1$ và N_s : số lượng tế bào quang điện mắc nối tiếp trong mô-đun PV

$N_s = 1$ và N_p : số lượng mô-đun mắc song song trong mô-đun PV

N_s và N_p : số lượng tế bào quang điện mắc nối tiếp và song song của mô-đun PV



Hình 6. Mô hình tương thích của Pin NLMT [6]

Phương trình toán học của mô hình tổng quát được mô tả như sau:

$$I = I_p I_{PH} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + I R_s \right)}{k T_c A} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

Ngoài ra, một mô hình đơn giản [6] của mô-đun PV tổng quát Hình 6.

Từ Hình 6 phương trình toán học có dạng như sau:

$$I = I_p I_{PH} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{qV}{N_s k T_c A} \right) - 1 \right] \quad (7)$$

3.1 XÂY DỰNG VÀ MÔ PHỎNG MÔ HÌNH PIN QUANG ĐIỆN MẶT TRỜI TỔNG QUÁT

3.1 Xây dựng mô hình mô-đun quang điện mặt trời tổng quát

Quá trình biến đổi ánh sáng thành điện được gọi là quang điện. Tế bào quang điện là thiết bị được xây dựng để hấp thụ bức xạ mặt trời và chuyển thành dòng điện một chiều. Mô-đun pin mặt trời chịu sự ảnh hưởng của nhiệt độ hoạt động của pin, bức xạ mặt trời, dòng điện bão hòa của diode và điện trở nối tiếp R_s . Xây dựng mô hình MATLAB/Simulink tổng quát phù hợp các mô-đun PV thương mại, phân tích dựa trên điểm công suất cực đại và đồ thị đặc tính ngõ ra I-V và P-V. Mô hình mô phỏng, chương trình con mô-đun pin quang điện SC-80P thực hiện Hình 7, thông số ngõ vào được xây dựng trong thư viện Simulink tấm pin năng lượng mặt trời như Bảng 3 [10].

3.2 Kết quả mô phỏng mô hình pin mặt trời PV

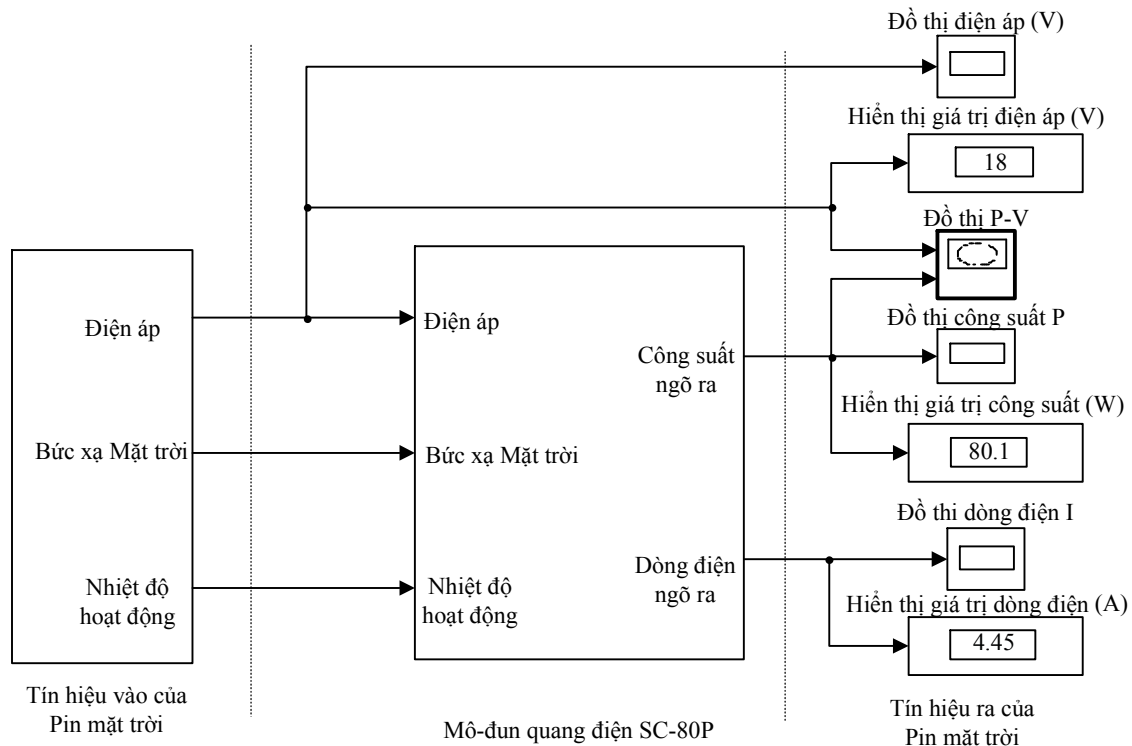
Từ mô hình mô phỏng hệ thống, chương trình con và bảng thông số kỹ thuật mô-đun pin NLMT SC-80P, mô phỏng kết quả các giá trị công suất, điện áp và dòng điện danh định, điện áp và dòng điện hở mạch chính xác với thông số nhà sản xuất như Bảng 4.

Bảng 4. Bảng đánh giá kết quả mô với thông số của nhà sản xuất pin thương mại

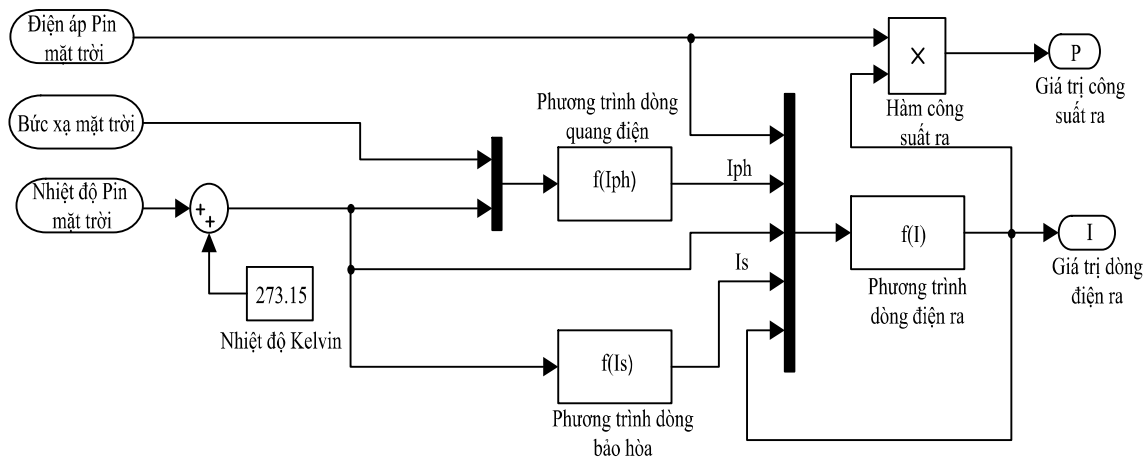
Thông số kỹ thuật	Nhà sản xuất	Kết quả mô phỏng
Pmax	80W	80.1W
Vmp	18V	18V
Imp	4.45A	4.45A
Voc	21.69V	21.69V
Isc	4.77A	4.77A

Đối với một tế bào quang điện, đặc tuyến I-V lý tưởng ở điều kiện điện áp hở mạch $V_{oc} = 0.596$ (V) và dòng điện ngắn mạch $I_{sc} = 2.0$ (A) nhà sản xuất qui định.

Trong bài báo này, nhóm tác giả mô phỏng mô-đun năng lượng mặt trời “Solar city SC-80P module” dựa trên thông số kỹ thuật nhà sản xuất ở Bảng 3 [10]. Mô phỏng kết quả đồ thị đặc tuyến ngõ ra I-V và P-V ở nhiệt độ hoạt động của pin “ $T_{PV}^{STC} = 25^{\circ}C$ ”, bức xạ mặt trời $\lambda^{STC} = 1kW/m^2$. Dòng điện I_{mp} , điện áp V_{mp} và công suất P_{max} chính xác với thông số kỹ thuật nhà sản xuất như Hình 8 và Hình 9.



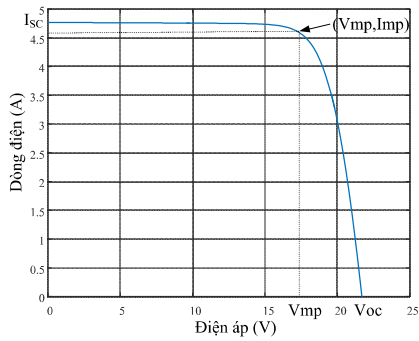
Hình 7(a). Mô hình mô phỏng hệ thống Pin NLMT SC-80P



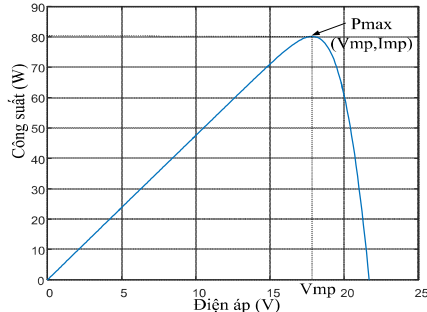
Hình 7(b). Chương trình con mô-đun pin quang điện SC-80P

Bảng 3. Bảng thông số kỹ thuật mô-đun NLMT SC-80P

Thông số kỹ thuật	Ký hiệu	Tham số
Công suất mô-đun NLMT	Pmax	80W
Điện áp danh định	Vmp	18V
Dòng danh định	Imp	4.45A
Điện áp hở mạch	Voc	21.69V
Dòng hở mạch	Isc	4.77A
Chuẩn loại Pin (cell)	-	Pin Silic đơn tinh thể (monocrystalline)
Số lượng cell	ncell	4 x 9 (36 cell)
Cấu tạo mô-đun mặt trời	-	Kính-EVA-Cell-EVA-TPT & Khung nhôm
Ảnh hưởng nhiệt độ	-	0,38%/K
Nhiệt độ hoạt động	P/K	(-40 ÷ 80)°C
Chất lượng sản phẩm	Tpv	IEC 61215, IEC 61730, TUV

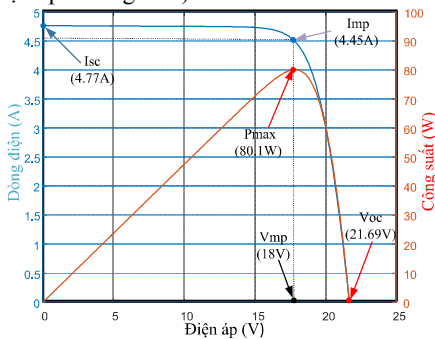


Hình 8. Đặc tuyến I-V ở điều kiện chuẩn



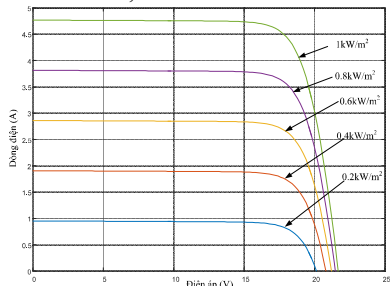
Hình 9. Đặc tuyến P-V ở điều kiện chuẩn

Xây dựng đặc tuyến chung I-V-P ở điều kiện chuẩn (dòng điện – điện áp – công suất) như Hình 11.

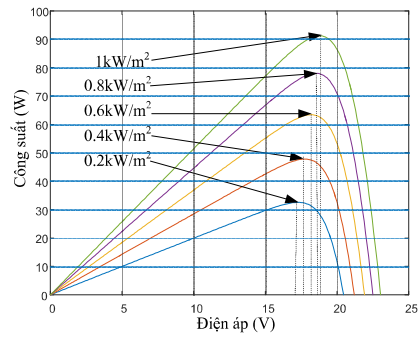


Hình 10. Đặc tuyến I-V-P ở điều kiện chuẩn

Tế bào pin quang điện có tính chất tuyến tính, dòng điện, điện áp và công suất ngõ ra của mô-đun năng lượng mặt trời phụ thuộc vào bức xạ của mặt trời tác động lên hoạt động của pin quang điện. Khi nhiệt độ môi trường không đổi, cường độ bức xạ mặt trời tăng lên, điện áp hở mạch Voc tăng không đáng kể, dòng điện ngắn mạch Isc tăng lên rất nhanh từ (0.9 ÷ 4.7)A ứng với bức xạ tăng từ (0.2÷1)kW/m². Từ đó, công suất ngõ ra của mô-đun PV tăng (33÷91)W. Bức xạ mặt trời là yếu tố quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến năng lượng điện phát ra của mô-đun PV, như Hình 11 và Hình 12.

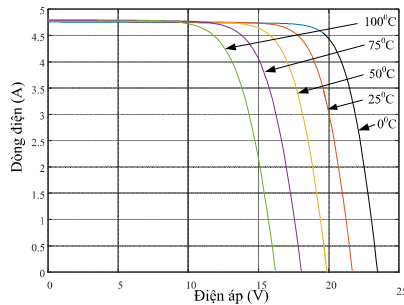


Hình 11. Đặc tuyến I-V khi thay đổi bức xạ mặt trời

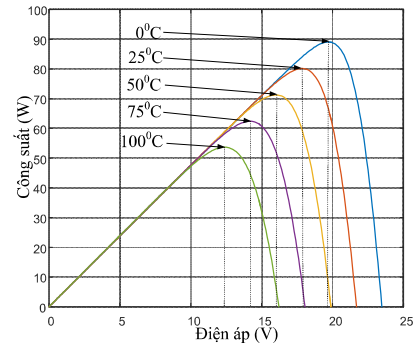


Hình 12. Đặc tuyến P-V khi thay đổi bức xạ mặt trời

Từ Hình 13 và Hình 14, cường độ bức xạ mặt trời không đổi, nhiệt độ môi trường tăng lên thì dòng điện ngắn mạch Isc giảm không đáng kể, điện áp hở mạch Voc giảm từ 23V xuống 16V tương ứng với nhiệt độ tăng từ (0÷100)°C. Nên công suất đầu ra của mô-đun năng lượng mặt trời giảm từ 89W xuống 53W. Như vậy, khi nhiệt độ môi trường biến đổi ảnh hưởng đến công suất ngõ ra của mô-đun pin mặt trời.



Hình 13. Đặc tuyến I-V khi thay đổi nhiệt độ



Hình 14. Đặc tuyến P-V khi thay đổi nhiệt độ

4. KẾT LUẬN

Mô hình pin quang điện được phát triển dựa trên nền tảng phần mềm MATLAB/Simulink. Bài báo xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống Pin NLMT tổng quát, có kết quả mô phỏng chính xác với thông số kỹ thuật nhà sản xuất. Mô phỏng đặc tuyến I-V và P-V của các mô-đun pin NLMT thương mại, tại các điều kiện bức xạ mặt trời và nhiệt độ hoạt động thay đổi. Mô hình được thiết kế dưới dạng khối trong thư viện Simulink, biểu tượng mô hình dễ sử dụng, hộp thoại cho phép người dùng dễ dàng thay đổi thông số kỹ thuật của các mô hình mô-đun NLMT thương mại. Thiết kế bộ thiết bị giám sát gián pin năng lượng mặt trời, dựa trên nền tảng phần cứng STM32F407 Discovery Board. Tiếp tục phát triển và ứng dụng các giải thuật dò tìm điểm công suất cực đại để hoạt động của pin luôn bám sát điểm cực đại và ổn định. Ứng dụng vào mô hình năng lượng mặt trời lớn, từ đó có thể kết nối với lưới điện.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.W. Angrist, Direct Energy Conversion, Allyn and Bacon, Inc., 4th edition, pp. 177-227, 1982.
- [2] O. Wasynczuk, "Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, no. 9, pp. 3031-3037, 1983.
- [3] C. C. Hua and C. M. Shen, "Study of maximum power tracking techniques and control of dc-dc converters for photovoltaic power system," Proceedings of 29th annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol. 1, pp. 86-93, 1998.
- [4] J. A. Gow and C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," IEE Proceedings- Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, pp. 193-199, 1999.
- [5] L. Sandrolini, M. Artioli, and U. Reggiani, "Numerical method for the extraction of photovoltaic module double-diode model parameters through cluster analysis," Applied Energy, vol. 87, no.2, pp. 442-451, 2010.
- [6] J. A. Gow and C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," IEE Proceedings- Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, pp. 193-199, 1999.
- [7] J. M. Blance, F. J. Toledo, S. Montero, and A. Garrigós, "In-site real-time photovoltaic I-V curves and maximum power point estimator," IEEE Transaction Power Electron, vol. 28, no.3, pp. 1234-1240, 2013.
- [8] Savita Nema, R.K.Nema, Gayatri Agnihotri, "Matlab/simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification," Volume 1, Issue 3, pp.487-50, 2010.
- [9] Phuong Truong, Le "Developing photovoltaic evaluation system using MATLAB/Simulink and arduino platform" VCM, pp.357-364, 2016.
- [10] Thông số kỹ thuật pin năng lượng mặt trời, <https://www.Solarcity.vn>

TIỂU SỬ TÁC GIẢ



Ngô Văn Bình

Năm sinh 1977, Biên Hòa, Đồng Nai. Tốt nghiệp Đại học tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh năm 2000. Đang học cao học chuyên ngành Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Lạc Hồng, Biên Hòa, Đồng Nai. Hiện đang quản lý phòng thí nghiệm kỹ thuật số khoa Cơ điện - Điện tử Trường Đại học Lạc Hồng. Lĩnh vực nghiên cứu: Xử lý hệ thống số, năng lượng mặt trời, tự động hóa quy trình sản xuất.



Lê Phương Trường

Sinh năm 1982, Biên Hòa, Đồng Nai. Tốt nghiệp Đại học ngành Điện công nghiệp Trường Đại học Lạc Hồng năm 2005 và năm 2010 tốt nghiệp Thạc sĩ Kỹ thuật điện, Đại học Khoa học và Công nghệ Đài Loan (STUST), Đài Loan. Năm 2016, nhận bằng tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật Điện tử Đại học Da-Yeh. Hiện đang là giảng viên Khoa Cơ điện - Điện tử Trường Đại học Lạc Hồng. Lĩnh vực nghiên cứu: Năng lượng tái tạo, IoTs