

XÂY DỰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH CỦA PIN MẶT TRỜI DỰA TRÊN MÔ HÌNH 2-DIODE

DEVELOPING A TOOL TO SIMULATE PHOTOVOLTAIC CHARACTERISTICS BASED ON 2-DIODE MODEL

Phạm Anh Tuấn

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 14/05/2021, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2021, Phản biện: TS. Vũ Minh Pháp

Tóm tắt:

Bài báo trình bày nghiên cứu mô hình hoá pin mặt trời theo mô hình 2-diode và lập công cụ phần mềm mô phỏng đặc tính của pin. Pin mặt trời được mô hình hoá theo mô hình 2-diode với các thông số đầu vào như: dòng bão hoà của các diode, hệ số lý tưởng của các diode, điện trở nối tiếp, điện trở shunt, dòng quang điện. Phương trình đặc tính mô tả quan hệ dòng điện và điện áp của pin mặt trời được giải bằng phương pháp lặp Newton-Raphson. Thuật toán lặp được phát triển thành công cụ phần mềm mô phỏng trên nền MATLAB/GUI. Công cụ phần mềm này cho phép mô phỏng đặc tính của pin mặt trời khi các thông số đầu vào thay đổi và cho kết quả thể hiện các đặc tính dòng điện - điện áp (I-V) và đặc tính công suất - điện áp (P-V). Để chứng minh tính đúng đắn, công cụ phần mềm này đã được kiểm nghiệm bằng cách mô phỏng lại đặc tính của các pin mặt trời thực tế (bao gồm cả pin silic, CIGS, CZTS); kết quả cho thấy đặc tính mô phỏng phù hợp với đặc tính đo thực tế. Thông qua công cụ phần mềm này người dùng có thể dễ dàng mô phỏng và khảo sát đặc tính của pin mặt trời khi các điều kiện đầu vào thay đổi.

Từ khóa:

Pin mặt trời, mô hình pin mặt trời, mô hình pin mặt trời 2-diode, mô phỏng pin mặt trời.

Abstract:

In this research, we study on 2-diode model of a solar cell or a photovoltaics array and build a software tool to simulate characteristics of these devices. Solar cell and photovoltaics array are modeled as a 2-diode model at different values of factor. First, the characteristic of the current and voltage equations of solar cell and photovoltaics array are solved by the iterative Newton-Rapson algorithm. The iterative algorithm is developed into a simulation software tool based on MATLAB/GUI. This software tool allows to simulate the behavior of solar cells when the input parameters change and results in showing current-voltage (I-V) and power-voltage (P-V) characteristics). To prove correct, this software tool has been tested by simulating the characteristics of real solar cells (including Silicon, CIGS, CZTS solar cell); The results show that the simulated characteristics are consistent with the actual measurement characteristics. Through this software tool, users can easily simulate and investigate the characteristics of solar cells when the input conditions change.

Keywords:

Solar Cell, PV models, 2-diode model, Solar cell and PV simulation.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, điện mặt trời đang ngày càng đóng vai trò quan trọng trong hệ thống điện và là một trong những nguồn năng lượng được quan tâm hàng đầu. Để khai thác hiệu quả năng lượng của điện mặt trời thì việc nghiên cứu đặc tính làm việc của các dàn pin mặt trời là rất cần thiết. Đặc tính của các dàn pin mặt trời phụ thuộc vào nhiều yếu tố, đặc biệt trong số đó là điều kiện môi trường nơi dàn pin làm việc. Để mô phỏng được hoạt động của dàn pin mặt trời, người ta thường phải bắt đầu từ việc mô phỏng hoạt động của 1 tế bào pin. Việc này được thực hiện thông qua việc mô hình hoá tế bào pin bởi các phần tử cơ bản của mạch điện, từ đó thiết lập các phương trình giải mạch và thuật toán để giải. Cho đến nay, do sự thay đổi không ngừng của cấu trúc pin, vật liệu làm pin và sự hoàn thiện của hệ thống điện mặt trời nên đã có nhiều nghiên cứu cùng nhiều công cụ khác nhau đã được phát triển nhằm đáp ứng được các thay đổi này. Có thể kể ra trong số đó là: công cụ mô phỏng tế bào pin mặt trời được và modul pin mặt trời được tích hợp trong thư viện của Matlab [1,2]; các nghiên cứu đặc tính hoạt động của dàn pin, cơ chế hoạt động của bộ bám điểm làm việc cực đại và của hệ thống điện mặt trời [3,4]; hoặc nghiên cứu mô phỏng một số đặc tính cơ bản của pin mặt trời theo mô hình 1-diode [5].

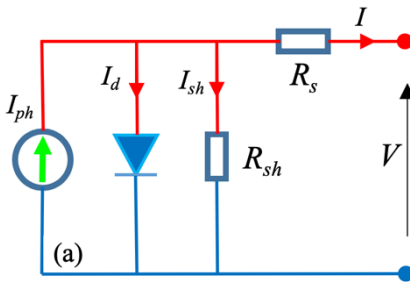
Một mô hình tế bào pin mặt trời lý tưởng thường có 1 nguồn dòng nối song song với 1 diode. Tuy nhiên, mô hình lý tưởng này đã bỏ qua sự tồn tại các khuyết tật trong vật liệu và cấu trúc các lớp vật liệu trong tế bào pin; vì vậy mô hình của pin có thêm 1 điện trở shunt R_{sh} và 1 điện trở nối tiếp R_s . Ngoài ra, trong mô hình lý tưởng, hệ số lý tưởng của diode được cho bằng 1, nhưng do những khuyết tật của vật liệu nên thực tế giá trị này nằm trong khoảng từ 1 đến 2. Trong mô hình 1-diode (mô tả trong hình 1a), vai trò của diode là phản ánh dòng khuếch tán của lớp chuyển $p-n$. Tuy nhiên để phản ánh chính xác hơn hiện tượng vật lý khi xuất hiện tái hợp điện tích - lỗ trống trong vùng nghèo, diode thứ 2 (mô tả trong hình 1b) được thêm vào trong mô hình. Để mô tả quan hệ giữa các đại lượng điện trong mô hình này, người ta sử dụng phương trình đặc tính dòng áp (đặc tính I-V với I là dòng của pin, V là điện áp đầu ra của pin) [3].

2. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN HỆ DÒNG ÁP TRONG PIN MẶT TRỜI 2-DIODE VÀ THUẬT GIẢI

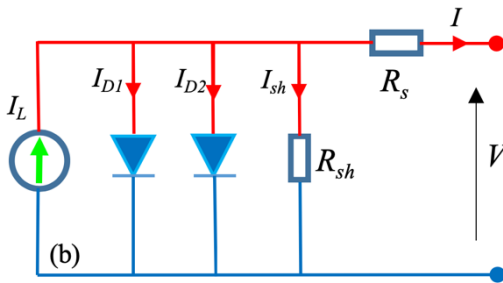
2.1. Mô hình 2-diode của tế bào pin mặt trời

Một tế bào pin mặt trời thường có cấu tạo bởi một lớp tiếp giáp bán dẫn $p-n$, tại đó các cặp điện tử - lỗ trống tự do được hình thành khi hấp thụ photon từ mặt trời; việc hình thành các điện tích tự do này là

nguồn gốc để tạo nên nguồn phát điện từ năng lượng mặt trời. Trong trạng thái bình thường, đặc tính của tế bào pin mặt trời được mô hình hoá bởi 1 nguồn dòng (I_L); diode thứ nhất phản ánh hiện tượng dòng khuếch tán qua lớp $p-n$ của pin, diode thứ 2 phản ánh hiện tượng tái hợp điện tử và lỗ trống ngay trong nội tại vùng nghèo $p-n$; và các thành phần điện trở shunt và nối tiếp (R_{sh} , R_s). Mạch tương đương của tế bào pin mặt trời được thể hiện như trong hình 1 [3-7].



Hình 1(a). Mô hình 1-diode của tế bào pin mặt trời



Hình 1(b). Mô hình 2-diode của tế bào pin mặt trời

Theo đó phương trình quan hệ giữa dòng điện (I) và điện áp (V) theo định luật Kirchhoff về dòng được thể hiện như sau

$$I = I_{ph} - I_{01} \cdot \left[e^{\frac{V+I.R_s}{V_{T1}}} - 1 \right] - I_{02} \cdot \left[e^{\frac{V+I.R_s}{V_{T2}}} - 1 \right] - \frac{V+I.R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Trong đó: I_{ph} là dòng photon; I_0 là dòng bão hoà [A]; V là điện áp đầu ra [V]; R_s là điện trở nối tiếp; R_{sh} là điện trở shunt của tế bào pin.

Dòng bão hoà I_{01} và I_{02} có thể được tính theo phương trình (1a), (1b), (2a), (2b) (với T_{ref} là nhiệt độ tham chiếu trong điều kiện thí nghiệm tiêu chuẩn (STC), thông thường là 298 độ K):

$$I_{01} = I_{0r1} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\left(\frac{3}{A_1} \right)} \cdot e^{\left[\frac{q.E_g}{k.A_1} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} \quad (1a)$$

$$I_{0r1} = \frac{I_{sc}}{e^{\frac{q.V_{oc}}{A_1.k.T} - 1}} \quad (1b)$$

$$I_{02} = I_{0r2} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\left(\frac{3}{A_2} \right)} \cdot e^{\left[\frac{q.E_g}{k.A_2} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]} \quad (2a)$$

$$I_{0r2} = \frac{I_{sc}}{e^{\frac{q.V_{oc}}{A_2.k.T} - 1}} \quad (2b)$$

Các giá trị V_{T1} và V_{T2} là các giá trị thế nhiệt, giá trị này phụ thuộc vào nhiệt độ và hệ số lý tưởng của diode, được tính theo phương trình:

$$V_{T1} = \frac{A_1.k.T}{q} \quad (3a)$$

$$V_{T2} = \frac{A_2.k.T}{q} \quad (3b)$$

Trong đó: $q=1.610^{-19}\text{C}$ là điện tích của electron, $k=1.3810^{-23}\text{ J/K}$ là hằng số Boltzmann, A_1 và A_2 là hệ số lý tưởng của các diode 1 và 2, T là nhiệt độ làm việc của pin [K], T có thể được tính theo phương trình sau:

$$T = T_a + \frac{T_{noct}-20}{800} \cdot G \quad (4)$$

Với T_{noct} là nhiệt độ làm việc của tế bào pin trong điều kiện thường [K], giá trị này do hãng sản xuất đề xuất G là cường độ

bức xạ chiếu tới pin $[W/m^2]$, T_a là nhiệt độ môi trường $[K]$.

Thuật toán Newton-Rapson để giải mô hình

Như đã thấy phương trình (1) có dạng $I = f(V, I)$; đây là phương trình phi tuyến, để giải phương trình này người ta thường dùng phương pháp Newton-Rapson, phương pháp này được diễn giải như sau:

$$I_k = I_{k-1} - \frac{f(I_{k-1})}{f'(I_{k-1})} \quad (5)$$

Trong đó: I_k là giá trị dòng sau bước lặp thứ k ; I_{k-1} là giá trị dòng sau bước lặp thứ $(k-1)$.

Thay thế giá trị I_{ph} tương ứng với dòng ngắn mạch I_{sc} , phương trình được viết lại như sau:

$$f(I) = I \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) - I_{sc} + I_{01} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{A1 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) + I_{02} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{A2 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) + \frac{V}{R_{sh}} \quad (6)$$

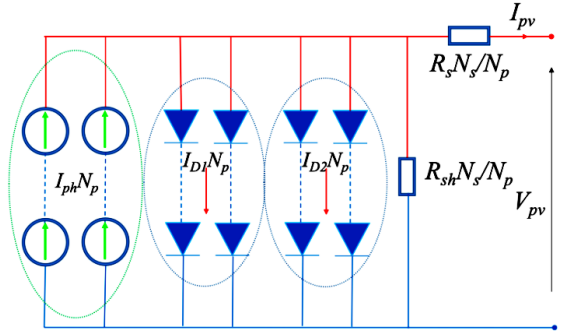
$$f'(I) = \frac{\partial f(I)}{\partial I} \quad (7a)$$

$$f'(I) = \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) + \frac{q \cdot R_s}{A1 \cdot k \cdot T} \cdot I_{01} \cdot e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{A1 \cdot k \cdot T}} + \frac{q \cdot R_s}{A2 \cdot k \cdot T} \cdot I_{02} \cdot e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{A2 \cdot k \cdot T}} \quad (7b)$$

Mô hình 2-diode của dàn pin mặt trời

Thông thường một dàn pin mặt trời (PV-array) sẽ gồm N_p dãy pin nối song song với nhau, các dãy thường được gọi là 1 string và mỗi string gồm N_s tế bào pin được đấu nối tiếp với nhau. Như vậy, 1 dàn pin sẽ gồm $N_s \times N_p$ tế bào pin. Mạch

tương đương của dàn pin được thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Mạch tương đương của dàn pin mặt trời theo mô hình 2-diode

Các thông số của mạch tương đương của dàn pin như dòng photon, dòng diode, điện trở nối tiếp và điện trở song song được tính như sau:

$$I_{ph,pv} = N_p \cdot I_{ph} \quad (8a)$$

$$I_{01,pv} = N_p \cdot I_{01} \quad (8b)$$

$$I_{02,pv} = N_p \cdot I_{02} \quad (8c)$$

$$V_{pv} = N_s \cdot V \quad (8d)$$

$$R_{s,pv} = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \quad (8e)$$

$$R_{sh,pv} = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_{sh} \quad (8f)$$

Thay thế các giá trị trong nhóm phương trình (9) vào phương trình (7) và viết lại phương trình (5) và (6) ta sẽ được phương trình dùng cho phép lặp Newton Raphson như sau:

$$f(I_{pv}) = I_{pv} \left(1 + \frac{R_{s,pv}}{R_{sh,pv}} \right) - I_{sc,pv} + I_{01,pv} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V_{pv} + I_{pv} \cdot R_{s,pv})}{A1 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) + I_{02,pv} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V_{pv} + I_{pv} \cdot R_{s,pv})}{A2 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) + \frac{V_{pv}}{R_{sh,pv}} \quad (9)$$

$$f'(I_{pv}) = \left(1 + \frac{R_{s,pv}}{R_{sh,pv}}\right) + \frac{q \cdot R_{s,pv}}{A1 \cdot k \cdot T} \cdot I_{01,pv} \cdot e^{\frac{q \cdot (V_{pv} + I \cdot R_{s,pv})}{A1 \cdot k \cdot T}} + \frac{q \cdot R_{s,pv}}{A2 \cdot k \cdot T} \cdot I_{02,pv} \cdot e^{\frac{q \cdot (V_{pv} + I \cdot R_{s,pv})}{A2 \cdot k \cdot T}} \quad (10)$$

Theo đó tại giá trị $V=0$ ta sẽ có $I=I_{sc}$; vì vậy ta có thể lấy khởi tạo của phép lặp $I = I_{sc}$.

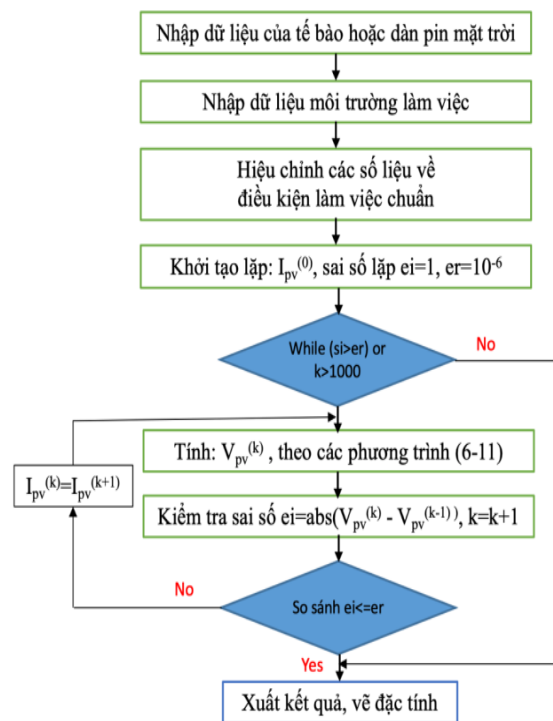
Sau phép lặp, các giá trị dòng điện và điện áp sẽ có được nhờ vào phương trình (1); công suất của dàn pin cũng được tính theo phương trình (12) như sau:

$$P = V \cdot I \quad (12)$$

3. XÂY DỰNG CÔNG CỤ MÔ PHỎNG TẾ BÀO PIN MẶT TRỜI VÀ DÀN PIN THEO MÔ HÌNH 2-DIODE TRÊN NỀN MATLAB / GUI

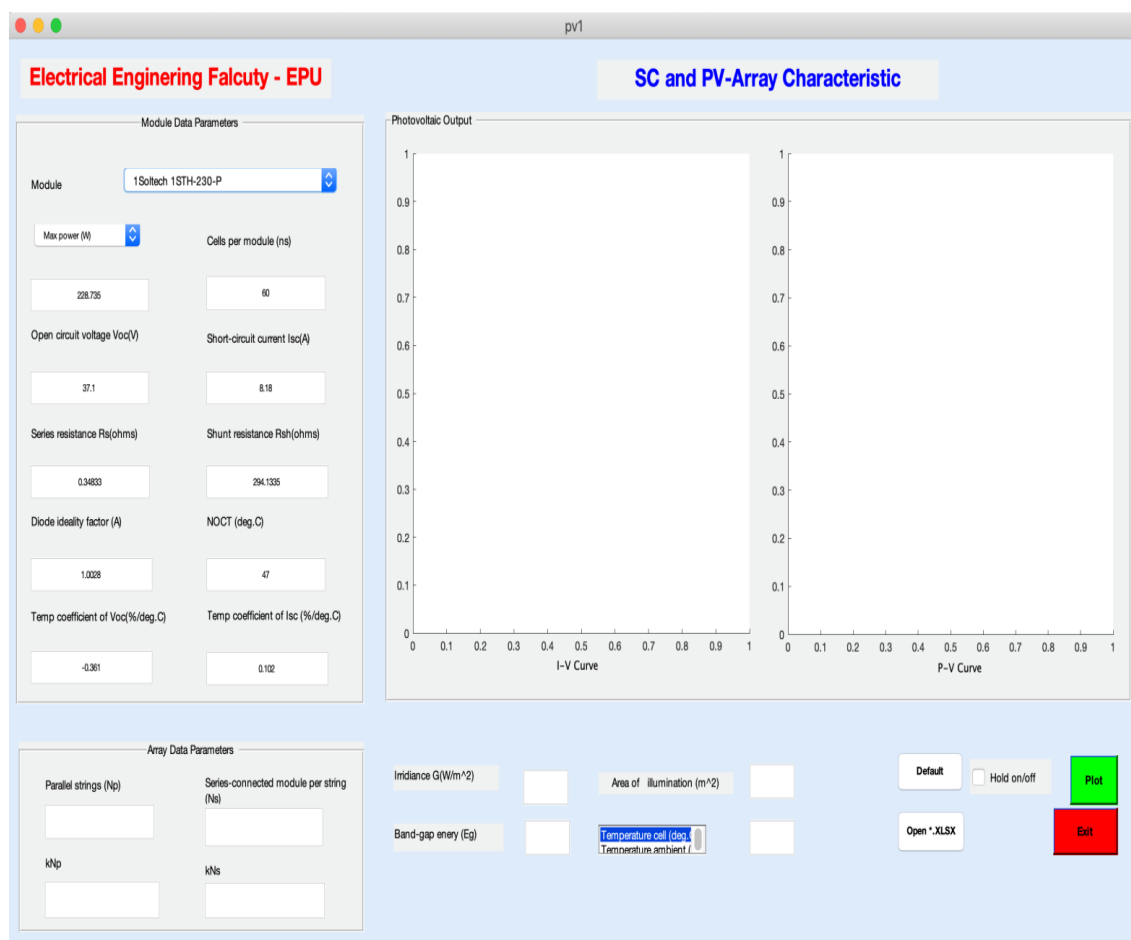
Mô hình tế bào pin mặt trời 2-diode được xây dựng là để kiểm tra các đặc tính của tế bào pin và dàn pin khi chúng làm việc dưới các điều kiện môi trường khác nhau. Từ đó, các phương trình trạng thái, thuật toán giải và công cụ phần mềm mô phỏng được xây dựng. Thông qua công cụ phần mềm này ta có thể mô phỏng các đặc tính của pin trên nhiều tình huống giả định khi thông số của pin thay đổi.

Hình 3 là lược đồ của để giải lặp các đặc tính I-V và P-V của tế bào và dàn pin mặt trời theo thuật toán Newton-Rapson. Các đặc tính I-V và P-V được tính toán theo các phương trình đã được xây dựng bên trên. Nền MATLAB/GUI được dùng để xây dựng công cụ phần mềm mô phỏng.



Hình 3. Lược đồ thuật toán lặp Newton-Raphson để xác định đặc tính I-V và P-V

Hình 4 là cửa sổ chính của công cụ mô phỏng tế bào và dàn pin mặt trời theo mô hình 2-diode. Bên phải cửa sổ là phần nhập số liệu, thông số của tế bào và dàn pin; các số liệu bao gồm: (1) Loại pin, dữ liệu này có thể nhập theo số liệu đã được chuẩn bị trước từ catalogue của hãng; (2) Các số liệu khác như điện áp hở mạch, dòng ngắn mạch, hệ số lý tưởng diode, số lượng tế bào pin trên 1 dãy, số dãy; các số liệu này có thể tự chọn theo mặc định hoặc thay đổi bởi người sử dụng. Cửa sổ bên phải của công cụ là kết quả tính toán, các kết quả này có thể được xuất ra file excel nhằm sử dụng cho các mục đích khác hoặc được hiển thị rút gọn trực quan trên đồ thị đặc tính I-V và P-V.



Hình 4. Cửa sổ chính của công cụ mô phỏng

4. MỘT SỐ KẾT QUẢ ĐIỆN HÌNH

Để kiểm tra khả năng tính toán cũng như độ tin cậy của công cụ phần mềm mô phỏng vừa được xây dựng; các kết quả mô phỏng theo mô hình được thực hiện lại với các tế bào và dàn pin và so sánh với dữ liệu đo thực tế của chúng. Kết quả các đặc tính được vẽ I-V và P-V cho thấy số liệu mô phỏng và số liệu thực tế khác khập nhau. Dưới đây là một số hình ảnh đặc tính của kết quả mô phỏng so với kết quả đo thực tế với các loại pin khác nhau.

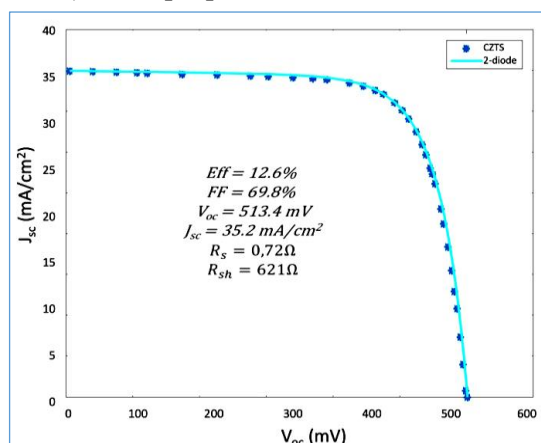
Hình 5 là các kết quả được mô phỏng đặc tính I-V được thực hiện bởi công cụ nét

liền với những thông số đầu vào của tế bào pin thể hệ mới đang được nghiên cứu loại CZTS (hiệu suất đạt được của pin này được công bố là 12,6%) so sánh với kết quả đo thực nghiệm nét chấm sao đã được công bố bởi W. Wang và cộng sự [8]. Kết quả cho thấy đặc tính có được từ mô phỏng khá khập với đặc tính đo được của pin.

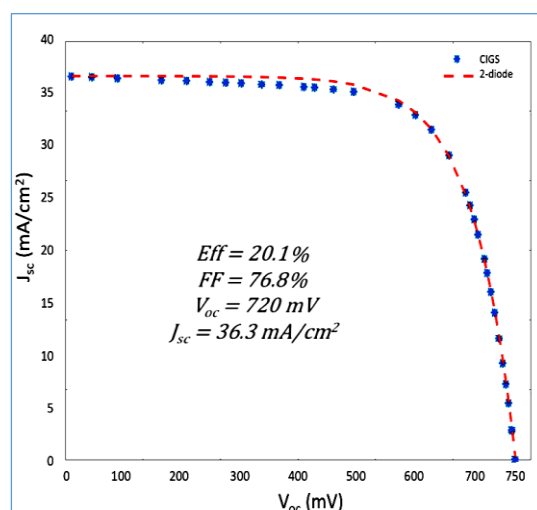
Hình 6 là kết quả mô phỏng nét liền của loại pin khác cũng đã có trên thị trường hiện nay là dòng pin CIGS với 2 loại pin được chế tạo trong các điều kiện khác nhau và cho hiệu suất khác nhau (20,1%),

các kết quả mô phỏng cũng cho thấy đặc tính khá phù hợp với đặc tính đo thực nghiệm nét chấm sao ở đoạn đầu và đoạn cuối của đặc tính công bố bởi P. Jackson và cộng sự [9]. Có tồn tại sự khác biệt ở đoạn giữa đặc tính ($U = 300\text{-}500\text{ mV}$) một phần nguyên nhân có thể là do giá trị điện trở nối tiếp, song song của tế bào Pin không được các tác giả đo thực nghiệm công bố nên số liệu này được lấy mặc định khi mô phỏng và dẫn đến sai khác về đặc tính.

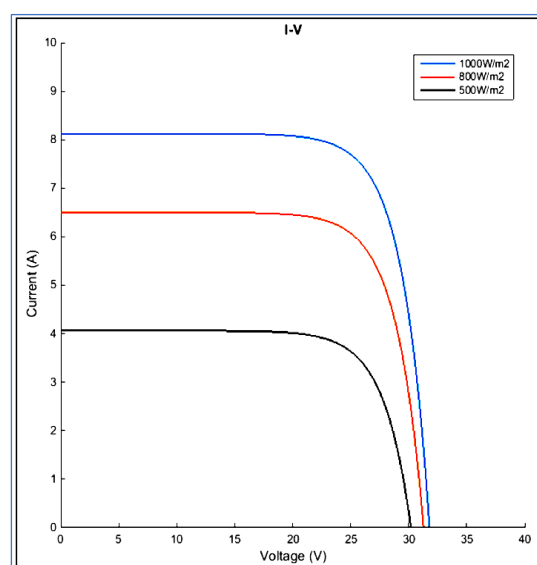
Hình 7 là kết quả mô phỏng đặc tính I-V của dàn pin Silic được công bố bởi hãng KYOCERA International Incorporated cho loại Pin KC170GT; kết quả được thực hiện mô phỏng trong các điều kiện cường độ sáng khác nhau lần lượt là 1000, 800 và 500 W/m^2 [10]. Hình 8 kết quả mô phỏng đặc tính I-V và P-V của dàn pin Silic được công bố bởi hãng 1Soltech 1STH-230-P module kết quả được thực hiện mô phỏng và đo trong các điều kiện nhiệt độ khác nhau lần lượt là 25°C, 45°C, 65°C [11].



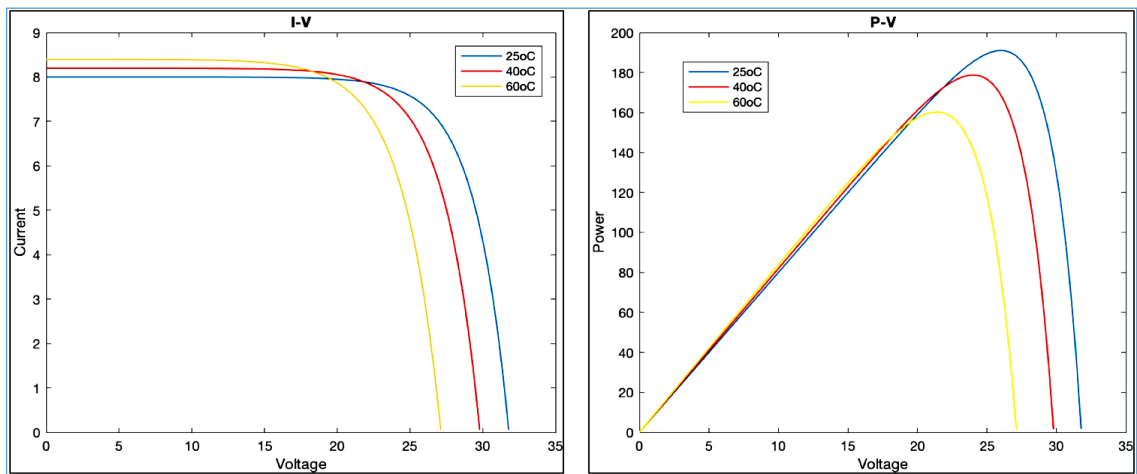
Hình 5. Đặc tính I-V mô phỏng nét liền và đặc tính đo thực nghiệm nét chấm sao của tế bào pin CZTS [8]



Hình 6. Đặc tính I-V mô phỏng nét gạch đỏ và đặc tính đo thực nghiệm nét chấm sao xanh của tế bào pin CIGS [9]



Hình 7. Đặc tính I-V mô phỏng đặc tính dàn pin silic (B) [10]



Hình 8. Đặc tính P-V và I-V của dàn Pin 1STH-230-P được mô phỏng trong các điều kiện nhiệt độ khác nhau 25°C, 45°C, 65°C

5. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu xây dựng các phần mềm để mô phỏng hiện được xem là giải pháp tiết kiệm và ít rủi ro nhất khi nghiên cứu hoạt động của một hệ thống. Phần mềm mô phỏng đặc tính hoạt động của tế bào và dàn pin mặt trời cho phép người dùng dễ dàng có được đặc tính dòng điện - điện áp (I-V) và đặc tính công suất - điện áp (P-V) trong các điều kiện làm việc khác nhau. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm giải mô hình pin 2-diode; mô hình này được xem là chính xác hơn mô hình 1 diode nhờ và việc sự xuất hiện của diode

thứ 2, diode này cho phép mô hình phản ánh ảnh hưởng của hiện tượng tái hợp điện tử - lỗ trống trong vùng nghèo. Kết quả mô phỏng được thực hiện để kiểm tra tính đúng đắn cho các tế bào pin thực tế, với hầu hết các loại như pin Silicon, CIGS, CZTS và cho kết quả phù hợp.

Nghiên cứu này làm tiền đề cho các nghiên cứu sau này nhằm đánh giá đúng bản chất hiện tượng vật lý trong pin mặt trời. Kết quả nghiên cứu dàn pin cũng là tiền đề cho các nghiên cứu kết nối hệ thống điện mặt trời về sau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] [www.mathworks.com/ examples/ simpower/ mw/sps product-power_PVArray_PartialShading-partial-shading-of-a-pv-module](http://www.mathworks.com/examples/simpower/mw/sps_product-power_PVArray_PartialShading-partial-shading-of-a-pv-module), 2018.
- [2] [www.mathworks.com/ help/ physmod/ elec/ ref/ solarcell.html](http://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ref/solarcell.html), 2018.
- [3] Rabeh Abbassi, Abdelkader Abbassi, Mohamed Jemli, Souad Chebbi, "Identification of unknown parameters of solar cell models: A comprehensive overview of available approaches ", Renewable and Sustainable Energy Reviews 90, 2018.

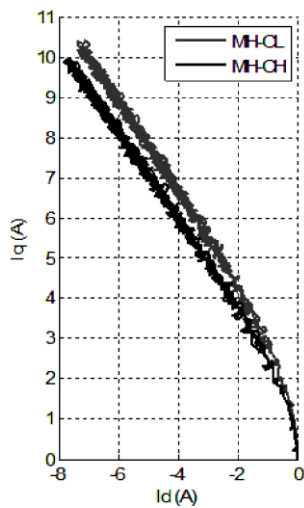
- [4] J.A. Jaleel, A. Nasar, and A.R. Omega, "Simulation on Maximum Power Point Tracking of the Photovoltaic Module / Array Using Lab View", International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, pp. 16–17, 2012.
- [5] Ngô Văn Bình, "Xây dựng mô hình pin năng lượng mặt trời quang điện sử dụng Matlab/simulink", Journal of Science of Lac Hong University, special special issue, pp. 6-11, 2017.
- [6] T. Ahmed, "Single Diode Model Parameters Analysis of Photovoltaic Cell.", international conference, UK, P.20-23, 2016.
- [7] V. Tamrakar, S.C. Gupta, and Y. Sawle, "Single - diode pv cell modeling and study of characteristics of single and two-diode equivalent circuit," , Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ), pp. 13–24, 2015.
- [8] W. Wang et al., "Device characteristics of CZTSSe thin-film solar cells with 12.6% efficiency," Adv. Energy Mater., vol. 4, no. 7, p. 10301465, 2014.
- [9] P. Jackson et al., "New world record efficiency for Cu(In,Ga)Se₂ thin-film solar cells beyond 20%," , Prog. Photovolt: Res. Appl., pp. 894–897, 2011.
- [10] "Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC170GT at various irradiance levels", KYOCERA data sheet, 2017.
- [11] <https://www.freecleansolar.com/230W-solar-panels-1Soltech-1STH-230-P-poly-p/1sth-230-p.htm>

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phạm Anh Tuấn tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện năm 2003 và nhận bằng Thạc sĩ kỹ ngành thuật điện năm 2006 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Năm 2017, nhận bằng Tiến sĩ ngành khoa học vật liệu và được trao giải tiến sĩ xuất sắc nhất năm với đề tài nghiên cứu chế tạo pin mặt trời CIGS và CZTS. Tác giả làm việc tại Dự án đào tạo giáo viên ngành điện (JICA-EVN) từ năm 2003-2008. Hiện nay tác giả là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: vật liệu pin mặt trời và mô phỏng hệ thống điện mặt trời.



Hình 1. Sự thay đổi hằng số mô men trong điều khiển tối đa tỷ số mô men/dòng điện (max Torque/Ampere) [1]

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mục này giới thiệu kết quả mô phỏng sau:

- Mô phỏng ước lượng hằng số mô men và cập nhật cho hệ thống điều khiển.

PHỤ LỤC

Thông số của các bộ điều khiển: Bộ điều khiển tốc độ: $k_{p\omega} = 0.006$, $k_{i\omega} = 0.6$. Bộ điều khiển dòng điện: $k_{pi} = 1$, $k_{ii} = 10$.

