

XÂY DỰNG MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH SẢN LƯỢNG ĐIỆN MẶT TRỜI TRÊN MÁI NỔI LƯỚI DỰA TRÊN MÔI TRƯỜNG MATLAB/SIMULINK

DEVELOP A MODEL TO ESTIMATE THE YIELD OF A PHOTOVOLTAIC ROOFTOP SYSTEM BASED ON MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT

Lê Phương Trường, Trương Thành Nam

Trường đại học Lạc Hồng – Đồng Nai, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 5/4/2020, ngày phân biên đánh giá 11/5/2020, ngày chấp nhận đăng 4/6/2020.

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp xây dựng mô hình tính toán sản lượng điện mặt trời cho nhà máy điện mặt trời thương mại, dựa trên môi trường MATLAB/SIMULINK. Hệ thống bao gồm một mô đun pin quang điện thương mại, mô hình tổn thất sản lượng và mô hình ước lượng sản lượng điện. Bên cạnh đó, một mô hình có công suất lắp đặt thiết kế lần lượt là 59kW và 1MW được xây dựng dựa trên mô đun quang điện thương mại thực tế. Kết quả từ mô hình được so sánh với nhà máy điện mặt trời trên mái nổi lưới tại hai địa điểm của tỉnh Bình Dương: Điện lực tại thị xã Bến Cát và Khu du lịch Đại Nam tại thành phố Thủ Dầu Một.

Với hai nhà máy khác nhau công suất khác nhau, qua kết quả thử nghiệm cho thấy độ sai lệch là 5,36% giữa mô hình và kết quả đo lường thực tế tại nhà máy. Từ kết quả phân tích cho thấy mô hình xác định sản lượng điện mặt trời có những ưu điểm (1) có độ chính xác tin cậy; (2) không phụ thuộc vào các phần mềm tính toán sản lượng điện thương mại; (3) giảm chi phí đầu tư cho phần mềm xác định sản lượng.

Từ khóa: MATLAB/SIMULINK; ước sản lượng điện mặt trời; mô đun quang điện; tổn thất sản lượng; điện mặt trời áp mái.

ABSTRACT

This paper presents a method to develop a yield model for photovoltaic rooftop system based on the MATLAB/SIMULINK environment. The system including a photovoltaic model, losses model, and yield model. Furthermore, a model with a 1MW and 59kW capacity photovoltaic rooftop system is built for simulation. The results of the simulation will be compared with two photovoltaic rooftop systems connected to the grid in Thu Dau Mot, Binh Duong province.

From the analysis results, the system has the gap between simulation and measurement is 5,36 %. The system has advantages (1) sufficient accuracy; (2) erase commercial photovoltaic software; (3) cost-effectively.

Keywords: MATLAB/SIMULINK; PV model; losses model, rooftop system; Yield model.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, nhu cầu cung cấp nguồn năng lượng phục vụ nhu cầu phát triển của đất nước ngày cao đã được dự báo qua tốc độ tăng trưởng giai đoạn 2016 - 2020 là

10,3-11,3%/năm và giai đoạn 2021 - 2030 khoảng 8,0-8,5%/năm, trong khi nguồn năng lượng chủ yếu tại Việt Nam là thủy điện (41%), than (37%), tuabin khí (15%), nguồn khác (7%) [1]. Đặc biệt, sau khi có Quyết định 11/2017/QĐ-TTg [2] về cơ chế khuyến

khích phát triển điện mặt trời, đến thời điểm hết tháng 6/2019, cả nước có 88 dự án điện mặt trời nối lưới với tổng công suất gần 4500 MW và 154,6 MW điện mặt trời mái nhà vào vận hành phát điện. Ngoài ra, 200 dự án điện mặt trời với tổng công suất là 17 GWp đang đăng ký triển khai trong giai đoạn từ nay đến 2025 [1]. Do đó, một trong những giải pháp ngành năng lượng Việt Nam đang khuyến khích, tạo điều kiện phát triển các dự án điện mặt trời, mà vấn đề cần quan tâm là sản lượng điện cho các dự án điện mặt trời áp mái tạo ra được so với thực tế do tổn hao sản lượng. Trong những năm gần đây có nhiều nghiên cứu về phân tích tiềm năng cũng như sản lượng điện các dự án điện mặt trời được nghiên cứu tại một số quốc gia điển hình như Bảng 1. Theo thống kê Bảng 1, những nghiên cứu này các tác giả tập trung vào các kết quả đo lường sản lượng điện từ các nhà máy điện mặt trời trên mái hoặc nối lưới từ đó tính toán hiệu suất của nhà máy PR của hệ thống. Theo kết quả nghiên cứu được tại Ấn Độ với công suất lắp đặt 10MWp [3] thì sản lượng điện hàng năm là 15.798MW và tại Tây Ban Nha [6] chỉ đưa ra giá trị PR là 84,13%.

Bảng 1. Một số nghiên cứu về tiềm năng điện mặt trời tại các quốc gia.

Quốc gia	Công suất lắp đặt [Mw]	Sản lượng [Mwh]	Hiệu suất
Ấn độ [3]	10	15.798	86,12
Mauritania [4]	15		73,56
Ghana [5]	2,5		70,4
Tây Ban Nha [6]	1000	-	84,13

Theo đó, trong những nghiên cứu này các tác giả tập trung vào các kết quả đo lường sản lượng điện từ các nhà máy điện mặt trời trên mái hoặc nối lưới từ đó tính toán PR của hệ thống. Bên cạnh đó, để ước lượng sản lượng điện các nhà đầu tư cần trang bị các phần mềm thương mại. Ưu điểm của các phần mềm thương mại là ước lượng sản lượng điện mặt trời nhanh, đơn giản nhưng chi phí đầu tư cho phần mềm thương mại tương đối cao. Bảng 2 so sánh các phần mềm ước lượng sản lượng điện thương mại.

Bảng 2. So sánh giá thành của các phần mềm thương mại ước lượng sản lượng điện

Phần mềm	Chức năng	Giá thành USD/Năm	Thông tin phần mềm
PV syst	Ước lượng sản lượng điện mặt trời	1.300	https://www.pvsyst.com
Homer	Ước lượng sản lượng các dự án năng lượng tái tạo và tính toán chi phí	2.160	https://www.homerenergy.com
RETscreen	Ước lượng sản lượng các dự án năng lượng tái tạo và tính toán chi phí	869	www.nrcan.gc.ca/
Mô hình xác định sản lượng	Ước lượng sản lượng điện mặt trời	-	MATLAB /SIMULINK

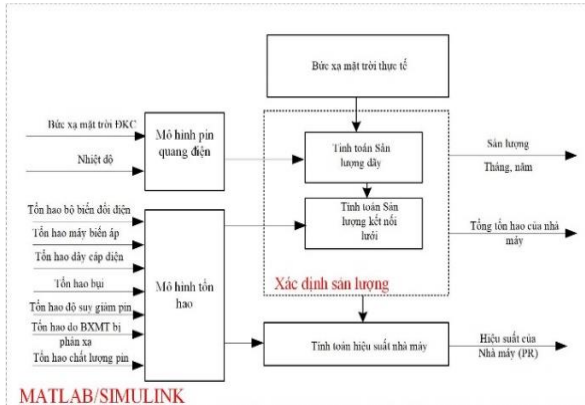
Trước tình hình đó, ở nghiên cứu này tác giả xây dựng mô hình tính toán sản lượng điện dựa trên tiềm năng bức xạ mặt trời tại khu vực. Các số liệu bức xạ mặt trời được đưa vào mô hình và tính toán sản lượng điện từ đó nhà đầu tư có thể đánh giá được tính khả thi của dự án. Bên cạnh đó, để chứng minh độ chính xác của mô hình tác giả so sánh kết quả của mô hình với kết quả đo lường thực tế tại hai nhà máy điện mặt trời trên mái nối lưới Đại Nam và tại Điện lực Bến Cát.

2. MÔ TẢ HỆ THỐNG

Mô hình tính toán sản lượng điện mặt trời cho nhà máy điện mặt trời thương mại được xây dựng dựa trên môi trường MATLAB/SIMULINK (Hình 1). Mô hình bao gồm: mô hình pin quang điện, mô hình tổn thất sản lượng và mô phỏng tính toán sản lượng. Dựa trên bức xạ mặt trời tại điều kiện thực tế, mô hình pin quang điện sẽ tính toán công suất thực tế tương ứng với bức xạ và nhiệt độ tại địa điểm đặt nhà máy điện mặt trời.

Theo đó, mô hình tổn hao sản lượng điện bao gồm tổn hao do bộ biến đổi điện, tổn hao do dây dẫn, tổn hao do bức xạ mặt trời bị phản xạ, tổn hao do độ suy giảm của pin năng lượng mặt trời và tổn hao do máy biến áp. Từ những thông số đó hệ thống sẽ cho ra

kết quả sản lượng điện tương ứng với bức xạ mặt trời tại khu vực cần ước lượng.

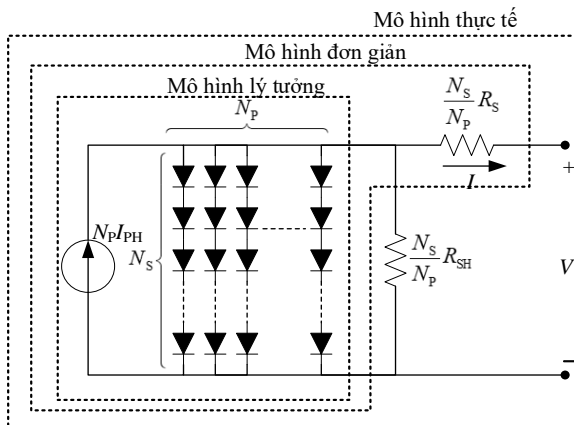


Hình 1. Mô hình xác định sản lượng điện

3. PHƯƠNG PHÁP

3.1 Mô hình pin quang điện

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 410W. Xây dựng mô-đun năng lượng mặt trời tạo ra công suất như trên thì ghép 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 theo nhu cầu thực tế. Sơ đồ mạch tương đương cho mô-đun năng lượng mặt trời Hình 2.



Hình 2. Mô hình tổng quát pin quang điện

Từ mô hình tổng quát như Hình 2 phương trình toán học của pin quang điện được viết như sau:

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

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.

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:

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

Trong đó:

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

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 $^{\circ}\text{C}$.

A: hằng số lý tưởng vật liệu PV (Bảng 3).

Bảng 3. 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	5,0
CdTe	1,5
CIS	1,5
AsGe	1,3

3.2 Mô hình xác định sản lượng

Mô hình xác định sản lượng điện mặt trời được xây dựng theo biểu thức sau:

$$Y_{lưới} = Y_{màng} * L_{hệ\ thống} \quad (4)$$

$$Y_{màng} = G * A * n_{pv} \quad (5)$$

Dựa trên mô hình pin quang điện sản lượng điện được viết lại theo biểu thức bên dưới:

$$Y_{màng} = G * P_{DC_STC_array} \quad (6)$$

$$Y_{lưới} = G * P_{DC_STC_màng} * L_{hệ\ thống} \quad (7)$$

Trong đó:

G: Bức xạ mặt trời (kWh/m^2)

n_{pv} : Hiệu suất PV Môđun ở điều kiện chuẩn.

A: bề mặt diện tích tấm pin.

$L_{hệ\ thống}$: tổn hao hệ thống.

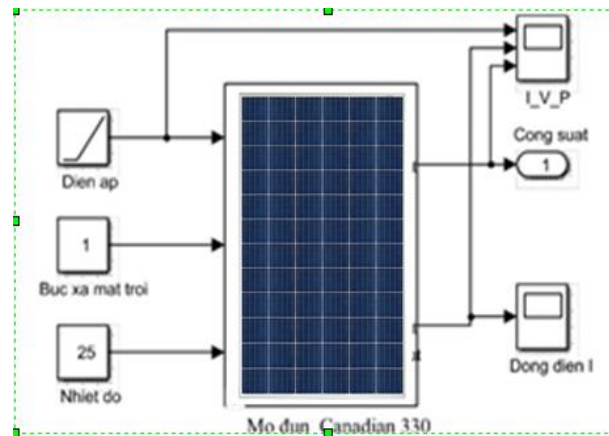
$P_{DC_STC_màng}$: công suất DC màng điều kiện tiêu chuẩn.

4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN SẢN LƯỢNG BẰNG PHẦN MỀM MATLAB/ SIMULINK

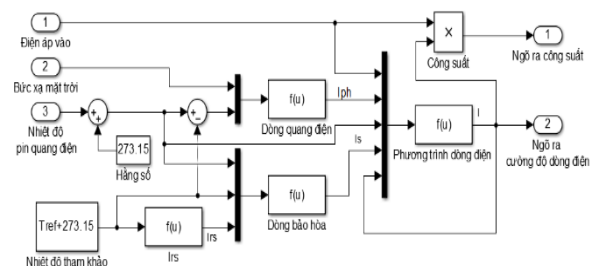
4.1 Xây dựng mô hình pin quang điện trên MATLAB/SIMULINK

Để xây dựng mô hình xác định sản lượng điện trên phần mềm MATLAB/SIMULINK

trước tiên cần xây dựng mô hình pin quang điện thương mại. Trong nghiên cứu này, sử dụng pin quang điện của hãng Canadian 330W và Irex 360W phù hợp với pin quang điện do hai nhà máy điện mặt trời Đại Nam và Điện lực sử dụng. Mô hình pin quang điện được xây dựng như Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Mô hình pin quang điện



Hình 4. Chương trình con của mô hình quang điện

4.2 Mô hình tổn thất của hệ thống

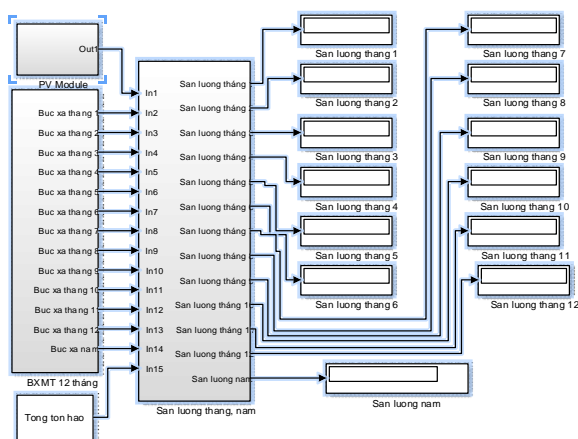
Các tổn thất của hệ thống bao gồm tổn thất góc tới, tổn thất do bụi trên bề mặt pin quang điện, tổn thất do nhiệt độ, tổn thất LID, tổn thất dây điện, tổn thất bộ biến đổi điện (InL) và tổn thất máy biến áp (TrL) có tác động mạnh đến sản lượng điện mặt trời của nhà máy điện mặt trời kết nối vào lưới điện. Bảng 4 trình bày các tham số tổn thất.

4.3 Xây dựng mô hình tính toán sản lượng

Mô hình xác định sản lượng điện được xây dựng dựa trên giao diện đồ họa trong môi trường MATLAB/SIMULINK như Hình 5.

Bảng 4. Các tham số tổn thất

Tham số tổn thất	Giá trị	Tài liệu tham khảo
Tổn hao do góc nghiêng (IAM)	1-6%	[7]
Tổn hao do bụi (SL)	1- 4%	[8]
Tổn hao LID	2,9%	[9]
Tổn hao do chất lượng Module (MQL)	3%	[8]
Tổn hao do không phù hợp (ML)	1%	[10]
Tổn hao suy giảm Module (MDL)	0,5%	[9]
Tổn hao do dây dẫn (WL)	1%	[7]
Tổn hao trên Inverter (InL)	2,2%	[10]
Tổn hao do Máy biến áp (TrL)	1,6%	[8]



Hình 5. Mô hình xác định sản lượng điện mặt trời

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

5.1 Thông số đầu vào

Trong nghiên cứu này các số liệu mô phỏng cũng như số liệu đo đạt của hệ thống tham khảo tại 02 công trình điển hình:

- Hệ thống năng lượng mặt trời tại Điện lực Bến Cát có tổng công suất đặt là 59,04kWp, với 164 tấm pin IREX 360W và kết nối với 2 inverter.
- Nhà máy điện mặt trời Đại Nam có tổng công suất lắp đặt là 986 kWp. Công trình Nhà máy Đại Nam được lắp đặt 2988 tấm pin Canadian 330W, được trải dài trên mái

công trình xây dựng, và kết nối với 17 inverter như Hình 6.



Hình 6. Hình ảnh thực tế tại Đại Nam

Trong nghiên cứu này sử dụng pin mặt trời Canadian 330W và IREX 360W và với thông số kỹ thuật đầu vào như Bảng 5.1 và Inverter như Bảng 5.2

Bảng 5.1. Thông số kỹ thuật của pin quang điện Canadian 330W và Irex 360W

Thông số kỹ thuật	Giá trị pin Canadian	Giá trị pin Irex
Pmax	330W	360W
Vmp	37,2V	38,55V
Imp	8,88A	9,34A
Voc	45,6V	47,73V
Isc	9,45A	9,87A

Bảng 5.2. Thông số kỹ thuật của Inverter

Thông số kỹ thuật	Đại Nam	Điện lực
Hiệu	VES Solar	SMA
Số pha	3 pha	3 pha
Điện áp đầu vào	250-900V	250-800V
Tần số	50/60Hz	50/60Hz
Kiểu	VESSOI	STP
Công suất	60kW	30kW
Hệ số công suất	> 0,99	> 0,99

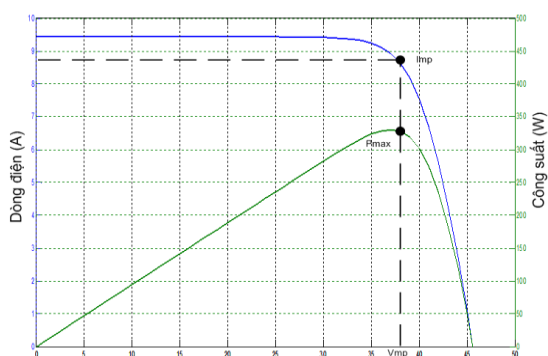
Bên cạnh thông số kỹ thuật của pin quang điện, một trong những thông số quan trọng nhất của của mô hình tính toán sản lượng điện mặt trời là bức xạ mặt trời thực tế đo đạt được tại nhà máy điện mặt trời Đại Nam và tại Điện lực. Bức xạ mặt trời thực tế đo đạt được trình bày như Bảng 6.

5.2 Kết quả mô phỏng

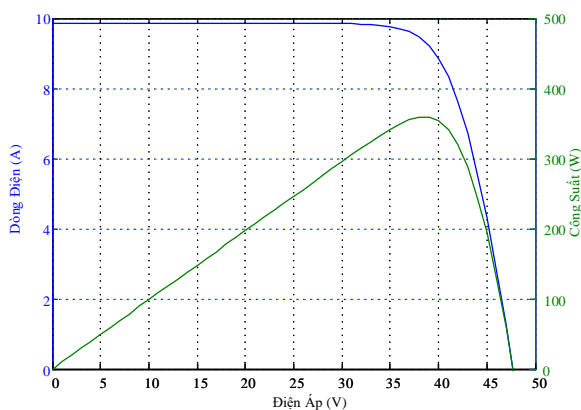
Từ mô hình pin quang điện thương mại đặc tính V/I của pin quang điện Canadian được trình bày như Hình 7.

Bảng 6. Bức xạ mặt trời đo đạt thực tế tại Bình Dương

Tháng	Bức xạ mặt trời (kW/m ²) đo được thực tế	Địa điểm
5/2019	137	Đại Nam
6/2019	115	Đại Nam
7/2019	126	Đại Nam
8/2019	142	Đại Nam
9/2019	136	Đại Nam
10/2019	158	Đại Nam
11/2019	163	Điện lực
12/2019	181	Điện lực
01/2020	165	Điện lực
02/2020	183	Điện lực



Hình 7a. Đặc tính I-V-P của pin quang điện Canadian 330W



Hình 7b. Đặc tính I-V-P của pin quang điện Irex 360W

Để tính toán sản lượng điện của nhà máy cần phải xác định tổn thất của hệ thống. Trong nghiên cứu này sử dụng số liệu tổn thất như Bảng 4. Kết quả sản lượng điện được trình bày như Bảng 7.

Bảng 7. Sản lượng điện mô phỏng theo các tháng trong năm

Tháng	Sản lượng (kWh)	Địa điểm
5/2019	114.946	Đại Nam
6/2019	109.073	Đại Nam
7/2019	105.716	Đại Nam
8/2019	113.268	Đại Nam
9/2019	114.107	Đại Nam
10/2019	125.853	Đại Nam
11/2019	6.257	Điện lực
12/2019	6.947	Điện lực
01/2020	6.333	Điện lực
02/2020	7.024	Điện lực

5.3 Kết quả thực nghiệm

Sản lượng điện của 02 nhà máy điện mặt trời Đại Nam và Điện lực được giám sát và hiển thị bằng hệ thống giám sát từ xa. Nhà máy điện mặt trời nối máy Đại Nam có công suất lắp đặt 986 kW đi vào hoạt động từ tháng 5 năm 2019 và tại nhà máy tại Điện lực hoạt động từ tháng 10 năm 2019 đến nay. Sản lượng điện thực tế được trình bày như Hình 8.

5.4 Phân tích kết quả

Các kết quả thu thập được thực tế và kết quả mô phỏng từ mô hình xây dựng trên phần mềm MATLAB/SIMULINK và để dễ dàng đánh giá độ chính xác của hệ thống, sự khác biệt giữa kết quả đo đạc và kết quả tham chiếu được trình bày qua công thức:

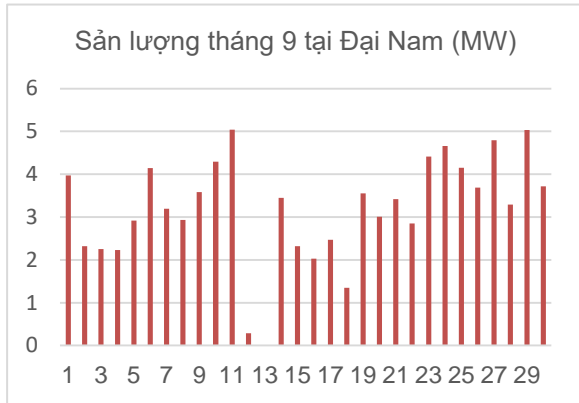
$$e = x_i - \hat{x}_i \quad (8)$$

$$e(\%) = \frac{|x_i - \hat{x}_i|}{\hat{x}_i} \quad (9)$$

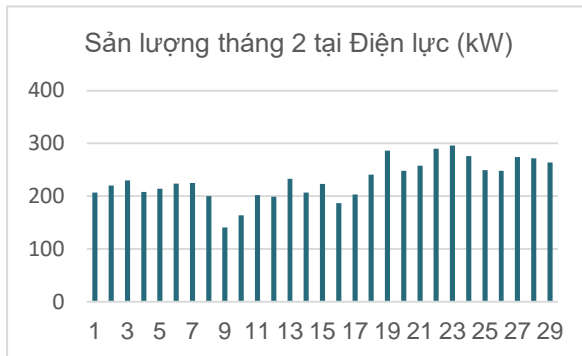
$$\delta_{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad (10)$$

Với: x_i, \hat{x}_i : là các giá trị thứ i của kết quả đo đạc thực tế và mô phỏng, n là tổng số khảo sát.

So sánh kết quả mô phỏng từ mô hình xây dựng trên phần mềm MATLAB/SIMULINK và kết quả thực nghiệm như Bảng 8.



(a) Sản lượng tháng 9/2019



(b) Sản lượng tháng 02/2020

Hình 8. Sản lượng điện tại 02 nhà máy điện mặt trời nổi lưới.

Bảng 8. So sánh kết quả giữa mô hình tính toán sản lượng xây dựng trên MATLAB/SIMULINK và kết quả thực tế

Tháng	Sản lượng ước lượng (kWh)	Sản lượng đo thực tế (kWh)	e	e (%)
5/2019	114.946	122.780	-7.834	6,38
6/2019	109.073	114.290	-5.217	4,56
7/2019	105.716	114.010	-8.294	7,27
8/2019	113.268	107.610	5.658	5,26
9/2019 (*)	114.107	95.470	18.637	19,52
10/2019	125.853	120.850	5.003	4,14
11/2019	6.257	6.565	-308	4,69

Tháng	Sản lượng ước lượng (kWh)	Sản lượng đo thực tế (kWh)	e	e (%)
12/2019	6.947	6.591	356	5,40
1/2020	6.333	6.507	-174	2,67
2/2020	7.024	6.689	335	5,01

Từ kết quả so sánh hệ thống có độ sai lệch giữa mô phỏng và thực tế dao động khoảng 7,27%. Sai lệch gia tăng do tổn hao do bụi tăng bất thường tại các tháng 6,7,8/2019 tại khu du lịch Đại Nam do thời điểm các tháng hè cao điểm khu du lịch Đại Nam đón khách tham quan bình quân khoảng trên 30.000 lượt khách/ngày. Trong khi đó, gần khu vực Điện lực Bến Cát đang triển khai công trình xây dựng trung tâm hành chính Thị xã Bến Cát vào tháng 11/2019 và 1/2020. Bên cạnh đó, cá biệt trong tháng 9/2019 (*) có sự chênh lệch giữa thực tế và mô phỏng lớn là 18.863 kWh, Nguyên nhân của trường hợp này là do trong các ngày 12,13/9/2019 hệ thống ngưng hoạt động để bảo trì dẫn đến mất sản lượng 02 ngày này (ước khoảng 10.080kWh). Nếu không xảy ra vấn đề ngưng hoạt động này, và giả sử lấy giá trị trung bình điển hình cho 2 ngày này, thì độ sai lệch là 5,36%.

6. KẾT LUẬN

Bài nghiên cứu này trình bày một phương pháp xây dựng mô hình xác định sản lượng điện dựa trên phần mềm MATLAB/SIMULINK, Từ kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống có độ sai lệch giữa thực tế và mô phỏng dao động là 7,27%. Từ các quan điểm thực tế cho thấy hệ thống có những ưu điểm (1) có độ chính xác tin cậy; (2) giảm phụ thuộc vào các phần mềm tính toán sản lượng điện thương mại; (3) giảm chi phí đầu tư cho phần mềm xác định sản lượng.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại Học Lạc Hồng đã hỗ trợ tài chính cho nghiên cứu này với mã số đề tài LHU-RF-TE-18-02-01

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguồn năng lượng chủ yếu tại Việt Nam, số dự án trong giai đoạn từ nay đến 2025 <https://www.evn.com.vn>.
- [2] Quyết định số 11/2017/QĐ-TTg ngày 11 tháng 4 năm 2017.
- [3] Shiva kumar, B, Sudhakar, K, *Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India*, Energy Rep, 1, pp 184–192, 2015.
- [4] Cheikh El Banany Elhadj Sidi, *Performance analysis of the first large-scale (15 MWp) grid-connected photovoltaic plant in Mauritania*, Energy Conversion and Management 119, pp 411–421, 2016.
- [5] Lena D, Mensah, *Performance evaluation of a utility-scale grid-tied solar photovoltaic (PV) installation in Ghana*, Energy for Sustainable Development 48, pp 82–87, 2019.
- [6] S, Martín-Martínez, M, Cañas-Carretón, A, Honrubia-Escribano, E, Gómez-Lázaro, *Performance evaluation of large solar photovoltaic power plants in Spain*, Energy Conversion and Management, vol, 183, pp, 515–528, 2019.
- [7] Mathieu, Heiko, *The impact of angular dependent loss measument of PV module Energy Prediction*, Presented at the 29th European PV solar Energy Conference and Exhibition, pp 22-26, September 2014.
- [8] Nallapaneni Manoj Kumar, Ramjee Prasad Gupta, Mobi Mathew, Arunkumar Jayakumar, Neeraj Kumar Singh, *Performance, energy loss, and degradation prediction of roof-integrated crystalline solar PV system installed in Northern India*, Case Studies in Thermal Engineering, vol. 13, 2019.
- [9] Karin Krauss, Fabian Fertig, Dorothee Menzel, Stefan Rein, *Light-induced Degradation of Silicon Solar Cells with Aluminiumoxide Passivated Rear Side*, Energy Procedia, vol. 77, pp. 599-606, August 2015.
- [10] PV syst software, <https://www.pvsys.com>.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Lê Phương Trường
Trường Đại học Lạc Hồng, Việt Nam
Email: lephuongtruong@lhu.edu.vn