

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN ĐỘC LẬP CUNG CẤP ĐIỆN CHO KHU DÂN CƯ

Lê Thành Trí, Phạm Thị Xuân Hoa*

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: *hoaptx@hufi.edu.vn*

Ngày nhận bài: 07/10/2020; Ngày chấp nhận đăng: 05/3/2021

TÓM TẮT

Nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng ở các khu vực dân cư của những vùng xa hoặc hải đảo nơi công tác quy hoạch và phát triển lưới điện quốc gia gặp nhiều khó khăn hay không thể đưa đến. Để giải quyết các vấn đề đó, việc sử dụng hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo kết hợp với với bộ lưu trữ và máy phát điện diesel để thay thế cho mạng điện quốc gia và đáp ứng nhu cầu sử dụng điện của các phụ tải là một trong những giải pháp thiết thực nhất. Bài báo này trình bày việc thiết kế tối ưu một mạng điện nhỏ độc lập bao gồm pin quang điện, ắc quy tích trữ năng lượng điện và một máy phát dự phòng diesel. Mạng điện độc lập này có thể đáp ứng nhu cầu cho phụ tải sinh hoạt của gia đình tiêu thụ 12,5 kWh/ngày. Sử dụng phần mềm tối ưu hóa cho hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo PVsyst để thu được các kết quả khá thi nhất về mặt kỹ thuật và mặt kinh tế.

Từ khóa: Nguồn năng lượng tái tạo, pin quang điện, bộ nghịch lưu, ắc quy tích trữ năng lượng, tổn thất hệ thống.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã cho thấy tác động tiêu cực của nhiên liệu hóa thạch đối với môi trường và sự thiếu hụt nhiên liệu này ngày càng tăng [1]. Vì vậy, một số nghiên cứu đã được thực hiện để tìm ra nguồn năng lượng thay thế cho nhiên liệu hóa thạch. Trong số các nguồn năng lượng thay thế, năng lượng tái tạo thu hút sự chú ý nhất đối với các nhà nghiên cứu trên thế giới [2], năng lượng tái tạo có ưu điểm là không cạn kiệt, không gây ô nhiễm môi trường. Hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo bao gồm pin mặt trời (photovoltaics - PV), tua bin gió, thủy điện, sinh khối, thủy triều, sóng và địa nhiệt... Nghiên cứu này đã chọn năng lượng mặt trời là một trong những thành phần năng lượng của hệ thống năng lượng được đề xuất phù hợp với việc cung cấp điện cho khu dân cư ngoài lưới [3, 4] mạng điện độc lập này sẽ cung cấp điện hiệu quả cho các khu vực xa xôi và dân cư thưa thớt. Trong mạng điện này, nếu điện năng được phát ra bởi hệ thống mặt trời không đủ để cung cấp cho phụ tải thì sản lượng điện thiếu hụt sẽ được cung cấp bởi máy phát điện diesel. Ngược lại, nếu lượng điện năng được tạo ra bởi hệ thống mặt trời lớn hơn giá trị yêu cầu của phụ tải thì lượng điện năng thừa sẽ được tích lũy vào bộ ắc quy tích trữ để sử dụng khi cần thiết [5].

Hiện nay đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện để xem xét hiệu quả của việc thiết kế hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo. Hầu hết các nghiên cứu tập trung vào việc thiết kế hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo micro-grid [6, 7]. Một số nhà nghiên cứu đã thiết kế hệ thống quản lý năng lượng cho các khu du lịch sinh thái, các khu nghỉ mát quy mô nhỏ đến trung bình. Tuy nhiên, việc thiết kế hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo khá phức tạp, các thông số giữa tính toán thiết kế và trong thực tế có hệ số sai số lớn làm ảnh hưởng đến chất

lượng và tuổi thọ của hệ thống, hiệu suất chuyển đổi, chi phí đầu tư, vận hành, bảo trì, thay thế và sửa chữa. Nguyên nhân chính là do cường độ bức xạ mặt trời thay đổi theo không gian và thời gian, độ nghiêng của tấm pin quang điện được lắp đặt. Do đó, việc tính toán thiết kế hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo bằng các công cụ bình thường sẽ gặp khó khăn và mất nhiều thời gian.

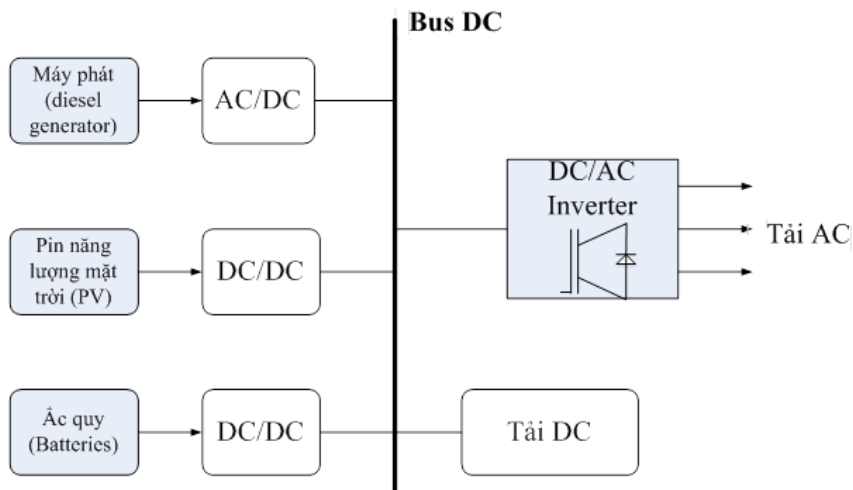
Vì vậy, sử dụng phần mềm để tính toán thiết kế nhằm giải quyết các vấn đề khó khăn. Hiện nay, trên thế giới có nhiều phần mềm được sử dụng để tính toán, thiết kế hệ thống các nguồn năng lượng tái tạo, trong đó có phần mềm PVSyst và Pvsol được sử dụng phổ biến ở khu vực Châu Âu và một số nước khác trên thế giới [8].

Trong bài viết này, tác giả sử dụng phần mềm PVSyst phiên bản 7.0 để thiết kế và mô phỏng hệ thống điện năng lượng mặt trời áp mái tại khu vực Củ Chi.

2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI ĐỘC LẬP

2.1. Cấu trúc hệ thống năng lượng mặt trời độc lập được đề xuất

Cấu trúc của hệ thống năng lượng mặt trời độc lập được đề xuất như thể hiện ở Hình 1.

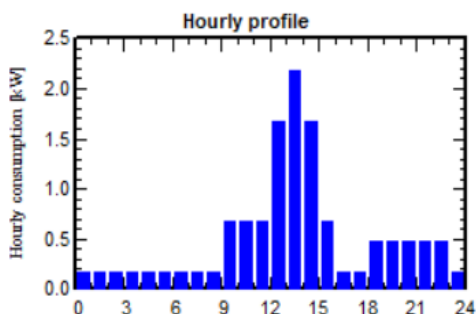


Hình 1. Cấu trúc của hệ thống năng lượng mặt trời độc lập đề xuất

Hệ thống năng lượng mặt trời độc lập bao gồm các nguồn phát điện nhỏ (microsource) là: năng lượng mặt trời, máy phát điện diesel dự phòng, hệ thống tích trữ năng lượng và bộ nghịch lưu. Cấu trúc này với các microsource kết nối nhau trên bus DC của bộ nghịch lưu, ắc quy tích trữ giúp ổn định điện áp ở ngõ vào của bộ nghịch lưu.

2.2. Thông số phụ tải

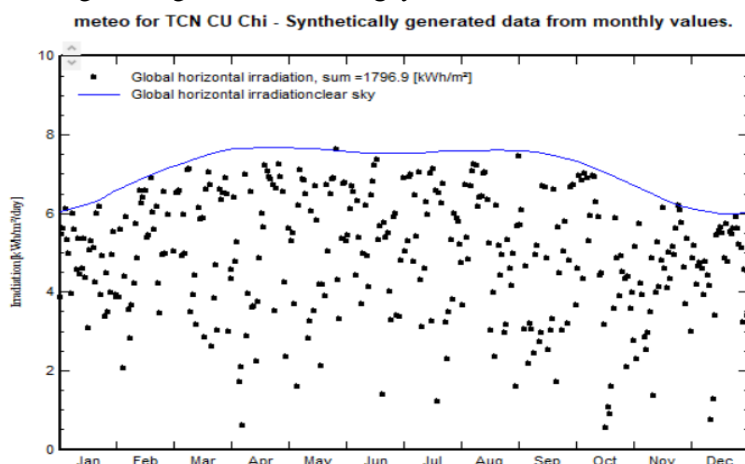
Công suất phụ tải tiêu thụ được thu thập và dùng phần mềm Pvsyst 7.0 để thể hiện lại bằng đồ thị phụ tải trong một ngày đêm thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Đồ thị phụ tải theo thời gian

2.3. Thông số bức xạ mặt trời

Dữ liệu mặt trời trong một năm được thể hiện ở Hình 3. Dữ liệu tài nguyên mặt trời cho khu vực Củ Chi được lấy từ phần mềm PVsyst, quan sát đồ thị Hình 3 ta thấy cường độ bức xạ mặt trời nằm trong khoảng từ 5 kWh/m²/ngày.



Hình 3. Đồ thị bức xạ mặt trời

Sản lượng điện của hệ thống pin mặt trời (photovoltaics - PV) có thể được ước tính bởi phương trình sau [9]:

$$E = A \times r \times G \times p \quad (1)$$

Trong đó: E là năng lượng điện (kWh), A là tổng diện tích tấm pin mặt trời (m²), r là sản lượng pin mặt trời (%), G là bức xạ mặt trời trung bình hàng năm trên tấm nghiêng (W/m²) và p là hệ số tổn thất (%).

Công suất tối đa từ một tấm pin mặt trời có thể được tính bằng cách sử dụng phương trình sau [10]:

$$P_{mp} = \eta_{PV} \times G_{\beta} \times A \quad (2)$$

Trong đó: A là diện tích bề mặt của mô đun PV (m²), P_{mp} là năng lượng tối đa từ một tấm pin mặt trời (W), η_{PV} là hiệu suất của silicon, G_β là bức xạ mặt trời (W/m²).

2.4. Thông số máy phát điện diesel

Hiệu suất của máy phát điện chạy bằng nhiên liệu hóa thạch hoặc chạy bằng diesel có thể được biểu diễn bởi phương trình sau đây [10]:

$$\eta T = \eta_B + \eta_G \quad (3)$$

Trong đó: η_T là tổng hiệu suất, η_B là hiệu suất nhiệt (%) và η_G là hiệu suất phát điện (%).

2.5. Thông số của ắc quy tích trữ điện (batteries)

Trạng thái nạp và xả của ắc quy tích trữ điện có thể được viết theo các phương trình sau [11]:

Trong suốt trạng thái sạc:

$$S_C(t+1) = S_C(t)[1 - \sigma(t)] + [i_B(t)\Delta(t)\eta_C(t) / C_B] \quad (4)$$

Trong suốt trạng thái xả:

$$S_C(t+1) = S_C(t)[1 - \sigma(t)] + [i_B(t)\Delta(t)\eta_D(t) / C_B] \quad (5)$$

Trong đó: S_C là trạng thái điện tích, $\sigma(t)$ là tốc độ xả định kỳ hàng giờ, i_B là dòng điện của pin, C_B là dung lượng định mức của pin (Ahr), η_C là hiệu suất sạc và η_D là hiệu suất xả.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Lựa chọn các thông số của hệ thống

3.1.1. Thông số phụ tải tiêu thụ của một hộ gia đình

+ Tổng điện năng phụ tải tiêu thụ trong 1 ngày: 12,5 kWh/ngày

+ Tổng điện năng phụ tải tiêu thụ trong 1 tháng: 375 kWh/tháng

Definition of daily household consumptions for the year.

Consumption: Hourly distribution

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy
10	Lamps (LED or fluo)	10 W/lamp	5.0 h/day	OK	500 Wh
2	TV / PC / Mobile	100 W/app	5.0 h/day	OK	1000 Wh
1	Domestic appliances	500 W/app	4.0 h/day	OK	2000 Wh
2	Fridge / Deep-freeze	0.80 kWh/day	24.0 h/day	OK	1598 Wh
1	Dish- & Cloth-washers	1000.0 W aver.	2.0 h/day	OK	2000 Wh
1	Ventilation	100 W/app	24.0 h/day	OK	2400 Wh
1	Air conditioning	1000 W/app	3.0 h/day	OK	3000 Wh
Stand-by consumers		6 W tot	24 h/day		6 Wh
Total daily energy					12504 Wh/day
Monthly energy					375.1 kWh/mth

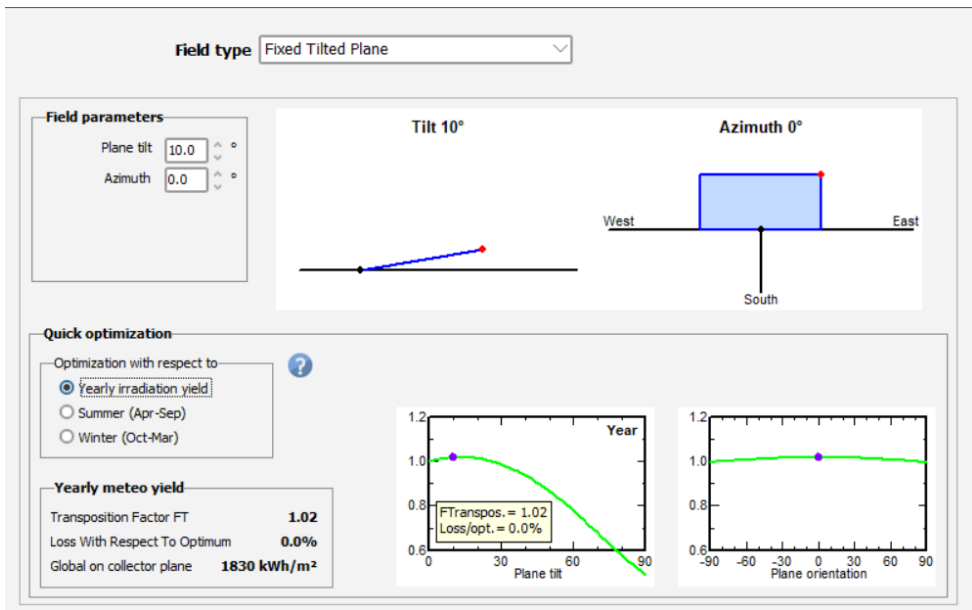
Consumption definition by: Years, Seasons, Months

Week-end or Weekly use: Use only during, 7 days in a week

Hình 4. Khai báo thông số phụ tải

3.1.2. Định hướng lắp đặt tối ưu hệ thống pin quang điện

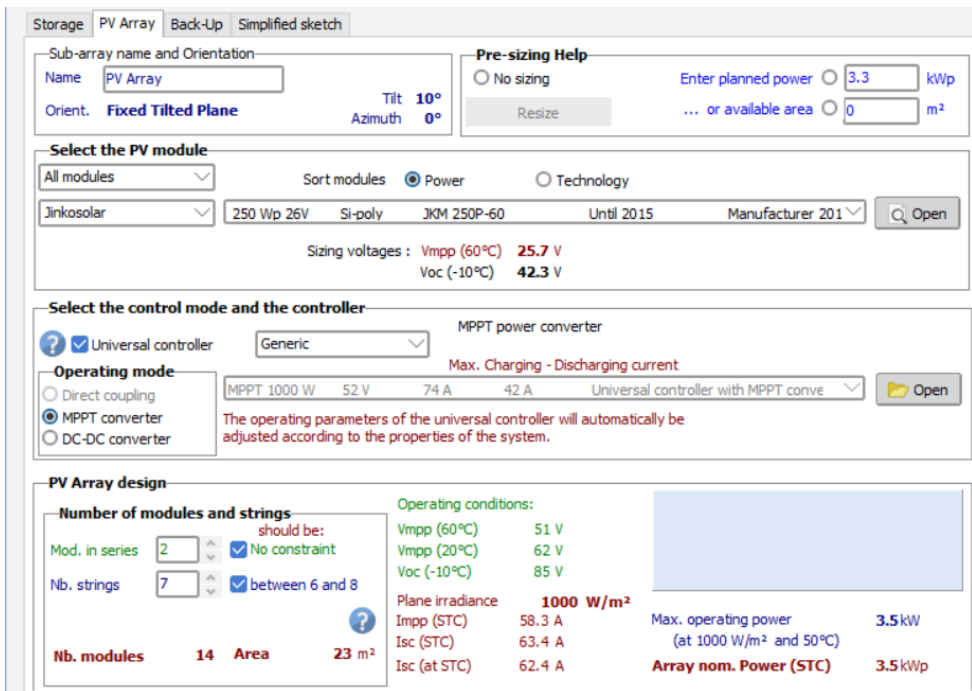
Hệ thống pin quang điện PV được lắp áp trên mái nhà với góc nghiêng là 10 độ, phần mềm PVsyst cho thấy với góc nghiêng này thì tấm pin hấp thụ được bức xạ tốt nhất và cho tổn hao thấp nhất như thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Cài đặt định hướng lắp đặt tấm pin quang điện

3.1.3. Lựa chọn tấm pin quang điện

Chọn loại tấm pin quang điện: JKM 250P-60, 250 Wp của hãng sản xuất Jinkosolar, $V_{mpp} = 25,7$ V và $V_{oc} = 42,3$ V.

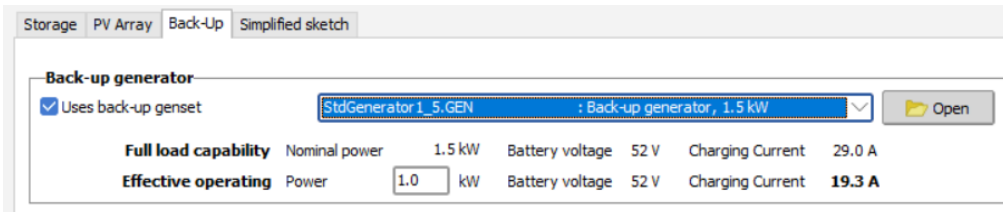


Hình 6. Lựa chọn tấm pin quang điện

Sản lượng định mức của toàn bộ hệ thống pin là 3,5 kWp/ngày, trong đó có 7 dãy, mỗi dãy có 2 mô đun.

3.1.4. Chọn máy phát dự phòng (diesel)

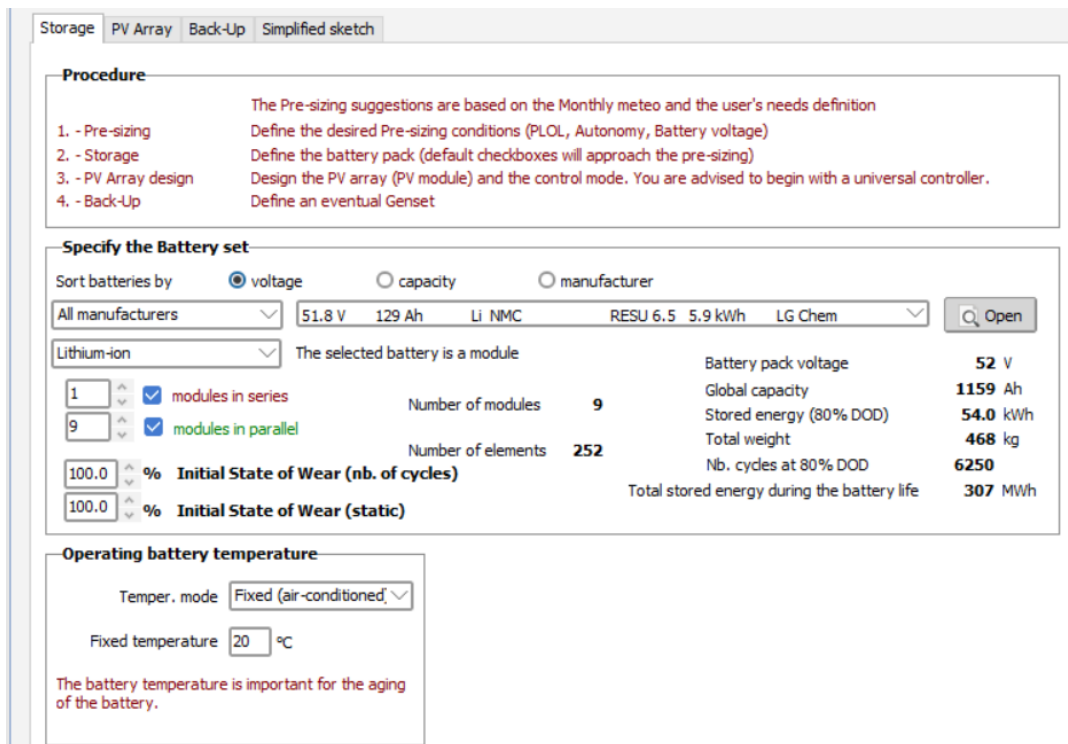
Chọn máy phát dự phòng loại StdGenerator1_5.GEN, công suất 1,5 kW.



Hình 7. Lựa chọn máy phát dự phòng

3.1.5. Chọn loại pin tích trữ (batteries)

Chọn loại pin tích trữ Li NMC 5,9 kWh, điện áp 51,8 V

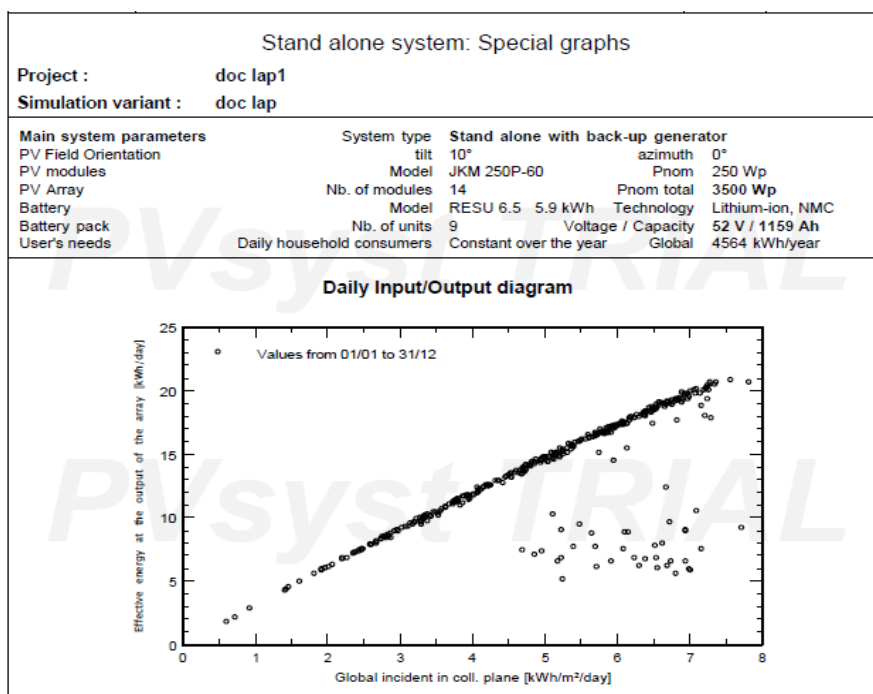


Hình 8. Lựa chọn pin tích trữ điện

3.2. Kết quả thiết kế hệ thống bằng phần mềm PVsyst

3.2.1. Phân bố năng lượng bức xạ và điện năng hệ thống tạo ra trong một năm

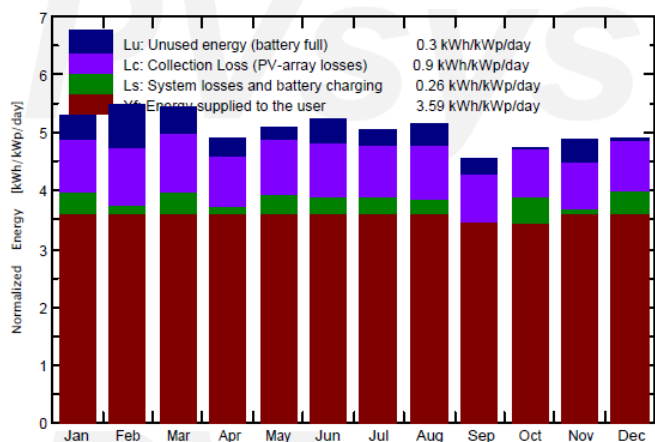
Tổng năng lượng bức xạ tới bề mặt tấm pin quang điện diện tích trung bình 1 m² nằm trong dãy giá trị từ 0,5 kWh/m²/ngày đến 7,4 kWh/m²/ngày. Tuy nhiên, điểm phân bố dày nhất nằm ở khoảng từ 3 kWh/m²/ngày đến 7,4 kWh/m²/ngày. Điện năng tạo ra của hệ thống trong một ngày phân bố từ 2 kWh/ngày đến 22 kWh/ngày như thể hiện ở Hình 9.



Hình 9. Biểu đồ phân bố năng lượng bức xạ trong 1 ngày

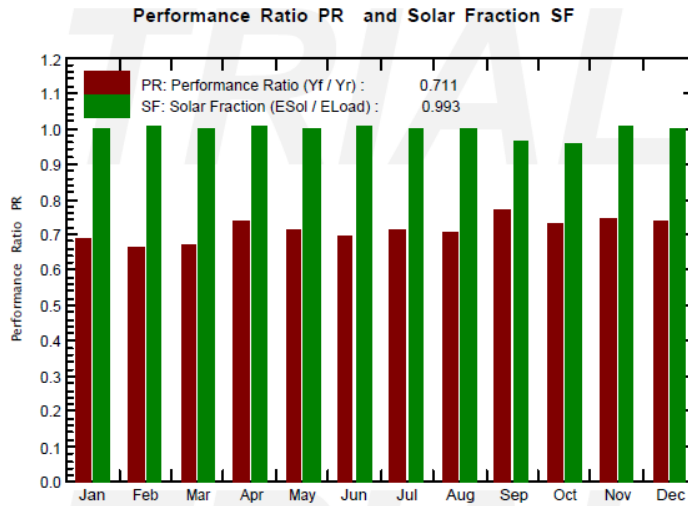
3.2.2. Kết quả điện năng tạo ra của hệ thống

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 3500 Wp



Hình 10. Sản lượng điện năng tạo ra của hệ thống

Hình 10 cho thấy sản lượng điện tạo ra của toàn hệ thống, tuy nhu cầu sử dụng điện không thay đổi nhưng sản lượng điện cung cấp qua từng tháng lại khác nhau do lượng bức xạ mặt trời hàng tháng khác nhau nên sản lượng điện cung cấp khác nhau qua từng tháng. Tổn thất điện năng của dây pin là 0,9 kWh/kWp/ngày, tổn thất điện năng của hệ thống và ác quy là 0,26 kWh/kWp/ngày, điện năng cung cấp đến tải tiêu thụ là 3,59 kWh/kWp/ngày. Vậy 1 kWp sẽ sinh ra 3,59 kWh/ngày. Sản lượng định mức của toàn bộ hệ thống pin là 3,5 kWp/ ngày sẽ sinh ra 12,56 kWh/ngày để cung cấp cho tải tiêu thụ trong 1 ngày, và trong 1 năm thì hệ thống này sẽ sinh ra 4586 kWh/năm.



Hình 11. Hiệu suất của hệ thống

Hình 11 cho thấy tỷ số hiệu suất của hệ thống: PR = 71,1% và tỉ số sử dụng năng lượng mặt trời là 99,3%.

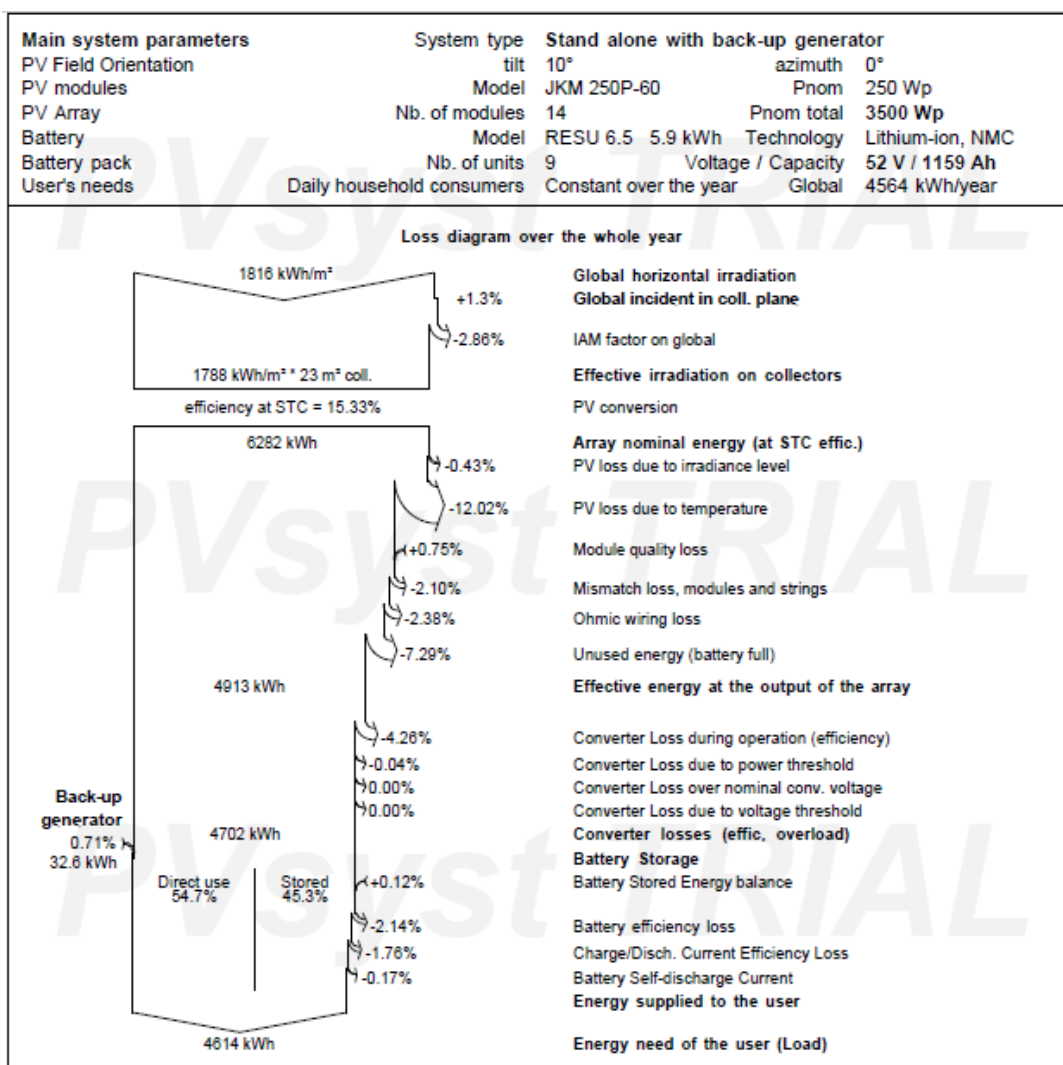
Bảng 1. Điện năng tạo ra của hệ thống cung cấp cho phụ tải và lưới

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	150.2	159.2	454.6	42.03	391.9	391.9	1.000
February	144.2	149.1	422.3	68.37	354.0	354.0	1.000
March	164.5	163.6	460.0	45.95	391.9	391.9	1.000
April	149.1	142.8	403.1	29.98	379.3	379.3	1.000
May	164.3	152.4	430.9	21.23	391.9	391.9	1.000
June	165.1	151.4	432.5	41.63	379.3	379.3	1.000
July	164.2	151.6	433.3	29.51	392.0	391.9	1.000
August	162.9	154.3	439.6	38.33	392.0	391.9	1.000
September	135.7	132.5	377.6	27.70	379.4	379.3	0.964
October	140.8	142.1	405.0	0.00	392.0	391.9	0.953
November	136.1	141.3	405.7	35.02	379.4	379.3	1.000
December	139.4	147.8	423.4	6.41	391.9	391.9	1.000
Year	1816.4	1788.1	5088.1	386.15	4615.0	4614.5	0.993

Legends: GlobHor Global horizontal irradiation
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 E_Avail Available Solar Energy
 EUnused Unused energy (battery full)
 E_User Energy supplied to the user
 E_Load Energy need of the user (Load)
 SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Bảng 1 cho thấy điện năng tạo ra của hệ thống thay đổi theo tháng, điện năng cung cấp cho tải tiêu thụ trong 1 năm là 4614,5 kWh/năm, vậy 1 ngày sẽ cung cấp cho tải tiêu thụ 12,6 kWh/ngày.

Lưu đồ Hình 12 cho thấy toàn bộ hệ thống sẽ tạo ra 6282 kWh/năm, phần hiệu suất bị giảm do: nhiệt độ tấm pin, cường độ bức xạ, chất lượng mô đun, khả năng hấp thụ ánh sáng, mô đun không đồng đều và tổn thất trên dây dẫn là 1369 kWh/năm; tiếp theo là phần tổn thất do quá trình hoạt động của bộ nghịch lưu là 211 kWh/năm; cuối cùng là phần tổn thất do nạp xả ắc quy tích trữ năng lượng là 88 kWh/năm. Vì vậy, năng lượng điện của hệ thống đưa đến tải tiêu thụ còn 4614 kWh/năm.



Hình 12. Lưu đồ tổn thất của hệ thống cho cả năm

3.2.3. Phân tích kinh tế

Vòng đời của dự án được xem xét trong 25 năm, hàm mục tiêu là hàm chi phí hàng năm của hệ thống, chủ yếu là sử dụng pin năng lượng PV. Kết quả tính toán của phần mềm PVsyst sẽ cho các chi phí lắp đặt, chi phí vận hành, bảo trì và chi phí thay thế thiết bị trong thời gian vận hành. Chi phí của pin mặt trời, pin lưu trữ, máy phát dự phòng và bộ chuyển đổi được lấy trên trang web của nhà sản xuất, tuổi thọ của các thiết bị trong hệ thống được xem là như nhau, ngoại trừ bộ ắc quy tích trữ năng lượng.

Stand alone system: Cost of the system			
Project :	doc lap1		
Simulation variant :	doc lap		
Main system parameters	System type	Stand alone with back-up generator	
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth 0°
PV modules	Model	JKM 250P-60	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	14	Pnom total 3500 Wp
Battery	Model	RESU 6.5 5.9 kWh	Technology Lithium-ion, NMC
Battery pack	Nb. of units	9	Voltage / Capacity 52 V / 1159 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 4564 kWh/year
Installation costs			
PV modules			
JKM 250P-60	14 units	94.71 USD/unit	1'325.94 USD
Batteries	9 units	4'082.70 USD/unit	36'744.30 USD
Controllers			25.00 USD
Back-up generator			238.44 USD
Taxes			
VAT			1'714.29 USD
		Total	40'047.97 USD
		Depreciable asset	38'333.68 USD
Operating costs			
Fuel for Back-Up generator			23.47 USD/year
		Total (OPEX)	23.47 USD/year
System summary			
Total installation cost		40'047.97 USD	
Operating costs		23.47 USD/year	
Used solar energy		4615 kWh/year	
Excess energy (battery full)		386 kWh/year	
Used energy cost		0.265 USD/kWh	

Hình 13. Chi phí các thành phần của hệ thống

Stand alone system: Financial analysis			
Project :	doc lap1		
Simulation variant :	doc lap		
Main system parameters	System type	Stand alone with back-up generator	
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth 0°
PV modules	Model	JKM 250P-60	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	14	Pnom total 3500 Wp
Battery	Model	RESU 6.5 5.9 kWh	Technology Lithium-ion, NMC
Battery pack	Nb. of units	9	Voltage / Capacity 52 V / 1159 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 4564 kWh/year
Financial parameters			
Simulation period			
Project lifetime	25 years	Start year	2021
Income variation over time			
Inflation		0.00 %/year	
Production variation		0.00 %/year	
Discount rate		8.50 %/year	
Financing			
Own funds		30'058.70 USD	
Subsidies		10'000.00 USD	
Electricity sale			
Feed-in tariff		0.08 USD/kWh	
Return on investment			
Payback period		Unprofitable	
Net present value (NPV)		-20'953.89 USD	
Return on investment (ROI)		-52.3 %	

3. Mokheimer E.M.A, Sahin A.Z., Al-Sharafi A., Ali A.I. - Modeling and optimization of hybrid wind-solar-powered reverse osmosis water desalination system in Saudi Arabia, *Energ Conver Manage* **75** (C) (2013) 86-97.
4. Shezan S., Das N., Mahmudul H. - Techno-economic analysis of a smartgrid hybrid renewable energy system for Brisbane of Australia, *Energy Procedia* **110** (C) (2017) 340-345.
5. Georg A., Sebastian Z., Hendrik A., Dirk Uwe S. - Comparison of different operation strategies for PV battery home storage systems including forecast-based operation strategies, *Applied Energy* **229** (C) (2018) 884-899.
6. Shezan S.K.A, Farzana M., Hossain A., Ishrak A. - Techno-economic and feasibility analysis of a micro-grid wind-DG-battery hybrid energy system for remote and decentralized areas, *International Journal of Advances in Engineering & Technology* **8** (6) (2015) 874-888.
7. Shezan S.A., Das N. - Optimized hybrid wind-diesel energy system with feasibility analysis, *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy* **2** (1) (2017) 9.
8. International Finance Corporation - A project developer's guide to utility-scale solar photovoltaic power plants, Washington D.C (2015) 112-115.
9. Tansu F., Ümmühan Başaran F., and Ömer Neziğ G. - Solar radiation to power generation models for one-axis tracking PV system with on-site measurements from Eskisehir, Turkey, *E3S Web of Conferences* **22** (2017) 00046.
10. Shezan S.K.A. - Optimization and assessment of an off-grid photovoltaic-diesel-battery hybrid sustainable energy system for remote residential applications, *Environmental Progress & Sustainable Energy* **38** (6) (2017) 216-223.
11. Yashwant Sawle, S.C. Gupta, Aashish Kumar Bohre - PV-wind hybrid system: A review with case study, *Cogent Engineering* **3** (1) (2016) 1189305.

ABSTRACT

CALCULATION AND DESIGN OF AN ISLAND-MODE ELECTRICAL POWER SYSTEM SUPPLY TO THE RESIDENTIAL AREA

Le Thanh Tri, Pham Thi Xuan Hoa*

Ho Chi Minh City University of Food Industry

*Email: hoaptx@hufi.edu.vn

The demand for electricity of residential areas is increasing in remote areas or islands where the planning and development of the national grid is difficult or impossible. To solve these problems, the use of a system of renewable energy sources combined with storage and diesel generators to replace the national grid, and meets the electricity needs of the load is one of the most practical solutions. This paper presents the optimal design of a small independent electrical network consisting of photovoltaic cells, electric energy storage accumulators and a diesel backup generator. This independent power network can meet the needs for the household's daily load that consumes 12.5 kWh per day. Use optimization software for the PVsyst renewable energy sources system to get the most technically and economically feasible results.

Keywords: Renewable energy sources, photovoltaic batteries, inverters, electrical energy storage batteries, system losses.