

NGHIÊN CỨU CẤU HÌNH TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI HÒA LƯỚI

Nguyễn Thị Bích Hậu

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

Email: *hauntb@hufi.edu.vn*

Ngày nhận bài: 17/6/2020; Ngày chấp nhận đăng: 30/9/2020

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tiến hành tính toán và lựa chọn cấu hình tối ưu cho hệ thống điện mặt trời công suất 28 kW gắn trên bộ đỡ ở mặt đất trên cơ sở xem xét 2 điều kiện ràng buộc là độ tin cậy cung cấp điện và tối ưu hiệu suất phát điện vào lưới. Hệ thống gồm nguồn pin quang điện kết nối lưới thông qua bộ nghịch lưu, trong đó, việc tính toán kết hợp phần mềm mô phỏng PVSyst được thực hiện để lựa chọn góc nghiêng tối ưu và hướng của hệ pin. Sau đó khảo sát hiệu suất phát điện của các mô hình ghép pin khác nhau cho loại pin REC Si-poly 350 Wp và REC Si-poly 280 Wp, từ đó chọn ra cấu hình tối ưu nhất. Ngoài ra, bài báo còn phân tích các tổn thất khi vận hành, hiệu suất, năng lượng hệ thống điện mặt trời phát ra hoàn toàn phù hợp với đặc tính của hệ pin quang điện. Kết quả nghiên cứu này góp phần tối ưu hệ thống điện mặt trời có hòa lưới khi xem xét đến mô hình phụ tải, với điều kiện ràng buộc là tối ưu hiệu suất, hiệu quả kinh tế và độ tin cậy cung cấp điện. Từ đó, có thể đánh giá sơ bộ về các thông số kỹ thuật, hiệu suất vận hành của toàn bộ quá trình sản xuất điện cho một dự án thật.

Từ khóa: Điện mặt trời, phần mềm PVSyst, năng lượng mặt trời, pin quang điện (PV)

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, với hiệu ứng nóng lên của trái đất, sự cạn kiệt các nguồn năng lượng hóa thạch, sự bùng nổ tăng trưởng của các nước đang phát triển, ước tính đến năm 2050, nhiệt độ trung bình của trái đất có thể tăng lên 60 °C. Điều này dẫn đến yêu cầu bức thiết phải có những phương thức mới trong việc cung cấp và sử dụng nguồn năng lượng nhằm giảm thiểu sự phát thải khí CO₂. Trong xu thế đó, năng lượng tái tạo ngày nay dần trở thành nguồn cung năng lượng quan trọng đối với sự phát triển kinh tế bền vững của mỗi quốc gia. Hiện nay, trên thế giới, sau thủy điện, năng lượng gió và năng lượng mặt trời là hai nguồn năng lượng đang được khai thác rộng rãi để sản xuất điện năng: tổng công suất điện gió lắp đặt toàn cầu năm 2011 khoảng 200 GW, công nghiệp điện mặt trời tăng trưởng khoảng 30%/năm trong những năm gần đây [1].

Việt Nam nằm trong vùng nhiệt đới, cường độ bức xạ trung bình khoảng 4-4,9 kWh/m²/ngày, số giờ nắng trung bình khoảng 2.000-2.500 giờ/năm với tổng năng lượng bức xạ mặt trời trung bình khoảng 150 kCal/cm²/năm, tiềm năng được đánh giá khoảng 43,9 TOE/năm [2]. Việc khai thác điện mặt trời mang lại hiệu quả cao cho việc bảo vệ môi trường bằng cách giảm thải khí CO₂ [3]. Trong một số công trình nghiên cứu, mô hình toán học của pin quang điện được xây dựng và tính toán chi tiết [3-6]. Hasan Mahamudul và cộng sự đã đề cập đến ảnh hưởng của nhiệt độ lên hiệu suất hoạt động của pin quang điện [7].

Việc ứng dụng các phần mềm vào thiết kế và tính toán điện mặt trời đang là xu thế của thế giới, một số phần mềm được phát triển như PVSyst [8], Solar Pro [9], Homer energy [10],

trong đó, PVSyst là một gói phần mềm nền tảng cho việc nghiên cứu, kích thước, mô phỏng và phân tích dữ liệu hoàn chỉnh hệ thống điện mặt trời. Phần mềm này hướng tới đối tượng là kiến trúc sư, kỹ sư và các nhà nghiên cứu, và chứa rất nhiều công cụ hữu ích cho giảng dạy về hệ thống điện mặt trời. Phần mềm cũng tích hợp hệ cơ sở dữ liệu về các loại pin mặt trời khác nhau, các hệ ắc quy, bộ biến đổi điện, cơ sở dữ liệu về bức xạ mặt trời, và đặc biệt là công cụ thiết kế giao diện 3D cho phép phân tích các tình huống kiến trúc khác nhau của các tòa nhà... Phần mềm này cho phép thiết kế cả hệ thống điện mặt trời độc lập và điện mặt trời nối lưới.

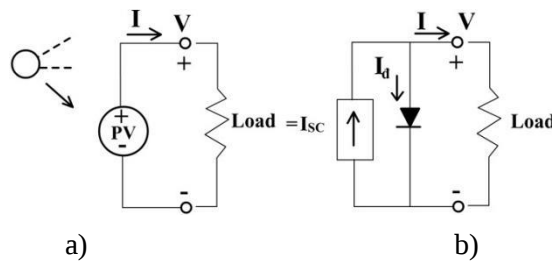
Ở Việt Nam, các ứng dụng điện mặt trời phổ biến khoảng vài kWp cho hộ gia đình hoặc từ vài chục đến vài trăm kWp cho quy mô phân xưởng, tòa nhà, trung tâm thương mại... bao gồm cả hệ thống điện mặt trời làm việc độc lập với lưới điện, và hệ thống điện mặt trời kết nối và hoạt động song song với lưới điện theo chế độ on-grid [11, 12]. Trong nghiên cứu này, phần mềm PVSyst được khai thác để tính toán và thiết kế hệ thống năng lượng mặt trời 28 kW hòa lưới. Với hai trường hợp được xây dựng để khảo sát hiệu suất phát điện, trường hợp thứ nhất là 80 pin loại REC Si-poly 350 Wp (REC350TP2S 72) kết nối lưới qua bộ inverter loại ABB TRIO công suất 27,6 kW; trường hợp thứ hai là sử dụng 100 pin loại REC Si-poly 280 Wp kết nối lưới qua bộ inverter loại ABB TRIO công suất 27,6 kW. Phương án ghép pin tối ưu cuối cùng được lựa chọn từ việc so sánh các phương án tối ưu hiệu suất phát điện của từng trường hợp trên. Sau đó, tiếp tục xem xét đến điều kiện nâng cao độ tin cậy cung cấp điện bằng cách thay inverter 27,6 kW bằng 5 inverter loại ABB TRIO công suất 5,8 kW. Cấu hình tối ưu của hệ thống điện mặt trời kết nối lưới sẽ được lựa chọn khi xem xét đồng thời 2 điều kiện là tối ưu hiệu suất phát điện và độ tin cậy cung cấp điện.

2. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1. Cơ sở lý thuyết

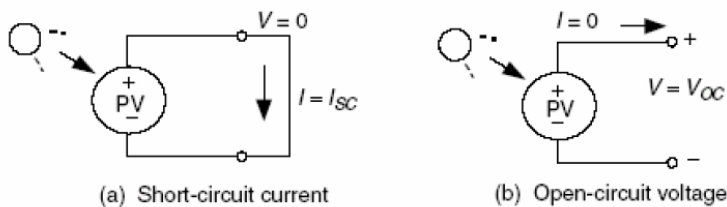
2.1.1. Sơ lược về pin quang điện

Pin quang điện sử dụng chất bán dẫn để biến đổi quang năng thành điện năng. Xét một mạch điện cơ bản có pin quang điện và tải như Hình 1a, để dễ khảo sát thì có thể thay thế thành sơ đồ Hình 1b



Hình 1. Sơ đồ tương đương của pin quang điện

Hai tham số quan trọng của PV là dòng ngắn mạch I_{sc} và điện áp hở mạch V_{oc} .



Hình 2. Hai trạng thái của pin PV: trạng thái ngắn mạch (a) và trạng thái hở mạch (b)

Thế mạch hở của pin quang điện p – n được xác định theo (1)

$$V_{0C} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right) \quad (1)$$

Với k là hằng số Boltzmann; T là nhiệt độ lớp tiếp xúc; q là điện tích cơ bản; I_0 là dòng điện ngược bão hòa (có được khi áp thế ngược vào 2 đầu bán dẫn, với cực âm nối vào bán dẫn n); I_{SC} là dòng điện ngắn mạch pin PV; V_{0C} là điện áp hở mạch.

Pin có thể hoạt động trong một dải thế V và dải dòng I rộng. Bằng cách thay đổi giá trị của tải ngoài từ $R = 0$ (ứng với dòng ngắn mạch) đến giá trị R rất cao (ứng với mạch hở), ta có thể xác định được điểm (V_{max}, I_{max}) ứng với công suất lớn nhất mà pin sinh ra được.

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad (2)$$

Hiệu suất chuyển đổi quang năng là tỷ lệ phần trăm năng lượng photon đã chuyển hóa thành điện năng khi pin được nối với tải trên năng lượng photon thu vào

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \cdot A} \quad (3)$$

Với G (W/m^2) là cường độ bức xạ tới; A (m^2) là diện tích bề mặt của pin.

2.1.2. Tổn hao trên bộ nghịch lưu

Tổn hao trên bộ nghịch lưu chủ yếu do IGBT và đi ốt. Tổn thất điện năng trong IGBT hoặc đi ốt là tổng tổn thất dẫn và chuyển mạch, được ước tính bởi các phương trình sau [13].

$$P^{IGBT} = P_{cond}^{IGBT} + P_{sw}^{IGBT} = \frac{1}{2} \left(V_{drop}^{IGBT} \frac{I_{peak}}{\pi} + R^{IGBT} \frac{(I_{peak})^2}{4} \right) \pm m \cos \varphi \left(V_{drop}^{IGBT} \frac{I_{peak}}{8} + R^{IGBT} \frac{(I_{peak})^3}{3\pi} \right) + \frac{1}{\pi} f_{sw} (E_{on} + E_{off}) \frac{V_{DC,applied}}{V_{ref}^{IGBT}} \frac{I_{peak}}{I_{ref}^{IGBT}} \quad (4)$$

Trong đó: P^{IGBT} là tổng tổn thất trên IGBT, các chỉ số “cond”, “sw” lần lượt chỉ trạng thái dẫn và chuyển mạch của IGBT, V_{drop}^{IGBT} là độ sụt áp trên IGBT, R^{IGBT} là điện trở, I_{peak} là dòng điện pha cực đại tại đầu ra của biến tần, V_{ref}^{IGBT} , I_{ref}^{IGBT} lần lượt là điện áp và dòng điện tham chiếu/định mức của IGBT, $V_{DC,applied}$ là điện áp DC của biến tần, E_{on} và E_{off} là tổn thất năng lượng trong trạng thái bật và tắt của IGBT, f_{sw} là tần số đóng cắt của IGBT, m là hệ số điều chế, φ là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện.

Tương tự, tổng tổn hao trên đi ốt trong biến tần, P^{Diode} , được xác định trong (5). Trong đó chỉ số “cond” và “rec” lần lượt chỉ trạng thái dẫn và trạng thái ngược, V_{drop}^{Diode} là điện áp rơi trên đi ốt, R^{Diode} là điện trở của đi ốt, E_{rec} là năng lượng tổn hao trong trạng thái ngược của đi ốt, V_{ref}^{Diode} , I_{ref}^{Diode} là điện áp và dòng điện định mức của đi ốt.

$$P^{Diode} = P_{cond}^{Diode} + P_{rec}^{Diode} = \frac{1}{2} \left(V_{drop}^{Diode} \frac{I_{peak}}{\pi} + R^{Diode} \frac{(I_{peak})^2}{4} \right) \mp m \cos \varphi \left(V_{drop}^{Diode} \frac{I_{peak}}{8} + R^{Diode} \frac{(I_{peak})^3}{3\pi} \right) + \frac{1}{\pi} f_{sw} E_{rec} \frac{V_{DC,applied}}{V_{ref}^{Diode}} \frac{I_{peak}}{I_{ref}^{Diode}} \quad (5)$$

Cần lưu ý rằng các dấu hiệu của $\pm$ và $\mp$ trong (4) và (5) có thể được hiểu như sau:

- Dấu + trong (4) và – trong (5) khi bộ chuyển đổi hoạt động như một bộ nghịch lưu (tức là ở chế độ xả của BESS).
- Dấu – trong (4) và + trong (5) khi bộ chuyển đổi hoạt động như một bộ chỉnh lưu (tức là ở chế độ sạc của BESS).

2.1.3. Sơ lược về góc nghiêng và hướng tối ưu của pin

Góc nghiêng mô tả độ nghiêng dọc của các tấm pin và góc phương vị là hướng ngang của chúng so với đường xích đạo. Tìm góc nghiêng và góc phương vị thích hợp sẽ giúp có được hiệu quả cao trong quá trình phát điện của các mảng pin mặt trời.

Tuỳ thuộc vào vị trí địa lý nơi đặt hệ thống điện mặt trời mà ta sẽ định hướng tấm pin quang điện (PV) sao cho đối diện với mặt trời. Trường hợp vị trí khảo sát ở Bắc bán cầu (tức là nửa trên của xích đạo) thì sẽ hướng các tấm pin năng lượng về phía nam và ngược lại nếu ở Nam bán cầu thì sẽ hướng về phía Bắc. Việt Nam thuộc Bắc bán cầu, đồng nghĩa với việc hướng các tấm pin về phía Nam sẽ giúp nhận ánh nắng hiệu quả hơn.

Gọi ϕ , δ , β lần lượt là góc vĩ độ, góc nghiêng giữa tia bức xạ và mặt phẳng xích đạo, góc nghiêng của tấm pin. Mối quan hệ của các đại lượng này được xác định trong các phương trình sau [14]:

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \times \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (6)$$

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (7)$$

Trong đó: n là số ngày đại diện trong năm, được tính từ ngày ngày 01 tháng 01 đến ngày khảo sát.

Dựa vào các giá trị thực nghiệm tính toán góc nghiêng tấm pin là $10,22^\circ$. Cụ thể như sau, vị trí đặt hệ pin là có vĩ độ là $12,67^\circ$; ngày mô phỏng là ngày 03 tháng 7 năm 2020 suy ra $n = 185$. Từ (6) và (7) tính được góc nghiêng tối ưu của pin là $10,22^\circ$.

2.2. Phân tích vị trí tài nguyên nguồn dữ liệu

Nghiên cứu đã giả định khu vực lắp đặt hệ thống pin quang điện là khu vực đất trống không sử dụng canh tác ở xã Xuân Sơn, thuộc huyện Vạn Ninh tỉnh Khánh Hòa. Đất bằng phẳng và có diện tích hơn 500 m^2 . Tọa độ cụ thể và thông tin về cường độ bức xạ của vị trí lắp đặt giàn pin được trích xuất từ nguồn dữ liệu Meteonorm 7.1. Cụ thể vị trí khảo sát có vĩ độ và kinh độ tương ứng là $12,67^\circ$ và $109,15^\circ$. Thông tin về nhiệt độ và tốc độ gió ở vị trí lắp đặt có ý nghĩa lớn trong việc phân tích khả năng hoạt động của pin quang điện. Nơi có gió và nhiệt độ thấp thì nhiệt độ của pin sẽ thấp hơn và hiệu suất phát điện sẽ cao hơn. Các thông tin về tốc độ gió và nhiệt độ trích xuất từ nguồn dữ liệu được thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin về nhiệt độ và tốc độ gió tại khu vực lắp đặt hệ thống pin

Tháng	Bức xạ ngang toàn cầu	Bức xạ khuếch tán	Nhiệt độ (°C)	Tốc độ gió (m/s)
1	161,8	88,8	24,1	3,30
2	202,2	102,5	24,7	2,90
3	222,8	103,5	26,1	2,20
4	253,7	103,3	27,5	1,70
5	265,3	108,2	28,5	1,18
6	246,0	105,0	28,7	1,10
7	252,8	108,7	29,0	1,11
8	240,3	117,6	29,0	1,20
9	213,2	113,2	27,7	1,00
10	173,5	105,8	26,9	1,70
11	146,0	86,7	25,6	3,00
12	120,6	73,3	24,8	3,49
Cả năm	208,2	101,4	26,9	2,00

Hiệu suất của nhà máy năng lượng điện mặt trời đạt được tối ưu bằng cách giảm tổn thất hệ thống, giảm tổn thất năng lượng tổng cộng qua tất cả các khâu. Xét riêng đối với PV thì ngoài chất lượng của chúng, các yêu cầu liên quan đến việc lắp đặt đối với tấm PV như góc nghiêng, hướng lắp đặt cũng như giảm thiểu việc chạy cáp và tổn thất điện liên quan. Góc nghiêng càng lớn thì tổn thất bụi bẩn càng nhỏ, do hiệu quả của việc vệ sinh tấm pin bằng nước mưa tự nhiên.

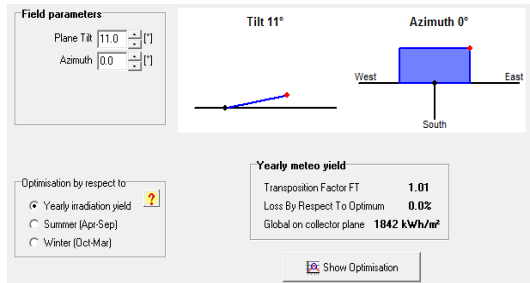
Phần mềm hỗ trợ tính toán hướng và góc nghiêng tối ưu của pin là 11° . Cụ thể như sau, xét sự tối ưu trong cả năm, khi góc phương vị (độ lệch so với hướng nam tính theo chiều quay là cùng chiều kim đồng hồ) giữ nguyên là 0° , góc nghiêng pin thay đổi từ 8° đến 11° thì tổn thất vẫn là 0% và năng lượng bức xạ mặt trời đạt 1842 kWh/m^2 (thể hiện trên Hình 3a và 3b), kết quả này cũng đạt được khi thay đổi góc phương vị của pin trong khoảng từ 0° đến 7° (nghiêng về hướng Đông Nam) và góc nghiêng pin thay đổi trong khoảng từ 8° đến 11° , kết quả thể hiện trên Hình 3c là khi góc nghiêng 11° và góc phương vị là 7° . Khi góc nghiêng và góc phương vị của pin vượt ngoài các đoạn tương ứng [8, 11] và [0, 7] thì hệ số tổn thất tăng lên và năng lượng mặt trời đến trên một đơn vị diện tích pin tăng lên hoặc giảm xuống, ví dụ về kết quả này được thể hiện trên Hình 3d.

Góc nghiêng tối ưu của pin tìm được từ các số liệu thực nghiệm là $10,22^{\circ}$. Kết quả này rơi vào khoảng giá trị tìm được từ mô phỏng. Cân đối giữa giá trị tính toán thực tế với hệ số tổn thất và năng lượng bức xạ đến trên một đơn vị diện tích bề mặt pin, phần mô phỏng trong bài báo lựa chọn thiết lập góc nghiêng của pin 11° và góc phương vị là 0° (hướng chính Nam).

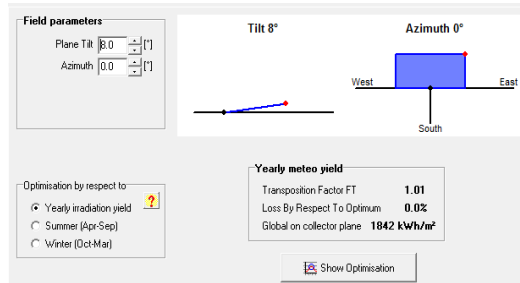
2.3. Thiết lập các thông số của hệ thống năng lượng mặt trời và tính toán mô phỏng

Trong nghiên cứu này, phần mềm PVSyst được ứng dụng để tính toán và thiết kế hệ thống điện mặt trời có công suất 28 kWp hòa lưới. Hệ thống pin đặt nghiêng góc 11° trên giá đỡ và quay về hướng chính Nam. Khi khảo sát hiệu suất phát điện của các loại pin thì sử dụng 01 inverter loại ABB TRIO-27,6-TL-OUTD với thông số chính là công suất ngõ ra AC là 27,6 kW, điện áp đầu ra AC 400 V, 3 pha, tần số 50 Hz, điện áp hoạt động vùng 200-950 V, điện áp DC tối đa inverter chịu được là 1000 V, dòng điện định mức là 45 A. Theo thông số

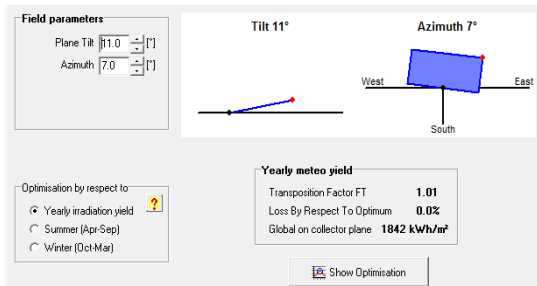
từ nhà sản xuất [15] thì công suất DC lớn nhất ở đầu vào của inverter là 34,5 kW, do vậy với hệ pin 28 kW thì dùng inverter có công suất 27,6 kW là phù hợp. Sau khi tìm ra mô hình ghép pin và loại pin có hiệu suất tốt nhất, nghiên cứu này tiếp tục sử dụng 5 inverter loại ABB TRIO-5,8-TL-OUTD để tiếp tục khảo sát hiệu quả phát điện với cấu hình hệ thống pin có 5 inverter, từ đó phân tích để tìm ra cấu hình tối ưu nhất khi xem xét hai điều kiện ràng buộc là tối ưu hiệu suất phát điện và độ tin cậy cung cấp điện khi chưa xét đến kinh phí đầu tư. Các thông số chính của inverter ABB TRIO-5,8-TL-OUTD là công suất ngõ ra AC 5,8 kW, điện áp đầu ra AC 400 V, 3 pha, tần số 50Hz, điện áp hoạt động vùng 175-950 V, điện áp DC tối đa inverter chịu được là 1000 V, dòng điện định mức là 10 A.



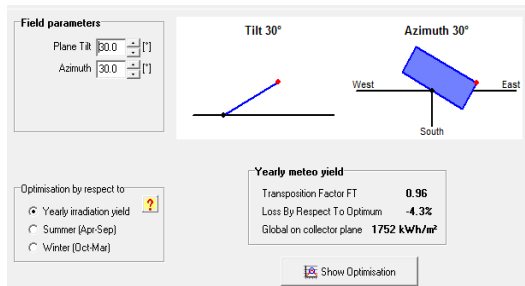
a) Góc nghiêng 11°, góc phương vị 0°
- tổn thất 0,0% và năng lượng đến trên 1 đơn vị diện tích pin là 1842 kWh



b) Góc nghiêng 8°, góc phương vị 0°
- tổn thất 0,0% và năng lượng đến trên 1 đơn vị diện tích pin là 1842 kWh



c) Góc nghiêng 11°, góc phương vị 7°
- tổn thất 0,0% và năng lượng đến trên 1 đơn vị diện tích pin là 1842 kWh



d) Góc nghiêng 30°, góc phương vị 30°
- tổn thất 4,3% và năng lượng đến trên 1 đơn vị diện tích pin là 1752 kWh

Hình 3. Cửa sổ khảo sát góc nghiêng và hướng pin tối ưu trong PVSyst

2.3.1. Tính toán lựa chọn cấu hình hệ thống sử dụng pin loại REC Si-poly 350 Wp

Xét trường hợp thứ nhất: Loại pin được sử dụng là REC Si-poly 350 Wp (REC350TP2S 72). Điện áp hở mạch $V_{oc} = 51,6$ V, điện áp ứng với điểm công suất cực đại $V_{MPP} = 33,1$ V, dòng điện định mức sinh ra là 9 A. Hệ thống pin gồm có 80 tấm pin với tổng diện tích là 161 m².

Bộ nghịch lưu hoạt động trong dãy điện áp tối ưu 200-950 V, nếu hệ thống pin cung cấp điện áp nhỏ hơn 200 V thì biến tần không hoạt động, còn nếu cung cấp điện áp lớn hơn giá trị điện áp DC cực đại thì biến tần sẽ bị cháy. Từ thông số của pin và inverter có thể tính toán số lượng pin tối đa và tối thiểu được mắc nối tiếp trên một dãy [16]:

$$n_{\max} = \frac{V_{DC\max}}{V_{OC}} = \frac{1000}{51,6} = 19,37 \quad \text{Vậy số pin tối đa được lắp trên một dãy là 19 pin}$$

$$n_{\min} = \frac{V_{\min}}{V_{MPP}} = \frac{200}{33,1} = 6,04 \quad \text{Vậy số pin tối thiểu lắp trên 1 dãy là 7 pin}$$

Để đạt đủ công suất 28 kW thì cần 80 tấm pin, vậy để lắp đặt hệ thống có tính đối xứng thì có 3 trường hợp:

- Mô hình 1 gồm 16 tấm pin mắc nối tiếp nhau trên 1 dây, sau đó mắc song song 5 dây lại với nhau như mô hình thể hiện ở Hình 4.
- Mô hình 2 gồm 10 pin mắc nối tiếp trên 1 dây, sau đó mắc song song 8 dây với nhau.
- Mô hình 3 gồm 8 pin mắc nối tiếp trên 1 dây, sau đó mắc song song 10 dây với nhau.

2.3.2. Tính toán lựa chọn cấu hình hệ thống sử dụng pin loại REC Si - poly 280 Wp

Trong kịch bản thứ hai: Loại pin được sử dụng là REC Si-poly 280 Wp (REC 280TP2). Để đáp ứng đủ công suất 28 kW thì hệ thống pin cần có 100 tấm pin với tổng diện tích là 167 m². Với thông số $V_{OC} = 42,4$ V và $V_{MPP} = 27$ V tính được số pin mắc tối đa trên một dây như sau:

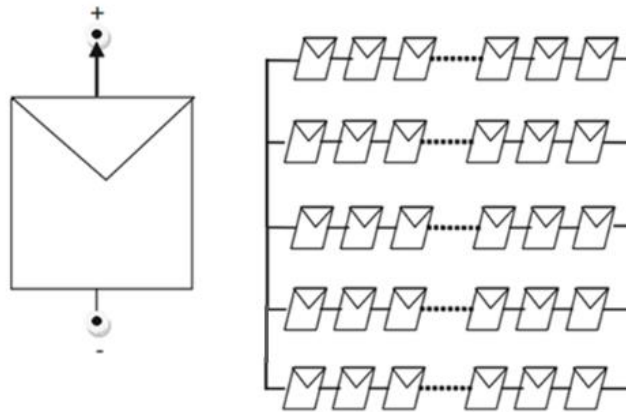
$$n_{\max} = \frac{V_{DC\max}}{V_{OC}} = \frac{1000}{42,4} = 23,58 \text{ Vậy số pin tối đa trên mỗi dây là 23 pin}$$

$$n_{\min} = \frac{V_{\min}}{V_{MPP}} = \frac{200}{27} = 7,4 \text{ Vậy số pin tối thiểu trên mỗi dây là 8 pin}$$

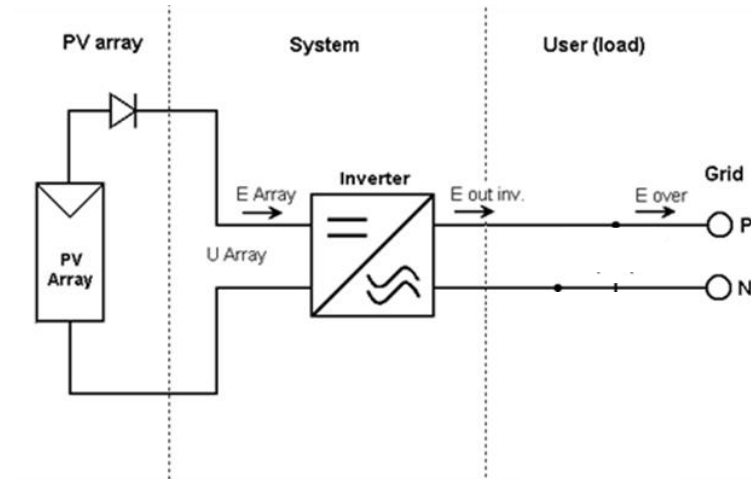
Tương tự, ta lựa chọn được 2 mô hình lắp ghép hợp lý là với tổng số pin 100 là:

- Mô hình 4 gồm 20 pin mắc nối tiếp trên một dây, sau đó 5 dây mắc song song nhau.
- Mô hình 5 là mỗi dây có 10 pin mắc nối tiếp nhau và có 10 dây mắc song song với nhau.

Sơ đồ thu gọn của kết nối hệ pin với inverter và kết nối lưới được thể hiện trên Hình 5. Sơ đồ cho thấy năng lượng sản xuất từ hệ thống pin được bơm toàn bộ lên lưới thông qua bộ nghịch lưu. Sau khi khảo sát hiệu quả phát điện thì độ tin cậy cung cấp điện tiếp tục được phân tích.



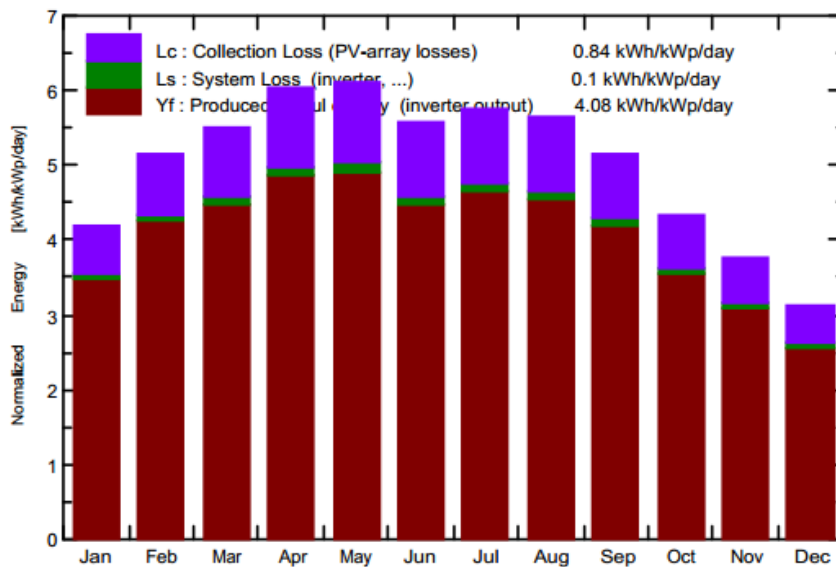
*Hình 4. Một ví dụ điển hình về mô hình kết nối các tấm pin (16 pin/dây – 5 dây song song).
Các kiểu kết nối khác cũng tương tự.*



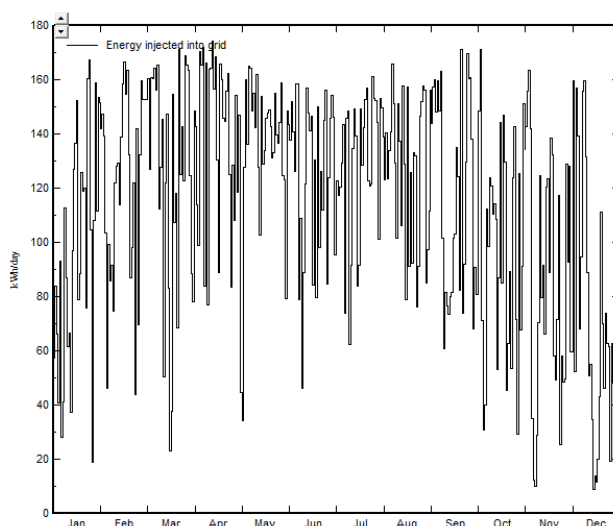
Hình 5. Sơ đồ kết nối của hệ pin quang điện

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Việc theo dõi và dự báo quá trình hoạt động của hệ thống điện mặt trời đặc biệt là quá trình phát điện theo thời gian điển hình là các tháng trong năm có ý nghĩa quan trọng đối với công tác vận hành. Phân tích kết quả của mô hình 1, như được thể hiện trên Hình 6 năng lượng có ích hệ thống inverter cung cấp vào các tháng mùa hạ cao áp đảo các tháng mùa đông, cụ thể hệ thống phát năng lượng cao nhất vào tháng 4 và tháng 5, và giảm xuống thấp nhất ở các tháng cuối năm. Điều này được lý giải là do sự chênh lệch cường độ sáng giữa các mùa, tại khu vực khảo sát là một xã miền núi của Nam Trung Bộ, khí hậu ở đây có 4 mùa (xuân - hạ - thu - đông) rõ rệt. Vào mùa hạ nắng nóng, đến mùa đông thì mưa ẩm ướt và lạnh. Trên thực tế, dựa vào biểu đồ sản lượng điện phát hàng tháng để làm cơ sở lập kế hoạch thực hiện công tác bảo trì bảo dưỡng thiết bị nhà máy phù hợp, đảm bảo tối ưu cho dự án.



Hình 6. Hiệu quả phát điện các tháng trong 1 năm của 1 kWp của hệ thống pin trong mô hình.



Hình 7. Năng lượng bơm vào lưới

Năng lượng hệ thống bơm vào lưới điện theo tháng được thể hiện trên Hình 7, tính bất ổn định của điện mặt trời thể hiện trên hình thêm lần nữa khẳng định độ tin cậy của công trình nghiên cứu vì phản ánh đúng bản chất của nguồn năng lượng phân tán là năng lượng mặt trời.

3.1. Kết quả mô phỏng hiệu quả phát điện theo trường hợp thứ nhất

Thống kê kết quả mô phỏng năng lượng bơm vào lưới của inverter, hiệu suất và các tổn thất của hệ thống trong năm đầu tiên cho mô hình 1, mô hình 2 và mô hình 3 trong Bảng 2, cho thấy rằng ở cùng điều kiện nhiệt độ và năng lượng bức xạ trên một đơn vị diện tích bề mặt pin, cùng một inverter thì mô hình 1 cho hiệu quả phát điện tốt nhất với tổng năng lượng bơm vào lưới trong một năm là 41,705 MWh và hiệu suất phát điện của hệ thống pin trung bình trong năm là 81,3%, và giá trị hiệu suất đạt trên 80% được đánh giá là khá tốt đối với hệ thống phát điện năng lượng mặt trời.

Bảng 2. Tóm tắt kết quả mô phỏng của hệ thống với mô hình 1, 2, 3

		Mô hình 1	Mô hình 2	Mô hình 3
Năng lượng bơm vào lưới trong năm đầu (MWh)		41,705	40,522	38,173
Hiệu suất (%)		81,3	79,0	74,4
I_{MPP} (A)		46	74	92
Tổn thất trên mảng pin (%)	Cường độ bức xạ	-1,1	-1,1	-1,1
	Nhiệt độ	-10,2	-10,2	-10,2
	Chất lượng tấm pin	+0,4	+0,4	+0,4
	Sự suy giảm khả năng hấp thụ bức xạ	-1,5	-1,5	-1,5
	Mô đun không đồng đều	-1,1	-1,1	-1,1
	Điện trở trên dây	-1,1	-1,1	-1,1
Tổn thất trên inverter (%)	Inverter	-2,4	-3,7	-3,8
	Vượt ngưỡng công suất của inverter	0	0	0
	Vượt ngưỡng dòng đầu vào	0	-1,6	-7,1

Phân tích tổn thất trung bình trong cả năm, cho thấy hiệu suất chuyển hóa năng lượng của pin quang điện giảm do các tổn thất chính như là: tổn thất do hệ số khối khí gây ra, tổn thất trên pin quang điện PV do cường độ chiếu xạ, tổn thất trên pin do nhiệt, tổn thất do chất lượng tấm pin quang điện, tổn thất do sự suy giảm khả năng hấp thụ bức xạ, tổn thất do sự không đồng đều của mô đun, tổn thất trên dây dẫn, tổn thất trên inverter, tổn thất do vượt ngưỡng dòng trên inverter. So sánh giữa 3 mô hình với nhau, kết quả cho thấy tổn thất ở môi trường ngoài trước khi đến bề mặt pin là như nhau với tổng tổn hao là 2,8%, tổn thất do hệ thống gây ra ở pin cũng như nhau, trong đó tổn thất gây ra do nhiệt độ trên pin là cao nhất và áp đảo các nguyên nhân khác.

Nguyên nhân chính gây ra sự khác biệt ở hiệu suất giữa các mô hình chính là sự tổn hao trên inverter gồm có tổn hao trong quá trình đóng cắt IGBT, trên di ốt trong sự phân cực, do tỏa nhiệt trên các linh kiện. Cường độ dòng điện chạy qua mỗi dây pin là như nhau vì các pin được mắc nối tiếp trên cùng một dây, còn các dây mắc song song với nhau nên khi số dây càng lớn thì cường độ dòng điện đi qua inverter càng nhiều, kết quả mô phỏng thu được $I_{MPPmô hình 1} = 46 \text{ A}$; $I_{MPPmô hình 2} = 74 \text{ A}$; $I_{MPPmô hình 3} = 92 \text{ A}$; như mỗi quan hệ được chỉ ra trong (4) và (5), do đó tổng tổn thất quá dòng trên IGBT và di ốt càng lớn.

Như vậy, với hệ thống điện mặt trời 28 kW sử dụng 80 pin REC Si-poly 350 Wp và 1 inverter loại ABB TRIO-27,6-TL-OUTD thì phương án ghép 16 pin nối tiếp trên một dây và 5 dây song song nhau cho hiệu suất phát điện cao nhất, đạt đến 81,3%.

3.2. Kết quả mô phỏng hiệu quả phát điện theo trường hợp thứ 2

Tóm tắt kết quả mô phỏng với mô hình 4 và mô hình 5 thể hiện ở Bảng 3 cho thấy, khi sử dụng loại pin REC Si-poly 280 Wp với 1 inverter ABB TRIO-27,6-TL-OUTD ở cùng điều kiện góc nghiêng, hướng pin, nhiệt độ môi trường và lượng năng lượng mặt trời chiếu đến bề mặt thì hiệu suất và năng lượng bơm vào lưới trong năm đầu tiên của hệ thống khi ghép pin theo mô hình 4 cao hơn khi ghép theo mô hình 5. Tổn thất gây ra trên mảng pin là giống nhau trong 2 trường hợp, nhưng tổn thất gây ra trên inverter thì mô hình 5 hơn 4 lần trên mô hình 4, trong đó ở mô hình 5 tổn thất do tần số đóng cắt và phân cực của IGBT và di ốt cao gấp 1,65 lần so với ở mô hình 4, đồng thời tổn thất do quá dòng đầu vào ở mô hình 5 tăng lên đến 6,4% trong khi ở mô hình 4 thì bằng 0. Điều này cũng được lý giải tương tự như ở trường hợp 1, vì khi mắc song song nhiều dây thì dòng điện vào inverter sẽ càng tăng. Như vậy, mô hình ghép 20 tấm pin nối tiếp trên 1 dây và tổng cộng có 5 dây mắc song song tạo thành mảng pin sau đó nối vào inverter là mô hình cho hiệu suất tối ưu trong trường hợp 2.

Bảng 3. Tóm tắt kết quả mô phỏng của hệ thống với mô hình 4 và 5

		Mô hình 4	Mô hình 5
Năng lượng bơm vào lưới trong năm đầu (MWh)		41,79	41,705
Hiệu suất (%)		81,44	75,04
$I_{MPP} \text{ (A)}$		45	91
Tổn thất trên mảng pin (%)	Cường độ bức xạ	-1,0	-1,0
	Nhiệt độ	-10,3	-10,3
	Chất lượng tấm pin	+0,5	+0,5
	Sự suy giảm khả năng hấp thụ bức xạ	-1,5	-1,5
	Mô đun không đồng đều	-1,1	-1,1
	Điện trở trên dây	-1,1	-1,1
Tổn thất trên inverter (%)	Inverter	-2,3	-3,8
	Vượt ngưỡng công suất của inverter	0	0
	Vượt ngưỡng dòng đầu vào	0	-6,4

Như thể hiện ở Bảng 2 và 3, năng lượng bơm vào lưới và hiệu suất khi ghép pin theo mô hình 4 cao hơn mô hình 1 lần lượt là 0,085 MWh và 0,14%.

3.3. Kết quả mô phỏng của hệ thống khi sử dụng 5 inverter loại TRIO 5,8 TL-OUTD-400

Đề tài khảo sát lựa chọn mô hình tối ưu của hệ thống pin có công suất 28 kW xem xét 2 điều kiện ràng buộc là tối ưu hiệu suất và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi chưa tính đến hiệu quả kinh tế. Trong trường hợp 1 và 2 chỉ sử dụng 1 inverter công suất ngõ ra 27,6 kW để xem xét hiệu suất phát điện của loại pin REC Si-poly 350 Wp và REC Si-poly 280 Wp. Kết quả mô phỏng thu được, mô hình ghép 20 pin nối tiếp trên 1 dãy và có 5 dãy mắc song song với nhau của loại pin REC Si-poly 280 Wp cho hiệu suất cao hơn với mô hình tối ưu của pin loại 350 Wp. Từ kết quả đó, tiếp tục khảo sát hiệu quả phát điện khi sử dụng 5 inverter loại ABB TRIO 5,8 TL-OUTD-400 cho mô hình 5 dãy pin mỗi dãy gồm 20 pin loại REC Si-poly 280 Wp. So sánh kết quả với trường hợp chỉ dùng 1 inverter ABB TRIO 27,6 TL-OUTD-400 để chọn ra phương án tốt nhất.

Inverter loại ABB TRIO 5,8 TL-OUTD-400 có ngưỡng điện áp hoạt động bình thường là 175-950 V, điện áp DC lớn nhất ở đầu vào là 1000 V, các thông số này giống với inverter loại ABB TRIO 27,6 TL-OUTD-400, do đó việc sử dụng mô hình pin có 20 pin trên 1 dãy và mắc 5 dãy song song là tương thích như tính toán ở mục 2.3.1. Kết quả mô phỏng của trường hợp sử dụng 5 inverter loại 5,8 kW được so sánh với trường hợp sử dụng 1 inverter loại 27,6 kW được thể hiện ở Bảng 4. Năng lượng bơm vào lưới và hiệu suất phát điện khi sử dụng 1 inverter 27,6 kW cao hơn sử dụng 5 inverter loại 5,8 kW nhưng không đáng kể, sự chênh lệch này là do tổng tổn hao trên inverter trong trường hợp sử dụng 5 inverter cao hơn 0,1% so với khi chỉ có 1 inverter.

Xét độ tin cậy cung cấp điện, thì khi sử dụng 5 inverter tổn hao trên mỗi inverter chỉ có 0,48%, tổn hao này là trên IGBT và di ốt, bên cạnh đó, mỗi inverter kết nối với 1 dãy gồm 20 pin, nếu có sự cố trên một dãy đến mức làm hỏng inverter và gây mất điện trên một dãy đó thì 4 dãy còn lại vẫn phát điện lên lưới. Trong khi đó, nếu sơ đồ chỉ dùng một inverter lại không có được ưu điểm này. Nếu có sự cố xảy ra thì có khả năng sẽ làm hư luôn inverter, và như vậy sẽ gián đoạn quá trình bơm điện vào lưới của cả hệ thống.

Từ các phân tích trên, cân đối giữa tối ưu hiệu suất phát điện và độ tin cậy cung cấp điện, chưa cần nhắc đến chi phí đầu tư thì lựa chọn mô hình 5 inverter 5,8 kW ưu việt hơn so với chỉ sử dụng 1 inverter.

Bảng 4. Kết quả mô phỏng khi sử dụng loại pin REC Si - poly 280 Wp ghép theo mô hình 5 dãy (20 pin/1 dãy) trong trường hợp dùng 1 inverter 27,6 kW và trường hợp dùng 5 inverter loại 5,8 kW

		Sử dụng 1 inverter 27,6 kW	Sử dụng 5 inverter 5,8 kW
Năng lượng bơm vào lưới trong năm đầu (MWh)		41,79	41,76
Hiệu suất (%)		81,44	81,36
I _{MPP} (A)		45	45
Tổn thất trên mảng pin (%)	Cường độ bức xạ	-1,0	-1,0
	Nhiệt độ	-10,3	-10,3
	Chất lượng tấm pin	+0,5	+0,5
	Sự suy giảm khả năng hấp thụ bức xạ	-1,5	-1,5
	Mô đun không đồng đều	-1,1	-1,1
	Điện trở trên dây	-1,1	-1,1
Tổn thất trên inverter (%)	Inverter	-2,3	-2,4
	Vượt ngưỡng công suất của inverter	0	0
	Vượt ngưỡng dòng đầu vào	0	0

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tác giả đã thực hiện tính toán kết hợp mô phỏng và xác định được góc nghiêng tối ưu của hệ thống pin là 11° , đặt theo hướng chính Nam, vị trí lắp đặt là một khu đất trống lâu năm với diện tích đất hơn 500 m². Kết quả thu được mô hình 100 pin loại REC Si-poly 280 Wp ghép thành 5 dãy song song trên mỗi dãy có 20 pin ghép nối tiếp, kết nối lưới qua 5 inverter 5,8 kW là tối ưu nhất khi xem xét đồng thời 2 điều kiện ràng buộc là tối ưu hiệu suất và độ tin cậy. Với hiệu suất đạt được là 81,36% khá tốt đối với hệ thống năng lượng mặt trời. Nghiên cứu này có thể thấy rằng phần mềm PVSyst là một công cụ hữu ích cho các ứng dụng mô phỏng, tính toán và phân tích hệ thống điện mặt trời. Việc ứng dụng PVSyst vào thiết kế, tính toán giúp người dùng có thể đánh giá sơ bộ về các thông số kỹ thuật, hiệu suất vận hành. Từ đó có thể phân tích toàn bộ quá trình sản xuất điện cho một dự án thật. Kết quả của nghiên cứu này góp phần trong quá trình nghiên cứu tiếp theo là tối ưu của hệ thống điện mặt trời có hòa lưới khi xem xét đến mô hình phụ tải, với điều kiện ràng buộc là tối ưu hiệu suất, hiệu quả kinh tế và độ tin cậy cung cấp điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Kim Anh, Võ Như Tiến, Đặng Ngọc Huy - Mô hình điều khiển nối lưới cho nguồn điện mặt trời, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại Học Đà Nẵng **11** (60) (2012) 1-6.
2. Vũ Phong - Cường độ bức xạ mặt trời tại các khu vực Việt Nam, truy cập tại: <https://solarpower.vn/cuong-do-buc-xa-nang-luong-mat-troi-tai-cac-khu-vuc-viet-nam/>
3. Bortolini M., Gamberi M., Graziani A., Pilati F. - Economic and environmental bi-objective design of an off-grid photovoltaic-battery-diesel generator hybrid energy system, Energy Conversion Management **106** (2015) 1024-1038.
4. Dash V., Bajpai P. - Power management control strategy for a stand-alone solar photovoltaic-fuel cell-battery hybrid system, Sustainable Energy Technologies and Assessments **9** (2015) 68-80.
5. Yashwant Sawle, S.C. Gupta & Aashish Kumar Bohre - PV-wind hybrid system: A review with case study, Cogent Engineering **3** (1) (2016) 1-31.
6. Samer Alsadi and Tamer Khatib - Photovoltaic power systems optimization research status: A review of criteria, constraints, models, techniques, and software tools, Applied Sciences **8** (10) (2018) 1761.
7. Hasan Mahamudul, Md. Momtazur Rahman, H.S.C. Metselaar, Saad Mekhilef, S.A. Shezan, Rana Sohel, Sayuti Bin Abu Karim, Wan Nur Izzati Badiuzaman - Temperature regulation of photovoltaic module using phase change material: A numerical analysis and experimental investigation, International Journal of Photoenergy **2016**, 5917028 (1-8).
8. PVSyst Photovoltaic Software, truy cập tại: <https://www.pvsyst.com/features/>
9. Solar pro energy systems, truy cập tại: <https://solarproenergysystems.com/projects/>
10. Homer energy, truy cập tại: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>
11. Steve Steffel - Challenges for distribution feeder voltage regulation with increasing amounts of PV, Pepco Holdings, Inc (2012), truy cập tại: http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/hpsp_grid_workshop_2012_steffel_pepco.pdf

12. Elhodeiby A., Metwally H., Farahat M. - Performance analysis of 3.6 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Egypt, International Conference on Energy Systems and Technologies (2011) 151-157.
13. Trang Thi Pham, Tsai-Chi Kuo, Duong Minh Bui - Reliability evaluation of an aggregate battery energy storage system in microgrids under dynamic operation, International Journal of Electrical Power and Energy Systems **118** (2020) 105786.
14. Karafil A., Ozbay H., Kesler M., Parmaksiz H. - Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study conducted in summer in Bilecik, Turkey, 2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO) (2015) 971-976.
15. ABB-products - Detailed information for: 3M22990F201A, truy cập tại: <https://new.abb.com/products/6AGC002860/trio-27.6-tl-outd-400-inverter>.
16. Givasolar - Hướng dẫn xác định kích thước chuỗi tấm pin năng lượng mặt trời, truy cập tại: <https://givasolar.com/huong-dan-dinh-co-chuoi-tam-pin-nang-luong-mat-troi/>.

ABSTRACT

STUDY ON OPTIMAL CONFIGURATION FOR GRID-CONNECTED SOLAR ENERGY SYSTEM

Nguyen Thi Bich Hau

Ho Chi Minh City University of Food Industry

Email: haunb@hufi.edu.vn

In this study, the optimal configuration for a 28 kW ground-mounted solar power system is calculated and selected based on consideration of two conditions, namely power supply reliability and optimization of power generation efficiency into the grid. The system consists of photovoltaic power source connected to the grid through inverters, calculations combined with PVSyst simulation software have been done to select the optimal angle and direction of the battery system. After that, the study on the power generation efficiency of different battery coupling models for REC Si-poly 350 Wp and REC Si-poly 280 Wp batteries has been implemented so that the most optimal configuration is chosen. In addition, the loss in operation is also analyzed, the efficiency and energy emitted from the solar power system are completely compatible with the characteristics of the photovoltaic battery system. The results of this research are to optimize the grid-connected solar power system, considering the load model with the condition of optimizing the efficiency, economic efficiency and reliability of power supply. Also, they can be applied for a preliminary assessment of the specifications and performance of a real project.

Keywords: Solar power, PVSyst software, solar energy, photovoltaic battery (PV).