



TỐI ƯU HÓA VỊ TRÍ ĐẶT NGUỒN ĐIỆN MẶT TRỜI TRÊN PHÁT TUYẾN 478 TÂN THÀNH - TIỀN THỦY THUỘC LƯỚI PHÂN PHỐI 22 kV CHÂU THÀNH TỈNH VĨNH LONG

Lê Tiến Đạt*, Mai Tấn Duy

Trường Đại học Cửu Long

*Email: letiendat@mku.edu.vn

Ngày nhận bài: 07/11/2025; Ngày phản biện: 21/11/2025; Ngày duyệt bài: 15/12/2025

TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu và xác định vị trí tối ưu đặt nguồn điện mặt trời trên phát tuyến 478 Tân Thành – Tiên Thủy thuộc lưới phân phối 22 kV Châu Thành, tỉnh Vĩnh Long, nhằm nâng cao hiệu quả vận hành của lưới điện phân phối trong điều kiện tích hợp nguồn năng lượng tái tạo. Phương pháp tiếp cận được sử dụng là thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization – PSO), một thuật toán tối ưu tiến hóa quần thể dựa trên cơ chế tương tác và học hỏi giữa các cá thể trong quần thể để khám phá không gian tìm kiếm nghiệm tối ưu. Trong nghiên cứu, thuật toán PSO được xây dựng nhằm xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời thỏa mãn các điều kiện ràng buộc kỹ thuật của lưới điện, đặc biệt là giới hạn điện áp cho phép tại các nút, đồng thời hướng đến mục tiêu giảm thiểu tổn thất công suất trên phát tuyến. Các kịch bản đặt nguồn điện mặt trời tại những vị trí khác nhau được phân tích và so sánh để đánh giá mức độ cải thiện chất lượng điện áp và hiệu quả giảm tổn thất công suất. Kết quả thu được từ thuật toán PSO được kiểm chứng và đánh giá lại thông qua mô phỏng trên phần mềm PSCAD, cho thấy phương pháp đề xuất có độ tin cậy cao và khả năng ứng dụng thực tế trong công tác quy hoạch, thiết kế và vận hành lưới điện phân phối có tích hợp nguồn điện mặt trời.

Từ khóa: Thuật toán bầy đàn, lưới điện phân phối, tổn thất công suất, năng lượng tái tạo

ABSTRACT

This paper focuses on the study and determination of the optimal location for integrating solar power sources on the 478 Tan Thanh – Tien Thuy feeder of the 22 kV Chau Thanh distribution grid in Vinh Long province, with the aim of improving the operational efficiency of distribution networks with high penetration of renewable energy. The proposed approach is based on the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, a population-based evolutionary optimization method that utilizes interactions and information sharing among particles to explore the solution search space. In this study, the PSO algorithm is formulated to determine the optimal placement of solar power sources while satisfying the technical constraints of the distribution network, particularly the allowable voltage limits at buses, and simultaneously achieving the objective of minimizing power losses along the feeder. Different scenarios of solar power integration at various locations are analyzed and compared to evaluate their impacts on voltage profiles and power loss reduction. The optimization results obtained from the PSO algorithm are validated through simulation using PSCAD software, demonstrating the effectiveness, accuracy, and practical applicability of the proposed method for planning and operating distribution networks with integrated solar power generation.

Keywords: Swarm algorithm, distribution grid, capacity loss, renewable energy

1. Giới thiệu

Các nghiên cứu về ảnh hưởng của vị trí đặt nguồn điện tái tạo đến lưới điện phân phối cho thấy: Mô đun quang điện (CPV) phân tán cải thiện sự ổn định điện áp của mạng so với CPV tập trung, mang lại tác động tích cực hơn đối với vấn đề ổn định điện áp. Một số thuật toán được ứng dụng như: Giải thuật di truyền kết hợp với phương pháp Newton – Raphson đã cung cấp một cách thức tìm ra vị trí đặt và công suất phát cho một số nguồn phân tán trên lưới điện, phương pháp trên cho lưới điện đơn giản thuật toán sẽ hội tụ nhanh. Tuy nhiên, nếu áp dụng cho lưới điện lớn phức tạp hơn thì tốn nhiều tài nguyên của máy tính và thậm chí không hội tụ [3]. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp hệ số tổn thất có ưu điểm là tính toán nhanh, có kết quả chính xác và dễ xây dựng chương trình tính toán trong môi trường Matlab. Tuy vậy, thuật toán mới tính đến chỉ tiêu tổn thất công suất trên lưới khi tìm các điểm đặt và qui mô công suất của nguồn phân tán (DG) trong điều kiện cố định các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật khác của nguồn DG [4]. Thuật toán ACO đã tìm điểm tối ưu với tốc độ hội tụ nhanh và có khả năng áp dụng trong mạng điện lớn, có hạn chế là kết quả tính toán phụ thuộc nhiều vào thông số cài đặt và mất nhiều thời gian và công sức để thử nghiệm và kiểm tra [5]. Trong bài báo này đã nghiên cứu ứng dụng thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO), đây là thuật toán tiến hóa dựa trên việc mô phỏng cách cư xử xã hội, dựa trên dân số bầy đàn, được lấy ý tưởng từ hành vi xã hội của bầy chim hay đàn cá trong việc tìm kiếm thức ăn. Thuật toán PSO có số lượng tham số giới hạn và tác động của các tham số đến giải pháp là nhỏ so với các kỹ thuật tối ưu hóa khác, đơn giản và dễ tính toán trong một thời gian ngắn ít phụ thuộc vào một tập hợp các điểm ban

đầu. PSO cho kết quả đáng tin cậy, làm cơ sở cho các tính toán thiết kế kết nối nguồn điện tái tạo.

2. Phần mềm PSCAD và Thuật toán PSO

2.1 Phần mềm PSCAD

PSCAD là phần mềm cho hệ điều hành Windows, thuộc nhóm phần mềm Software được phát triển bởi NA. PSCAD có thể mô phỏng một hệ thống điện phức tạp với các thông số chính xác, mô phỏng việc kết nối các nguồn năng lượng tái tạo trên lưới điện đồng thời thể hiện được các thông số cần thiết về điện áp và công suất của mạng điện [6].

2.2 Thuật toán PSO

PSO khác với các kỹ thuật tiến hóa trước đây ở chỗ nó dựa trên việc mô phỏng các cư xử xã hội. Giải thuật tối ưu hóa bầy đàn là một trong những phương pháp tối ưu dựa trên dân số bầy đàn, được lấy ý tưởng từ hành vi xã hội bầy chim hay đàn cá trong việc tìm kiếm thức ăn. PSO là một công cụ cung cấp một quy trình tìm kiếm dựa trên bầy đàn mà trong đó mỗi cá thể thay đổi vị trí của nó theo thời gian. Một lời giải tiềm năng cho mỗi bài toán có thể được đại diện như một cá thể trong đàn, thông tin nhận được mỗi cá thể sẽ điều chỉnh hướng bay và vận tốc theo hướng về nơi có nhiều thức ăn nhất, đàn chim bay trong không gian tìm kiếm có D chiều [10].

❖ Thuật toán PSO

- Thuật toán PSO gồm ba nội dung chính:

Khởi tạo quần thể

+ Thiết lập các hằng số: k_{max} , c_1 , c_2

+ Khởi tạo ngẫu nhiên vị trí cá thể X_o^i thuộc miền D trong tập IR^n , với $i = 1, 2, \dots, s$

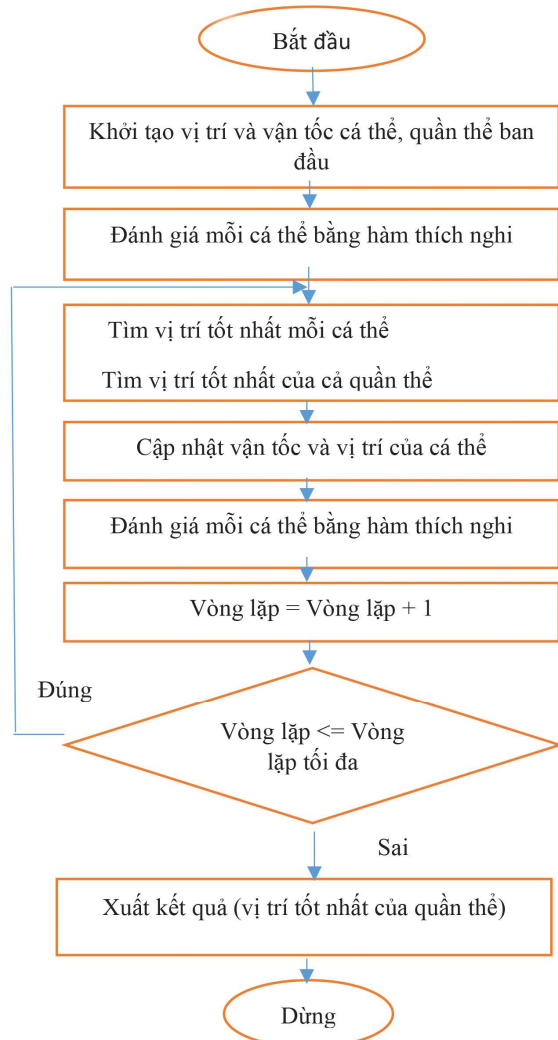
+ Khởi tạo ngẫu nhiên vận tốc cá thể

$0 \leq V_o^i \leq V_o^{max}$, với $i = 1, 2, \dots, s$

+ Đặt $k = 1$.

- Tối ưu hóa
- + Đánh giá hàm f_k^i bằng tọa độ của X_k^i tính toán trong không gian tìm kiếm
- + Nếu $f_k^i < f_{best}^i$ thì $f_{best}^i = f_k^i$ và $P_k^i = X_k^i$
- + Nếu $f_k^g < f_{best}^g$ thì $f_{best}^g = f_k^g$ và $P_k^g = X_k^i$
- + Nếu thỏa mãn tiêu chuẩn hội tụ thì dừng lại và thực hiện bước 3
- + Cập nhập tất cả các vận tốc V_k^i và vị trí X_k^i
- + Tăng i nếu $i > s$ thì đặt $i = 1$ tăng k
- + Quay lại bước đầu
- Kết thúc

❖ Lưu đồ thuật toán



Hình 2.2: Sơ đồ thuật toán PSO tìm vị trí tối ưu

3. Ứng dụng thuật toán PSO giải bài toán xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời trên phát tuyến 478 Tân Thành-Tiên Thủy.

Nhiệm vụ của thuật toán sẽ giải quyết các vấn đề:

- Xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời trên phát tuyến 478 Tân Thành-Tiên Thủy.
- Tối thiểu hóa được tổn thất công suất trên mạng điện.
- Đảm bảo độ dao động điện áp trong giới hạn cho phép.

3.1 Hàm mục tiêu của bài toán:

- Tối thiểu hóa tổn thất công suất:

$$f = \min(\Delta P) = \min \sum_i^n R_i \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \right) \quad (3.1)$$

- Trong quá trình tính toán tổn thất công suất được tính theo:

$$\Delta P = R_i \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \right) \quad (3.2)$$

- Điều kiện ràng buộc về điện áp:

$$U_{min} \leq U_{bus} \leq U_{max}$$

- Vị trí tốt nhất của mỗi PV ở thời điểm hiện tại được xác định:

$$P_{best,i}^{t+1} = \begin{cases} P_{best,i}^t & \text{if } f_i^{t+1} > P_{best,i}^t \\ x_i^{t+1} & \text{if } f_i^{t+1} \leq P_{best,i}^t \end{cases} \quad (3.3)$$

- Vị trí tốt nhất của PV trong lưới điện được xác định:

$$G_{best} = \min \{ P_{best,i}^t(t) \} \quad (3.4)$$

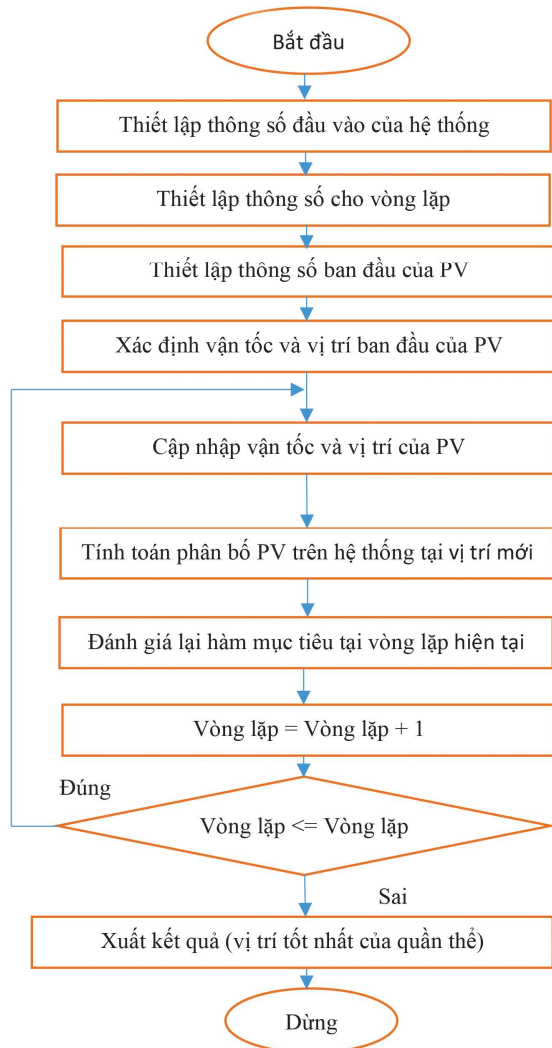
- Vận tốc của các PV trên lưới được cập nhập theo biểu thức:

$$V_i^{k+1} = \omega \times V_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - X_i^k) + c_2 \times r_2 \times (G_{best} - X_i^k) \quad (3.5)$$

- Vị trí của nguồn điện mặt trời (PV) trên lưới được cập nhập theo biểu thức:

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.6)$$

3.2 Sơ đồ giải thuật



Hình 3.1 Sơ đồ thuật toán PSO áp dụng cho bài toán tối ưu vị trí đặt PV

Các bước thực hiện của thuật toán:

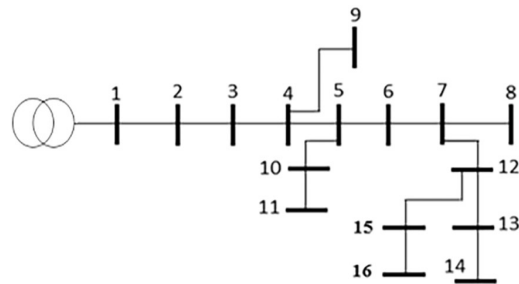
- Bước 1: Thiết lập thông số đầu vào: thông số đường dây, thông số tải, các hệ số của thuật toán;
- Bước 2: Thiết lập thông số cho vòng lặp;
- Bước 3: Thiết lập thông số ban đầu cho PV;
- Bước 4: Xác định vận tốc và vị trí ban đầu của PV;
- Bước 5: Tính toán phân bố công suất PV trên lưới điện;
- Bước 6: Tính toán hàm mục tiêu và xét điều kiện;

- Bước 7: Cập nhập vận tốc và vị trí của PV;

- Bước 8: Xác định vị trí tốt nhất và công suất PV;

- Bước 9: In kết quả tối ưu khi vòng lặp lớn nhất được thực hiện và dừng chương trình, nếu không thì thực hiện lại bước 6.

3.3 Các thông số của phát tuyến 478 Tân Thành-Tiên Thủy



Hình 3.2 Sơ đồ phát tuyến 478 Tân Thành – Tiên Thủy

Bảng 3.1: Thông số các nút

Bus thứ i	Pd (kW)	Qd (kVAR)	Vbase (kV)	Vmax (pu)	Vmin (pu)
1	0	0	22	1,05	0,95
2	911	216	22	1,05	0,95
3	1.093	193	22	1,05	0,95
4	442	245	22	1,05	0,95
5	1.951	254	22	1,05	0,95
6	987	288	22	1,05	0,95
7	294	095	22	1,05	0,95
8	1.800	300	22	1,05	0,95
9	2.498	298	22	1,05	0,95
10	600	98	22	1,05	0,95
11	400	100	22	1,05	0,95
12	198	17	22	1,05	0,95
13	1.599	9	22	1,05	0,95
14	500	90	22	1,05	0,95
15	200	10	22	1,05	0,95
16	600	70	22	1,05	0,95

Bảng 3.2: Thông số các nhánh

Vòng lặp	Tổng thất công suất (kW)	Công suất PV (kW)	Vị trí PV (Bus)
1	197,110	700	6
2	197,130	700	6
3	197,130	700	6
4	197,130	700	6
5	197,130	700	6
6	197,130	700	6
7	197,130	700	6
8	197,130	700	6
9	197,130	700	6
10	197,130	700	6

3.4 Kết quả chạy thuật toán trên Matlab

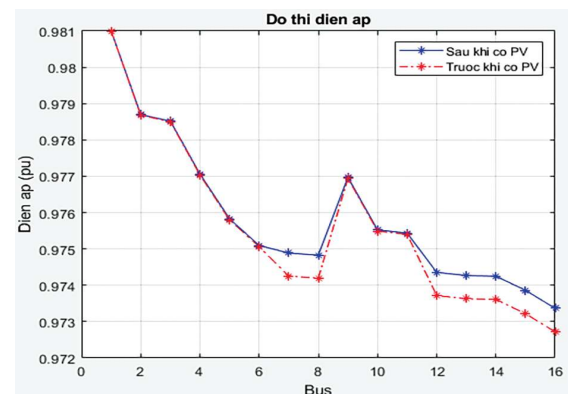
Kết quả sau 10 vòng lặp cho thấy thuật toán hội tụ ở vòng lặp thứ 2 với công suất PV kết nối là 700 kW và vị trí đặt tối ưu ở vị trí bus 6.

Bảng 3.3: Kết quả tính toán sau 10 vòng lặp đầu trên mạng điện

TT	Từ bus	Đến bus	R	X
1	1	2	0,1508	0,2002
2	2	3	0,0137	0,0182
3	3	4	0,1371	0,1820
4	4	5	0,2057	0,2730
5	5	6	0,1234	0,1638
6	6	7	0,0822	0,1092
7	7	8	0,0685	0,0910
8	4	9	0,1097	0,1456
9	5	10	0,2112	0,1898
10	10	11	0,0845	0,0759
11	7	12	0,0960	0,1274
12	12	13	0,0548	0,0728
13	13	14	0,0137	0,0182
14	12	15	0,1602	0,0634
15	15	16	0,3740	0,1479

Bảng 3.4: Sự thay đổi điện áp tại các bus trước và sau khi đặt PV tại vị trí tối ưu trên mạng điện

STT	Trước khi có PV (pu)	Sau khi có PV (pu)
1	0,98	0,99
2	0,98	0,99
3	0,98	0,99
4	0,98	0,99
5	0,97	0,98
6	0,97	0,98
7	0,97	0,98
8	0,97	0,98
9	0,98	0,99
10	0,97	0,98
11	0,97	0,98
12	0,97	0,98
13	0,97	0,98
14	0,97	0,98
15	0,97	0,98
16	0,97	0,98



Hình 3.3: Đồ thị điện áp trước và sau khi đặt PV tại vị trí tối ưu.

Đồ thị Hình 3.3 và Bảng 3.4 thể hiện sự thay đổi điện áp tại các bus của mạng điện khi kết nối PV

Đường màu đỏ trên đồ thị Hình 3.9 thể hiện điện áp tại các bus trước khi có PV và đường màu xanh thể hiện điện áp tại các bus sau khi có PV. Khi phát tuyến được cung

cấp 700 kW thì điện áp tại các bus được cải thiện đáng kể, các bus cuối phát tuyến được cải thiện nhiều nhất và đảm bảo trong giới hạn cho phép.

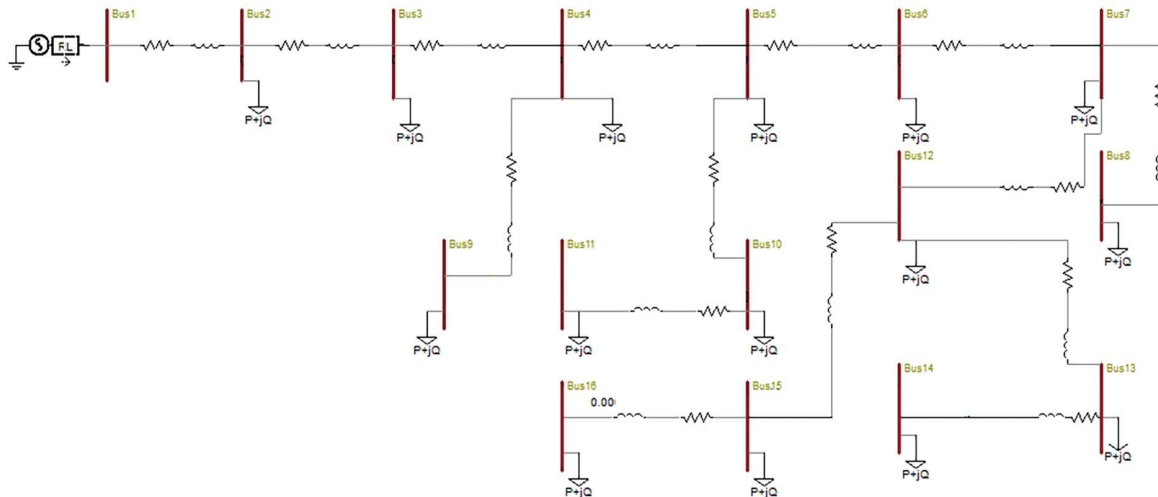
Bảng 3.5 Kết quả chạy thuật toán PSO trên Matlab.

	Tổng tổn thất công suất (kW)	Mức giảm tổn thất (%)	Vị trí đặt PV	Điện áp nhỏ nhất (pu)
Trước khi có PV	282,4			0,97
Sau khi có PV	197,130	30,19%	Bus 6	0,98

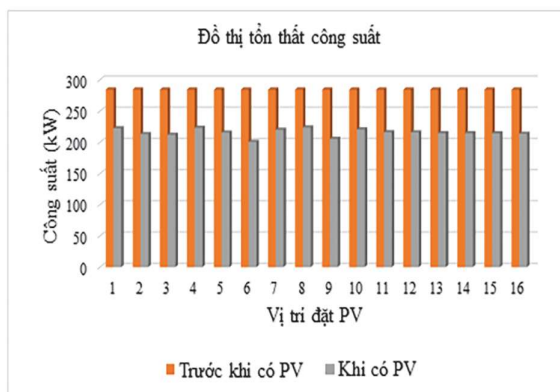
Thuật toán PSO tìm vị trí tối ưu kết nối nguồn điện mặt trời trên phát tuyến 478 cho kết quả tối ưu tại vị trí Bus 6, tổng tổn thất công suất là nhỏ nhất (197,130 kW) và điện áp tại bus nhỏ nhất tăng từ 0,97 (pu) đến 0,98 (pu) (Bảng 3.5). Kết quả này cho thấy sự tác động của nguồn điện mặt trời khi kết nối vào phát tuyến làm giảm tổn thất công suất và cải thiện được điện áp tại các bus.

4. Mô phỏng trên phần mềm PSCAD

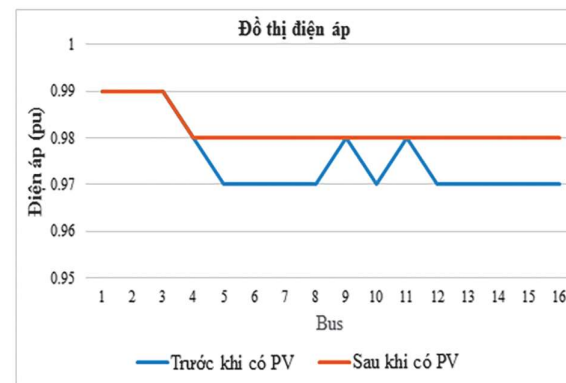
Phát tuyến 478 Tân Thành –Tiên Thủy được mô phỏng trên phần mềm PSCAD, sử dụng thông số theo Bảng 3.1 và Bảng 3.2 và so sánh kết quả đạt được của thuật toán ở Bảng 3.8



Hình 4.1 Sơ đồ mô phỏng Phát tuyến 478 trên giao diện PSCAD



Hình 4.2: Đồ thị tổn thất công suất khi kết nối PV trên 16 bus



Hình 4.3: Đồ thị điện áp 16 bus khi kết nối PV tại vị trí tối ưu

Đồ thị Hình 4.2 cho thấy tổn thất công suất trên phát tuyến đều giảm khi kết nối PV ở bất kỳ vị trí nào trong 16 bus so với lúc chưa kết nối PV. Trong đó, trường hợp đặt PV tại bus 6 cho kết quả tổn thất công suất phát tuyến thấp nhất.

Khi đặt PV tại vị trí tối ưu, lúc này tổn thất công suất trên mạng điện là nhỏ nhất, công suất cung cấp cho tải được nâng lên. Hình 4.3 cho thấy đường màu cam thể hiện điện áp tại các bus khi phát tuyến có kết nối PV được cải thiện tốt hơn đường màu xanh lúc chưa có PV. Điện áp tại bus thấp nhất thay đổi từ 0,97 (pu) đến 0,98 (pu).

Bảng 4.1 Tổn thất công suất trên phát tuyến trước và sau khi đặt PV tại vị trí tối ưu

Trước khi có PV	Sau khi có PV	Mức giảm
284,4 kW	200,5 kW	29,5%

Tổng tổn thất công suất trên phát tuyến khi đặt PV tại các bus đều giảm so với thời điểm chưa kết nối PV, tổn thất giảm thấp nhất khi đặt PV tại bus 6 từ 284,4 kW xuống còn 200,5 kW (mức giảm 29,5%) và là tổn thất nhỏ nhất. Điện áp trên 16 bus được cải thiện hơn khi kết nối PV, đảm bảo điều kiện ràng buộc (từ 0,95 pu đến 1,05 pu).

Kết quả mô phỏng này có vị trí tối ưu trùng khớp với kết quả tối ưu mà thuật toán PSO chạy trên phần mềm Matlab.

Bảng 4.2: So sánh kết quả tối ưu trên phát tuyến giữa Matlab và PSCAD

	Matlab			PSCAD		
	Tổn thất công suất	Vị trí đặt PV	Điện áp thấp nhất	Tổn thất công suất	Vị trí đặt PV	Điện áp thấp nhất
Trước khi có PV	282,4 (kW)		0,97 (pu)	284,4 (kW)		0,97 (pu)
Sau khi có PV	197,13 (kW)	bus 6	0,98 (pu)	200,5 (kW)	bus 6	0,98 (pu)
Mức giảm	30,19%			29,50%		

Bảng 4.2 so sánh kết quả chạy thuật toán trên Matlab và mô phỏng trên PSCAD cho số liệu tương đồng nhau. Kết quả này đã kiểm chứng lại kết quả tối ưu của thuật toán PSO trên phát tuyến thực tế hoàn toàn chính xác.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày một phương pháp xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời trên lưới điện phân phối bằng cách áp dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn. Kết quả cho thấy việc áp dụng thuật toán PSO đã xác định được vị trí đặt nguồn điện tái tạo trên lưới điện phân phối là phù hợp và thỏa các điều kiện

ràng buộc. Thuật toán thực hiện trên mạng điện thực tế và chạy trên phần mềm Matlab, cho thấy được ưu điểm là tính toán nhanh, đơn giản và cho kết quả đáng tin cậy. Kết quả của thuật toán được kiểm chứng trên phần mềm mô phỏng PSCAD, cho kết quả tương đồng nhau. Tiềm năng của phương pháp có thể được áp dụng trong thực tế, kết quả có thể làm cơ sở cho việc tính toán kết nối nguồn điện mặt trời trên lưới điện phân phối và hàm mục tiêu của bài toán có thể mở rộng thêm các điều kiện ràng buộc về khả năng quá tải của đường dây và mục tiêu kinh tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Erhab Youssef, Rasha M. El Azab, Amr M. Amin.
Department of electrical power engineering,
faculty of engineering, Helwan University,
Cairo, 11792, Egypt. “*Influence study of
concentrated photovoltaic location on
voltage stability*”, Academy of scientific
research and technology, Al-Kasr El-Aynay,
Cairo, 11516, Egypt, 2015
- Dương Minh Quân, Trần Ngọc Thiên Nam,
“*Nghiên cứu ảnh hưởng của nhà máy điện
mặt trời phong điền đến lưới điện tỉnh Thừa
Thiên - Huế*”. ISSN 1859-1531 – Tạp chí
khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng,
số 11(132).2018, quyển 2.
- Lê Kim Hùng, Lê Thái Thanh, “*Tối ưu hóa vị
trí đặt và công suất phát của nguồn phân
tán trên mô hình lưới điện phân phối 22kV*”.
Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học
Đà Nẵng - số 2(25). 2008.
- Kron, “*Nghiên cứu ứng dụng phương pháp sử
dụng hệ số tổn thất “B” (loss coefficient
hoặc B coefficient)*”.
- Nguyễn Tấn Dương, “*Phân bố tối ưu công suất
trong hệ thống điện dùng thuật toán ACO*”, –
Trường ĐHSPKT TPHCM, năm 20214
- Hoàng Trần Thế, “*Nghiên cứu sử dụng phần
mềm PSCAD/EMTDC để phân tích và đánh
giá chất lượng điện áp*”, Đại học Đà Nẵng
– Năm 2013.
- Gilbert M. Masters stanford university, “*Renewable
and efficient electric power systems*”. 2004
- Nguyễn Xuân Phú, “*Giáo trình cung cấp điện*”,
Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật, năm
2005
- Satyobroto Talukder, “*Mathematical modelling
and applications of particle swarm
optimization*”, Master’s thesis, Thesis no:
2010:8, February 2011.