

KỸ THUẬT - CÔNG NGHỆ

XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TỐI ƯU ĐẶT NGUỒN ĐIỆN MẶT TRỜI
TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐILê Tiến Đạt^{1*}, Trần Ngọc Nam¹

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu về thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) để giải bài toán xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời trên lưới điện phân phối. Thuật toán PSO được xây dựng dựa trên khái niệm trí tuệ bầy đàn để tìm kiếm lời giải cho các bài toán tối ưu hóa trên một không gian tìm kiếm nào đó. Đây là một dạng của thuật toán tiến hóa quần thể với sự tương tác giữa các cá thể trong một quần thể để khám phá một không gian tìm kiếm. Thuật toán PSO được đề xuất để xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời với mục tiêu tối ưu tổn thất công suất và điều kiện ràng buộc giới hạn điện áp cho phép. Thuật toán này được áp dụng cho hệ thống mạng điện chuẩn IEEE 33 bus.

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

Abstract

This article studies the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm to solve the problem of determining the location of solar power sources on the distribution grid. The PSO algorithm is built based on the concept of swarm intelligence to find solutions to optimization problems on a certain search space. This is a form of population evolution algorithm with interactions between individuals in a population to explore a search space. The PSO algorithm is proposed to determine the location of solar power sources with the goal of optimizing power loss and allowable voltage limit constraints. This algorithm is applied to the IEEE 33 bus standard electrical network system.

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

1. Giới thiệu

Có nhiều 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, góp phần giữ cho tần số và điện áp ổn định khi xảy ra các sự cố ngoài nhà máy. Một số thuật toán được ứng dụng để xác định vị trí đặt nguồn điện tái tạo trên lưới điện như: Giải thuật di

¹ Trường đại học Cửu Long

* Người chịu trách nhiệm bài viết: Lê Tiến Đạt
(Email: letiendat@mku.edu.vn)

truyền (genetic algorithm – GA) 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. Nếu áp dụng phương pháp trên cho lưới điện đơn giản thuật toán sẽ hội tụ nhanh. Tuy nhiên, nếu áp dụng thuật toán trên 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 (Distributed Generation - DG) trong điều kiện cố định các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật khác của nguồn DG [4]. Thuật toán Tối ưu đàn kiến (Ant Colony Optimization – ACO) là phương pháp nghiên cứu lấy cảm hứng từ việc mô phỏng hành vi của đàn kiến trong tự nhiên nhằm mục đích giải quyết các bài toán tối ưu phức tạp trong thực tế. ACO đã thành công trong việc tìm điểm tối ưu với tốc độ hội tụ nhanh và có khả năng áp dụng trong mạng điện lớn. Tuy nhiên, thuật toán ACO cũng 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 (Particle Swarm Optimization – PSO). Đây là thuật toán tiến hóa dựa trên việc mô phỏng cách cư xử xã hội, là một trong số những phương pháp tối ưu 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. 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. Thuật toán

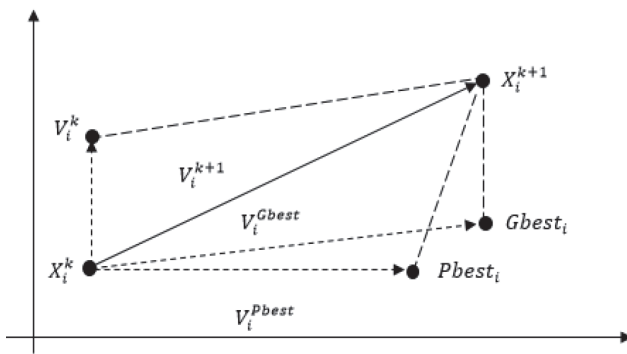
PSO không có đạo hàm, có số lượng tham số giới hạn và tác động của các tham số đến giải pháp là nhỏ so với các kỹ thuật tối ưu hóa khác, đơn giản và dễ tính toán trong một thời gian ngắn ít phụ thuộc vào một tập hợp các điểm ban đầu. Vì vậy PSO cho kết quả đáng tin cậy, làm cơ sở cho các tính toán thiết kế kết nối nguồn điện tái tạo vào lưới phân phối.

2. Thuật toán PSO

Đây là thuật toán tiến hóa mới 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].

❖ Biểu thức cơ bản của thuật toán PSO

Trong thuật toán PSO, mỗi phần tử trong bầy đàn sẽ thay đổi vị trí bằng cách di chuyển nhiều vị trí khác nhau trong không gian tìm kiếm cho đến khi tìm được vị trí tốt nhất. Quỹ đạo của mỗi cá thể trong không gian tìm kiếm được hiệu chỉnh bằng cách thay đổi vận tốc của từng cá thể, thông qua kinh nghiệm bay của nó và kinh nghiệm bay của những cá thể trong không gian tìm kiếm. Đồ thị một điểm tìm kiếm của giải thuật PSO được biểu diễn ở hình sau:



Hình 2.1 Đồ thị một điểm tìm kiếm của PSO

Trong đó:

X_i^k : Vị trí cá thể thứ i tại thế hệ thứ k

X_i^{k+1} : Vị trí cá thể thứ i tại thế hệ thứ $k+1$

V_i^k : Vận tốc cá thể thứ i tại thế hệ thứ k

V_i^{k+1} : Vận tốc cá thể thứ i tại thế hệ thứ $k+1$

P_{best} : Vị trí tốt nhất của cá thể thứ i

G_{best} : Vị trí tốt nhất của cá thể trong quần thể

Mỗi cá thể trong quần thể cập nhật vị trí của cá thể đó theo vị trí tốt nhất của nó và của cá thể trong quần thể tính tới thời điểm hiện tại dựa vào các công thức sau:

$$V_i^{k+1} = \omega \times V_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - X_i^k) + c_2 \times r_2 \times (G_{best} - X_i^k) \quad (3.1)$$

$$V_i^{k+1} = \omega \times V_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - X_i^k) + c_2 \times r_2 \times (L_{best} - X_i^k) \quad (3.2)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.3)$$

Trong đó:

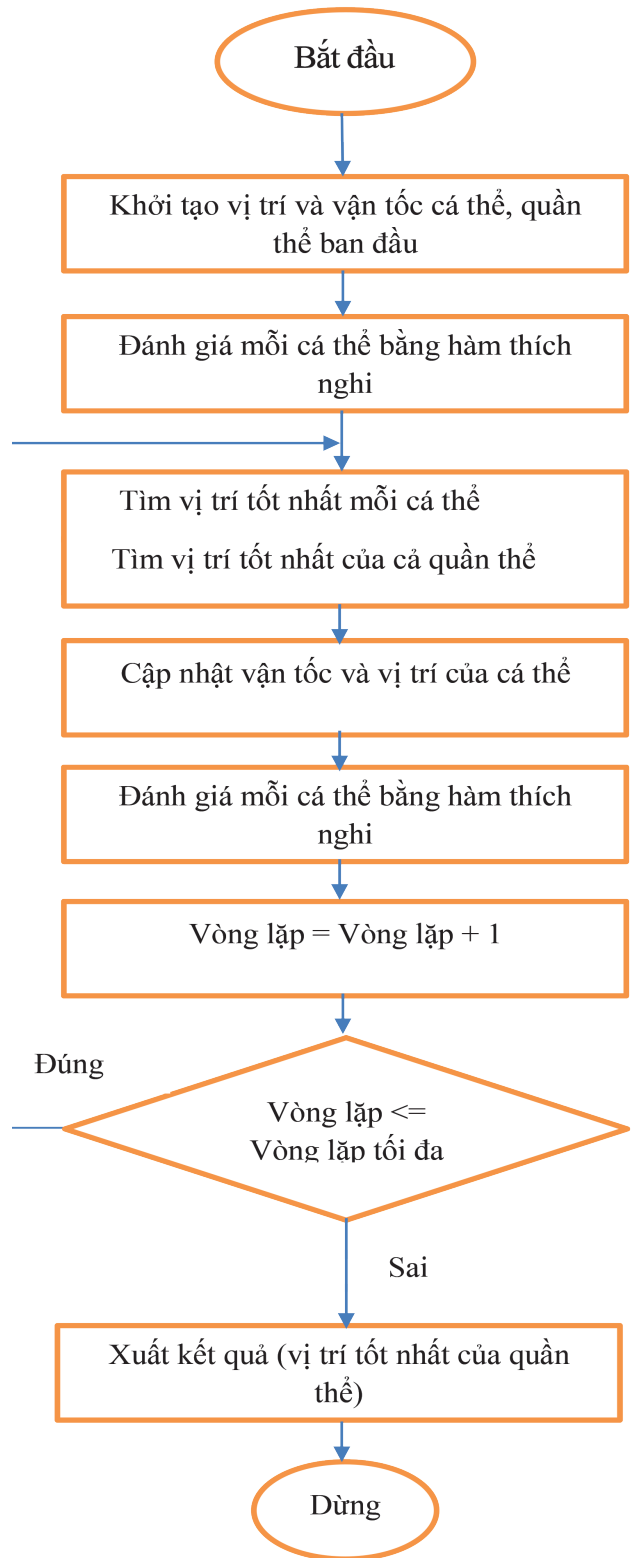
ω : Là hệ số quán tính

c_1, c_2 : Các hệ số gia tốc thường nhận giá trị là 2

r_1, r_2 : Là số ngẫu nhiên nhận giá trị $[0,1]$

❖ Lưu đồ thuật toán

Lưu đồ thuật toán PSO tối ưu hóa vị trí:



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

❖ 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 thuộc X_o^i 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 $f_k^i < f_{best}^g$ thì $f_{best}^g = f_k^i$ và $P_k^g = X_k^i$
- + Nếu thỏa mãn tiêu chuẩn hội tụ thì dừng lại và thực hiện bước 3
- + Cập nhật 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

3. Ứng dụng thuật toán PSO giải bài toán xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời trên mạng IEEE 33 bus

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

- Xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời trên mạng điện IEEE 33 bus.
- 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:

$$f = \min(\Delta P) = \min \sum_i^n R_i \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \right) \quad (3.8)$$

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

$$\Delta P = R_i \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \right) \quad (3.9)$$

- 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:

$$P_{best,i}^{t+1} = \begin{cases} P_{best,i}^t & \text{if } f_i^{t+1} > P_{best,i}^t \\ x_i^{t+1} & \text{if } f_i^{t+1} \leq P_{best,i}^t \end{cases} \quad (3.10)$$

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

$$G_{best} = \min \{ P_{best,i}^t(t) \} \quad (3.11)$$

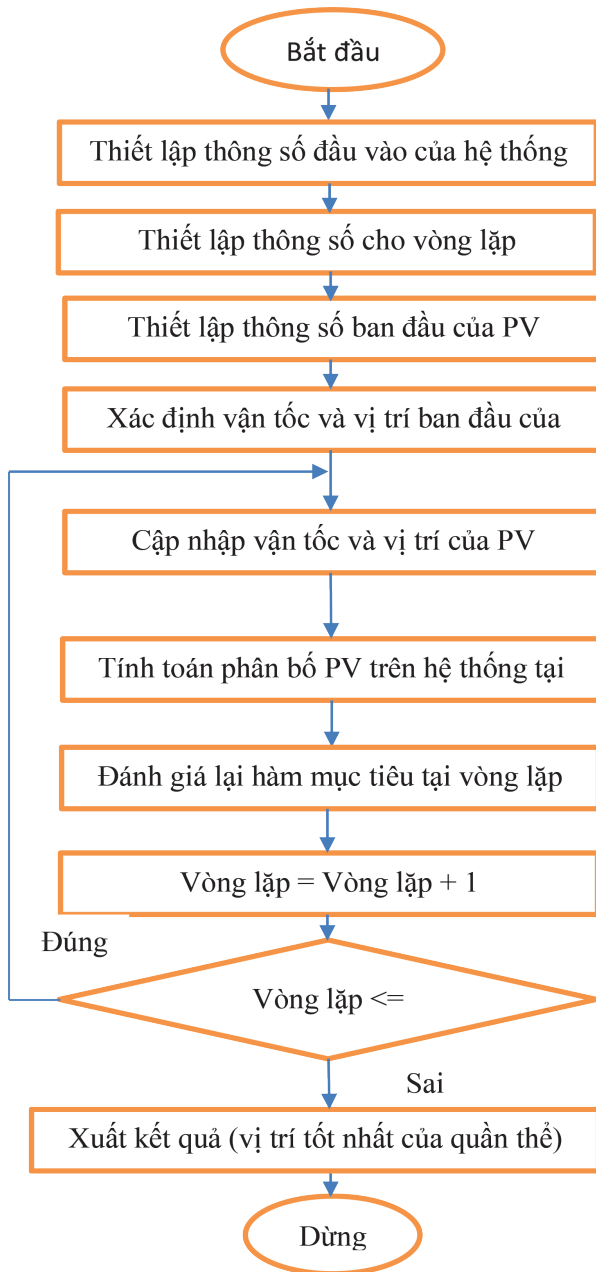
- Vận tốc của các PV trên lưới được cập nhật theo biểu thức:

$$V_i^{k+1} = \omega \times V_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - X_i^k) + c_2 \times r_2 \times (G_{best} - X_i^k) \quad (3.12)$$

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

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.13)$$

3.2 Sơ đồ giải thuật



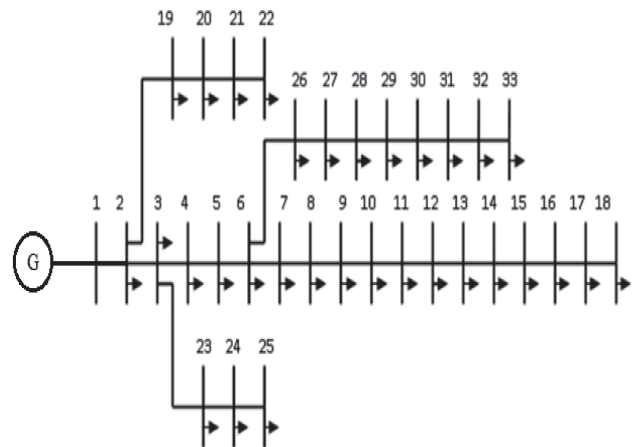
Hình 3.1 Sơ đồ thuật toán PSO áp dụng cho bài toán tối ưu vị trí đặt PV

3.2.1 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 mạng điện IEEE 33 bus [9]



Hình 3.2 Sơ đồ mạng điện IEEE 33 bus

Bảng 3.1: Thông số các nhánh

Số TT	Từ bus	Đến bus	R (Ω/km)	X (Ω/km)
1	1	2	0,0922	0,0470
2	2	3	0,4930	0,2511
3	3	4	0,3660	0,1864
4	4	5	0,3811	0,1941
5	5	6	0,8190	0,7070



Số TT	Từ bus	Đến bus	R (Ω/km)	X (Ω/km)
6	6	7	0,1872	0,6188
7	7	8	0,7114	0,2351
8	8	9	1,0300	0,7400
9	9	10	1,0440	0,7400
10	10	11	0,1966	0,0650
11	11	12	0,3744	0,1298
12	12	13	1,4680	1,1550
13	13	14	0,5416	0,7129
14	14	15	0,5910	0,5260
15	15	16	0,7463	0,5450
16	16	17	1,2890	1,7210
17	17	18	0,7320	0,5740
18	2	19	0,1640	0,1565
19	19	20	1,5042	1,3554
20	20	21	0,4095	0,4784
21	21	22	0,7089	0,9373
22	3	23	0,4512	0,3083
23	23	24	0,8980	0,7091
24	24	25	0,8960	0,7011
25	6	26	0,2030	0,1034
26	26	27	0,2842	0,1447
27	27	28	1,0590	0,9337
28	28	29	0,8042	0,7006
29	29	30	0,5075	0,2585
30	30	31	0,9744	0,9630
31	31	32	03105	0,3619
32	32	33	0,3410	0,5302

Bảng 3.1: Thông số các nút

Bus thứ i	P _d (kW)	Q _d (kVAR)	Vbase (kV)	Vmax (pu)	Vmin (pu)
1	0	0	12,66	1,0	0,9
2	100	60	12,66	1,0	0,9
3	90	40	12,66	1,0	0,9
4	120	80	12,66	1,0	0,9
5	60	30	12,66	1,0	0,9
6	60	20	12,66	1,0	0,9
7	200	100	12,66	1,0	0,9
8	200	100	12,66	1,0	0,9
9	60	20	12,66	1,0	0,9
10	60	20	12,66	1,0	0,9
11	450	300	12,66	1,0	0,9
12	60	350	12,66	1,0	0,9
13	60	350	12,66	1,0	0,9
14	120	80	12,66	1,0	0,9
15	60	10	12,66	1,0	0,9
16	60	20	12,66	1,0	0,9
17	60	20	12,66	1,0	0,9
18	90	40	12,66	1,0	0,9
19	90	40	12,66	1,0	0,9
20	90	40	12,66	1,0	0,9
21	90	40	12,66	1,0	0,9
22	90	40	12,66	1,0	0,9
23	090	50	12,66	1,0	0,9
24	420	200	12,66	1,0	0,9
25	420	200	12,66	1,0	0,9
26	60	25	12,66	1,0	0,9
27	60	25	12,66	1,0	0,9
28	60	20	12,66	1,0	0,9
29	120	70	12,66	1,0	0,9
30	200	600	12,66	1,0	0,9
31	150	070	12,66	1,0	0,9
32	210	100	12,66	1,0	0,9
33	60	40	12,66	1,0	0,9

3.4 Kết quả chạy thuật toán trên Matlab

- Tổn thất công suất được tối thiểu hóa theo hàm mục tiêu 3.8.
- Giới hạn điện áp các bus từ 0,9 pu đến 1,0 pu.
- Công suất của nguồn năng lượng mặt trời được kết nối bằng 30% công suất tải của mạng điện.

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

Vòng lặp	Tổn thất công suất (kW)	Công suất PV (kW)	Vị trí PV (Bus số)
1	139,7858	1.114	30
2	139,8618	1.114	30
3	139,8618	1.114	30
4	139,8618	1.114	30
5	139,8618	1.114	30
6	139,8618	1.114	30
7	139,8618	1.114	30
8	139,8618	1.114	30
9	139,8618	1.114	30
10	139,8618	1.114	30

Bảng 3.3 cho thấy thuật toán hội tụ ở vòng lặp thứ 2 với công suất PV kết nối là 1.114 kW và vị trí đặt tối ưu ở vị trí bus 30.

Bảng 3.4: Tổn thất công suất trước và sau khi đặt PV trên mạng điện

STT	Bus đầu	Bus cuối	Trước khi có PV (kW)	Sau khi có PV (kW)
1	1	2	12,471	10,556
2	2	3	52,758	29,505
3	3	4	20,261	15,774

STT	Bus đầu	Bus cuối	Trước khi có PV (kW)	Sau khi có PV (kW)
4	4	5	19,034	5,498
5	5	6	38,930	10,886
6	6	7	1,958	1,589
7	7	8	4,950	3,984
8	8	9	4,278	3,408
9	9	10	3,644	2,895
10	10	11	0,566	0,449
11	11	12	0,902	0,713
12	12	13	2,729	2,153
13	13	14	0,746	0,588
14	14	15	0,366	0,287
15	15	16	0,288	0,226
16	16	17	0,258	0,202
17	17	18	0,054	0,043
18	2	19	0,265	0,246
19	19	20	0,850	0,788
20	20	21	0,103	0,095
21	21	22	0,045	0,041
22	3	23	3,250	2,888
23	23	24	5,254	4,662
24	24	25	1,315	1,163
25	6	26	2,656	2,129
26	26	27	3,401	1,026
27	27	28	11,549	4,298
28	28	29	8,007	4,024
29	29	30	3,982	3,933
30	30	31	1,632	1,288
31	31	32	0,218	0,172
32	32	33	0,013	0,011

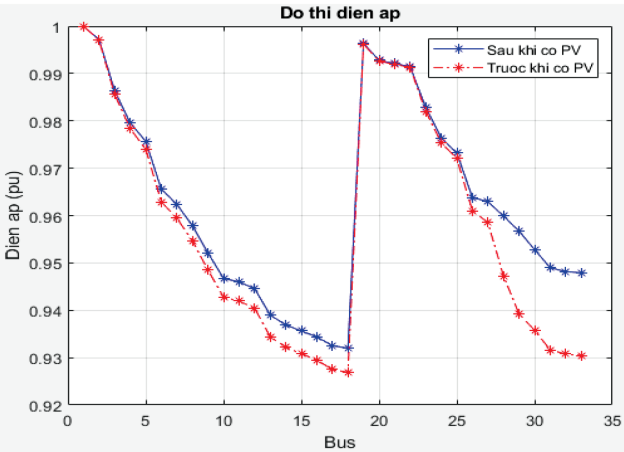
Kết quả này chứng tỏ khi kết nối PV trên mạng điện tại các bus gần tải tiêu thụ đã đáp ứng được một lượng công suất đáng kể cho tải, làm công suất truyền tải của nguồn chính giảm nên tổn thất trên đường dây giảm.

Bảng 3.5: 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	1,00	1,00
2	1,00	1,00
3	0,98	0,99
4	0,97	0,98
5	0,97	0,98
6	0,95	0,97
7	0,95	0,96
8	0,94	0,96
9	0,93	0,95
10	0,93	0,95
11	0,93	0,95
12	0,93	0,94
13	0,92	0,94
14	0,92	0,94
15	0,92	0,94
16	0,91	0,93
17	0,91	0,93
18	0,91	0,93
19	1,00	1,00
20	0,99	0,99
21	0,99	0,99
22	0,99	0,99

STT	Trước khi có PV (pu)	Sau khi có PV (pu)
23	0,98	0,98
24	0,97	0,98
25	0,97	0,97
26	0,95	0,96
27	0,94	0,96
28	0,93	0,96
29	0,92	0,96
30	0,92	0,95
31	0,92	0,95
32	0,92	0,95
33	0,92	0,95

Đồ thị Hình 3.3 và Bảng 3.5 thể hiện điện áp tại các bus của mạng điện có sự thay đổi khi kết nối PV



Hình 3.3 Đồ thị điện áp trước và sau khi đặt PV tại vị trí tối ưu trên mạng IEEE 33 bus.

Đường màu đỏ trên đồ thị Hình 3.3 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, trong đó các bus cuối mạng điện được cải thiện nhiều nhất và đảm bảo trong giới hạn cho phép (0,9 pu đến 1,0 pu).

Bảng 3.6: Kết quả chạy thuật toán PSO trên mạng Matlab

	Tổn thất công suất (kW)	Mức giảm tổn thất (%)	Vị trí đặt PV	Điện áp nhỏ nhất (pu)
Trước khi có PV	202,095			0,91
Sau khi có PV	111,659	44,74%	Bus 30	0,93

Thuật toán PSO tìm vị trí tối ưu kết nối nguồn điện mặt trời trên mạng điện chuẩn IEEE 33 bus cho kết quả tối ưu tại vị trí bus 30, tổng tổn thất công suất là nhỏ nhất (111,659 kW), giảm 90,436 kW và điện áp tại bus nhỏ nhất tăng từ 0,91 (pu) đến 0,93 (pu). So với kết quả thuật toán GA là giảm tổn thất công suất 73,64% và điện áp cải thiện từ 0,91 đến 0,96 pu [14]. Thuật toán PSO hội tụ ở vòng lặp thứ 2 còn thuật toán GA hội tụ ở vòng lặp thứ 50. Như vậy so với giải thuật GA phải qua 2 giai đoạn và thực hiện chạy 20 lần độc lập còn PSO chỉ 1 giai đoạn nên hội tụ nhanh hơn và việc thực hiện đơn giản hơn.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày một phương pháp xác định vị trí đặt nguồn điện mặt trời 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 chuẩn và chạy trên phần mềm Matlab, cho thấy được ưu điểm là tính toán nhanh, đơn giản và cho kết quả đáng tin cậy. Tiềm năng của phương pháp có thể được áp dụng với các mạng điện trong thực tế 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

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Kron, “*Nghiên cứu ứng dụng phương pháp sử dụng hệ số tổn thất “B” (loss coefficient hoặc B coefficient)*”.
- [5] Phân bố tối ưu công suất trong hệ thống điện dùng thuật toán ACO, Nguyễn Tấn Dương _ Trường ĐHSPKT TPHCM.
- [6] PGS. TS. Nguyễn Hữu Phúc, *Giáo trình tập huấn Áp dụng PSS-ADEPT 5.0 trong lưới điện phân phối*, Hà Nội – Tháng 10 năm 2007.
- [7] Gilbert M. Masters stanford university, “*Renewable and efficient electric power systems*”.
- [8] Nguyễn Xuân Phú, “*Giáo trình cung cấp điện*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật.

[9] Satyobroto Talukder, “*Mathematical modelling and applications of particle swarm optimization*”, Master’s thesis, Thesis no: 2010:8, February 2011.

[10] Haitham abu-rub, “*Power electronics for renewable energy systems, Transportation and industrial applications*”, Texas A&M University at Qatar, Doha, Qatar Mariusz Malinowski Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland Kamal Al-Haddad École de technologie supérieure, Montreal, Canada.

[11] Remus Teodorescu, Denmark Marco Liserre, Pedro Rodríguez, “*Gird converters for photovoltaic and wind systems*”. Remus teodorescu alborg university, denmark marco liserre politecnico di Bari, Italy Pedro Rodríguez technical university of Catalonia, Spain.

[12] Lê Công Thịnh, “*Xác định vị trí tối ưu đặt nguồn phân tán trong lưới điện bằng phương pháp sử dụng hệ số tổn thất*”, Viện Khoa học Năng lượng. ISBN: 978-604-913-013-7.

[13] Áp dụng thuật toán PSO cải tiến tối ưu vị trí và dung lượng tụ bù trong lưới điện phân phối, Nguyễn Ngọc Hòa thực hiện tại Trường Đại học Bách khoa TP.HCM.

[14] Áp dụng giải thuật di truyền cho bài toán tối ưu vị trí và công suất nguồn điện phân tán có xét đến tải cấu hình lưới điện phân phối, Nguyễn Tùng Linh, Nguyễn Thanh Thuận, tạp chí phát triển KH&CN, tập 20, số K7-2017.