

XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ VÀ CÔNG SUẤT NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN ĐỂ GIẢM TỶ THẤT CÔNG SUẤT TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI SỬ DỤNG THUẬT TOÁN COYOTE

NGUYỄN THANH THUẬN

*Khoa Công nghệ Điện, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh
nguyenthanhthuan@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Bài báo này trình bày phương pháp xác định vị trí và công suất tối ưu của nguồn điện phân tán trên lưới điện phân phối (LĐPP) sử dụng thuật toán coyote algorithm (COA). Hàm mục tiêu của bài toán là cực tiểu tổn thất công suất tác dụng trên LĐPP. COA là thuật toán tối ưu tổng quát lấy ý tưởng từ tập tính xã hội của loài chó sói Bắc Mỹ. Trong đó, quần thể sói được chia thành các nhóm nhỏ và mỗi nhóm có cá thể đầu đàn. Sự thích nghi với điều kiện môi trường của sói phụ thuộc vào sói đầu đàn và xu hướng của nhóm. Ngoài ra, giữa các nhóm cũng có sự trao đổi thông tin thông qua việc cá thể sói bỏ nhóm và tham gia nhóm khác. So với các thuật toán khác, COA không cần các thông số điều khiển nên giúp tăng cường sự ổn định và tin cậy khi áp dụng cho bài toán tối ưu vị trí và công suất nguồn điện phân tán trên LĐPP. Hiệu quả của COA được đánh giá trên các LĐPP 33 nút và 69 nút. Kết quả cho thấy, COA là một phương pháp hiệu quả cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP.

Keywords. Thuật toán coyote, nguồn điện phân tán, lưới điện phân phối.

DETERMINING LOCATION AND CAPACITY OF DISTRIBUTED GENERATORS FOR POWER LOSS REDUCTION IN DISTRIBUTION NETWORK USING COYOTE ALGORITHM

Abstract. This paper presents the method of determining the optimal position and capacity of distributed generations (DGs) on distribution system using coyote algorithm (COA). The objective function of the problem is minimization of power loss of the distribution system. COA is a general optimization algorithm inspired by the social behavior of coyotes native to North America. In comparisons with other algorithms, COA does not need control parameters, so it enhances stability and reliability for applying to the problem of optimizing the location and capacity of DGs. The effectiveness of the COA has assessed on the 33-nodes and 69-nodes distribution systems. The results show that COA is an effective method for the problem of determining location and capacity of DGs in the distribution system.

Keywords. coyote algorithm, distributed generations, distribution system.

1 GIỚI THIỆU

Nguồn điện phân tán (distributed generations-DGs) thường được kết nối trực tiếp đến lưới điện phân phối (LĐPP) [1]. Với sự tham gia của DGs vào LĐPP, dòng công suất không chỉ đổ về từ hệ thống truyền tải mà còn lưu thông giữa các phần tử của LĐPP, Khi đó LĐPP thực hiện tốt hơn nhiệm vụ cung cấp năng lượng điện đến hộ tiêu thụ đảm bảo chất lượng điện năng, độ tin cậy và yêu cầu an toàn trong giới hạn cho phép. Đồng thời khi LĐPP có sự tham gia của DGs cũng mang lại nhiều lợi ích khác như giảm tải trên lưới điện, cải thiện điện áp, giảm tổn thất, hỗ trợ lưới điện [2].

Việc xác định số lượng, vị trí và dung lượng của DGs phù hợp trên LĐPP giúp mang lại nhiều lợi ích về kinh tế và kỹ thuật trong quá trình vận hành LĐPP. Một số bài toán liên quan đến DGs trên LĐPP bao gồm tối đa công suất phát của DGs, nâng cao độ tin cậy, cực tiểu chi phí đầu tư, vận hành và giảm tổn thất trên LĐPP. Khi xem xét DGs trên LĐPP cần phải xem xét vị trí cũng như dung lượng cho phép nối vào hệ thống nhằm thu được công suất của DGs bơm vào lưới điện là lớn nhất để thu hút đầu tư DGs đồng thời nâng cao hiệu quả của LĐPP nhằm đảm bảo các yếu tố về kỹ thuật. Vì vậy, bài toán xác định vị trí, dung lượng của DGs để cực tiểu tổn thất công suất và có kiểm tra các điều kiện ràng buộc điện áp và dòng điện là bài toán quan trọng [3], [4].

Để xác định vị trí và dung lượng cho DGs trong hệ thống điện phân phối thường sử dụng hai nhóm phương pháp cổ điển và tối ưu tổng quát. Tiêu biểu trong nhóm phương pháp thứ nhất là một số phương

pháp như quy hoạch phi tuyến [5], quy hoạch phi tuyến hỗn hợp nguyên [6], quy hoạch động [7]. Đặc điểm chung của nhóm phương pháp này là cho kết quả tối ưu có độ hội tụ chậm hoặc rơi vào cực trị địa phương. Nhóm phương pháp thứ hai dựa trên các tri thức tổng quát từ các hiện tượng tự nhiên hoặc xã hội. Một số phương pháp tiêu biểu trong nhóm này như giải thuật di truyền (genetic algorithm - GA) [8], [9], tối ưu bầy đàn (particle swarm optimization - PSO) [10], [9], thuật toán bầy ong [11], thuật toán cỏ dại [12], thuật toán cuckoo (cuckoo search algorithm-CSA) [13], thuật toán pháo hoa (fireworks algorithm-FWA) [14]. Ưu điểm của nhóm phương pháp này là chúng không bị ảnh hưởng bởi đặc điểm của hàm mục tiêu và dễ dàng xử lý các điều kiện ràng buộc của bài toán. Ngoài ra, giải pháp thu được thường có chất lượng tốt hơn so với nhóm phương pháp thứ nhất. Vì vậy, nghiên cứu tìm kiếm các phương pháp mới để giải bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP vẫn là một vấn đề cần được quan tâm.

Thuật toán tối ưu coyote algorithm (COA) được phát triển dựa trên ý tưởng về tập tính xã hội của loài chó sói Bắc Mỹ [15]. Đây là loài chó sói thường sống thành từng nhóm nhỏ và mỗi nhóm chiếm một vùng lãnh thổ nhất định. Trong mỗi nhóm, thường có cá thể đầu đàn được gọi là Alpha. Mặc dù quan tập tính xã hội của loài chó sói này rất chặt chẽ, nhưng đôi khi cũng có những cá thể rời bỏ nhóm để sống một mình hoặc thậm chí tham gia một nhóm khác. Dựa trên ý tưởng này, tác giả trong [15] đã xây dựng thuật toán COA để giải các bài toán tối ưu. Trong đó, quần thể chó sói được chia thành các nhóm nhỏ. Điều kiện xã hội của mỗi chó sói trong nhóm được xem như là một giải pháp cho bài toán. Các giải pháp mới được tạo ra trong quá trình tìm kiếm dựa trên sự tương tác giữa các cá thể trong cùng một nhóm và giữa các nhóm với nhau. Trong [15], hiệu quả của thuật toán đã được chứng minh trên các hàm toán chuẩn. Tuy nhiên, hiệu quả của nó đối với bài toán trong hệ thống điện như bài toán xác định vị trí và dung lượng của DGs trên LĐPP là vấn đề cần được xem xét.

Trong bài báo này, COA được ứng dụng để giải bài toán xác định vị trí và dung lượng của DGs trên LĐPP nhằm giảm tổn thất công suất trên LĐPP. Hiệu quả của COA cho bài toán được đánh giá trên hai LĐPP 33 và 69 nút. Kết quả thu được từ COA được so sánh với các nghiên cứu đã được thực hiện. .

2 MÔ TẢ BÀI TOÁN

Do vận hành ở cấp điện áp thấp nên tổn thất công suất trên LĐPP luôn chiếm tỷ trọng lớn trong tổng tổn thất của toàn hệ thống điện. Vì vậy, nâng cao hiệu quả của LĐPP thông qua giảm tổn thất công suất là một mục tiêu quan trọng. Hàm mục tiêu của bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP được mô tả toán học như sau:

$$f = \min(\sum P_{loss}) \quad (1)$$

Khi lắp đặt DGs trên LĐPP phải đảm bảo công suất DGs nằm trong giới hạn cho phép:

$$P_{DG,i,min} \leq P_{DG,i} \leq P_{DG,i,max}; i = 1, 2, \dots, N_{DG} \quad (2)$$

Ngoài ra, trong quá trình lắp đặt DGs trên LĐPP cần phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc cân bằng công suất, điện áp và dòng điện nằm trong giới hạn cho phép. Do đó, hàm thích nghi của bài toán được mô tả như sau:

$$fit = f + K \cdot [\max(V_{min}^{lim} - V_{min}, 0) + \max(V_{max} - V_{max}^{lim}, 0) + \max(LCF_{max} - LCF_{max}^{lim}, 0)] \quad (3)$$

Trong đó, fit là giá trị hàm thích nghi, K là hệ số phạt vi phạm ràng buộc điện áp và dòng điện. V_{min}^{lim} và V_{min} là giới hạn điện áp thấp nhất cho phép và biên độ điện áp bé nhất trong LĐPP. V_{max}^{lim} và V_{max} là giới hạn điện áp lớn nhất cho phép và biên độ điện áp lớn nhất trong LĐPP. LCF_{max} và LCF_{max}^{lim} là hệ số mang tải lớn nhất trong LĐPP và hệ số mang tải cho phép. Trong đó, hệ số mang tải được định nghĩa là tỷ số giữa dòng điện thực tế chạy trên nhánh và giá trị dòng điện định mức của dây dẫn.

3 TỐI ƯU VỊ TRÍ VÀ CÔNG SUẤT DGs TRÊN LĐPP SỬ DỤNG COA

Trong COA, để tìm kiếm giải pháp trong không gian tìm kiếm, quần thể chó sói được chia thành các nhóm nhỏ N_g với N_c cá thể chó sói trong mỗi nhóm. Điều kiện xã hội của mỗi chó sói trong nhóm được xem như là một giải pháp cho bài toán. Quá trình tìm kiếm giải pháp mới được thực hiện dựa trên sự tiến hóa theo thể hệ của quần thể chó sói. Các giải pháp mới được tạo ra trong quá trình tìm kiếm dựa trên sự tương tác giữa các cá thể trong cùng một nhóm và giữa các nhóm với nhau. Chi tiết các bước thực hiện của COA cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs được mô tả như sau:

Bước 1: Lựa chọn thông số

Ưu điểm của COA so với các thuật toán khác là không cần thông số điều khiển trong quá trình tính

toán. Các thông số khởi tạo ban đầu chỉ bao gồm số nhóm chó sói N_g , số lượng cá thể trong mỗi nhóm N_c và số thế hệ khảo sát G_{max} . Lưu ý rằng kích thước quần thể được xác định bằng $N_g \times N_c$.

Bước 2: Khởi tạo

Điều kiện xã hội của mỗi cá thể chó sói trong mỗi nhóm được xem như một giải pháp của bài toán. Vì vậy, quần thể ban đầu được khởi tạo cho bài toán tối ưu vị trí và công suất DGs được khởi tạo như sau:

$$sc_c^g = [L_{1,c}^g, \dots, L_{N_{DG},c}^g, P_{1,c}^g, \dots, P_{N_{DG},c}^g] \quad (4)$$

Trong đó, $g = 1, 2, \dots, N_g$ và $c = 1, 2, \dots, N_c$. $L_{k,c}^g$ và $P_{k,c}^g$ là vị trí và công suất của DG thứ k , với $k = 1, 2, \dots, N_{DG}$.

Khi đó, vị trí và công suất DGs được khởi tạo như sau:

$$L_{k,c}^g = \text{round}[2 + \text{rand}(0,1) \cdot (N_{bus} - 2)] \quad (5)$$

$$P_{k,c}^g = \text{rand}(0,1) \cdot (P_{k,max}^g - P_{k,min}^g) + P_{k,min}^g \quad (6)$$

Trong đó $P_{k,max}^g$ và $P_{k,min}^g$ là giới hạn công suất lớn nhất và nhỏ nhất của DG thứ k .

Sau khi quần thể ban đầu được khởi tạo, giá trị hàm thích nghi của mỗi cá thể được tính toán dựa trên biểu thức (3).

Bước 3: Cập nhật điều kiện xã hội của các cá thể chó sói trong mỗi nhóm

Trong mỗi nhóm, hành vi của mỗi cá thể chó sói phụ thuộc vào cá thể đầu đàn alpha. Ngoài ra, mỗi nhóm thường có những tập tính riêng so với các nhóm khác. Dựa trên đặc điểm này, mỗi giải pháp trong COA được cập nhật như sau:

Trong nhóm thứ g , cá thể có hàm thích nghi tốt nhất được chọn trở thành cá thể alpha (al^g). Xu hướng xã hội chung của nhóm (ct^g) được xác định bằng điều kiện xã hội trung vị của các cá thể trong nhóm. Khi đó, điều kiện xã hội mới của các cá thể trong mỗi nhóm được tạo ra như sau:

$$n_sc_c^g = sc_c^g + r_1 \cdot (al^g - sc_1^g) + r_2 \cdot (ct^g - sc_2^g) \quad (7)$$

Trong đó $n_sc_c^g$ và sc_c^g là điều kiện xã hội mới và điều kiện xã hội hiện tại của cá thể thứ c trong nhóm thứ g . sc_1^g và sc_2^g là điều kiện xã hội của hai cá thể được chọn ngẫu nhiên trong nhóm g . r_1 và r_2 là số ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$.

Dựa trên điều kiện xã hội mới của các cá thể được tạo, giá trị hàm thích nghi như biểu thức (3) được tính toán. Nếu điều kiện xã hội mới có giá trị thích nghi tốt hơn điều kiện xã hội hiện tại của cá thể tương ứng, nó sẽ được chọn để trở thành điều kiện xã hội của cá thể đó.

Bước 4: Tạo ra cá thể mới thay thế cho cá thể có độ thích nghi kém trong mỗi nhóm

Trong mỗi nhóm, cá thể chó sói già vốn có sự thích nghi kém nhất trong nhóm sẽ bị chết đi và thay thế bởi cá thể chó sói con vốn được sinh ra nhờ sự tương tác giữa các cá thể trong nhóm như sau:

$$x_{puppy,j}^g = \begin{cases} x_{1,j}^g; & r_{3,j} < k_1 \\ x_{2,j}^g; & r_{3,j} < k_1 + k_2 \\ x_{r,j}^g; & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó $x_{puppy,j}^g$ ($j = 1, 2, \dots, D$) là biến điều khiển thứ j trong vector giải pháp điều kiện xã hội của cá thể sói con. D là số biến cần tối ưu. $x_{1,j}^g$ và $x_{2,j}^g$ là biến điều khiển của hai giải pháp được chọn ngẫu nhiên trong nhóm. $r_{3,j}$ là số ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$. $x_{r,j}^g$ là biến được khởi tạo ngẫu nhiên. k_1 và k_2 là hai giá trị xác suất được xác định như sau:

$$k_1 = 1/D \quad (9)$$

$$k_2 = (1 - k_1)/2 \quad (10)$$

Sau khi điều kiện xã hội mới của các cá thể sói con được tạo, giá trị hàm thích nghi được tính toán. Nếu điều kiện xã hội mới có giá trị thích nghi tốt hơn điều kiện xã hội của cá thể có độ thích nghi kém nhất trong nhóm, nó sẽ thay thế cá thể xấu nhất trong nhóm, ngược lại nó sẽ bị chết đi.

Bước 5: Trao đổi cá thể sói giữa các nhóm trong quần thể

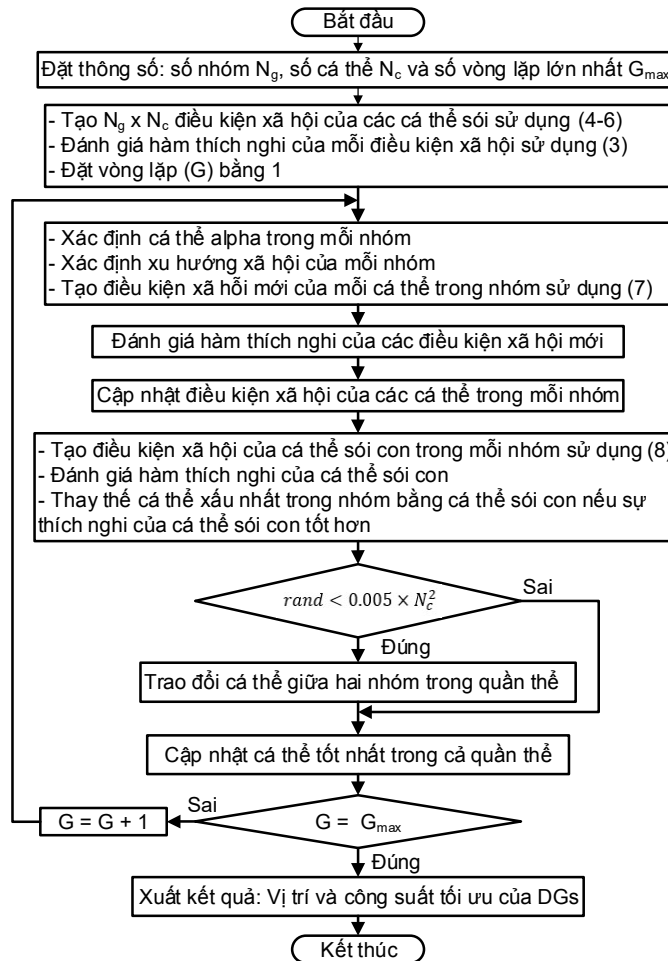
Mặc dù sống thành từng nhóm, nhưng cũng có những cá thể rời bỏ nhóm để sống một mình hoặc tham gia các nhóm khác. Dựa trên tập tính này, trong COA đề đa dạng thông tin giữa các nhóm trong quá trình tạo ra các giải pháp mới, có xảy ra sự trao đổi cá thể giữa các nhóm. Xác suất (P_1) của một cá thể sói rời bỏ nhóm để tham gia một nhóm khác và ngược lại được xác định như sau:

$$P_l = 0.005 \times N_c^2 \quad (11)$$

Từ biểu thức trên có thể thấy rằng với số lượng sói trong mỗi nhóm lớn hơn hoặc bằng 14, sự trao đổi cá thể giữa các nhóm chắc chắn xảy ra. Khi xảy ra sự trao đổi cá thể giữa các nhóm, hai nhóm ngẫu nhiên sẽ được chọn và từ hai nhóm được chọn, hai cá thể ngẫu nhiên sẽ được chọn để trao đổi vị trí.

Bước 6: Điều kiện dừng tìm kiếm

Quá trình cập nhật điều kiện xã hội của mỗi cá thể sói trong mỗi nhóm, thay thế cá thể sói già bằng cá thể sói con trong mỗi nhóm, trao đổi cá thể giữa các nhóm trong quần thể sẽ được thực hiện liên tục cho đến khi số vòng lặp đạt đến giá trị đặt trước (G_{max}). Ngược lại, quá trình tìm kiếm giải pháp cho bài toán sẽ tiếp tục quay về Bước 3 để tiếp tục thực hiện. Khi điều kiện dừng đạt được, cá thể có điều kiện xã hội tốt nhất được xem như là kết quả của bài toán xác định vị trí và công suất tối ưu của DGs trên LĐPP. Lưu đồ thuật toán COA được mô tả như Hình 1.



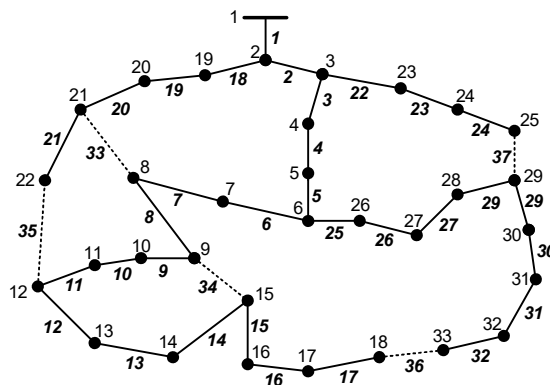
Hình 1. Thuật toán COA cho bài toán tái xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP.

4 KẾT QUẢ KIỂM TRA

Để đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất, hai LĐPP 33 nút và 69 nút được dùng để tối ưu vị trí và công suất DGs. Số lượng DGs được giới hạn là 3, công suất DGs được giới hạn từ 0 đến 2 MW. Phương pháp tối ưu vị trí và công suất DGs dựa trên COA được xây dựng trong môi trường Matlab phiên bản 2016a và chạy trên máy tính cá nhân. Thông số điều khiển của COA được thiết lập cho cả hai hệ thống bao gồm: Số nhóm và số cá thể trong mỗi nhóm lần được chọn là 5 và 6. Số vòng lặp lớn nhất được chọn bằng 300. Trên mỗi LĐPP, COA được chạy độc lập 50 lần, kết quả tối ưu thu được từ COA được so sánh với các nghiên cứu đã được thực hiện gần đây như thuật toán GA [9], PSO [9], CSA [13], FWA [14], stochastic fractal search (SFS) [16], harmony search algorithm (HSA) [17] và salp swarm algorithm (SSA) [18].

4.1 Lưới điện 33 nút

LĐPP 33 nút có cấp điện áp 12.66 kV bao gồm 37 nhánh và 33 nút. Thông số nhánh và nút của lưới được tham khảo [19]. Tổng công suất của hệ thống là $3.72 + j2.3$ MVA. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được cho ở Hình 2. Dòng điện định mức của các nhánh là 255 A [20].



Hình 2. LĐPP 33 nút.

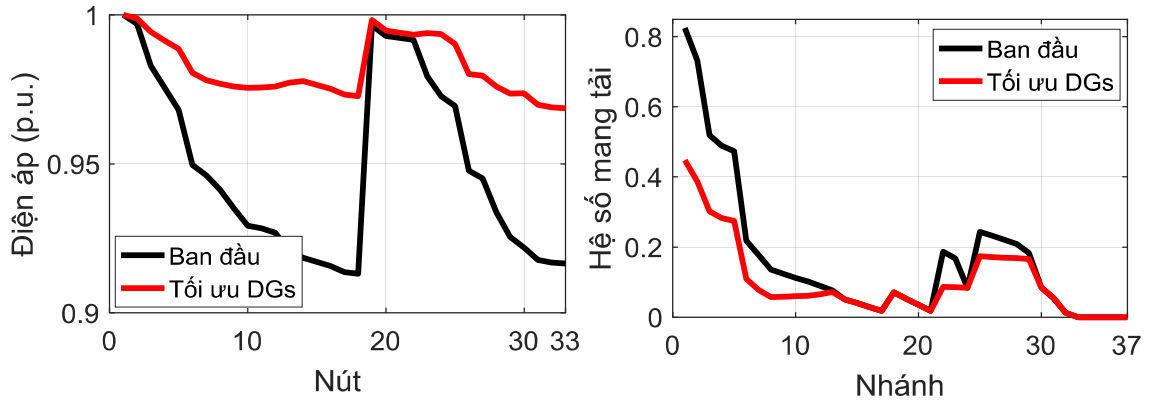
Bảng 1. Kết quả tính toán trên LĐPP 33 nút.

Phương pháp	Công suất DG (nút)	Tồn thất công suất (kW)	Mức giảm tổn thất công suất (%)	Điện áp thấp nhất (nút)	Hệ số mang tải lớn nhất
Ban đầu	-	202.6863	-	0.9131 (18)	0.8250
COA	1.07144 (30); 0.75396 (14); 1.09944 (24)	71.4599	64.74	0.9687 (33)	0.4475
GA [9]	1.5 (11); 0.4228 (29); 1.0714 (30)	106.3	47.55	-	-
PSO [9]	0.9816 (13); 0.8297 (32); 1.1768 (8)	105.3	48.05	-	-
CSA [13]	0.7798 (14); 1.1251 (24); 1.3496 (30)	74.26	63.36	0.9778	-
FWA [14]	0.5897 (14); 0.1895 (18); 1.0146 (32)	88.68	56.25	0.9680	-
SFS [16]	0.7540 (14); 1.0994/(24) 1.0714/(30)	71.47	64.74	0.9687	-
HSA [17]	0.1070 (18); 0.5724 (17); 1.0462 (33)	96.76	52.26	0.9670	-
SSA [18]	0.7536 (33); 1.1004 (23); 1.0706 (29)	71.45	64.75	0.9686 (32)	-

Kết quả tối ưu vị trí và công suất DGs trên LĐPP 33 nút sử dụng COA được cho ở Bảng 1. Sau khi thực hiện tối ưu vị trí và công suất DGs, trên LĐPP 33 nút các vị trí được lắp đặt DGs là các nút 30, 14 và 24 với công suất lần lượt là 1.07144, 0.75396 và 1.09944 MW. Với vị trí lắp đặt và công suất của các DGs trên, tổn thất công suất đã giảm từ 202.6863 xuống 71.4599 kW tương ứng với mức giảm 64.74%. Biên độ điện áp nút thấp nhất trong hệ thống đã được cải thiện từ 0.9131 đến 0.9687 p.u. Hệ số mang tải lớn nhất đã giảm từ 0.8250 xuống 0.4475. Biên độ điện áp các nút và hệ số mang tải của các nhánh trong hệ thống trước và sau khi lắp đặt DGs được cho ở Hình 3. Hình vẽ cho thấy hầu hết điện áp các nút đã được cải thiện và dòng điện trên các nhánh đã giảm đáng kể sau khi lắp đặt DGs.

Bảng 1 cũng cho thấy ưu điểm của phương pháp xác định vị trí và công suất DGs so với các nghiên cứu đã thực hiện. Cụ thể, kết quả thu được từ COA tốt hơn so với GA, PSO, CSA, FWA và HSA. Tổn thất công suất giảm được sử dụng COA là 64.74% vốn cao hơn 17.19, 16.69, 1.38, 8.49 và 12.48% so với GA, PSO, CSA, FWA and HSA. Trong khi đó, so với SFS và SSA, kết quả thu được từ COA gần như

tương tự với tổn thất công suất của COA, SFS và SSA lần lượt là 71.4599, 71.47 và 71.45 kW.

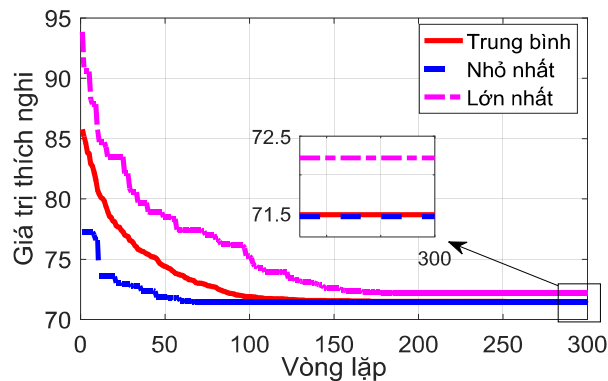


Hình 3. Biên độ điện áp các nút và dòng điện các nhánh trước và sau khi lắp đặt DGs trên LĐPP 33 nút.

Bảng 2. Chất lượng giải pháp thu được trên LĐPP 33 nút.

Mục	Ban đầu	COA
Vị trí DGs	-	30, 14, 24
Công suất DGs	-	1.07144, 0.75396, 1.09944
Tổn thất (kW)	202.69	
Giá trị lớn nhất hàm thích nghi	-	72.2204
Giá trị nhỏ nhất hàm thích nghi	-	71.4599
Giá trị trung bình hàm thích nghi	-	71.4853
Độ lệch chuẩn hàm thích nghi	-	0.1388
Vòng lặp hội tụ trung bình	-	289.0333
Thời gian thực hiện (s)	-	33.1656

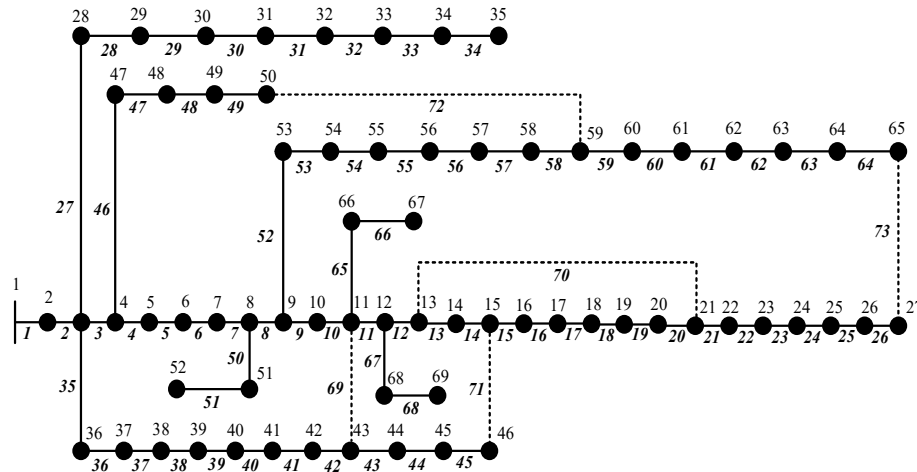
Chất lượng giải pháp thu được được thể hiện qua các thông số như giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình và độ lệch chuẩn của hàm thích nghi trong 50 lần thực hiện độc lập khi sử dụng COA trên LĐPP 33 nút trong 50 lần thực hiện độc lập được trình bày ở Bảng 2. Kết quả cho thấy giá trị lớn nhất, trung bình của hàm thích nghi trong 50 lần chạy độc lập gần bằng với giá trị nhỏ nhất của hàm thích nghi. Ngoài ra, độ lệch chuẩn của hàm thích nghi bé cho thấy trong mỗi lần chạy độc lập giá trị hội tụ của COA đều gần bằng với giá trị trung bình. Điều này cho thấy sự ổn định và tin cậy của COA trong mỗi lần thực hiện khi áp dụng cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP. Đặc tuyến hội tụ trung bình, lớn nhất và nhỏ nhất của COA trong 50 lần chạy được cho ở Hình 4. Hình vẽ cho thấy, đường đặc tuyến trung bình hội tụ đến giá trị gần bằng với giá trị hội tụ của đường đặc tuyến nhỏ nhất. Điều này khẳng định sự ổn định của COA cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP.



Hình 4. Đặc tuyến hội tụ của COA trên LĐPP 33 nút.

4.2 Lưới điện 69 nút

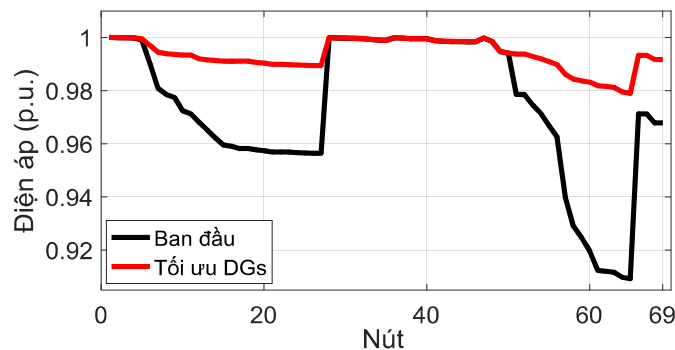
LĐPP 69 nút có cấp điện áp 12.66 kV. Thông số nhánh và nút của lưới được tham khảo [21]. Tổn thất công suất trên hệ thống khi chưa lắp đặt DGs là 224.8871 kW. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được cho ở Hình 5. Do thiếu thông tin về dòng điện định mức của các nhánh nên để có thể so sánh với các phương pháp khác, ràng buộc dòng điện được bỏ qua trên LĐPP 69 nút, hay nói cách khác việc lắp đặt DGs được giả thiết không gây quá tải bất kỳ nhánh nào trong hệ thống.



Hình 5. LĐPP 69 nút.

Bảng 3. Kết quả tính toán trên LĐPP 69 nút.

Phương pháp	Công suất DG (nút)	Tổn thất công suất (kW)	Mức giảm tổn thất công suất (%)	Điện áp thấp nhất (nút)
Ban đầu	-	224.8871	-	0.9092 (65)
COA	1.71893(61); 0.38045(18); 0.526251(11)	69.3928	69.14	0.9790 (65)
CSA [13]	0.6022 (11); 0.3804 (18); 2 (61)	72.44	67.79	0.9890
SFS [16]	0.5268 (11); 0.3804 (18); 1.7190 (61)	69.44	69.12	0.9790
SSA [18]	0.527 (10); 0.380 (17); 1.718 (60)	69.41	69.14	0.9789 (65)



Hình 6. Biên độ điện áp các nút và dòng điện các nhánh trước và sau khi lắp đặt DGs trên LĐPP 69 nút.

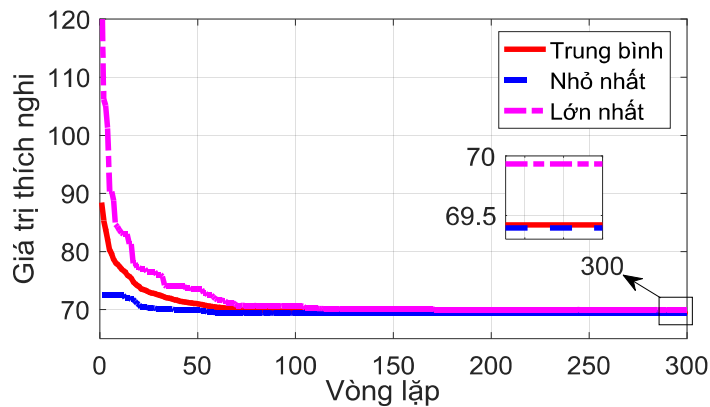
Kết quả thực hiện trên LĐPP 69 nút sử dụng COA được cho ở Bảng 3. Sau khi thực hiện tối ưu vị trí và công suất DGs, trên LĐPP 69 nút các vị trí được lắp đặt DGs là các nút 61, 18 và 11 với công suất lần lượt là 1.71893, 0.38045 và 0.526251 MW. Với vị trí lắp đặt và công suất của các DGs trên, tổn thất công suất đã giảm từ 224.8871 xuống 69.3928 kW tương ứng với mức giảm 69.14%. Biên độ điện áp nút thấp nhất trong hệ thống xảy ra tại nút 65 cũng đã được cải thiện từ 0.9092 đến 0.9790 p.u. Biên độ điện áp các nút trong hệ thống trước và sau khi lắp đặt DGs được cho ở Hình 6. Hình vẽ cho thấy hầu hết điện áp các nút đã được cải thiện đáng kể sau khi lắp đặt DGs. Bảng 3 cũng cho thấy ưu điểm của COA so với các

phương pháp so sánh. Với vị trí và công suất DGs tìm được từ COA, tổn thất công suất trong hệ thống là 69.3928 kW trong khi đó tổn thất công suất khi sử dụng các phương pháp CSA, SFS và SSA lần lượt là 72.44, 69.44 và 69.41 kW vốn cao hơn so với COA.

Tương tự như trên LĐPP 33 nút, chất lượng giải pháp thu được khi sử dụng COA trên LĐPP 69 nút trong 50 lần thực hiện được trình bày ở Bảng 4. Kết quả cho thấy giá trị lớn nhất, trung bình của hàm thích nghi trong 50 lần chạy độc lập gần bằng với giá trị nhỏ nhất của hàm thích nghi với độ lệch chuẩn 0.1083. Đặc tuyến hội tụ trung bình, lớn nhất và nhỏ nhất của COA trong 50 lần chạy được cho ở Hình 7. Hình vẽ cho thấy, đường đặc tuyến lớn nhất và trung bình hội tụ đến giá trị gần bằng với giá trị hội tụ của đường đặc tuyến nhỏ nhất. Điều này khẳng định sự ổn định và tin cậy của COA cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP.

Bảng 4. Chất lượng giải pháp thu được trên LĐPP 69 nút.

Mục	Ban đầu	COA
Vị trí DGs	-	61, 18, 11
Công suất DGs	-	1.71893, 0.38045, 0.526251
Tổn thất (kW)	224.8871	69.3928
Giá trị lớn nhất hàm thích nghi	-	69.9339
Giá trị nhỏ nhất hàm thích nghi	-	69.3928
Giá trị trung bình hàm thích nghi	-	69.4200
Độ lệch chuẩn hàm thích nghi	-	0.1083
Vòng lặp hội tụ trung bình	-	293.5333
Thời gian thực hiện (s)	-	105.1594



Hình 7. Đặc tuyến hội tụ của COA trên LĐPP 69 nút.

5 KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp tối ưu vị trí và công suất DGs trên LĐPP sử dụng thuật toán COA để cực tiểu tổn thất công suất tác dụng. Để chứng minh hiệu quả của COA, hai LĐPP chuẩn 33 nút và 69 nút được sử dụng để tối ưu vị trí và công suất của ba DGs. Kết quả cho thấy sau khi thực hiện tối ưu vị trí và công suất DGs, tổn thất trên hai hệ thống đã lần lượt giảm được 64.74 và 69.14% so với trước khi lắp đặt DGs. Kết quả so sánh với các nghiên cứu đã thực hiện sử dụng các phương pháp như GA, PSO, CSA, FWA, SFS, HSA, và SSA cũng cho thấy hiệu quả của COA ở giải pháp thu được. Ngoài ra, chất lượng giải pháp thu được trong 50 lần thực hiện độc lập trên mỗi LĐPP cũng cho thấy sự ổn định và tin cậy của COA cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP. Vì vậy, COA là thuật toán tin cậy và hứa hẹn để áp dụng cho bài toán xác định vị trí và công suất DGs trên LĐPP để giảm tổn thất công suất nói riêng và các bài toán xác định vị trí và công suất DGs thỏa mãn các mục tiêu khác nói chung.

REFERENCES

- [1] G. N. S, D. K. Khatod, and M. P. Sharma, "Distributed Generation Impact on Distribution Networks : a Review," *International Journal of Electrical and Electronics Engineering (IJEET)*, vol. 2, no. 1, pp. 68–72, 2012.

- [2] E. S. Ali, S. M. Abd Elazim, and A. Y. Abdelaziz, "Optimal allocation and sizing of renewable distributed generation using ant lion optimization algorithm," *Electrical Engineering*, 2016.
- [3] B. Singh and J. Sharma, "A review on distributed generation planning," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, no. March, pp. 529–544, 2017.
- [4] R. Payasi, A. Singh, and D. Singh, "Review of distributed generation planning: objectives, constraints, and algorithms," *International Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 133–153, 2011.
- [5] A. Keane and M. O'Malley, "Optimal allocation of embedded generation on distribution networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 1640–1646, 2005.
- [6] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 360–370, 2010.
- [7] N. Khalesi, N. Rezaei, and M. R. Haghifam, "DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 288–295, 2011.
- [8] A. Silvestri, A. Berizzi, and S. Buonanno, "Distributed generation planning using genetic algorithms," *International Conference on Electric Power Engineering, PowerTech Budapest 1999*, p. 257, 1999.
- [9] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 66–74, 2012.
- [10] P. Kayal and C. K. Chanda, "Placement of wind and solar based DGs in distribution system for power loss minimization and voltage stability improvement," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 53, pp. 795–809, 2013.
- [11] A. El-Fergany and A. Y. Abdelaziz, "Multi-objective capacitor allocations in distribution networks using artificial bee colony algorithm," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 441–451, 2014.
- [12] D. Rama Prabha and T. Jayabarathi, "Optimal placement and sizing of multiple distributed generating units in distribution networks by invasive weed optimization algorithm," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 683–694, 2016.
- [13] T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. A. Phung, "A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 78, pp. 801–815, 2016.
- [14] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 63, pp. 461–472, 2014.
- [15] L. S. Pierozan, J. and Coelho, "Coyote Optimization Algorithm: A new metaheuristic for global optimization problems," in *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Rio de Janeiro, Brazil*, 2018, pp. 2633–2640.
- [16] T. T. Tran, K. H. Truong, and D. N. Vo, "Stochastic fractal search algorithm for reconfiguration of

- distribution networks with distributed generations,” *Ain Shams Engineering Journal*, no. xxxx, 2019.
- [17] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, “Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation,” *IEEE Transaction on Power System*, vol. 28, no. 1, pp. 317–325, 2013.
- [18] K. S. Sambaiah and T. Jayabarathi, “Optimal reconfiguration and renewable distributed generation allocation in electric distribution systems,” *International Journal of Ambient Energy*, vol. 0, no. 0, pp. 1–29, 2019.
- [19] M. E. Baran and F. F. Wu, “Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, 1989.
- [20] S. Ghasemi and J. Moshtagh, “Radial distribution systems reconfiguration considering power losses cost and damage cost due to power supply interruption of consumers,” *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 5, no. 3, pp. 297–315, 2013.
- [21] H.-D. Chiang and R. Jean-Jumeau, “Optimal network reconfigurations in distribution systems: Part 2: Solution algorithms and numerical results,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, no. 3, pp. 1568–1574, 1990.

Ngày nhận bài: 07/01/2020

Ngày chấp nhận đăng: 19/03/2020