

## Minimizing Power Losses and Improving Voltage Profile Based on the Integration of Distributed Generation Units

Dinh Phu Nguyen<sup>1</sup>, Anh Tuan Nguyen<sup>1</sup>, Chi Kien Le<sup>1</sup>, Dinh Thai Pham<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

<sup>2</sup>Cuu Long Joint Operating Company, PetroVietnam Exploration Production Corporation, Vietnam

\*Corresponding author. Email: [pham.d.thai@cljoc.com.vn](mailto:pham.d.thai@cljoc.com.vn)

### ARTICLE INFO

Received: 23/03/2025  
Revised: 10/04/2025  
Accepted: 16/04/2025  
Published: 28/08/2025

### KEYWORDS

Salp swarm algorithm;  
Voltage profile;  
Total power loss;  
Branch current;  
Optimization algorithm.

### ABSTRACT

In this paper, an efficient optimization algorithm with the high stability and good convergence which was inspired by the intelligent movement of salp species in nature for finding food source, called salp swarm algorithm (SSA). This method is introduced for determining the optimal installation placement and capacity of grid-connected distributed generation units (DGs) to minimize power losses in the system, improve node voltage and reduce congestion on distribution lines. The obtained results from the simulation by SSA are shown to be superior to other compared algorithms such as particle swarm optimization (PSO) and artificial bee colony (ABC). In addition, this study also demonstrated the great benefits of integrating DGs in the distribution grid through cutting total power loss by up to 52.18%, enhancing node voltage from [0.8713, 1.00] (p.u) to [0.9627, 1.00] (p.u) and reducing the maximum branch current by up to 32.59% in the large-scale distribution system of the IEEE 85-node.

## Giảm thiểu tổn thất công suất và nâng cao điện áp hệ thống phân phối dựa trên việc tích hợp các nguồn phát phân tán

Nguyễn Đình Phú<sup>1</sup>, Nguyễn Anh Tuấn<sup>1</sup>, Lê Chí Kiên<sup>1</sup>, Phạm Đình Thái<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Công ty Liên doanh Điều hành Cửu Long, Tổng Công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ. Email: [pham.d.thai@cljoc.com.vn](mailto:pham.d.thai@cljoc.com.vn)

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 23/03/2025  
Ngày hoàn thiện: 10/04/2025  
Ngày chấp nhận đăng: 16/04/2025  
Ngày đăng: 28/08/2025

### TỪ KHÓA

Giải thuật đàn salp;  
Điện áp hệ thống;  
Tổng tổn thất công suất;  
Dòng điện nhánh;  
Giải thuật tối ưu.

### TÓM TẮT

Trong bài báo này, một giải thuật tối ưu hiệu quả với độ hội tụ và ổn định tốt mà được lấy cảm hứng từ sự di chuyển trong quá trình tìm kiếm nguồn thức ăn của loài salp trong tự nhiên, gọi là salp swarm algorithm (SSA). SSA được giới thiệu cho việc xác định vị trí và công suất lắp đặt tối ưu cho các nguồn phát phân tán nối lưới (DGs) nhằm giảm thiểu tổn thất công suất trong hệ thống, cải thiện điện áp và giảm thiểu sự tắc nghẽn trong đường truyền. Kết quả thu được từ SSA được chứng minh là nổi trội hơn so với các giải thuật khác như particle swarm optimization (PSO) và artificial bee colony (ABC). Thêm vào đó, nghiên cứu này cũng đã chứng minh lợi ích to lớn trong việc tích hợp DGs trong lưới phân phối thông qua việc giảm thiểu tổn thất công suất lên tới 52.18%, cải thiện điện áp từ [0.8713, 1.00] (p.u) lên tới [0.9627, 1.00] (p.u) và giảm thiểu dòng điện nhánh lớn nhất tới 32.59% trong hệ thống phân phối với quy mô lớn như IEEE 85 nút.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2025.1856>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

## 1. Giới thiệu

Các nguồn phát phân tán (DGs) được xem xét là những nguồn phát có công suất bé và được kết nối vào hệ thống phân phối. DGs khi được kết nối vào lưới sẽ mang lại nhiều lợi ích và cũng tạo ra nhiều thách thức do thay đổi cấu trúc của mạng điện ban đầu. Mức độ tác động của DGs lên hệ thống hiện hữu phụ thuộc nhiều vào vị trí kết nối và công suất phát của DGs. Do đó, việc xác định sự kết nối cho các nguồn phát này trong lưới điện thì rất quan trọng để đảm bảo cho việc nâng cao độ tin cậy, giảm tổn thất công suất và cải thiện chất lượng điện năng [1], [2]. Nhiều nghiên cứu cũng đã cho thấy việc xác định sự xâm nhập của DGs không phù hợp thì có thể gây ra nhiều tác động tiêu cực đến hệ thống như tăng tổn thất công suất, giảm chất lượng điện năng, giảm độ tin cậy và ổn định [3]. Do đó, việc tối ưu sự lắp đặt cho DGs để tối đa lợi ích nhận được mà không vi phạm các tiêu chí kỹ thuật của hệ thống là điều cần thiết.

Nhiều nhà nghiên cứu trên khắp thế giới cũng đã đề xuất nhiều hướng tiếp cận khác nhau trong việc xác định giải pháp phù hợp cho sự kết nối của DGs vào lưới phân phối. Cụ thể, như nghiên cứu [4], [5], các tác giả đã lựa chọn giải thuật particle swarm optimization (PSO) cho việc nhận diện vị trí phù hợp của DGs trong lưới điện IEEE 26 nút và IEEE 33 nút. Trong các nghiên cứu được công bố này thì vị trí của các DGs đã được xác định một cách thành công và tổn thất công suất các nhánh cũng đã được giảm thiểu một cách đáng kể. Bên cạnh đó, một nghiên cứu thú vị khác cũng sử dụng PSO với một sự cải tiến cho hệ số trong phương trình cập nhật nghiệm mới và cho ra đời một giải thuật khác gọi là parameter improved PSO (PIPSO) [6]. Sự cải tiến này thì được đánh giá là tích cực thông qua việc so sánh sự hiệu quả với giải thuật gốc. Trong nghiên cứu đó, các tác giả cũng đã chứng minh tổn thất công suất trên nhánh phân phối được giảm thiểu nhờ sự tích hợp DGs trong lưới phân phối một cách phù hợp trong hai hệ thống khác nhau là IEEE 33 nút và IEEE 69 nút. Mặc dù PSO và phiên bản cải tiến IPSO được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực do cấu trúc của giải thuật đơn giản nên dễ dàng thực hiện. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của chúng là dễ rơi vào vùng tối ưu cục bộ nên hiệu suất không ổn định. Bên cạnh PSO, thì một giải thuật lâu đời khác cũng được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều nghiên cứu trước đây là genetic algorithm (GA). Khác với PSO được phát triển nhờ vào sự quan sát tập tính bầy đàn của các loài như chim và cá trong tự nhiên thì GA được ra đời dựa trên quy luật chọn lọc tự nhiên trong các quần thể. Nhiều nhà nghiên cứu đã lựa chọn GA để trở thành giải thuật tối ưu như [7], [8]. Các tác giả này đã sử dụng GA để xác định giải pháp phù hợp cho việc kết nối các DGs nhằm nâng cao điện áp và giảm thiểu tổn thất công suất. Trong khi nghiên cứu [7] thực hiện các mô phỏng trên các hệ thống nhỏ như IEEE 15 nút và Nigerian 11kV (15 nút) thì [8] thực hiện thử nghiệm trên hệ thống lớn hơn của IEEE 69 nút. Mặc dù GA cũng mang lại hiệu quả trong nhiều bài toán tối ưu, nhưng cũng giống như PSO, GA có độ ổn định kém và hiệu suất thấp. Hơn thế nữa, một giải thuật khác cũng được áp dụng nhiều là giải thuật artificial bee colony (ABC). Giải thuật này mô phỏng tập tính thông minh trong việc tìm kiếm thức ăn của bầy ong trong tự nhiên. Một số nhà nghiên cứu cũng đã áp dụng thành công ABC cho việc giải quyết vấn đề tối ưu sự tích hợp DGs trong lưới điện phân phối như [9], [10]. Các tác giả [9] đã chứng minh việc giảm tổn thất công suất và giảm độ sụt áp nhờ việc xác định vị trí và công suất phù hợp của DGs trong hệ thống 33 nút và 69 nút. Với cùng mục tiêu như [9], thì nghiên cứu trong [10] cũng đã thành công trong việc mô phỏng ABC cho vấn đề tối ưu DGs trong hai hệ thống phân phối khác là 14 nút và 57 nút. ABC có thể mang lại sự tích cực hơn về hiệu suất so với GA và PSO trong một số trường hợp nhưng tốc độ xử lý dữ liệu của giải thuật ABC khá chậm và cấu trúc giải thuật khá phức tạp so với hai giải thuật trên, và điều này được coi như là các nhược điểm lớn của ABC. Bên cạnh đó, một giải thuật mới hơn mà được biết đến với sự ổn định cao là crow search algorithm (CSA) và CSA là một giải thuật được phát triển trong những năm gần đây dựa trên tập tính tìm kiếm và lưu giữ nguồn thức ăn của loài quạ trong tự nhiên. Giải thuật này đã được chứng minh là có sự tích cực trong việc giải quyết các vấn đề tối ưu [11]. Trong nghiên cứu [11], các tác giả đã cho thấy lợi ích của việc xâm nhập DGs trong việc cải thiện điện áp, giảm tắc nghẽn đường truyền và giảm tổn thất công suất trong hệ thống phân phối thực tế ở Ai Cập. Ngoài ra, một giải thuật khác cũng được đánh giá là rất hiệu quả cho nhiều bài toán tối ưu phức tạp là salp swarm algorithm (SSA). SSA cũng được công bố trong những năm gần đây và giải thuật này đã được lấy cảm hứng từ hành vi di chuyển và tìm kiếm thức ăn của loài salp trong đại

duyên [12]. Nhờ các chiến lược tìm kiếm thông minh và đặc trưng của chúng mà SSA trở thành một giải thuật meta-heuristic không những có hiệu quả cao mà còn có độ ổn định tốt.

Hầu hết các nghiên cứu trước đây chỉ áp dụng các giải thuật cũ nên dẫn tới hiệu suất kém. Chính vì vậy mà giải pháp tối ưu được tìm ra từ các giải thuật này không mang lại lợi ích tối đa. Thêm vào đó, việc thực hiện mô phỏng trên các hệ thống có quy mô nhỏ thì khó có thể đánh giá chính xác mức độ hiệu quả của giải thuật. Trong nghiên cứu này, một giải thuật mạnh gọi là SSA được áp dụng để xác định sự xâm nhập của DGs trong hệ thống phân phối lớn như IEEE 85 nút. Mục tiêu chính của nghiên cứu là để giảm tối đa tổn thất công suất và cải thiện điện áp trong hệ thống phân phối.

## 2. Định nghĩa vấn đề

### 2.1. Mục tiêu

Trong nghiên cứu này, các tác giả xác định giải pháp cho việc kết nối vị trí và công suất lắp đặt của các DGs cho việc giảm thiểu tối đa tổng tổn thất công suất trên các nhánh và nâng cao điện áp hệ thống. Do đó, hàm đa mục tiêu được sử dụng trong bài báo này để thỏa mãn hai mục tiêu về tổn thất công suất và điện áp hệ thống như công thức (1):

$$\text{Giảm tối thiểu } MF = (\omega_1 \times SF_{loss}) + (\omega_2 \times SF_{volt}) \quad (1)$$

Trong đó,  $\omega_1$  và  $\omega_2$  lần lượt là trọng số của  $SF_{loss}$  và  $SF_{volt}$ ;  $MF$  cũng được định nghĩa là giá trị hàm mục tiêu;  $SF_{loss}$  và  $SF_{volt}$  được gọi là hai thành phần mục tiêu đơn liên quan đến sự giảm tổn thất công suất và sự cải thiện điện áp. Do nghiên cứu này sử dụng hàm đa mục tiêu nên phương pháp tổng trọng số cũng được áp dụng để quyết định ngõ ra hàm mục tiêu phù hợp. Các trọng số này cần phải thỏa điều kiện đề ra như (2) [13]:

$$0 < \omega_1 \ \& \ \omega_2 < 1; \ \omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (2)$$

Bên cạnh đó, để xác định các giá trị hàm mục tiêu thì phương pháp tiến-lùi được sử dụng để tính toán trào lưu công suất cho lưới phân phối [14]. Kết quả thu được từ việc tính toán trào lưu công suất là dòng điện nhánh và điện áp nút thì sẽ được sử dụng cho việc tính toán ở công thức (3) và (4). Trong nghiên cứu này,  $SF_{loss}$  và  $SF_{volt}$  có thể được xác định bằng việc áp dụng công thức số (3) và (4) như sau [15]:

$$SF_{loss} = \frac{P_{loss_{afterDGs}}}{P_{loss_{beforeDGs}}} = \frac{\sum_{l=1}^{N_l} R_l I_{l,afterDGs}^2}{\sum_{l=1}^{N_l} R_l I_{l,beforeDGs}^2} \quad (3)$$

Trong công thức (3),  $P_{loss_{afterDGs}}$  và  $P_{loss_{beforeDGs}}$  được định nghĩa là tổng tổn thất công suất của hệ thống sau khi kết nối DGs và trước khi kết nối DGs. Bên cạnh đó,  $R_l$  là trở kháng nhánh thứ  $l$ ;  $I_{l,afterDGs}$  và  $I_{l,beforeDGs}$  cũng được xem xét lần lượt là dòng điện nhánh thứ  $l$  sau khi và trước khi kết nối DGs trong lưới ( $N_l$  là tổng số nhánh trong lưới). Việc phát tán vị trí kết nối phù hợp của các DGs trong lưới sẽ làm giảm thiểu dòng điện nhánh nên dẫn tới tổn thất công suất nhánh được giảm thiểu. Do đó, giá trị  $P_{loss_{afterDGs}}$  sẽ nhỏ hơn  $P_{loss_{beforeDGs}}$  nếu như việc kết nối các DGs thì hiệu quả, và giá trị của  $SF_{loss}$  sẽ chỉ dao động trong phạm vi lớn hơn 0 và bé hơn 1. Giá trị của  $SF_{loss}$  càng nhỏ thì mục tiêu giảm thiểu tổn thất hệ thống đạt được sẽ càng tốt hơn. Do vậy, giá trị của  $SF_{loss}$  nên được giảm thiểu tối đa trong nghiên cứu này.

Thêm vào đó, bên cạnh tổn thất công suất thì chất lượng điện áp cũng được xem xét là một trong các tiêu chí quan trọng trong việc đánh giá hiệu quả hệ thống. Trong bài báo này, để nâng cao điện áp hệ thống thì việc giảm thiểu độ lệch điện áp giữa điện áp nút và điện áp tham chiếu (1 p.u) là điều cần thiết. Giá trị này càng nhỏ thì chất lượng điện áp hệ thống càng được nâng cao. Nên mục tiêu liên quan đến việc cải thiện điện áp có thể được trình bày như công thức (4) [15].

$$SF_{volt} = \frac{V_{Dev,afterDGs}}{V_{Dev,beforeDGs}} = \frac{\sum_{b=1}^{N_b} |1 - V_{b,afterDGs}|}{\sum_{b=1}^{N_b} |1 - V_{b,beforeDGs}|} \quad (4)$$

Trong công thức (4),  $V_{Dev,afterDGs}$  và  $V_{Dev,beforeDGs}$  được gọi là tổng độ lệch điện áp nút của hệ thống sau khi và trước khi có sự xâm nhập DGs.  $V_{b,afterDGs}$  và  $V_{b,beforeDGs}$  là điện áp ở nút thứ  $b$  sau khi kết nối DGs và trước khi kết nối DGs, và các giá trị này được xác định từ việc tính toán trào lưu công suất ( $N_b$  là tổng số nút trong lưới). Nếu việc kết nối các DGs vào lưới hiệu quả thì sẽ góp phần làm giảm độ sụt áp ở các nút, đặc biệt là các nút yếu ở xa nguồn điện chính. Do đó, giá trị  $V_{Dev,afterDGs}$  sẽ nhỏ hơn giá trị  $V_{Dev,beforeDGs}$  nên  $SF_{loss}$  cũng sẽ bé hơn 1. Giá trị  $SF_{loss}$  này càng bé thì càng có lợi nên  $SF_{loss}$  sẽ được giảm thiểu để mục tiêu cải thiện điện áp đạt được tối đa phúc lợi trong nghiên cứu này.

## 2.2. Ràng buộc

### 2.2.1. Ràng buộc về cân bằng công suất

Để giữ sự cân bằng và ổn định hệ thống, tổng công suất phát phải bằng tổng công suất tiêu thụ [15]

$$P_{sub} + \sum_{g=1}^{N_{DG}} PDG_s_g = \sum_{d=1}^{N_d} Pload_d + \sum_{l=1}^{N_l} Ploss_l \quad (5)$$

Trong công thức (5),  $P_{sub}$ ,  $PDG_s_g$  và  $Pload_b$  lần lượt là công suất phát từ lưới chính, công suất phát từ nguồn phát phân tán thứ  $g$  và công suất tải thứ  $d$  ( $N_{DG}$  là tổng số DGs được kết nối và  $N_d$  là tổng số tải trong lưới).

### 2.2.2. Ràng buộc về điện áp

$$U^{low} \leq |V_{b,afterDGs}| \leq U^{up}, b = 1, \dots, N_b \quad (6)$$

Trong công thức (6), điện áp ở mỗi nút thứ  $b$  sau khi kết nối các DGs phải nằm trong giới hạn cho phép của  $U^{low}$  là 0.95 (p.u) và  $U^{up}$  của 1.05 (p.u) [16].

### 2.2.3. Ràng buộc về dòng điện nhánh

$$I_{l,afterDGs} \leq I_l^{max}, l = 1, \dots, N_l \quad (7)$$

Trong công thức (7),  $I_{l,afterDGs}$  là dòng điện trên nhánh thứ  $l$  sau khi kết nối DGs và dòng điện này không được vượt quá giới hạn thiết kế cho phép của đường dây trong hệ thống ( $I_l^{max}$ ) [14].

### 2.2.4. Ràng buộc về giới hạn công suất phát

$$P_{DGs}^{min} \leq PDG_s_g \leq P_{DGs}^{max}, i = 1, \dots, N_{DGs} \quad (8)$$

Trong công thức (8), công suất phát của mỗi nguồn phát phân tán thứ  $g$  ( $PDG_s_g$ ) nên nằm trong giới hạn nhỏ nhất và lớn nhất xác định trước của  $[P_{DGs}^{min}, P_{DGs}^{max}]$  [13].

### 2.2.5. Ràng buộc về giới hạn vị trí kết nối

$$Loc_{DGs}^{min} \leq LocDG_s_g \leq Loc_{DGs}^{max}, b = 1, \dots, N_{DGs} \quad (9)$$

Trong công thức (9), vị trí lắp đặt của mỗi nguồn phát phân tán thứ  $g$  ( $LocDG_s_g$ ) cũng cần được định nghĩa trong giới hạn nhỏ nhất và lớn nhất cho phép của  $[Loc_{DGs}^{min}, Loc_{DGs}^{max}]$  [13].

### 3. Phương pháp áp dụng

Trong bài báo này, một giải thuật tối ưu hiệu quả gọi là SSA được thực hiện để tìm kiếm sự kết nối phù hợp của DGs trong lưới phân phối. SSA là một giải thuật mô hình sự di chuyển trong việc tìm kiếm thức ăn của loài salp. Trong loài này, có hai nhóm được phân chia rõ rệt là nhóm dẫn đầu và nhóm theo sau. Nhóm dẫn đầu có nhiệm vụ dẫn dắt toàn bộ nhóm theo sau trong việc để định hướng sự di chuyển và tìm kiếm nguồn thực phẩm trong môi trường sống [12]. Quá trình áp dụng SSA cho việc giải quyết vấn đề tối ưu được trình bày một cách ngắn gọn như các bước sau [12]:

**Bước 1:** Thiết lập các thông số điều khiển cho giải thuật như tổng số vòng lặp ( $N^{Ite}$ ), dân số ( $N^{Pop}$ ), tổng số biến ( $N^{dem}$ ) và số lần chạy thử ngẫu nhiên ( $N^{Tri}$ ).

**Bước 2:** Phát các giải pháp ban đầu một cách ngẫu nhiên trong giới hạn nhỏ nhất và lớn nhất cho phép của các biến  $[S_j^{Min}, S_j^{Max}]$  như công thức (10):

$$S_j^i = S_j^{Min} + rd_1 \cdot (S_j^{Max} - S_j^{Min}); j = 1, \dots, N^{dem} \text{ và } i = 1, \dots, N^{pop} \quad (10)$$

**Bước 3:** Áp dụng phương pháp tiến-lùi để tính toán trào lưu công suất. Tính toán hàm mục tiêu và hàm phạt, và đánh giá chất lượng của mỗi giải pháp được tạo ra bằng công thức (11):

$$FIT_i = MF_i + (\rho \times Pen_i); i = 1, \dots, N^{Pop} \quad (11)$$

Trong công thức (11),  $FIT_i$  và  $MF_i$  lần lượt là các giá trị từ hàm đánh giá và hàm mục tiêu của giải pháp thứ  $i$ ;  $\rho$  và  $Pen_i$  là hệ số phạt và giá trị hàm phạt cho mỗi giải pháp thứ  $i$  [13].

**Bước 4:** Cập nhật giải pháp mới cho toàn bộ dân số.

Công thức cho việc cập nhật vị trí mới của giải pháp đầu tiên (con dẫn đầu) được trình bày như công thức (12) [12]:

$$S_j^1 = \begin{cases} F_j + \alpha_1 \left( (S_j^{Max} - S_j^{Min}) \alpha_2 + S_j^{Max} \right); \alpha_3 \geq 0 \\ F_j - \alpha_1 \left( (S_j^{Max} - S_j^{Min}) \alpha_2 + S_j^{Max} \right); \alpha_3 < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Trong đó,  $S_j^1$  là vị trí con dẫn đầu ở biến thứ  $j$ ;  $F_j$  được coi là vị trí của nguồn thực phẩm (giải pháp tốt nhất hiện tại) ở biến thứ  $j$ ;  $\alpha_1$  là một thông số liên quan đến sự cân bằng giữa khám phá và khai thác, và  $\alpha_1$  có thể được xác định bởi công thức (13):

$$\alpha_1 = 2e^{\mathcal{G}} \& \mathcal{G} = -\left( \frac{4 \times Ite}{N^{Ite}} \right)^2 \quad (13)$$

Trong (13),  $Ite$  là số vòng lặp hiện tại. Còn các thông số còn lại như  $\alpha_2$  và  $\alpha_3$  là các số được phát ra ngẫu nhiên trong giới hạn từ 0 đến 1.

Cho việc cập nhật các giải pháp còn lại (con theo sau) thì công thức (14) được áp dụng:

$$S_j^i = \frac{1}{2} \cdot (S_j^i - S_j^{i-1}); j = 1, \dots, N^{dem} \text{ và } i = 2, \dots, N^{pop} \quad (14)$$

**Bước 5:** Hiệu chỉnh tất cả các biến trong mỗi giải pháp để đảm bảo tất cả các giải pháp được tạo ra nằm trong giới hạn xác định trước của  $[S_j^{Min}, S_j^{Max}]$ . Nếu có biến thứ  $j$  lớn hơn giới hạn của  $S_j^{Max}$  thì biến đó sẽ được gán bằng  $S_j^{Max}$  và ngược lại, nếu có biến thứ  $j$  nhỏ hơn giới hạn của  $S_j^{Min}$  thì biến đó sẽ được gán bằng  $S_j^{Min}$ .

**Bước 6:** Thực hiện việc đánh giá chất lượng của các giải pháp mới được tạo ra bằng công thức (15):

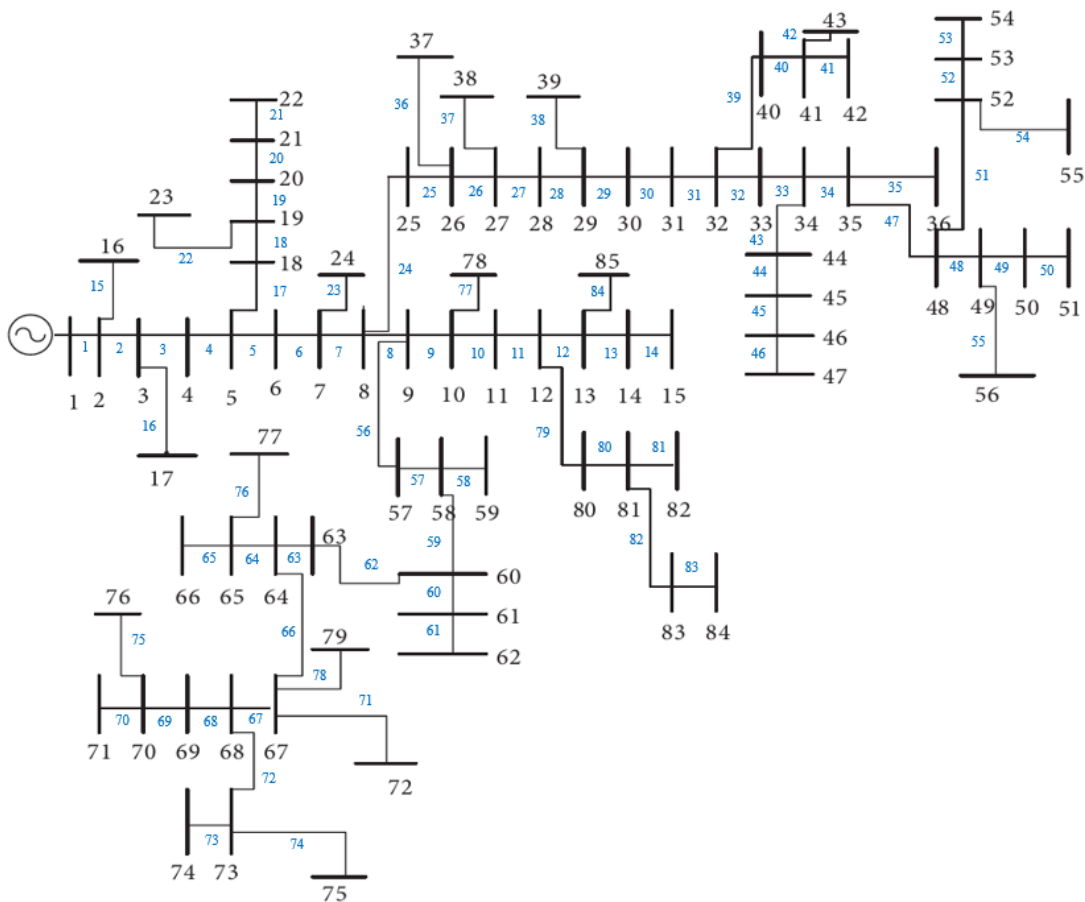
$$FIT_i = MF_i + (\rho \times Pen_i); i = 1, \dots, N^{Pop} \quad (15)$$

**Bước 7:** Thực hiện so sánh giá trị hàm đánh giá của các giải pháp để giữ lại các giải pháp có chất lượng tốt cho vòng lặp tiếp.

**Bước 8:** Lặp lại bước 4 cho đến khi điều kiện dừng được thỏa ( $Ite > N^{Ite}$ ).

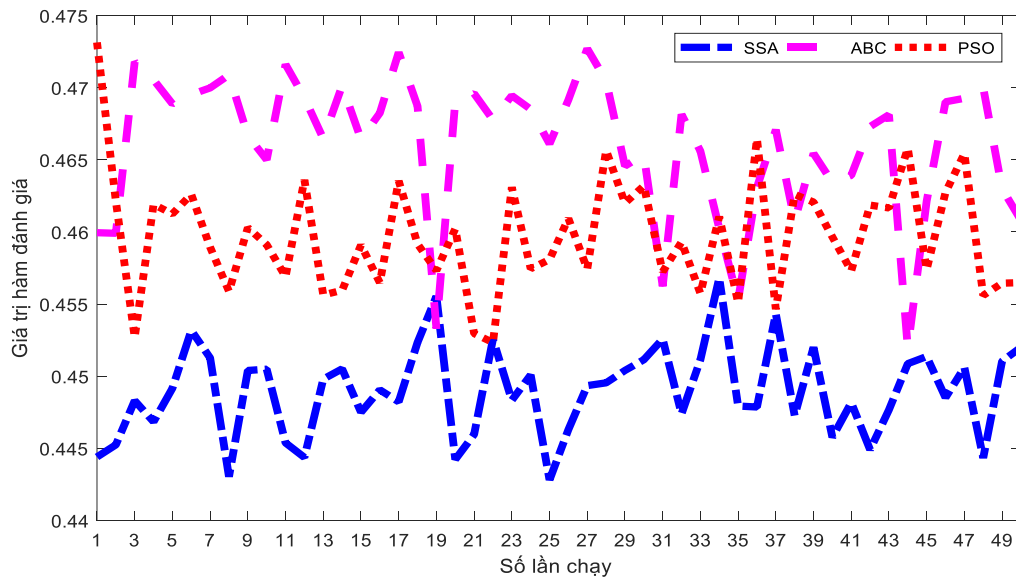
#### 4. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Nghiên cứu này lựa chọn hệ thống IEEE 85 nút để thực hiện việc mô phỏng xác định vị trí kết nối và công suất lắp đặt tối ưu cho DGs. Hệ thống này có tổng công suất tải là 2.5703 MW/ 2.6221 MW và đang vận hành ở cấp điện áp 11 kV. Sơ đồ của hệ thống được vẽ như Hình 1, và các dữ liệu của lưới điện (nhánh và tải) được lấy từ nghiên cứu [17]. Để đánh giá một cách khách quan, các thông số chung mà được thiết lập ban đầu cho ba giải thuật thực thi gồm một giải thuật đề xuất (SSA) và hai giải thuật so sánh (PSO và ABC) được lựa chọn giống nhau. Một cách cụ thể,  $N^{Ite}$ ,  $N^{Pop}$  và  $N^{Tri}$  được chọn một cách tương ứng là 200, 30 và 50 thông qua khảo sát. Bên cạnh đó, các thông số riêng của từng giải thuật cho SSA, PSO và ABC cũng được tham chiếu tương ứng từ các công bố trước đây như [12], [18] và [19]. Như đã đề cập, ba DGs được xem xét cho việc kết nối trong lưới phân phối. Do đó,  $N^{dem}$  là 6 với ba biến cho vị trí lắp đặt mà nằm trong giới hạn từ nút thứ 2 đến nút thứ 85, và ba biến cho công suất, trong đó mỗi biến sẽ chỉ thay đổi trong phạm vi từ 0.0 đến 2.0 (MW). Mặt khác, các giá trị cho các trọng số của hàm mục tiêu ( $\omega_1$  &  $\omega_2$ ) cũng được xác định tùy thuộc vào mức độ quan trọng của mỗi thành phần trong hàm mục tiêu, và trong nghiên cứu này, mục tiêu liên quan đến sự giảm tổn thất công suất được xem xét là nhiều sự quan trọng hơn so với mục tiêu cải thiện điện áp. Do đó, giá trị của trọng số liên quan đến tổn thất công suất ( $\omega_1$ ) được chọn là 0.8 và giá trị trọng số liên quan đến điện áp ( $\omega_2$ ) là 0.2.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống IEEE 85 nút

Do đặc tính của các giải thuật meta-heuristic nên 50 lần chạy thử được thực hiện với dân số ban đầu được tạo một cách ngẫu nhiên. Kết quả thu thập được từ các lần chạy thử của SSA, PSO và ABC được trình bày như Hình 2 cho việc so sánh. Một cách rõ ràng, các giá trị của hàm đánh giá được tìm ra trong các lần chạy thử từ SSA thì đa phần thấp hơn so với các giải thuật so sánh khác như PSO và ABC. Các giá trị này càng thấp thì càng tốt. Một cách cụ thể, giá trị hàm đánh giá của SSA chỉ dao động trong giới hạn từ 0.4428 tới 0.4568, trong khi đó PSO là từ 0.4523 tới 0.4731 và ABC là từ 0.4519 đến 0.4727. Điều này cho thấy các giải pháp được tìm ra bởi SSA thì tốt hơn các giải thuật còn lại. Giải pháp tốt nhất từ SSA có giá trị hàm đánh giá là 0.4428 và giá trị này thấp hơn 2.10% so với PSO và thấp hơn 2.01% so với ABC. Hay nói cách khác, chất lượng của các giải pháp được tìm ra bởi giải thuật SSA thì tốt hơn các giải thuật khác.



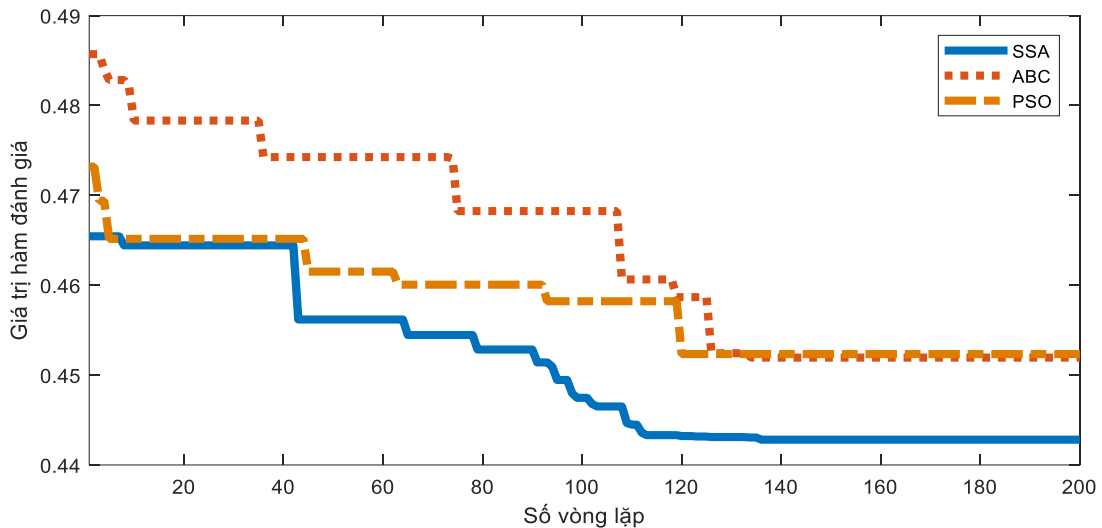
Hình 2. Giá trị hàm đánh giá trong các lần chạy ngẫu nhiên

Bên cạnh đó, giải pháp tốt nhất, giá trị hàm đánh giá tốt nhất, kém nhất và trung bình cũng được thống kê như Bảng 1. Trong các lần chạy thử thì giá trị hàm đánh giá tốt nhất của SSA, PSO và ABC được xác định với các giá trị lần lượt là 0.4428, 0.4523 và 0.4519. Giá trị này của SSA thì nhỏ nhất nên điều này đã cho thấy rằng SSA đã tìm ra giải pháp tối ưu tốt nhất. Hơn thế nữa, giá trị trung bình của hàm đánh giá cũng được tính toán. Giá trị này thể hiện mức độ ổn định của mỗi giải thuật. Như Bảng 1 đã biểu thị, giá trị trung bình của hàm đánh giá từ SSA (0.4490) cũng thấp hơn so với PSO (0.4597) và ABC (0.4661). Hơn nữa, mức độ lệch giữa giá trị tốt nhất và giá trị trung bình của SSA thì cũng hẹp nhất, chỉ là 0.0062, trong khi đó, mức độ lệch này tương ứng cho PSO và ABC lên tới 0.0074 và 0.0142.

Bảng 1. Giá trị hàm đánh giá tốt nhất, trung bình và kém nhất, và giải pháp tốt nhất cho DGs trong các lần chạy ngẫu nhiên

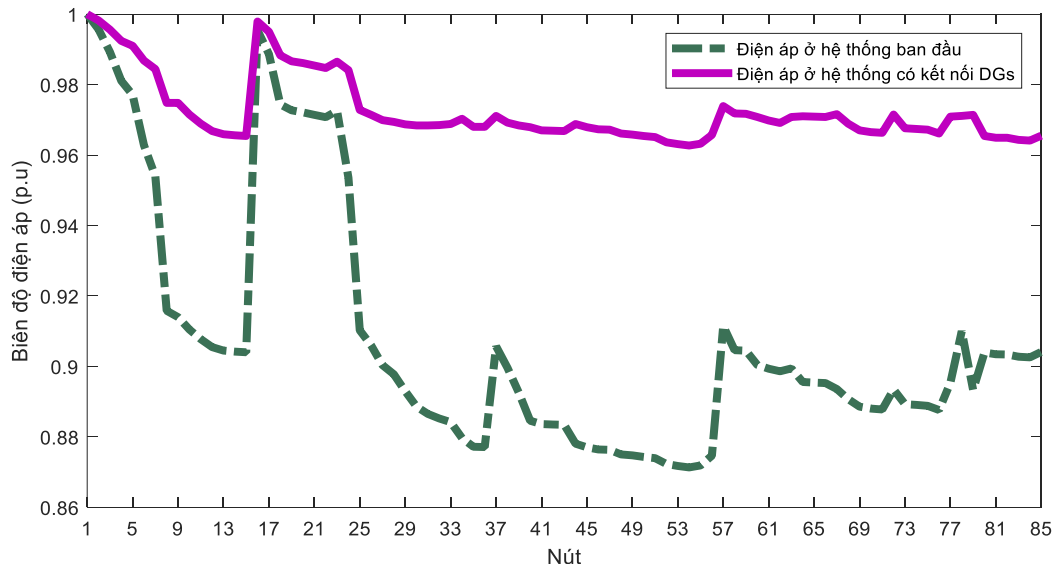
Giải thuật sử dụng	PSO	ABC	SSA
Giá trị kém nhất hàm đánh giá	0.4731	0.4727	0.4568
Giá trị trung bình hàm đánh giá	0.4597	0.4661	0.4490
Giá trị tốt nhất hàm đánh giá	0.4523	0.4519	0.4428
Giải pháp tối ưu tốt nhất (vị trí & công suất lắp đặt)	Nút thứ 60 & 0.6495 MW; Nút thứ 10 & 0.8524 MW; Nút thứ 34 & 0.9612 MW.	Nút thứ 34 & 0.9240 MW; Nút thứ 11 & 0.8237 MW; Nút thứ 60 & 1.0028 MW.	Nút thứ 34 & 0.8001 MW; Nút thứ 09 & 1.1563 MW; Nút thứ 67 & 0.6138 MW.

Thêm vào đó, như Hình 3 đã vẽ, đường cong hội tụ của SSA cũng tốt hơn và có xu hướng hội tụ nhanh hơn so với PSO và ABC. Từ đó, có thể tuyên bố rằng giải thuật đề xuất (SSA) không chỉ có hiệu suất nổi trội hơn mà còn có sự ổn định và đặc tính hội tụ cũng tốt hơn so với các giải thuật khác như PSO và ABC trong nghiên cứu này. Để đạt được điều này, các phương trình cập nhật nghiệm trong quá trình lặp để tìm kiếm giải pháp tối ưu của SSA thì hiệu quả hơn so với PSO và ABC. SSA có khả năng cân bằng giữa quá trình khai thác và khám phá các giải pháp tiềm năng, cùng với khả năng né tránh bẫy tối ưu cục bộ hiệu quả. Chính vì những ưu điểm này của giải thuật đề xuất mà đã góp phần quan trọng trong việc nâng cao sự hiệu suất và tính ổn định trong việc giải quyết các bài toán tối ưu.



**Hình 3.** Đặc tính hội tụ của SSA, ABC và PSO

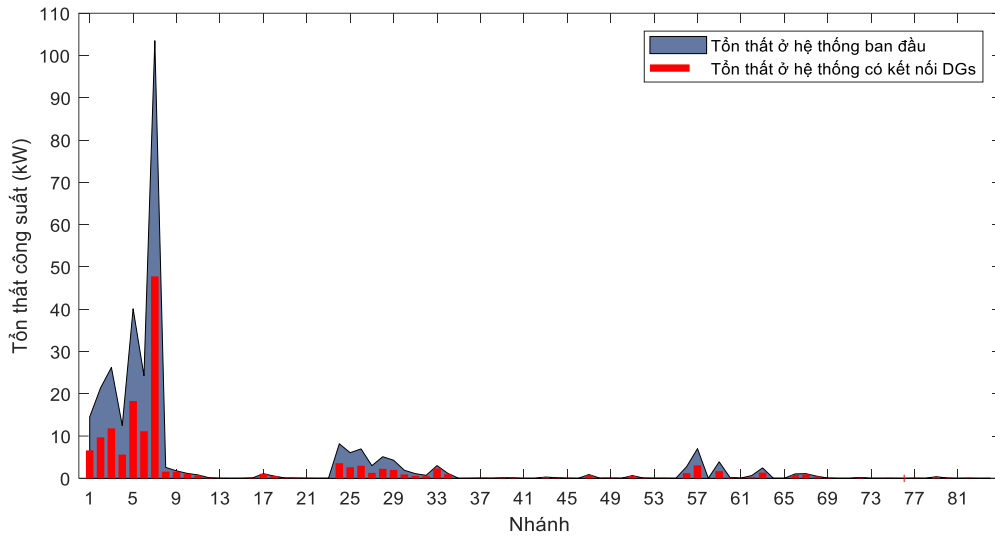
Để cho thấy phúc lợi tuyệt vời của việc kết nối DGs vào lưới phân phối thì giải pháp tốt nhất của giải thuật đề xuất được áp dụng trong hệ thống thử nghiệm. Kết quả thu được về sự cải thiện điện áp lưới được trình bày như Hình 4.



**Hình 4.** Điện áp nút trước và sau khi kết nối DGs

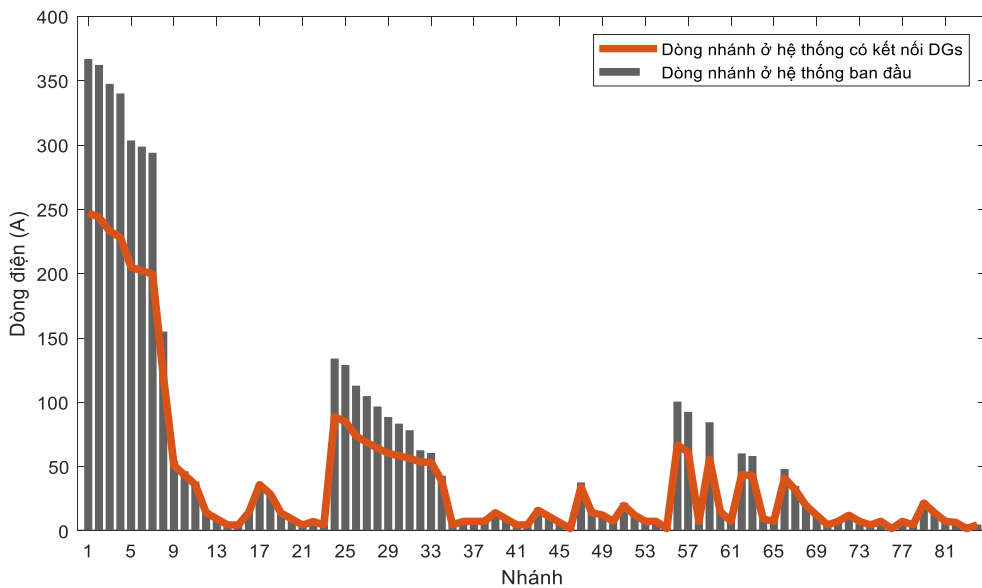
Trong lưới điện ban đầu, khi chưa có sự kết nối các DGs, điện áp nút yếu nhất có giá trị là 0.8713 (p.u), nhưng sau khi có sự xâm nhập phù hợp của DGs, thì điện áp yếu nhất được cải thiện lên tới 0.9627 (p.u). Với vùng điện áp [0.9627, 1.00] (p.u) đã hoàn toàn thỏa mãn điều kiện ban đầu về giới hạn điện

áp của lưới [0.95, 1.05] (p.u). Bên cạnh lợi ích trong việc giảm độ sụt điện áp thì một lợi ích khác liên quan đến tính kinh tế - kỹ thuật cũng đã đạt được, đó là sự giảm tổn thất công suất trong hệ thống.



**Hình 5.** Tổn thất công suất nhánh trước và sau khi kết nối DGs

Giống như Hình 5 đã miêu tả, tổn thất công suất trên hầu hết các nhánh đều được cắt giảm một cách mạnh mẽ sau khi có sự xâm nhập phù hợp từ các DGs vào lưới điện. Một cách cụ thể, trong hệ thống ban đầu khi chưa có sự kết nối các DGs, thì tổn thất công suất lớn nhất là ở nhánh thứ 7 với giá trị là 103.4888 (kW), nhưng sau khi áp dụng giải pháp của giải thuật đề xuất thì tổn thất nhánh thứ 7 này đã giảm xuống còn 47.7599 (kW), tương ứng với sự giảm của 53.85% so với trường hợp ban đầu. Để đánh giá tổng quan sự giảm tổn thất sau khi kết nối DGs thì tổng tổn thất công suất của toàn bộ hệ thống được tính toán. Ở trường hợp ban đầu, tổng tổn thất công suất lên tới 316.1034 (kW) cho toàn bộ các nhánh trong hệ thống, tuy nhiên, nhờ sự kết nối phù hợp về vị trí lắp đặt cũng như là công suất phát của các nguồn phân tán DGs vào lưới mà tổng tổn thất công suất hệ thống đã giảm chỉ còn 151.1530 (kW). Sự giảm tổn thất công suất lên tới 52.18% đã góp phần to lớn trong việc giảm chi phí vận hành trong suốt giai đoạn dự án. Qua đó, chứng minh phức lợi về kinh tế - kỹ thuật đạt được khi có sự xâm nhập phù hợp của DGs.



**Hình 6.** Dòng điện nhánh trước và sau khi kết nối DGs

Mặt khác, cũng nhờ giải pháp từ giải thuật đề xuất mà dòng điện trên các nhánh cũng đã được giảm thiểu một cách đáng kể như Hình 6 đã biểu thị. Như một ví dụ cho nhánh điển hình, trong hệ thống ban đầu, dòng điện cao tập trung ở các nhánh đầu nguồn, trong đó dòng điện nhánh lớn nhất là 366.8820 (A) ở nhánh thứ nhất. Tuy nhiên, nhờ sự phân tán vị trí kết nối phù hợp cho các nguồn phát DGs nên dòng điện trên các nhánh của hệ thống đã giảm xuống một cách đáng kể. Trong trường hợp này, dòng điện lớn nhất ở nhánh thứ nhất chỉ còn lại là 247.3009 (A) sau khi có sự lắp đặt các DGs vào lưới phân phối, tương ứng với sự giảm dòng điện trên nhánh lên tới 32.59%. Điều này góp phần làm giảm thiểu sự tắc nghẽn trên các nhánh trong quá trình truyền tải. Tất cả những kết quả trên đã minh chứng cho các lợi ích tuyệt vời của việc kết nối các nguồn phát phân tán trong lưới điện về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế.

## 5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, một giải thuật tích cực mà gọi là SSA được đề xuất cho việc xác định vị trí và công suất lắp đặt cho ba DGs trong lưới phân phối IEEE 85 nút nhằm giảm thiểu tổng tổn thất công suất và nâng cao điện áp lưới. Kết quả thu được từ sự mô phỏng đã chứng minh SSA không chỉ có hiệu suất vượt trội hơn PSO và ABC mà còn có độ ổn định và đặc tính hội tụ tốt hơn. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã chứng minh lợi ích to lớn về kinh tế - kỹ thuật trong việc kết nối DGs trong lưới điện. Nhờ sự xâm nhập của DGs mà điện áp được cải thiện từ vùng  $[0.8713, 1.00]$  (p.u) lên vùng  $[0.9627, 1.00]$  (p.u), và tổng tổn thất công suất cũng như dòng điện lớn nhất trong các nhánh phân phối cũng có sự giảm một cách tương ứng lên tới 52.18% và 32.59%. Qua đó cho thấy những lợi ích tuyệt vời của việc tích hợp DGs trong lưới phân phối.

## Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm của đề tài Cấp Trường mã số T2025-192 dưới sự tài trợ của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.


## Xung đột lợi ích


Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.


## TÀI LIỆU THAM KHẢO


- [1] A. Eid, S. Kamel, A. Korashy, and T. Khurshaid, "An enhanced artificial ecosystem-based optimization for optimal allocation of multiple distributed generations," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 178493-178513, 2020.
- [2] T. H. B. Huy, D. N. Vo, K. H. Truong, and T. V. Tran, "Optimal distributed generation placement in radial distribution networks using enhanced search group algorithm," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 103288-103305, 2023.
- [3] S. A. Adegoke, Y. Sun, A. S. Adegoke, and D. Ojeniyi, "Optimal placement of distributed generation to minimize power loss and improve voltage stability," *Heliyon*, vol. 10, no. 21, e39298, 2024.
- [4] K. Bhumkittipich and W. Phuangpornpitak, "Optimal placement and sizing of distributed generation for power loss reduction using particle swarm optimization," *Energy procedia*, vol. 34, pp. 307-317, 2013.
- [5] K. Mahesh, P. A. Nallagownden, and I. A. Elamvazuthi, "Optimal placement and sizing of DG in distribution system using accelerated PSO for power loss minimization," In *2015 IEEE conference on energy conversion (CENCON)*, IEEE, pp. 193-198, Oct. 2015.
- [6] S. Angalaeswari and K. Jamuna, "Optimal placement and sizing of real power supporting DG in radial distribution networks," In *2015 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, IEEE, pp. 342-345, Dec. 2015.
- [7] T. O. Ajewole, A. B. Balogun, M. O. Lawal, O. D. Momoh, and A. A. Olawuyi, "A Genetic Algorithm Approach to Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation on Nigerian Radial Feeders," *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, vol. 41, no. 4, pp. 192-204, 2022.
- [8] I. Pisica, C. Bulac, and M. Eremia, "Optimal distributed generation location and sizing using genetic algorithms," In *2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems*, IEEE, pp. 1-6, Nov. 2009.
- [9] E. A. Al-Ammar, K. Farzana, A. Waqar, M. Aamir, A. U. Haq, M. Zahid, and M. Batool, "ABC algorithm based optimal sizing and placement of DGs in distribution networks considering multiple objectives," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 697-708, 2021.
- [10] R. Deshmukh and A. Kalage, "Optimal placement and sizing of distributed generator in distribution system using artificial bee colony algorithm," In *2018 IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking (GCWCN)*, IEEE, pp. 178-181, Nov. 2018.
- [11] S. M. Ismael, S. H. A. Aleem, and A. Y. Abdelaziz, "Optimal sizing and placement of distributed generation in Egyptian radial distribution systems using crow search algorithm," In *2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, IEEE, pp. 332-337, Feb. 2018.
- [12] S. Mirjalili, A. H. Gandomi, S. Z. Mirjalili, S. Saremi, H. Faris, and S. M. Mirjalili, "Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems," *Advances in engineering software*, vol. 114, pp. 163-191, 2017.

- [13] T. D. Pham and T. T. Nguyen, "Minimize renewable distributed generator costs while achieving high levels of system uniformity and voltage regulation," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 6, 102720, 2024.
- [14] A. Augugliaro, L. Dusonchet, S. Favuzza, M. G. Ippolito, and E. R. Sanseverino, "A new backward/forward method for solving radial distribution networks with PV nodes," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, no. 3, pp. 330-336, 2008.
- [15] M. Q. Duong, T. D. Pham, T. T. Nguyen, A. T. Doan, and V. H. Tran, "Determination of optimal location and sizing of solar photovoltaic distribution generation units in radial distribution systems," *Energies*, vol. 12, no. 1, 174, 2019.
- [16] G. W. Chang and N. C. Chinh, "Coyote optimization algorithm-based approach for strategic planning of photovoltaic distributed generation," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 36180-36190, 2020.
- [17] O. D. Montoya, W. Gil-González, and J. C. Hernández, "Efficient integration of fixed-step capacitor banks and D-STATCOMs in radial and meshed distribution networks considering daily operation curves," *Energies*, vol. 16, no. 8, 3532, 2023.
- [18] D. Pandey and J. S. Bhadoriya, "Optimal placement & sizing of distributed generation (DG) to minimize active power loss using particle swarm optimization (PSO)," *International journal of scientific & technology research*, vol. 3, no. 17, 2014.
- [19] S. Sajeevan and N. Padmavathy, "Optimal allocation and sizing of distributed generation using artificial bee colony algorithm," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 3, no. 2, pp. 1244-1252, 2016.

**Dinh Phu Nguyen** was born in Vietnam in 1972. He graduated from Ho Chi Minh City University of Technology and Education with a B.S degree in Electrical and Electronics Engineering in 1995 and a M.S degree in Electronic and Communication from Ho Chi Minh City Polytechnic University, in 2003. Since 1995, he has been a lecturer in the Faculty of Electrical and Electronics at Ho Chi Minh City University of Technology and Education. His research interests include the design of microcontroller practice kits, digital practice kits, microcontroller application controllers and FPGA chips. He has written teaching books on microprocessors, practical books on microcontrollers, and practicing digital IC design using VHDL. Email: [phund@hcmute.edu.vn](mailto:phund@hcmute.edu.vn). ORCID:  <https://orcid.org/0009-0001-4761-4777>.

**Anh Tuan Nguyen** was born in Khanh Hoa province, Vietnam. He received his M.Sc. degree from Ho Chi Minh City University of Technology and Education in 2007. His research interests include renewable energy sources, optimization problems in power systems, and optimization algorithms. Now, he is working at Ho Chi Minh City Industry and Trade College, and he is currently the vice-principal of the college. Email: [tuanna.ncs@hcmute.edu.vn](mailto:tuanna.ncs@hcmute.edu.vn). ORCID:  <https://orcid.org/0009-0006-8415-2782>.

**Chi Kien Le** received the M.Eng. and Ph.D. degrees in electrical engineering from Nagaoka University of Technology, Japan in 2002 and 2005. From 2015, he serves as an Associate Professor of the Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education. His research interests include optimization algorithms in power systems and Magnetohydrodynamic power generation system. Currently, he is the Vice Dean, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam. Email: [kienlc@hcmute.edu.vn](mailto:kienlc@hcmute.edu.vn). ORCID:  <https://orcid.org/0000-0001-8394-5576>.

**Dinh Thai Pham** received the M.S.E.E degree with an outstanding academic record from the National Chung Cheng University in Taiwan, R.O.C in 2017. He is currently working as an offshore staff at the Black Lion oil & gas field (BL. 15-1), Cuu Long Joint Operating Company, PetroVietnam Exploration Production Corporation, Vietnam. His favorite research areas include power quality, power system optimization and renewable energies. Email: [pham.d.thai@cljoc.com.vn](mailto:pham.d.thai@cljoc.com.vn). ORCID:  <https://orcid.org/0000-0002-8116-5821>