

Ứng dụng phương pháp Search Group Algorithm tính toán tối ưu phân bố nguồn năng lượng phân tán

Trương Hoàng Bảo Huy¹, Võ Ngọc Điều^{2,3}, Trần Văn Thành^{4,*}

¹Khoa Công Nghệ Hội Tụ Tương Lai, Đại học Soonchunhyang, Asan, Chuncheonnam, Hàn Quốc.

²Bộ môn Hệ Thống Điện, Khoa Điện – Điện Tử, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh (HCMUT), 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP. HCM, Việt Nam.

³Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam.

⁴Viện Kỹ Thuật – Công Nghệ, Trường Đại học Thủ Dầu Một, Tỉnh Bình Dương, Việt Nam.

Liên hệ

Trần Văn Thành, Viện Kỹ Thuật – Công Nghệ, Trường Đại học Thủ Dầu Một, Tỉnh Bình Dương, Việt Nam.

Email: thanhtv@tdmu.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 22-5-2023
- Ngày chấp nhận: 26-9-2023
- Ngày đăng: 30-9-2023

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v6i3.1100>



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Việc tích hợp các nguồn năng lượng phân tán (DG) trong lưới điện phân phối ngày càng phổ biến trên toàn thế giới do cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch, ô nhiễm môi trường và sự nóng lên toàn cầu. Bài báo này đề xuất phương pháp Search Group Algorithm (SGA) để xác định vị trí, công suất, và số lượng tối ưu của các DG trong lưới điện phân phối. Phương pháp SGA có khả năng tìm kiếm giải pháp tối ưu tốt nhờ khả năng cân bằng giữa giai đoạn tìm kiếm toàn cục và tìm kiếm cục bộ trong quá trình tối ưu hóa. Mục tiêu của bài toán phân bố tối ưu DG là giảm thiểu tổn hao công suất của lưới điện phân phối tuân theo các ràng buộc của hệ thống như cân bằng công suất, giới hạn điện áp nút, giới hạn dòng điện nhánh, giới hạn công suất DG, và giới hạn mức độ thâm nhập của DG. Phương pháp đề xuất được ứng dụng vào lưới điện phân phối IEEE 33 nút và 69 nút với hai trường hợp khác nhau. Sau khi tích hợp DG vào lưới điện phân phối, tỉ lệ giảm tổn hao công suất giảm lần lượt là 70,14% và 70,23% đối với lưới điện phân phối 33 nút và 69 nút. Các kết quả thu được từ phương pháp SGA đã được so sánh với các phương pháp khác trong tài liệu. Kết quả mô phỏng đã chứng minh rằng phương pháp SGA có hiệu suất tốt đối với bài toán phân bố tối ưu DG trong lưới điện phân phối.

Từ khoá: Search group algorithm, nguồn năng lượng phân tán, tổn hao công suất, lưới điện phân phối

GIỚI THIỆU

Việc phát triển các nguồn năng lượng phân tán (DG) từ nguồn năng lượng tái tạo, được kết nối vào lưới điện phân phối (LĐPP) rất phổ biến hiện nay do nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng cao. Các tổ máy DG có thể là hệ thống pin mặt trời, hệ thống turbin gió, hệ thống pin nhiên liệu, turbin công suất nhỏ, hệ thống năng lượng sóng biển, thủy triều, hệ thống bio-gas, hệ thống máy phát dầu, hệ thống máy phát khí, hệ thống năng lượng địa nhiệt, máy phát điện động cơ đốt trong¹. Việc lắp đặt các tổ máy DG vào LĐPP có một số ưu điểm chính bao gồm giảm tổn hao công suất điện, cải thiện điện áp nút, giảm tác động phát thải và cải thiện chất lượng điện năng. Vì những lợi ích này, các công ty điện lực đã bắt đầu thay đổi cơ sở hạ tầng để đáp ứng với sự thâm nhập của các tổ máy DG vào LĐPP. Trên cơ sở những lợi ích đã nêu, bài toán tối ưu phân bố DG (ODGP) được đặt ra nhằm xác định vị trí và công suất tối ưu của các tổ máy DG sẽ được lắp đặt vào các LĐPP đồng thời đáp ứng các ràng buộc vận hành LĐPP và các ràng buộc vận hành DG. Ngoài vị trí và công suất tối ưu của các DG, số lượng DG tối ưu cũng cần được xem xét vì một số lượng lớn các DG trong LĐPP có thể gây ra tác động tiêu cực đến LĐPP như quá điện áp, quá tải và tăng

tổn hao công suất. Vì vậy, bài toán xác định vị trí và công suất tối ưu của DG đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trong và ngoài nước.

Một số phương pháp cổ điển đã được đề xuất để giải quyết bài toán ODGP như phương pháp gradient², quy hoạch tuyến tính (LP)³, quy hoạch phi tuyến tính (NLP)⁴, lập trình bậc hai tuần tự (SQP)⁵ và quy hoạch động (DP)⁶. Nhìn chung, các phương pháp cổ điển có thể dễ dàng tìm ra lời giải tối ưu cho bài toán tối ưu quy mô nhỏ trong thời gian rất ngắn. Tuy nhiên, các phương pháp này gặp khó khăn, không hội tụ, hoặc tốn nhiều thời gian tính toán khi giải các bài toán quy mô lớn do không gian tìm kiếm lớn. Gần đây, các phương pháp tối ưu hoá meta-heuristic đã trở nên phổ biến để giải quyết bài toán ODGP do ưu điểm là khả năng tìm ra giải pháp gần tối ưu cho các bài toán tối ưu hóa phức tạp. Các phương pháp meta-heuristic đã được áp dụng để giải quyết bài toán ODGP như Genetic Algorithm (GA)⁷⁻⁹, article warm Optimization (PSO)¹⁰⁻¹⁴, Artificial ee Colony (ABC)¹⁵, Cuckoo Search (CS)¹⁶, Backtracking Search Optimization Algorithm (BSOA)¹⁷, Ant Lion Optimizer (ALO)¹⁸, Krill Herd Algorithm (KHA)¹⁹, Stochastic Fractal Search (SFS)²⁰, Chaotic Symbiotic Organism Search (CSOS)²¹, Quasi-Opportunistic Swine

Trích dẫn bài báo này: Huy T H B, Điều V N, Thành T V. Ứng dụng phương pháp Search Group Algorithm tính toán tối ưu phân bố nguồn năng lượng phân tán. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2023; 6(3):2000-2009.

Influenza Model-Based Optimizer with Quarantine (QOSIMBO-Q)²², Quasi-Operational Teaching Learning Based Optimizer (QOTLBO)²³, Artificial Hummingbird Algorithm (AHA)²⁴, Capuchin earch Algorithm (CapSA)²⁵, Chimp Optimizer (CO)²⁶, và Wild Horse Optimization (WHO)²⁷. Ngoài ra, các phương pháp lai cũng đã được áp dụng rộng rãi để giải quyết bài toán như phương pháp lai PSO và GA^{28,29}, phương pháp lai GA và Intelligent Water Drops (IWD)³⁰ để cải thiện hiệu suất so với các phương pháp độc lập. Các phương pháp lai thường thu được chất lượng giải pháp tốt hơn so với các phương pháp độc lập, nhưng các phương pháp lai có thời gian tính toán lớn hơn và triển khai phức tạp hơn do xử lý nhiều tham số điều khiển.

Các phương pháp được thảo luận ở trên đã thu được kết quả tốt trong việc xác định vị trí và công suất tối ưu của các đơn vị DG. Tuy nhiên, các phương pháp kể trên có thể gặp phải vấn đề về tối ưu hóa cục bộ và chi phí tính toán lớn đối với các vấn đề phức tạp. Hơn nữa, hầu hết các nghiên cứu đã đề cập không xem xét số lượng tổ máy DG tối ưu có thể được tích hợp vào LĐPP. Do đó, phát triển một phương pháp tính toán mới là cần thiết để xác định số lượng DG tối ưu, vị trí và công suất tối ưu một cách hiệu quả. Trong nghiên cứu này, phương pháp Search Group Algorithm (SGA) được đề xuất để xác định số lượng, vị trí và công suất tối ưu của các DG trong LĐPP. Thuật toán SGA là một phương pháp tối ưu hóa meta-heuristic được phát triển bởi Matheus Silva Goncalves³¹. Phương pháp này rất hiệu quả để giải quyết các bài toán tối ưu hóa khác nhau vì khả năng cân bằng giữa giai đoạn tìm kiếm toàn cục và tìm kiếm cục bộ. Phương pháp đề xuất đã được thử nghiệm trên các LĐPP IEEE 33 nút và 69 nút. Kết quả thu được từ phương pháp đề xuất đã được so sánh với kết quả từ các phương pháp khác trong tài liệu.

XÂY DỰNG BÀI TOÁN

Mục tiêu của bài toán tối ưu phân bố nguồn điện phân tán DG (ODGP) là xác định vị trí đặt và công suất phát của các DG để tối thiểu tổn hao công suất trong lưới điện phân phối (LĐPP), đồng thời duy trì tất cả các ràng buộc hoạt động của hệ thống như sau:

$$P_L = \sum_{l=1}^{N_L} R_l I_l^2 \quad (1)$$

trong đó N_L là tổng số nhánh, P_L là tổn hao công suất tác dụng, R_k là điện trở của nhánh thứ k và I_k là dòng điện của nhánh thứ k .

Bài toán tối ưu phân bố DG phải thỏa mãn các ràng buộc sau:

- Cân bằng công suất: Công suất của LĐPP phải được cân bằng theo phương trình:

$$P_{SS} + \sum_{n=1}^{N_{DG}} P_{DG,k} = \sum_{k=1}^{N_B} P_{D,k} + \sum_{k=1}^{N_L} P_{L,k} \quad (2)$$

$$Q_{SS} + \sum_{k=1}^{N_{DG}} Q_{DG,k} = \sum_{k=1}^{N_B} Q_{D,k} + \sum_{k=1}^{N_L} Q_{L,k} \quad (3)$$

trong đó P_{SS} và Q_{SS} lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng phát tại thanh cái; $P_{DG,k}$ và $Q_{DG,k}$ lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng của DG thứ k ; $P_{D,k}$ và $Q_{D,k}$ lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng tại nút phụ tải thứ k ; $P_{L,k}$ và $Q_{L,k}$ lần lượt là tổn hao công suất tác dụng và công suất phản kháng của nhánh thứ k ; và N_{DG} là tổng số nguồn phân tán DG được lắp đặt vào LĐPP.

- Giới hạn điện áp nút và dòng điện nhánh: Giới hạn điện áp nút và dòng điện nhánh phải nằm trong phạm vi cho phép

$$V_{min,k} \leq V_k \leq V_{max,k}; k = 1, \dots, N_B \quad (4)$$

$$|I_k| \leq |I_{max,k}|; k = 1, \dots, N_L \quad (5)$$

trong đó V_k biểu thị cường độ điện áp tại nút thứ k , $V_{min,k}$ và $V_{max,k}$ lần lượt là các giới hạn điện áp tối đa và tối thiểu của nút thứ k ; và $I_{max,k}$ là giới hạn hiện công suất của nhánh thứ k .

- Giới hạn công suất DG: Công suất phát DG phải nằm trong giới hạn cho phép:

$$P_{DGmin,k} \leq P_{DG,k} \leq P_{DGmax,k}; k = 1, \dots, N_{DG} \quad (6)$$

trong đó $P_{DGmin,k}$ và $P_{DGmax,k}$ lần lượt là các giới hạn công suất tác dụng tối thiểu và tối đa của DG thứ k .

- Giới hạn mức độ thâm nhập của DG: Tổng công suất phát của các DG phải nằm trong giới hạn nhỏ hơn tổng công suất nhu cầu phụ tải hệ thống:

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG,i} \leq \sum_{j=1}^{N_B} P_{D,i} \quad (7)$$

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp Search Group Algorithm (SGA)

Phương pháp SGA được phát triển bởi Matheus Silva Goncalves³¹. Phương pháp này có điểm mạnh là tạo ra sự cân bằng tốt giữa tìm kiếm và khai thác trong không gian tìm kiếm. Ý tưởng cơ bản là trong các lần đầu tiên của quá trình tối ưu hóa, SGA cố gắng tìm kiếm các khu vực triển vọng trong không gian tìm kiếm, và SGA sẽ tinh chỉnh các giải pháp tốt nhất trong mỗi khu vực có triển vọng đó qua các lần lặp sau. Các bước của phương pháp SGA được mô tả chi tiết như sau:

Tập hợp ban đầu P được tạo ngẫu nhiên trong miền tìm kiếm:

$$X_i = X_{min} + rand_i(X_{max} - X_{min}), \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n_p$$

trong đó n_p is kích thước tập hợp, X_i là véc tơ giải pháp thứ i trong tập hợp ban đầu, $rand_i$ là một số ngẫu nhiên từ 0 đến 1, X_{min} và X_{max} lần lượt là giới hạn dưới và giới hạn trên của các biến điều khiển.

Sau khi tập hợp ban đầu P được tạo ra, hàm mục tiêu của mỗi cá thể được ước tính. Dựa trên giá trị hàm mục tiêu của các cá thể, nhóm tìm kiếm R được xây dựng bằng cách chọn n_g cá thể từ P . Để tăng khả năng tìm kiếm toàn cục của phương pháp, nhóm tìm kiếm R được biến đổi tại mỗi lần lặp. Chiến lược biến đổi bao gồm thay thế n_{mut} cá thể từ R bằng các cá thể mới được tạo ra dựa trên các số liệu thống kê của nhóm tìm kiếm hiện tại. Từ đó, mỗi cá thể mới được tạo ra như sau:

$$x_{j,mut} = E[R_{.,j}] + t\varepsilon\sigma[R_{.,j}]; \text{ for } j = 1, \dots, D, \quad (9)$$

trong đó $x_{j,mut}$ là biến điều khiển thứ j của một cá thể được biến đổi, E và σ lần lượt là giá trị toán tử trung bình và độ lệch chuẩn, ε là một biến ngẫu nhiên, t là một tham số điều khiển khoảng cách mà các cá thể mới được tạo ra, $R_{.,j}$ là cột thứ j của ma trận nhóm tìm kiếm, và D là tổng số biến điều khiển. Xác suất của một cá thể được thay thế phụ thuộc vào thứ hạng của nó trong tìm kiếm nhóm hiện tại, tức là các cá thể có giá trị hàm mục tiêu càng xấu sẽ có nhiều khả năng bị biến đổi.

Sau khi nhóm tìm kiếm được tạo ra và biến đổi, mỗi thành viên trong nhóm tìm kiếm tạo ra một tập hợp con như sau:

$$x_{j,new} = R_{ij} + \alpha; \text{ for } j = 1, \dots, n, \quad (10)$$

trong đó α là hằng số nhiễu loạn, tham số α được giảm qua mỗi lần lặp m của quá trình tìm kiếm. Việc cập nhật tham số α được cho bởi:

$$\alpha^{m+1} = b\alpha^m \quad (11)$$

trong đó b là một tham số của phương pháp SGA. Trong giai đoạn toàn cục, thành viên tốt nhất của mỗi tập hợp con sẽ được chọn để tạo ra nhóm tìm kiếm mới trong mỗi lần lặp. Trong giai đoạn cục bộ, quá trình lựa chọn này được điều chỉnh, và n_g giải pháp tốt nhất từ tất cả tập hợp con được chọn để tạo ra nhóm tìm kiếm mới nhằm khai thác khu vực triển vọng của các giải pháp tốt nhất.

Áp dụng phương pháp SGA vào bài toán xác định phân bố tối ưu DG

Các quá trình áp dụng phương pháp SGA để giải quyết bài toán xác định phân bố tối ưu DG được đưa ra như sau:

Bước 1: Khởi tạo dữ liệu cho bài toán tối ưu phân bố DG bao gồm dữ liệu của LĐPP (dữ liệu phụ tải và dòng nhánh), giới hạn cho phép đối với các biến điều khiển (vị trí đặt và công suất của DG) và các ràng buộc vận hành của hệ thống.

Bước 2: Chọn các tham số điều khiển của thuật toán SGA: n_p , n_g , n_{mut} , α , K , and G_{max} .

Bước 3: Khởi tạo ngẫu nhiên tập hợp ban đầu $X = [X_1, \dots, X_{n_p}]^T$, trong đó mỗi cá thể trong tập hợp X_i ($i = 1, \dots, n_p$) tương ứng véc tơ giải pháp, được biểu thị như sau:

$$X_i = [l_{DG,1}, \dots, l_{DG,N_{DG}}, s_{DG,1}, \dots, s_{DG,N_{DG}}] \quad (12)$$

trong đó $l_{DG,i}$ và $p_{DG,i}$ biểu thị vị trí lắp đặt và công suất phát của DG thứ i . Vị trí lắp đặt và công suất phát được khởi tạo như sau:

$$l_{DG,k} = \text{round} \times [l_{DGmin,k} + (l_{DGmax,k} - l_{DGmin,k}) \times \text{rand}(0, 1)] \quad (13)$$

$$p_{DG,i} = p_{DGmin,i} + \text{rank}(0, 1) \times (p_{DGmax,i} - p_{DGmin,i}) \quad (14)$$

trong đó $l_{DGmin,k} = 2$ và $l_{DGmin,k} = N_B$, chỉ ra rằng các DG có thể được tích hợp vào tất cả các nút trừ nút thanh cái.

Bước 4: Xác định giá trị hàm mục tiêu cho tất cả các giải pháp trong tập hợp P như sau:

$$f_{Tn} = f_n + K_p \sum_{i=1}^{N_B} (V_i - V_i^{lim})^2 + K_q \sum_{k=1}^{N_L} (I_k - I_k^{lim})^2 + K_v (PE_{DG} - PE_{DG}^{lim})^2 \quad (15)$$

trong đó K_p , K_q , and K_v là hệ số phạt cho các vi phạm ràng buộc tương ứng với điện áp nút, dòng điện, và mức độ thâm nhập của DG.

Bước 5: Tạo nhóm tìm kiếm ban đầu R^m bằng cách chọn n_g giải pháp tốt nhất từ tập hợp P . Đặt $m = 0$;

Bước 6: Đặt $m = m + 1$;

Bước 7: Biến đổi các cá thể trong nhóm tìm kiếm sử dụng phương trình (9);

Bước 8: Mỗi cá thể nhóm tìm kiếm tạo ra một tập hợp con F_i sử dụng phương trình (10);

Bước 9: Chọn nhóm tìm kiếm mới như sau:

- Giai đoạn toàn cục: nhóm tìm kiếm R^{m+1} được hình thành bằng cách chọn các giải pháp tốt nhất từ mỗi tập hợp con;
- Giai đoạn cục bộ: nhóm tìm kiếm R^{m+1} được hình thành bằng cách chọn n_g giải pháp từ tất cả các tập hợp con.

Bước 11: Cập nhật hệ số α^{m+1} sử dụng phương trình (11);

Bước 12: Nếu $m \leq Iter_{max}$, trở về bước 6 ngược lại, dừng quá trình tối ưu hóa.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu này kiểm tra hiệu suất của thuật toán SGA trên các LĐPP 33 nút và 69 nút. Đối với LĐPP 33 nút và 69 nút, số lượng DG được tích hợp là 3, với dung lượng DG trong khoảng từ 0 đến 3 MW. SGA đã được triển khai trên phần mềm MATLAB 2021b và toolbox Matpower 6.0³² được áp dụng để tính toán phân bố công suất. Các tham số điều khiển của SGA được thiết lập như sau: $n_p = 20$, $n_g = 4$, $n_{mut} = 1$, $\alpha = 2$, và $Iter_{max} = 100$. Phương pháp SGA được thực hiện độc lập 30 lần cho mỗi nghiên cứu để thu được kết quả tốt nhất.

LĐPP 33 nút

LĐPP 33 nút là một lưới điện quy mô nhỏ với tổng công suất nhu cầu của phụ tải hệ thống là 3,715 MW và 2,3 MVar³³. Điện áp cơ sở của LĐPP 33 nút là 12,66 kV. Tổn hao công suất tác dụng và phản kháng của LĐPP 33 nút lần lượt là 210,99 kW và 143,13 kVar.

Trường hợp 1: số DG cố định

Trong trường hợp 1, phương pháp SGA được thực hiện để giải bài toán phân bố DG với số lượng DG xác định trước lần lượt là 1, 2 và 3. Bảng 1 trình bày kết quả so sánh giữa SGA và các phương pháp khác trong tài liệu như HSA³⁴, GA²⁸, PSO²⁸, TLBO²³, và SOS³⁵ đối với LĐPP 33 nút. Từ Bảng 1, tổn hao công suất ban đầu là 210,99 kW, giảm xuống lần lượt là 114,46 kW, 87,17 kW và 72,79 kW khi lắp đặt lần lượt 1, 2, và 3 DG vào LĐPP 33 nút. Do đó, tỉ lệ giảm tổn hao công suất tương ứng là 45,75%, 58,69% và 65,50%.

Đối với trường hợp lắp đặt 1 DG, SGA xác định vị trí DG đặt tại nút 7 với công suất phát DG là 2,86 MW. Do đó, SGA thu được tổn hao công suất tác dụng là 114,46 kW, thấp hơn nhiều so với 144,23 kW từ HSA và 115,01 kW từ SOS. Đối với trường hợp lắp đặt 2 DG, SGA đã tối ưu phân bố các DG tại các nút 13 và 30 tương ứng với công suất DG là 0,85 MW và 1,16 MW. SGA thu được tổn hao công suất tốt nhất so với các thuật toán còn lại. Đối với trường hợp lắp đặt 3 DG,

SGA xác định vị trí tối ưu cho các DG tại nút 13, 24 và 30 với công suất DG lần lượt là 0,80 MW, 1,09 MW và 1,05 MW. Từ đó, SGA đạt được tổn hao công suất thấp nhất (72,79 kW) so với HSA (135,69 kW), GA (106,3 kW), PSO (105,35 kW), TLBO (124,69 kW), và SOS (104,26 kW). Từ các kết quả so sánh trong Bảng 1, SGA cho thấy chất lượng kết quả rất tốt cho LĐPP 33 nút.

Trường hợp 2: số DG tối ưu

Trong kịch bản này, ảnh hưởng của số lượng DG khác nhau đối với tổn hao công suất được đánh giá để xác định số DG tối ưu có thể lắp đặt vào LĐPP. Để thực hiện khảo sát này, số DG được tăng dần để đạt được tối thiểu tổn hao công suất mà vẫn đảm bảo mức thâm nhập DG cho phép từ đó xác định được số lượng DG tối ưu có thể lắp đặt vào LĐPP. Bảng 2 trình bày số DG tối ưu, tổng công suất phát tối ưu, và tổn hao công suất thu được từ phương pháp SGA. Từ Bảng 2, phương pháp SGA xác định số lượng DG tối ưu là 9 tương ứng tổn hao công suất là 63,01 kW (tỉ lệ giảm tổn hao là 70,14%). So sánh với phương pháp PSO³⁵ và SOS³⁵ trong nghiên cứu trước đây, SGA thu được tổn hao công suất thấp hơn với số DG tối ưu ít hơn. Điều này chứng tỏ hiệu suất của SGA tốt hơn hiệu suất của PSO và SOS về chất lượng giải pháp.

Hình 1 mô tả điện áp nút của LĐPP 33 nút sau khi cài đặt số DG tối ưu. Từ Hình 1, điện áp tại các nút rất gần với giá trị điện áp tham chiếu (1,0 pu). Điều này chứng tỏ việc lắp đặt số DG tối ưu với vị trí và công suất phát tối ưu giúp giảm đáng kể giảm tổn hao công suất và nâng cao điện áp nút của LĐPP.

LĐPP 69 nút

LĐPP 69 nút có quy mô trung bình với tổng nhu cầu phụ tải là 3,80 MW và 2,69 MVar³⁶. Tổn hao công suất tác dụng và phản kháng của LĐPP 69 nút lần lượt là 225 kW và 102,16 kVar. Điện áp cơ sở của LĐPP 69 nút là 12,66 kV.

Trường hợp 1: số DG cố định

Đối với trường hợp số DG cố định, phương pháp SGA được áp dụng vào bài toán phân bố DG với số lượng DG xác định trước lần lượt là 1, 2 và 3. Bảng 3 trình bày các kết quả mô phỏng do SGA cho trường hợp số DG cố định của LĐPP 69 nút. Tổn hao công suất ban đầu của LĐPP là 225 kW, lần lượt giảm xuống còn 83,22 kW (trường hợp 1 DG), 71,67 kW (trường hợp 2 DG) và 69,43 kW (trường hợp 3 DG). Tỉ lệ giảm tổn hao công suất tương ứng là 63,01%, 68,14% và 69,14% cho trường hợp 1 DG, 2 DG và 3 DG. Theo kết quả tối ưu, tỉ giảm tổn hao công suất đạt giá trị tốt nhất khi tích hợp 3 DG vào LĐPP.

Bảng 1: Kết quả so sánh đối với LĐPP 33 nút với số DG cố định.

Phương pháp	Số DG	Công suất (Vị trí lắp đặt)			Tổn hao công suất
		DG 1	DG 2	DG 3	
HSA ³⁴	1	0.85 (18)	-	-	144.23
	2	0.20 (18)	0.69 (17)	-	141.14
	3	0.19 (18)	0.21 (17)	0.59 (16)	135.69
GA ²⁸	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	1.5 (11)	0.42 (29)	1.07 (30)	106.3
PSO ²⁸	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	0.98 (13)	0.83 (32)	1.18 (8)	105.35
TLBO ²³	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	1.18 (12)	1.19 (28)	1.19 (30)	124.69
SOS ³⁵	1	3.13 (6)	-	-	115.01
	2	2.29 (6)	0.84 (28)	-	107.39
	3	2.21 (6)	0.20 (28)	0.72 (29)	104.26
SGA	1	2.86 (7)	-	-	114.46
	2	0.85 (13)	1.16 (30)	-	87.17
	3	0.80 (13)	1.09 (24)	1.05 (30)	72.79

Bảng 2: Kết quả so sánh đối với LĐPP 33 nút với số DG tối ưu.

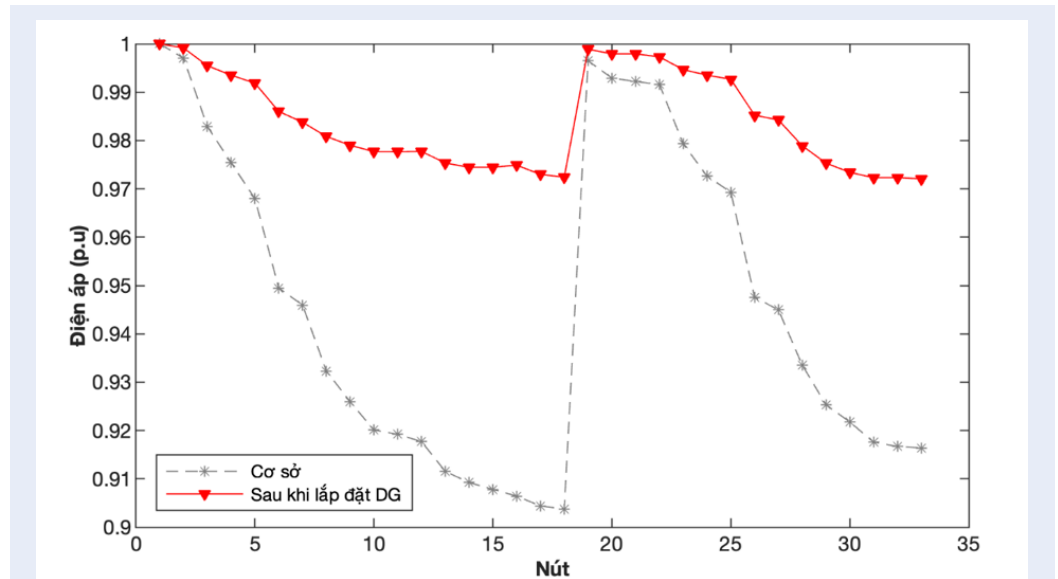
Phương pháp	Số DG tối ưu	Tổng công suất DG (MW)	Tổn hao công suất
PSO ³⁵	12	2,51	77,03
SOS ³⁵	12	2,51	76,97
SGA	9	3,47	63,01

Bảng 3 cũng trình bày so sánh giữa SGA và các phương pháp khác đối với LĐPP 69 nút. Ở trường hợp 1 DG, SGA xác định vị trí tối ưu của các DG tại các nút 61 với công suất DG là 1,87 MW. Tổn hao công suất tác dụng thu được từ SGA là 83,22 kW, trong khi tổn hao công suất thu được từ HSA³⁴, và SOS³⁵ lần lượt là 112,10 kW và 118,62 kW. Theo đó, SGA thu được tổn hao công suất thấp nhất so với các phương pháp khác khi lắp đặt 1 DG vào LĐPP. Ở trường hợp lắp đặt 2 DG, SGA tìm thấy vị trí các DG được lắp đặt tại các nút 17 và 61 với công suất DG tương ứng là 0,53 MW và 1,78 MW. Tổn hao công suất của SGA đạt được đối với trường hợp này là kết quả tốt nhất so với các phương pháp khác. Ở trường hợp lắp đặt 3 DG, tổn hao công suất thu được từ SGA (69,43 kW) thấp

hơn HSA (86,66 kW), GA (89,0 kW), PSO (83,2 kW), TLBO (82,17 kW), và SOS (82,07 kW). Kết quả so sánh trong Bảng 3 cho thấy rằng SGA là một phương pháp hiệu quả để giải quyết bài toán tối ưu phân bố DG trong LĐPP.

Trường hợp 2: số DG tối ưu

Bảng 4 cung cấp các kết quả của phương pháp SGA thu được cho các Trường hợp 2. Sau khi quá trình xác định số DG tối ưu hoàn tất, số DG tối ưu được xác định bởi phương pháp SGA là 7 DG đối với LĐPP 69 nút. Số DG này giúp giảm tổn hao công suất còn 67,16 kW, tương ứng tỉ lệ giảm tổn hao là 70,23%. Từ Bảng 4, SGA thu được giá trị tổn hao công suất thấp hơn so với 71,58 kW từ PSO, và 71,44 kW từ SOS với



Hình 1: Điện áp nút của LĐPP 33 nút trước và sau khi lắp đặt số DG tối ưu.

Bảng 3: Kết quả so sánh đối với LĐPP 69 nút với số DG cố định.

Phương pháp	Số DG	Công suất (Vị trí lắp đặt)			Tổn hao công suất
		DG 1	DG 2	DG 3	
HSA ³⁴	1	1.44 (65)	-	-	112.10
	2	0.05 (65)	1.59 (64)	-	96.56
	3	0.015 (65)	0.14 (64)	1.63 (63)	86.66
GA ²⁸	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	0.93 (21)	1.08 (62)	0.99 (64)	89.0
PSO ²⁸	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	0.99 (17)	1.19 (61)	0.79 (63)	83.2
TLBO ²³	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	1.01 (13)	0.99 (61)	1.16 (62)	82.17
SOS ³⁵	1	2.09 (57)	-	-	118.62
	2	0.36 (57)	1.69 (58)	-	102.92
	3	0.26 (57)	0.2 (58)	1.52 (61)	82.07
SGA	1	1.87 (61)	-	-	83.22
	2	0.53 (17)	1.78 (61)	-	71.68
	3	0.53 (11)	0.38 (18)	1.72 (61)	69.43

số DG tối ưu ít hơn.

Hình 2 mô tả điện áp nút của LĐPP 69 nút sau khi lắp đặt số DG tối ưu sử dụng phương pháp SGA. Theo quan sát từ hình này, giá trị điện áp nút thấp nhất là 0,98 pu, cho thấy sự cải thiện đáng kể điện áp nút khi số DG tối ưu được lắp đặt với vị trí lắp đặt và công suất tối ưu. Do đó, SGA đạt hiệu suất vượt trội so với các phương pháp khác về độ chính xác của giải pháp đối với LĐPP 69 nút.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, phương pháp SGA đã được đề xuất để giải quyết hiệu quả bài toán tối ưu phân bố DG trong LĐPP. Bài toán tối ưu phân bố DG được xem xét bao gồm xác định vị trí lắp đặt, công suất phát và số DG tối ưu trong LĐPP. Để xác định số DG tối ưu, bài toán được giải với số DG khác nhau và số DG tối ưu được xác định tương ứng với trường hợp có tổng tổn hao công suất tối thiểu vẫn đảm bảo các ràng buộc của LĐPP. Phương pháp đề xuất đã được thử nghiệm vào LĐPP IEEE 33 nút và 69 nút. Đối với LĐPP 33 nút, số lượng DG tối ưu được xác định là 9 giúp giảm tổn hao công suất còn 63,01 kW, tương ứng với tỉ lệ giảm tổn hao là 70,14%. Đối với LĐPP 69 nút, tổn hao công suất còn 67,15 kW và tỉ lệ giảm tổn hao là 70,23% với số lượng DG tối ưu là 7. Kết quả tối ưu thu được từ SGA được so sánh với các phương pháp khác trong tài liệu. Kết quả so sánh cho thấy phương pháp SGA có hiệu quả cao trong việc giải bài toán tối ưu phân bố DG trong LĐPP. Do đó, phương pháp SGA có tiềm năng để mở rộng và phát triển nhằm áp dụng vào lưới điện trung thế thực tế của Việt Nam trong các nghiên cứu tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Thủ Dầu Một trong đề tài mã số DT.22.1-006.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Trương Hoàng Bảo Huy đưa ra ý tưởng, thu thập dữ liệu, mô phỏng, phân tích, và viết bản thảo. Võ Ngọc Điều và Trần Văn Thanh đã đóng góp định hướng nghiên cứu và chỉnh sửa nội dung bản thảo. Tất cả các tác giả đã đọc và duyệt bản thảo cuối cùng.

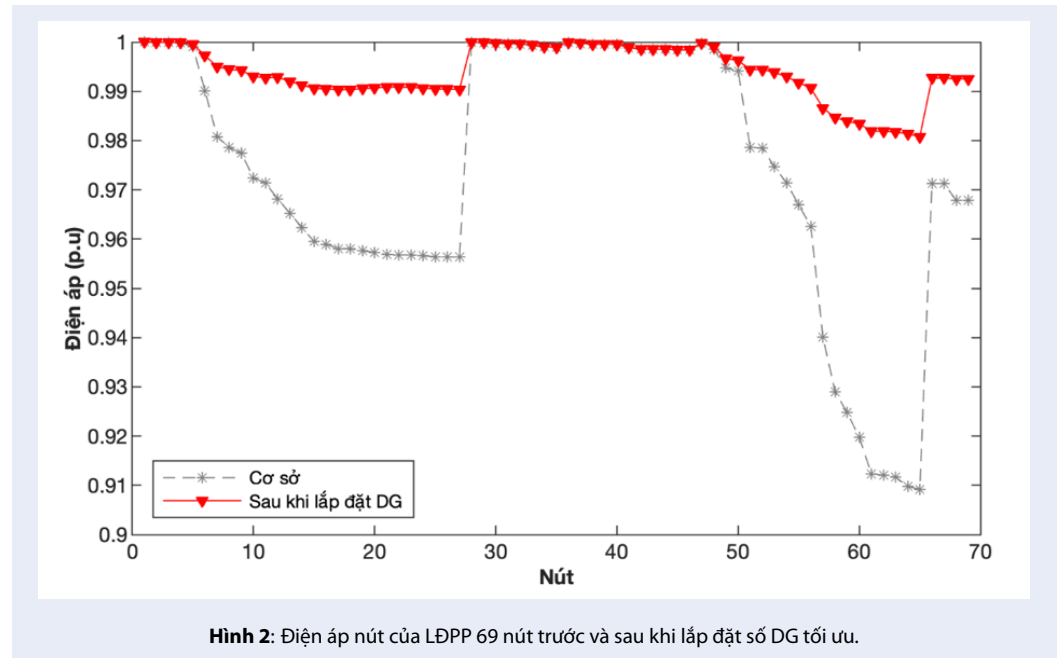
TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Paliwal P, Patidar NP, Nema RK. Planning of grid integrated distributed generators: a review of technology, objectives and techniques. *Renew Sustain Energy Rev.* Dec 2014;40:557-70; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.200>.

- Rau NS, Wan Y-H. Optimum location of resources in distributed planning. *IEEE Trans Power Syst.* Nov 1994;9(4):2014-20; Available from: <https://doi.org/10.1109/59.331463>.
- Keane A, O'Malley M. Optimal allocation of embedded generation on distribution networks. *IEEE Trans Power Syst.* Aug 2005;20(3):1640-6; Available from: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.852115>.
- Atwa YM, El-Saadany EF, Salama MMA, Seethapathy R. Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization. *IEEE Trans Power Syst.* Feb 2010;25(1):360-70; Available from: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2009.2030276>.
- AlHajri MF, AlRashidi MR, El-Hawary ME. Improved sequential quadratic programming approach for optimal distribution generation deployments via stability and sensitivity analyses. *Electr Power Compon Syst.* Dec 2010;38(14):1595-614; Available from: <https://doi.org/10.1080/15325008.2010.492451>.
- Khalesi N, Rezaei N, Haghifam M-R. DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement. *Int J Electr Power Energy Syst.* Feb 2011;33(2):288-95; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2010.08.024>.
- Ganguly S, Samajpati D. Distributed generation allocation with on-load tap changer on radial distribution networks using adaptive genetic algorithm. *Appl Soft Comput.* Oct 2017;59:45-67; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.05.041>.
- Shaaban MF, Atwa YM, El-Saadany EF. DG allocation for benefit maximization in distribution networks. *IEEE Trans Power Syst.* May 2013;28(2):639-49; Available from: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2213309>.
- Wu C, Lou Y, Lou P, Xiao H. DG location and capacity optimization considering several objectives with cloud theory adapted GA. *Int Trans Electr Energy Syst.* 2014;24(8):1076-88; Available from: <https://doi.org/10.1002/etep.1759>.
- Gomez-Gonzalez M, López A, Jurado F. Optimization of distributed generation systems using a new discrete PSO and OPF. *Electr Power Syst Res.* Mar 2012;84(1):174-80; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.11.016>.
- Kansal S, Kumar V, Tyagi B. Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks. *Int J Electr Power Energy Syst.* Dec 2013;53:752-60; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.05.040>.
- Maciel RS, Rosa M, Miranda V, Padilha-Feltrin A. Multi-objective evolutionary particle swarm optimization in the assessment of the impact of distributed generation. *Electr Power Syst Res.* Aug 2012;89:100-8; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2012.02.018>.
- Soroudi A, Afrasiab M. Binary PSO-based dynamic multi-objective model for distributed generation planning under uncertainty. *IET Renew Power Gener.* Mar 2012;6(2):67-78; Available from: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2011.0028>.
- El-Zonkoly AM. Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimization. *Swarm Evol Comput.* Mar 2011;1(1):50-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2011.02.003>.
- Abu-Mouti FS, El-Hawary ME. Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution systems via artificial bee colony algorithm. *IEEE Trans Power Delivery.* Oct 2011;26(4):2090-101; Available from: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2158246>.
- Moravej Z, Akhlaghi A. A novel approach based on cuckoo search for DG allocation in distribution network. *Int J Electr Power Energy Syst.* Jan 2013;44(1):672-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.009>.
- El-Fergany A. Optimal allocation of multi-type distributed generators using backtracking search optimization algorithm. *Int J Electr Power Energy Syst.* Jan 2015;64:1197-205; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.09.020>.

Bảng 4: Kết quả so sánh đối với LĐPP 69 nút với số DG tối ưu.

Phương pháp	Số DG tối ưu	Tổng công suất phát DG (MW)	Tổn hao công suất (kW)
PSO ³⁵	8	2,50	71,58
SOS ³⁵	8	2,44	71,44
SGA	7	3,53	66,98



Hình 2: Điện áp nút của LĐPP 69 nút trước và sau khi lắp đặt số DG tối ưu.

18. Ali ES, Abd Elazim SM, Abdelaziz AY. Ant lion optimization algorithm for renewable distributed generations. *Energy*. Dec 2016;116:445-58; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.104>.
19. Sultana S, Roy PK. Krill herd algorithm for optimal location of distributed generator in radial distribution system. *Appl Soft Comput*. Mar 2016;40:391-404; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.11.036>.
20. Nguyen TP, Vo DN. A novel stochastic fractal search algorithm for optimal allocation of distributed generators in radial distribution systems. *Appl Soft Comput*. Sep 2018;70:773-96; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.06.020>.
21. Saha S, Mukherjee V. Optimal placement and sizing of DGs in RDS using chaos embedded SOS algorithm. *IET Gener Transm Distrib*. 2016;10(14):3671-80; Available from: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.0151>.
22. Sharma S, Bhattacharjee S, Bhattacharya A. Quasi- Oppositional Swine Influenza Model Based Optimization with Quarantine for optimal allocation of DG in radial distribution network. *Int J Electr Power Energy Syst*. Jan 2016;74:348-73; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.07.034>.
23. Sultana S, Roy PK. Multi-objective quasi-oppositional teaching learning based optimization for optimal location of distributed generator in radial distribution systems. *Int J Electr Power Energy Syst*. Dec 2014;63:534-45; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.031>.
24. Fathy A. A novel artificial hummingbird algorithm for integrating renewable based biomass distributed generators in radial distribution systems. *Appl Energy*. Oct 2022;323:119605; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119605>.
25. Fathy A, Yousri D, Rezk H, Ramadan HS. An efficient capuchin search algorithm for allocating the renewable based biomass distributed generators in radial distribution network. *Sustain Energy Technol Assess*. Oct 2022;53:102559; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102559>.
26. Fathy A, Yousri D, Abdelaziz AY, Ramadan HS. Robust approach based chimp optimization algorithm for minimizing power loss of electrical distribution networks via allocating distributed generators. *Sustain Energy Technol Assess*. Oct 2021;47:101359; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101359>.
27. Ali MH, Kamel S, Hassan MH, Tostado-Véliz M, Zawbaa HM. An improved wild horse optimization algorithm for reliability based optimal DG planning of radial distribution networks. *Energy Rep*. Nov 2022;8:582-604; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.023>.
28. Moradi MH, Abedini M. A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems. *Int J Electr Power Energy Syst*. Jan 2012;34(1):66-74; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.08.023>.
29. Pesaran M, Nazari-Heris M, Mohammadi-Ivatloo B, Seyedi H. A hybrid genetic particle swarm optimization for distributed generation allocation in power distribution networks. *Energy*. Oct 2020;209:118218; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118218>.
30. Moradi MH, Abedini M. A novel method for optimal DG units capacity and location in Microgrids. *Int J Electr Power Energy*. Oct 2022;323:119605; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119605>.

- ergy Syst. Feb 2016;75:236-44;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.09.013>.
31. Gonçalves MS, Lopez RH, Miguel LFF. Search group algorithm: A new metaheuristic method for the optimization of truss structures. *Comput Struct*. Jun 2015;153:165-84;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.03.003>.
 32. Zimmerman RD, Murillo-Sanchez CE. MATPOWER- [manual]-4.1.pdf. [accessed: Sep 19, 2020] [online]. Available from: <https://matpower.org/docs/MATPOWER-manual-4.1.pdf>. Ithaca, NY: Cornell University. Power Systems Engineering Research Center; 2011;.
 33. Baran ME, Wu FF. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing. *IEEE Trans Power Delivery*. Apr 1989;4(2):1401-7;Available from: <https://doi.org/10.1109/61.25627>.
 34. Kollu R, Rayapudi SR, Sadhu VLN. A novel method for optimal placement of distributed generation in distribution systems using HSDO. *Int Trans Electr Energy Syst*. 2014;24(4):547-61;Available from: <https://doi.org/10.1002/etep.1710>.
 35. Nguyen TP, Vo DN, Tran TT. Optimal number, location, and size of distributed generators in distribution systems by symbiotic organism search based method. *Adv Electr Electron Eng*. Jan 2018;15(5):Art no. 5;Available from: <https://doi.org/10.15598/aeee.v15i5.2355>.
 36. Baran ME, Wu FF. Optimal capacitor placement on radial distribution systems. *IEEE Trans Power Delivery*. Jan 1989;4(1):725-34;Available from: <https://doi.org/10.1109/61.19265>.

A Search Group Algorithm for Optimal Distributed Generation Placement

Truong Hoang Bao Huy¹, Vo Ngoc Dieu^{2,3}, Tran Van Thanh^{4,*}

ABSTRACT

The integration of renewable-based distributed generation (DG) in distribution networks is increasingly common worldwide due to fossil fuel depletion, environmental pollution, and global warming. This paper proposes a Search Group Algorithm (SGA) method to determine the optimal location, capacity, and quantity of DGs in distribution networks. The SGA method has a good ability to find optimal solutions thanks to the ability to balance between the global search and local search in the optimization process. The objective of the problem is to minimize the power loss of the distribution networks while meeting the constraints of the networks, such as power balance, bus voltage limit, branch current limit, DG power limit, and DG penetration limit. The proposed method is applied to the IEEE 33-node and 69-node distribution networks with two different cases. After integrating DGs into distribution networks, the power loss are reduced by 70.14% and 70.23% for the 33-node and 69-node distribution networks, respectively. The results obtained from the SGA method were compared with other methods in the literature. The simulation results have proved that the SGA method has good performance for the optimal DG placement problem in distribution networks.

Key words: Search group algorithm, distributed generation, power loss, distribution networks

¹Department of Future Convergence Technology, Soonchunhyang University, Asan-si, Chuncheon-gnam-do 31538, South Korea

²Department of Power Systems, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁴Institute of Engineering and Technology, Thu Dau Mot University, Binh Duong Province, Vietnam.

Correspondence

Tran Van Thanh, Institute of Engineering and Technology, Thu Dau Mot University, Binh Duong Province, Vietnam.

Email: thanhtv@tdmu.edu.vn

History

- Received: 22-5-2023
- Accepted: 26-9-2023
- Published Online: 30-9-2023

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjet.v6i3.1100>



Cite this article : Huy T H B, Dieu V N, Thanh T V. **A Search Group Algorithm for Optimal Distributed Generation Placement.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2023, 6(3):2000-2009.