

## MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION METHOD FOR INSTALLING DISTRIBUTED GENERATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS USING THE REFERENCE VECTOR GUIDED EVOLUTIONARY ALGORITHM

Ton Ngoc Trieu<sup>1\*</sup>, Pham Huu Loc<sup>1</sup>, Nguyen Tung Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thu Duc College of Technology, <sup>2</sup>Electric Power University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 31/12/2024	This paper introduces the application of the Reference Vector Guided Evolutionary Algorithm to optimize the integration of distributed generation into electrical distribution systems. The optimization model is designed with three main objectives: maximizing the capacity of distributed generation, reducing power losses, and improving the voltage stability of the system. The algorithm was tested on 33-node and 69-node distribution systems and compared with the Cuckoo Search Algorithm, Salp Swarm Algorithm, Adaptive Cuckoo Search Algorithm, and Coyote Optimization Algorithm. The results demonstrate that the proposed algorithm outperforms others by achieving the highest distributed generation capacity, significant reductions in power losses, and notable improvements in voltage stability. The advantages originate from the capability of the algorithm to flexibly adjust the reference vector, facilitating faster convergence and reducing the risk of being trapped in local optima. This study confirms that the algorithm is an effective tool for addressing the integration of distributed generation into distribution systems while paving the way for new research directions in optimizing distributed generation integration in modern power systems.
<b>Revised:</b> 22/01/2025	
<b>Published:</b> 22/01/2025	

### KEYWORDS

Multi-objective optimization  
Distributed generation  
Meta-heuristic algorithms  
Voltage stability  
Power loss reduction

## PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU ĐA MỤC TIÊU CHO VIỆC LẮP ĐẶT NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN TRONG HỆ THỐNG PHÂN PHỐI ĐIỆN SỬ DỤNG THUẬT TOÁN REFERENCE VECTOR GUIDED EVOLUTIONARY

Tôn Ngọc Triều<sup>1\*</sup>, Phạm Hữu Lộc<sup>1</sup>, Nguyễn Tùng Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Cao đẳng Công nghệ Thủ Đức, <sup>2</sup>Trường Đại học Điện lực

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 31/12/2024	Bài báo này giới thiệu ứng dụng của thuật toán Reference Vector Guided Evolutionary Algorithm để tối ưu tích hợp nguồn điện phân tán vào hệ thống điện phân phối. Mô hình tối ưu với ba mục tiêu chính: tối đa công suất của nguồn điện phân tán, giảm tổn thất công suất và cải thiện độ ổn định điện áp của hệ thống. Thuật toán đã được thử nghiệm trên các hệ thống điện 33 nút và 69 nút, đồng thời so sánh với các thuật toán Cuckoo Search, Salp Swarm, Adaptive Cuckoo Search và Coyote Optimization. Kết quả cho thấy thuật toán vượt trội với công suất của nguồn điện phân tán cao nhất, tổn thất công suất của hệ thống giảm mạnh, và ổn định điện áp được cải thiện đáng kể nhờ khả năng điều chỉnh vector tham chiếu linh hoạt, giúp hội tụ nhanh và tránh cực trị cục bộ. Nghiên cứu khẳng định thuật toán này là công cụ hiệu quả cho vấn đề tích hợp nguồn điện phân tán vào hệ thống điện phân phối và mở hướng nghiên cứu mới về tối ưu tích hợp nguồn điện phân tán vào hệ thống điện hiện đại.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 22/01/2025	
<b>Ngày đăng:</b> 22/01/2025	

### TỪ KHÓA

Tối ưu đa mục tiêu  
Nguồn điện phân tán  
Thuật toán meta-heuristics  
Ổn định điện áp  
Giảm tổn thất công suất

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11792>

\* Corresponding author. Email: tonngoctrieu@gmail.com

## 1. Giới thiệu

Hệ thống điện hiện đại đang ngày càng chuyển đổi theo hướng phân tán, với sự tham gia ngày càng nhiều của các nguồn điện phân tán (Distributed Generation - DG) là năng lượng tái tạo, đặc biệt là hệ thống pin quang điện (Photovoltaic - PV) [1]. Sự tích hợp các DG vào hệ thống không chỉ mang lại lợi ích về kinh tế và môi trường mà còn giúp cải thiện hiệu quả vận hành và độ tin cậy của hệ thống [2]. Tuy nhiên, việc xác định vị trí và công suất của các DG là một bài toán tối ưu phức tạp, cân nhắc nhiều yếu tố kỹ thuật và kinh tế, bao gồm tối đa công suất của DG, giảm tổn thất công suất và đảm bảo ổn định điện áp tại các nút trong hệ thống điện phân phối là rất quan trọng [3].

Tích hợp DG vào hệ thống điện phân phối không đúng cách có thể dẫn đến những tác động tiêu cực như gia tăng tổn thất công suất, mất cân bằng điện áp và thậm chí ảnh hưởng đến độ tin cậy của hệ thống. Do đó, việc xây dựng các phương pháp tối ưu để xác định vị trí và công suất các DG là rất quan trọng. Trong đó, các thuật toán metaheuristic đã được chứng minh là công cụ hiệu quả để giải quyết các bài toán phi tuyến và có ràng buộc phức tạp. Các thuật toán như tìm kiếm Cuckoo (Cuckoo Search Algorithm - CSA) [4], Salp Swarm (Salp Swarm Algorithm - SSA) [5], và Coyote (Coyote Optimization Algorithm - COA) [6] đã được áp dụng thành công trong nhiều nghiên cứu. Tuy nhiên, những hạn chế trong khả năng cân bằng giữa các mục tiêu xung đột và đa dạng giải pháp của các thuật toán này đặt ra nhu cầu cần thiết phải nghiên cứu và phát triển các phương pháp tối ưu hiệu quả hơn.

Thuật toán Reference Vector Guided Evolutionary Algorithm (RVEA) đã nổi lên như một phương pháp hiệu quả trong lĩnh vực tối ưu đa mục tiêu, nhờ khả năng xử lý hiệu quả các xung đột giữa các mục tiêu đồng thời duy trì sự đa dạng trong tập hợp giải pháp [7]. Với việc sử dụng các vector tham chiếu để định hướng quá trình tìm kiếm, RVEA được đánh giá là một lựa chọn lý tưởng cho bài toán tích hợp DG vào hệ thống điện phân phối, đáp ứng đồng thời ba mục tiêu là tối đa công suất của DG, giảm thiểu tổn thất công suất, và cải thiện độ ổn định điện áp của hệ thống.

Bài báo này ứng dụng RVEA để tối ưu tích hợp DG vào hệ thống điện phân phối 33 nút và 69 nút, so sánh với các thuật toán khác [8]. Kết quả không chỉ minh chứng hiệu quả kỹ thuật vượt trội của phương pháp RVEA mà còn mở ra hướng tiếp cận tiềm năng cho quản lý và vận hành các hệ thống điện phân phối trong tương lai.

## 2. Mô tả bài toán và phương pháp đề xuất

### 2.1. Xây dựng hàm mục tiêu và điều kiện ràng buộc

Mô hình toán học tối ưu tích hợp DG vào hệ thống điện sử dụng hàm đa mục tiêu nhằm cân bằng giữa: (1) tối đa công suất của DG, (2) giảm tổn thất công suất, và (3) cải thiện ổn định điện áp. Các ràng buộc kỹ thuật được tích hợp để đảm bảo giải pháp khả thi và an toàn. Hàm mục tiêu được xác định như sau:

$$F_{\text{total}} = w_1 \cdot \left( -\sum_{i=1}^N P_{\text{DG},i} \right) + w_2 \cdot \left( \frac{P_{\text{loss}}}{P_{\text{loss},0}} \right) + w_3 \cdot \left( \sum_{j=1}^{N_{\text{bus}}} |V_j - V_{\text{ref}}| \right) \quad (1)$$

Trong đó:

- $P_{\text{DG},i}$ : Công suất của DG thứ  $i$ .
- $P_{\text{loss}}$ : Tổng tổn thất công suất có DG.
- $P_{\text{loss},0}$ : Tổn thất công suất ban đầu.
- $V_j$ : Điện áp tại nút  $j$ .
- $V_{\text{ref}}$ : Điện áp chuẩn (1.0 pu).
- $N_{\text{bus}}$ : Số nút trong hệ thống.
- $w_1, w_2, w_3$ : Các trọng số của mục tiêu.

Bài toán phải tuân thủ các ràng buộc kỹ thuật quan trọng để đảm bảo tính khả thi và vận hành an toàn của hệ thống:

$$- \text{Ràng buộc điện áp: } V_{\min} \leq V_j \leq V_{\max}, \quad \forall j \in N_{\text{bus}} \quad (2)$$

$$- \text{Ràng buộc dòng điện: } I_{ij} \leq I_{\max}, \quad \forall (i, j) \quad (3)$$

Với  $I_{ij}$  là dòng điện qua nhánh  $ij$  và  $I_{\max}$  là dòng điện tối đa cho phép.

$$- \text{Ràng buộc công suất của DG: } \sum_{i=1}^N P_{\text{DG},i} \leq P_{\max} \quad (4)$$

Trong đó,  $P_{\max}$  là tổng công suất của DG tối đa được phép lắp đặt.

$$- \text{Ràng buộc cân bằng công suất: } \sum P_{\text{generation}} = \sum P_{\text{load}} + P_{\text{loss}} \quad (5)$$

Các biến quyết định: Vị trí của DG ( $x_i$ ) và công suất của DG ( $P_{\text{DG},i}$ ).

## 2.2. Đề xuất phương pháp áp dụng thuật toán RVEA cho bài toán tối ưu

Phần này trình bày chi tiết phương pháp tối ưu tích hợp DG trong hệ thống điện phân phối bằng RVEA [7]. Thuật toán này được áp dụng để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu, bao gồm: (1) tối đa tổng công suất DG, (2) giảm tổn thất công suất, và (3) cải thiện ổn định điện áp. Mô hình được triển khai kết hợp với một hàm fitness phù hợp, nhằm đánh giá và lựa chọn các giải pháp tối ưu.

### 2.2.1. Giới thiệu thuật toán RVEA

RVEA là một thuật toán metaheuristic tiên tiến, được phát triển để giải quyết hiệu quả các bài toán tối ưu đa mục tiêu. Điểm đặc biệt của RVEA nằm ở việc sử dụng các vectơ tham chiếu (reference vectors) nhằm định hướng quá trình tìm kiếm, giúp duy trì sự cân bằng tối ưu giữa việc khai thác các giải pháp tiềm năng và khám phá các vùng chưa được khảo sát trong không gian giải pháp. Với cơ chế điều chỉnh vectơ tham chiếu linh hoạt, RVEA không chỉ đảm bảo hội tụ đến các giải pháp chất lượng cao mà còn duy trì sự đa dạng trong tập hợp các giải pháp tìm được. Quy trình chính của RVEA bao gồm:

- Khởi tạo quần thể và vectơ tham chiếu: Quần thể ban đầu được tạo ngẫu nhiên với  $N$  cá thể, mỗi cá thể đại diện cho một giải pháp gồm vị trí và công suất của DG; Vectơ tham chiếu được phân bố đồng đều trong không gian các mục tiêu, đảm bảo bao phủ tốt các giải pháp.

- Đánh giá hàm fitness: Từng cá thể trong quần thể được đánh giá thông qua hàm fitness, tích hợp cả mục tiêu và ràng buộc. Hàm fitness như sau:

$$\text{Fitness}(X) = w_1 \cdot f_1(X) + w_2 \cdot f_2(X) + w_3 \cdot f_3(X) + \text{Penalty}(X) \quad (6)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \blacksquare f_1(X) &= -\sum_{i=1}^N P_{\text{DG},i} \\ \blacksquare f_2(X) &= \frac{P_{\text{loss}}(X)}{P_{\text{loss},0}} \\ \blacksquare f_3(X) &= \sum_{j=1}^{N_{\text{bus}}} |V_j(X) - V_{\text{ref}}| \end{aligned}$$

Hàm phạt cho các giải pháp vi phạm ràng buộc:

$$\text{Penalty}(X) = \lambda_1 \cdot \max(0, V_{\min} - V_j) + \lambda_2 \cdot \max(0, V_j - V_{\max}) + \lambda_3 \cdot \max(0, I_{ij} - I_{\max}) \quad (7)$$

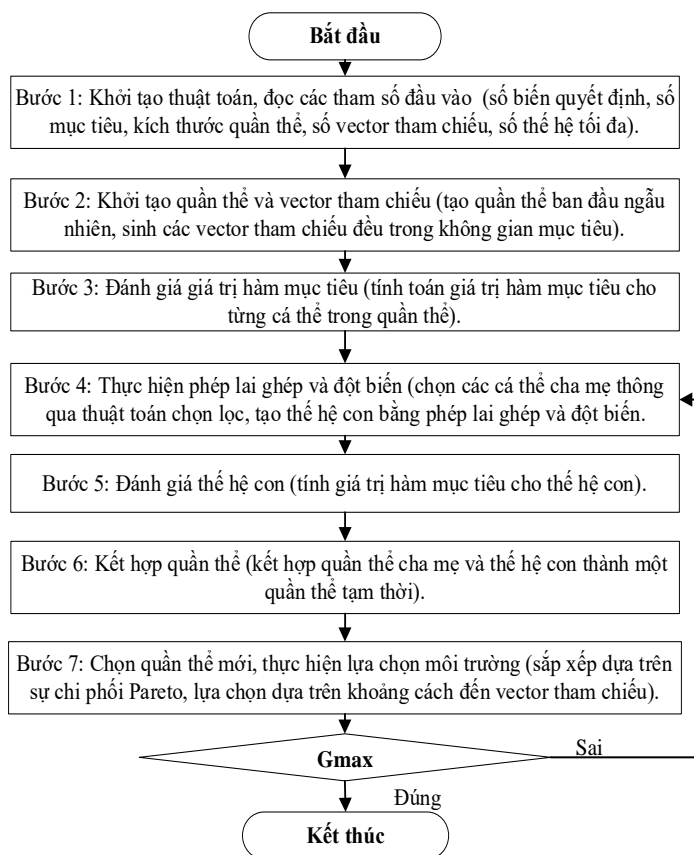
Các hệ số  $w_1, w_2, w_3$  xác định mức độ ưu tiên cho từng mục tiêu.

- Thực hiện các phép toán lai ghép và đột biến để tạo ra thế hệ mới; Các giải pháp mới được đánh giá lại và cập nhật vào quần thể nếu chúng cải thiện fitness.

- Vectơ tham chiếu được điều chỉnh định kỳ dựa trên tiến trình hội tụ của quần thể, đảm bảo tìm kiếm hiệu quả hơn ở các vùng ít giải pháp.

- Quá trình lặp lại cho đến khi đạt số vòng lặp tối đa hoặc không còn cải thiện đáng kể.

Hình 1 là lưu đồ của thuật toán RVEA, RVEA nổi bật với khả năng quản lý xung đột giữa các mục tiêu nhờ vectơ tham chiếu, giúp duy trì sự đa dạng và cân bằng trong các giải pháp. Thuật toán này điều chỉnh linh hoạt vectơ tham chiếu để tăng tốc độ hội tụ, đảm bảo đạt được các giải pháp tối ưu nhanh chóng. Ngoài ra, RVEA có tính mở rộng cao, phù hợp để áp dụng cho hệ thống điện lớn hơn hoặc tích hợp thêm các nguồn năng lượng tái tạo khác, mang lại tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn.



Hình 1. Lưu đồ của thuật toán RVEA

### 2.2.2. Triển khai bài toán

- Biến quyết định:  $x_i$ : Vị trí của DG, công suất của DG tại nút  $i$ .
- Hàm fitness: Hàm fitness được thiết kế để cân bằng giữa ba mục tiêu:

$$\text{Fitness}(X) = \frac{-\sum_{i=1}^N P_{DG,i}}{\max_p} + \frac{\frac{P_{\text{loss}}(X)}{P_{\text{loss},0}}}{\max_L} + \frac{\sum_{j=1}^{N_{\text{bus}}} |V_j(X) - V_{\text{ref}}|}{\max_V} + \text{Penalty}(X) \quad (8)$$

$\max_p, \max_L, \max_V$  là các giá trị tối đa được chuẩn hóa của từng thành phần.

- Điện áp:  $0,95 V_j \leq 1,05 \text{ pu}$ , dòng điện:  $I_{ij} \leq I_{\text{max}}$ , tổng công suất DG không vượt quá tải.
- Thông số: Số cá thể  $N = 100$ ; Số vector tham chiếu: 20; Số vòng lặp tối đa: 300; Hệ số phạt: 1000.

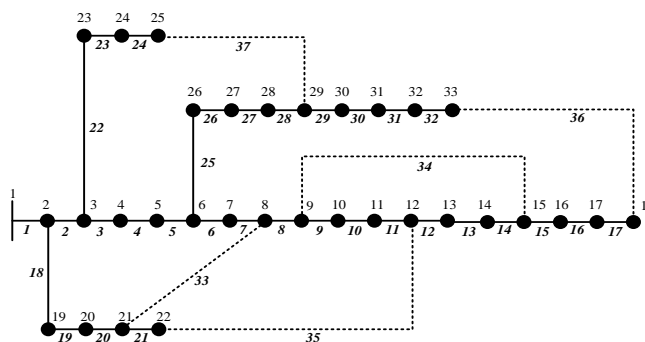
Phương pháp RVEA tìm kiếm hiệu quả các giải pháp tối ưu, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và nâng cao hiệu quả, độ tin cậy của hệ thống. Để đánh giá hiệu quả RVEA trong tối ưu vị trí và công suất DG, các thử nghiệm trên hệ thống 33 nút và 69 nút được thực hiện với thông số đặc trưng và tỷ lệ lai ghép, đột biến của các thuật toán: CSA (tỷ lệ  $p_a = 0,25$ ; tỷ lệ lai ghép 0,8; tỷ lệ đột biến 0,2), SSA (tỷ lệ salp theo leader  $F = 0,2$ ; tỷ lệ lai ghép 0,7; tỷ lệ đột biến 0,3), ACSA (Adaptive Cuckoo Search Algorithm – ACSA có độ điều chỉnh tự động của xác suất chim tu hú, tỷ lệ lai ghép 0,8 và tỷ lệ đột biến 0,2), COA (tỷ lệ sống sót  $R_s = 0,2$ ; tỷ lệ lai ghép 0,75; tỷ lệ đột biến 0,25), và RVEA (số vector tham chiếu  $N_v = 20$ ; tỷ lệ lai ghép 0,9; tỷ lệ đột biến 0,1). Mỗi thuật toán sử dụng kích thước quần thể 100 và số thế hệ tối đa 300.

### 3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Quá trình mô phỏng được thực hiện trên MATLAB R2022a, sử dụng các công cụ tối ưu để triển khai thuật toán RVEA. Mô phỏng được thực hiện trên máy tính cấu hình Intel Core i7 3.4 GHz,

RAM 16 GB và hệ điều hành Windows 10. Hệ thống điện phân phối 33 nút và 69 nút được sử dụng để kiểm tra hiệu quả của thuật toán. Thông số mô phỏng chính bao gồm kích thước quần thể  $N = 100$ , số vectơ tham chiếu  $R = 20$  và số thế hệ tối đa là 300. Quá trình này nhằm đánh giá khả năng tối ưu đa mục tiêu của RVEA trong việc tích hợp hệ thống DG vào hệ thống điện phân phối.

### 3.1. Hệ thống điện phân phối 33 nút

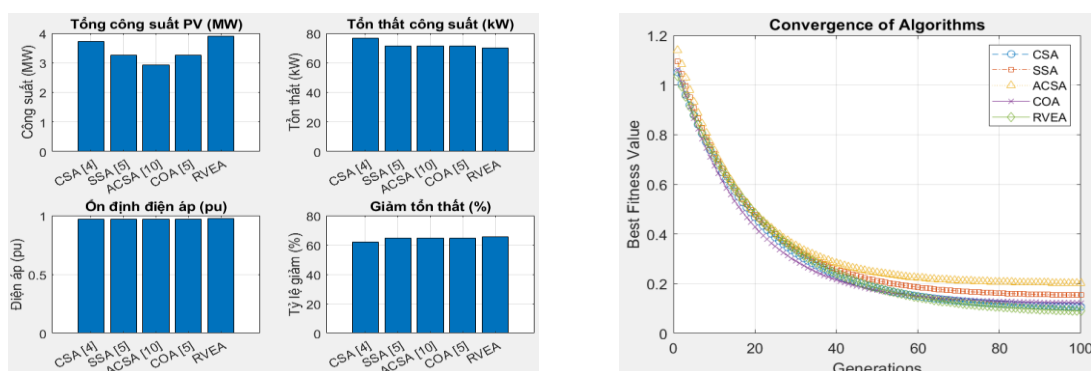


Hình 2. Sơ đồ hệ thống 33 nút

Hình 2 thể hiện sơ đồ đơn tuyến của hệ thống 33 nút được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu [9], [10]. Kết quả tối ưu cho hệ thống 33 nút ở Bảng 1 và Hình 3 đã minh chứng RVEA vượt trội so với các thuật toán CSA, SSA, ACSA và COA. Với tổng công suất DG đạt 3,9012 MW, RVEA không chỉ khai thác tối đa khả năng tích hợp DG mà còn đảm bảo vị trí phân bố hợp lý tại các nút (3, 15, 28). Ngoài ra, tổn thất công suất của hệ thống giảm xuống mức thấp nhất là 70 kW, tương ứng với tỷ lệ giảm tổn thất 65,48%, cao hơn so với các thuật toán còn lại.

Bảng 1. Kết quả tối ưu cho hệ thống 33 nút

Thuật toán	$\sum P_{DG}$ (MW)	Vị trí (Công suất - MW) của DG	$\sum \Delta P$ (kW)	Ổn định điện áp (pu)	Giảm $\sum \Delta P$ (%)
CSA [4]	3,7150	3 (1,9756); 14 (0,7316); 30 (1,0078)	76,76	0,9696	62,13%
SSA [5]	3,2545	14 (0,754); 24 (1,0994); 30 (1,0714)	71,47	0,9687	64,74%
ACSA [11]	2,9248	14 (0,7536); 23 (1,1004); 29 (1,0706)	71,45	0,9686	64,75%
COA [8]	3,2548	14 (0,7540); 24 (1,0994); 30 (1,0714)	71,46	0,9687	64,74%
RVEA	3,9012	3 (2,001); 15 (0,901); 28 (1,0001)	70,00	0,9750	65,48%

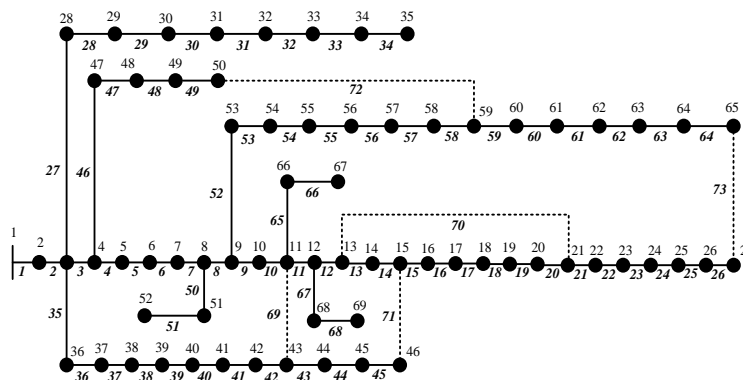


Hình 3. So sánh các thông số và độ hội tụ phương pháp của hệ thống điện phân phối 33 nút

RVEA cho thấy khả năng tìm kiếm giải pháp tối ưu vượt trội, đặc biệt trong việc cân bằng các mục tiêu xung đột. Điện áp tối thiểu tại các nút đạt 0,975 pu, cao hơn ngưỡng an toàn và các thuật toán khác, khẳng định vai trò của RVEA trong việc ổn định điện áp. Kết quả hội tụ đã minh chứng RVEA vượt trội so với CSA, SSA, ACSA và COA cả về tốc độ hội tụ và chất lượng giải pháp cuối cùng. Với tốc độ hội tụ nhanh, đạt giá trị fitness thấp từ sớm và ổn định ở các thế hệ sau, RVEA

khai thác hiệu quả không gian tìm kiếm, tránh mắc kẹt trong cực trị cục bộ. Những đặc điểm này cho thấy RVEA không chỉ phù hợp mà còn là lựa chọn tối ưu cho bài toán tích hợp DG.

### 3.2. Hệ thống điện phân phối 69 nút

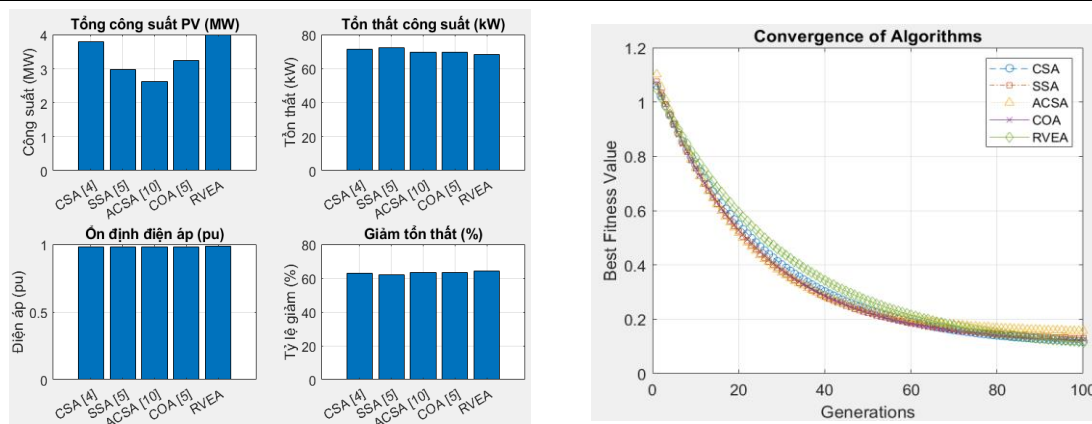


Hình 4. Sơ đồ hệ thống 69 nút

Hệ thống điện phân phối 69 nút với 73 nhánh và 5 khóa mở là mô hình tiêu chuẩn trong rất nhiều nghiên cứu để mô phỏng và so sánh như ở Hình 4 [11].

Bảng 2. Kết quả tối ưu cho hệ thống 69 nút

Thuật toán	$\sum P_{DG}$ (MW)	Vị trí (Công suất - MW) của DG	$\sum \Delta P$ (kW)	Ổn định điện áp (pu)	Giảm $\sum \Delta P$ (%)
CSA [4]	3,7996	17 (0,5230); 49 (1,4242); 61 (1,8524)	71,24	0,9813	62,85%
SSA [5]	2,9826	11 (0,5268); 18 (0,3804); 61 (1,7190)	72,44	0,9790	61,98%
ACSA [11]	2,6262	10: 0,5270; 17 (0,3800); 60: 1,7180)	69,44	0,9789	63,37%
COA [8]	3,2548	18 (0,533); 61 (1,00); 62 (0,773)	69,41	0,9791	63,38%
RVEA	4,0102	17 (0,601); 49 (1,501); 62 (1,91)	68,50	0,9850	64,12%



Hình 5. So sánh các thông số và độ hội tụ phương pháp của hệ thống 69 nút

Kết quả tối ưu cho hệ thống 69 nút ở Bảng 2 và Hình 5 cho thấy thuật toán RVEA vượt trội so với các thuật toán khác như CSA, SSA, ACSA, và COA trong cả ba mục tiêu tối ưu. Với tổng công suất DG đạt 4,0102 MW, RVEA không chỉ tận dụng tối đa khả năng tích hợp DG mà còn đảm bảo phân bố hợp lý công suất tại các vị trí (17, 49, 62). Tồn thất công suất của RVEA là 68,5 kW, thấp nhất trong các thuật toán, với tỷ lệ giảm tổn thất đạt 64,12%, cao hơn đáng kể so với CSA (62,85%) và SSA (61,98%). RVEA tối ưu hiệu quả sự đánh đổi giữa giảm tổn thất và duy trì công suất của DG cao, với ổn định điện áp đạt 0,985 pu, vượt trội so với các thuật toán khác,

đảm bảo chất lượng điện áp và an toàn hệ thống. Kết quả này khẳng định RVEA không chỉ tìm kiếm giải pháp tối ưu hiệu quả mà còn phù hợp cho các bài toán tích hợp DG trong hệ thống điện phức tạp, góp phần thúc đẩy ứng dụng tích hợp năng lượng tái tạo trong thực tiễn.

Đồ thị hội tụ ở Hình 5 cho thấy RVEA vượt trội so với CSA, SSA, ACSA, và COA với tốc độ hội tụ nhanh, đạt giá trị fitness thấp từ sớm và ổn định ở các thế hệ sau. Ngược lại, các thuật toán khác hội tụ chậm hơn, đặc biệt ở giai đoạn đầu, và hiệu quả kém hơn RVEA. Với khả năng tránh dao động và mắc kẹt tại cực trị cục bộ, RVEA khẳng định là lựa chọn tối ưu cho bài toán tích hợp DG vào hệ thống điện phân phối.

#### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh rằng thuật toán RVEA là một phương pháp tối ưu hiệu quả trong việc tích hợp DG vào hệ thống điện phân phối. RVEA không chỉ đạt được tổng công suất DG cao nhất mà còn giảm tổn thất công suất một cách đáng kể, với tỷ lệ giảm đạt 65,48% trên hệ thống 33 nút và 64,12% trên hệ thống 69 nút, đồng thời cải thiện ổn định điện áp lên mức 0,975 pu và 0,985 pu. Ưu điểm nổi bật của RVEA bao gồm khả năng hội tụ nhanh, duy trì sự đa dạng trong các giải pháp và tránh mắc kẹt tại cực trị cục bộ, nhờ vào cơ chế điều chỉnh vectơ tham chiếu linh hoạt. Tuy nhiên, thuật toán yêu cầu tài nguyên tính toán lớn khi áp dụng cho các hệ thống lớn hơn. Trong tương lai, việc mở rộng nghiên cứu có thể tập trung vào việc tích hợp thêm các nguồn năng lượng tái tạo khác, tối ưu thời gian tính toán và áp dụng cho các hệ thống điện phức tạp hơn. Kết quả này khẳng định tiềm năng ứng dụng của RVEA trong việc tối ưu DG vào hệ thống điện phân phối, góp phần vào phát triển bền vững của hệ thống điện hiện đại.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] K. Alanne and A. Saari, "Distributed energy generation and sustainable development," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 10, no. 6, pp. 539-558, 2006, doi: 10.1016/j.rser.2004.11.004.
- [2] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "An optimal investment planning framework for multiple distributed generation units in industrial distribution systems," *Appl. Energy*, vol. 124, pp. 62-72, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.03.005.
- [3] W. L. Theo, J. S. Lim, W. S. Ho, H. Hashim, and C. T. Lee, "Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 531-573, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.063.
- [4] T. T. Nguyen, T. T. Ngoc, T. T. Nguyen, T. Nguyen, and N. Au, "Optimization of location and size of distributed generations for maximizing their capacity and minimizing power loss of distribution system based on cuckoo search algorithm," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 1769-1776, 2021, doi: 10.11591/eei.v10i4.2278.
- [5] K. S. Sambaiah and T. Jayabarathi, "Optimal allocation of renewable distributed generation and capacitor banks in distribution systems using salp swarm algorithm," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 96-107, 2019.
- [6] T. N. Ton, T. T. Nguyen, V. A. Truong, and T. P. Vu, "Optimal Location and Size of Distributed Generators in an Electric Distribution System Based on a Novel Metaheuristic Algorithm," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 5325-5329, 2020, doi: 10.48084/etasr.3372.
- [7] R. Cheng, Y. Jin, M. Olhofer, and B. Sendhoff, "A Reference Vector Guided Evolutionary Algorithm for Many-Objective Optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 20, no. 5, pp. 773-791, 2016, doi: 10.1109/TEVC.2016.2519378.
- [8] T. N. Ton, T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. P. Vu, "Optimal Location and Size of Distributed Generators in an Electric Distribution System based on a Novel Metaheuristic Algorithm," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 5325-5329, 2020, doi: 10.48084/etasr.3372.
- [9] A. V. Truong, T. N. Ton, T. T. Nguyen, and T. L. Duong, "Two states for optimal position and capacity of distributed generators considering network reconfiguration for power loss minimization based on runner root algorithm," *Energies*, vol. 12, no. 1, 2019, doi: 10.3390/en12010106.
- [10] 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, doi: 10.1109/61.25627.
- [11] 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," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 801-815, 2016, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.12.030.