

# Áp dụng giải thuật di truyền cho bài toán tối ưu vị trí và công suất nguồn điện phân tán có xét đến tái hình cấu hình lưới điện phân phối

Nguyễn Tùng Linh, Nguyễn Thanh Thuận, Tôn Ngọc Triều,  
Nguyễn Anh Xuân, Trương Việt Anh \*

**Tóm tắt** — Bài báo trình bày phương pháp xác định vị trí và công suất máy phát điện phân tán (distributed generation - DG) trên lưới điện phân phối (LĐPP) có xét đến cấu trúc vận hành LĐPP giảm tổn thất công suất. Phương pháp đề xuất được chia làm hai giai đoạn sử dụng thuật toán di truyền (genetic algorithm - GA). Giai đoạn-I, giải thuật GA được sử dụng để tối ưu vị trí và công suất DG trên lưới điện kín, giai đoạn-II được sử dụng để xác định cấu trúc vận hành tối ưu của LĐPP sau khi đã lắp đặt DG. Kết quả tính toán trên LĐPP 33 và 69 nút cho thấy, phương pháp đề xuất có khả năng giải bài toán tối ưu vị trí và công suất DG và có xét đến bài toán tái cấu hình LĐPP.

**Từ khóa** — Lưới điện phân phối, nguồn điện phân tán, tổn thất công suất, giải thuật di truyền.

## 1 GIỚI THIỆU

Cấu trúc hệ thống điện truyền thống có dạng dọc, lưới điện phân phối (LĐPP) sẽ nhận điện từ lưới truyền tải hoặc truyền tải phụ sau đó cung cấp đến hộ tiêu thụ điện. LĐPP có cấu trúc hình tia hoặc dạng mạch vòng nhưng vận hành trong trạng thái hở. Dòng công suất trong trường hợp này đổ về từ hệ thống thông qua LĐPP cung

cấp cho phụ tải. Vì vậy, việc truyền tải điện năng từ nhà máy điện đến hộ tiêu thụ sẽ sinh ra tổn hao trên lưới truyền tải và LĐPP (khoảng 10-15% tổng công suất của hệ thống). Với cấu trúc mới của LĐPP hiện nay, do có sự tham gia của các máy phát điện phân tán (distributed generation - DG), dòng công suất không chỉ đổ về từ hệ thống truyền tải mà còn lưu thông giữa các phần của LĐPP với nhau, thậm chí đổ ngược về lưới truyền tải. Cấu trúc này được gọi là cấu trúc ngang.

Với cấu trúc ngang có sự tham gia của các DG, LĐPP thực hiện tốt hơn nhiệm vụ cung cấp năng lượng điện đến hộ tiêu thụ đảm bảo chất lượng điện năng, độ tin cậy cung cấp điện và một số yêu cầu an toàn trong giới hạn cho phép. Đồng thời mang lại nhiều lợi ích khác như: giảm tải trên lưới điện, cải thiện điện áp, giảm tổn thất công suất, điện năng và hỗ trợ lưới điện.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về bài toán tái cấu hình LĐPP với hàm mục tiêu giảm tổn thất trên lưới điện có kết nối với nhiều DG hoặc không có kết nối DG, tuy nhiên vị trí và dung lượng của các DG này luôn được cho trước. Các phương pháp chủ yếu dựa trên các đề xuất của Merlin và Back [1] - giải quyết bài toán thông qua kỹ thuật heuristic rời rạc nhánh-biên, của Civanlar và các cộng sự [2] - phương pháp trao đổi nhánh hay các phương pháp heuristic hoặc meta-heuristic như thuật toán di truyền (genetic algorithm - GA), thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization-PSO), thuật toán tìm kiếm cuckoo (cuckoo search algorithm-CSA) mới cũng được sử dụng để giải quyết bài toán này. Trong khi đó, bài toán có xét đến vị trí và dung lượng DG chỉ được xét trên LĐPP hình tia không có sự biến đổi cấu hình của

*Bản thảo nhận ngày 07 tháng 3 năm 2017, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 20 tháng 11 năm 2017*

Nguyễn Tùng Linh - Đại học Điện lực  
Nguyễn Thanh Thuận, Tôn Ngọc Triều, Trương Việt Anh -  
Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM  
Nguyễn Anh Xuân - Đại học quốc gia TP.HCM  
\*tvanh@hemute.edu.vn

LĐPP được đề cập trong các nghiên cứu [3-11]. Điều này đã không giải quyết được trọn vẹn bài toán đặt DG vì khi có thay đổi cấu hình lưới, vị trí các DG sẽ không phù hợp để phát huy khả năng ổn định điện áp và giảm tổn thất hay việc bơm công suất quá lớn của các DG sẽ gây tổn hao lớn trên LĐPP, gây xung đột giữa lợi ích của điện lực và lợi ích khách hàng. Việc xem xét cả hai vấn đề tái cấu hình lưới và đặt DG cùng lúc được đề cập trong [12-14] là sự tích hợp cả hai bài toán tái cấu hình vị trí và dung lượng DG để nâng cao hiệu quả của LĐPP. Điều này được xem là hợp lý hơn cả khi giải quyết được mâu thuẫn giữa điện lực và khách hàng, vì tận dụng được công suất của các DG để giảm tổn hao mà vẫn đảm bảo công suất bơm vào lưới của khách hàng.

Bài báo này tiếp cận bài toán xác định vị trí và công suất của các DG trên LĐPP có xét đến bài toán tái cấu hình vận hành lưới điện với mục tiêu là giảm tổn thất công suất tác dụng và thỏa mãn công suất bơm vào lưới của các khách hàng. Giải pháp xác định vị trí và công suất của các DG tối ưu và xác định cấu hình vận hành được thực hiện bằng hai giai đoạn sử dụng GA. Trong đó, giai đoạn – I sử dụng GA xác định vị trí và công suất tối ưu của các DG trên LĐPP kín (đóng tất cả các khóa điện), ở giai đoạn – II, GA được sử dụng để xác định cấu trúc vận hành hồ tối ưu của hệ thống. Kết quả bài toán được so sánh với các nghiên cứu [12-14], cho thấy tính hiệu quả của giải pháp đề xuất.

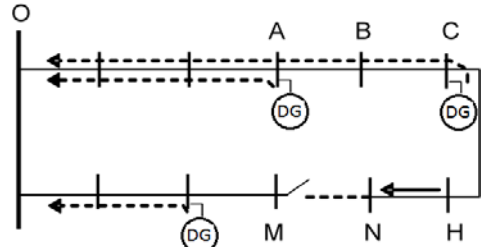
## 2 MÔ HÌNH BÀI TOÁN TỐI ƯU VỊ TRÍ VÀ CÔNG SUẤT DG CÓ XÉT ĐẾN TÁI CẤU HÌNH LĐPP

### 2.1 Mô hình toán học của bài toán

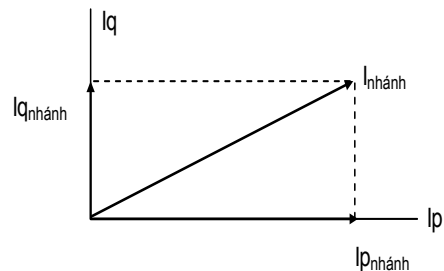
Xét LĐPP đơn giản như Hình 1. Với 3 vị trí có lắp DG cho phép không làm mất tính tổng quát khi mô tả tất cả các trường hợp vị trí khóa mở và vị trí DG. Dòng điện nhánh trên LĐPP Hình 1 có thể biểu diễn thành 2 thành phần như Hình 2, với  $\vec{I}_{nhánh} = \vec{I}_P + \vec{I}_Q$ . Hàm tổn thất công suất tác dụng ( $\Delta P$ ) của LĐPP ở Hình 1 được viết tại biểu thức (1).

$$\begin{aligned} \Delta P^{truooc} = & \sum_{i \in OA}^n (I_{P_i} - I_{PA}^{DG} - I_{PC}^{DG})^2 R_i + \sum_{i \in OA}^n (I_{Q_i} - I_{QA}^{DG} - I_{QC}^{DG})^2 R_i \\ & + \sum_{i=1}^n (I_{P_i} - I_{PC}^{DG})^2 R_i + \sum_{i=1}^n (I_{Q_i} - I_{QC}^{DG})^2 R_i + \sum_{i=1}^n (I_{P_i})^2 R_i \\ & + \sum_{i=1}^n (I_{Q_i})^2 R_i + \sum_{i=1}^n (I_{P_i} - I_{PL}^{DG})^2 R_i + \sum_{i=1}^n (I_{Q_i} - I_{QL}^{DG})^2 R_i \\ & + \sum_{i=1}^n (I_{P_i})^2 R_i + \sum_{i=1}^n (I_{Q_i})^2 R_i \end{aligned} \quad (1)$$

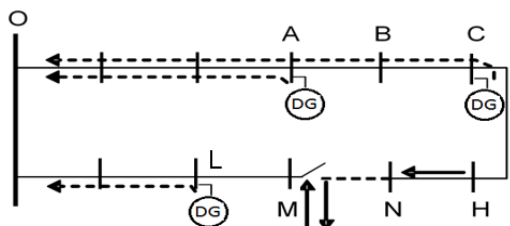
Trong đó,  $\Delta P^{truooc}$  là tổn thất công suất trước khi tái cấu hình,  $I_{P_i}$  và  $I_{Q_i}$  là thành phần tác dụng và phản kháng của dòng điện trên nhánh  $i$ .  $I_{PA}^{DG}$ ,  $I_{PC}^{DG}$ ,  $I_{PL}^{DG}$  và  $I_{QA}^{DG}$ ,  $I_{QC}^{DG}$ ,  $I_{QL}^{DG}$  là thành phần tác dụng phản kháng của dòng điện trên các nhánh do tác dụng của DG tại điểm A, C và L.  $R_i$  là điện trở trên nhánh  $i$ .



Hình 1. LĐPP hở có 3 nguồn DG



Hình 2. Hai thành phần của dòng điện nhánh



Hình 3. Dòng  $I_P^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  rút ra và bơm vào tại khóa MN

Để mô tả hàm số  $\Delta P$ , phụ thuộc vào lượng công suất chuyển tải hay dòng công suất chuyển tải, có thể sử dụng kỹ thuật bơm vào và rút ra tại khóa điện đang mở trên nhánh MN cùng một dòng

điện có giá trị là  $I^{MN}$  như Hình 3. Khi đó, tổn hao công suất của LĐPP sau khi tái cấu hình được mô tả như biểu thức (2).

$$\begin{aligned} \Delta P^{sau} = & \sum_{i \in OA} \left( I_{P_i} - I_{PA}^{DG} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in OA} \left( I_{Q_i} - I_{QA}^{DG} - I_{QC}^{DG} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in ABC} \left( I_{P_i} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in ABC} \left( I_{Q_i} - I_{QC}^{DG} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in CN} \left( I_{P_i} - I_P^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in CN} \left( I_{Q_i} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in OL} \left( I_{P_i} - I_{PL}^{DG} + I_P^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in OL} \left( I_{Q_i} - I_{QL}^{DG} + I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in LM} \left( I_{P_i} + I_P^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in LM} \left( I_{Q_i} + I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \left( I_P^{MN} \right)^2 R_{MN} + \left( I_Q^{MN} \right)^2 R_{MN} \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó,  $\Delta P^{sau}$  là tổn thất công suất sau khi tái cấu hình.  $I_P^{MN}$ ,  $I_Q^{MN}$  là thành phần tác dụng và phản kháng của dòng điện trên nhánh MN.

Khi đó, bài toán xác định khóa mở trở thành bài toán xác định giá trị bơm vào và rút ra  $P_j$ ,  $Q_j$  để tổn thất công suất tác dụng là bé nhất. Hay có thể biểu diễn bài toán trở thành tìm và để giá trị  $\Delta P$  của lưới điện Hình 1 đạt cực tiểu thì:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_P^{MN}} = 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_Q^{MN}} = 0 \\ \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_P^{MN}} = 0 \rightarrow \sum_{i \in OA} \left( I_{P_i} - I_{PA}^{DG} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in ABC} \left( I_{P_i} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in CN} \left( I_{P_i} - I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in OL} \left( I_{P_i} - I_{PL}^{DG} + I_P^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in LM} \left( I_{P_i} + I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \left( I_P^{MN} \right)^2 R_{MN} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_Q^{MN}} = 0 \rightarrow \sum_{i \in OA} \left( I_{Q_i} - I_{QA}^{DG} - I_{QC}^{DG} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in ABC} \left( I_{Q_i} - I_{QC}^{DG} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in CN} \left( I_{Q_i} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \sum_{i \in OL} \left( I_{Q_i} - I_{QL}^{DG} + I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i \in LM} \left( I_{Q_i} + I_Q^{MN} \right)^2 R_i \\ & + \left( I_Q^{MN} \right)^2 R_{MN} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Giải ra được:

$$\begin{aligned} I_P^{MN} = \frac{1}{R_{Loop}} \left[ \underbrace{\sum_{i \in OM} I_{P_i} R_i - \sum_{i \in ON} I_{P_i} R_i}_{\text{Ảnh hưởng P của các phụ tải}} \right] + \\ \frac{1}{R_{Loop}} \left[ \underbrace{I_{PA}^{DG} \sum_{i \in OA} I_{P_i} R_i + I_{PC}^{DG} \sum_{i \in OC} I_{P_i} R_i + I_{PL}^{DG} \sum_{i \in OL} I_{P_i} R_i}_{\text{Ảnh hưởng P của các DG tại các vị trí A,C và L}} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} I_Q^{MN} = \frac{1}{R_{Loop}} \left[ \underbrace{\sum_{i \in OM} I_{Q_i} R_i - \sum_{i \in ON} I_{Q_i} R_i}_{\text{Ảnh hưởng Q của các phụ tải}} \right] + \\ \frac{1}{R_{Loop}} \left[ \underbrace{I_{QA}^{DG} \sum_{i \in OA} I_{Q_i} R_i + I_{QC}^{DG} \sum_{i \in OC} I_{Q_i} R_i + I_{QL}^{DG} \sum_{i \in OL} I_{Q_i} R_i}_{\text{Ảnh hưởng Q của các DG tại các vị trí A, C và L}} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

Trong đó,  $R_{Loop}$  là điện trở của cả mạch vòng. Biểu thức (5) và (6) cho thấy việc đặt DG vào LĐPP sẽ làm vị trí khóa mở thay đổi do các giá trị  $I_P^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  thay đổi khi có DG. Điều này cho thấy việc đặt DG tối ưu trên LĐPP hình tia rồi mới xét đến bài toán tái cấu hình LĐPP hoặc tái cấu hình LĐPP sau đó xét đến đặt DG là không phù hợp. Từ nhận xét trên, tác giả đề xuất một trình tự giải bài toán xác định vị trí và dung lượng DG các bước như sau:

Đóng tất cả các khóa điện tạo thành LĐPP kín. Điều chỉnh điện áp tại tất cả các nguồn (trạm biến áp cấp cho LĐPP) có giá trị bằng nhau.

Tối ưu vị trí và công suất các nguồn phân tán trên lưới điện kín sử dụng các thuật toán tối ưu sao cho tổn thất công suất bé nhất.

Tối ưu cấu trúc vận hành LĐPP sử dụng các

thuật toán tối ưu sao cho tổn thất công suất trên hệ thống là bé nhất.

## 2.2 Hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc

Hàm mục tiêu: Tổn thất công suất của hệ thống bằng tổng tổn thất trên các nhánh.

$$P_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{\text{Nbr}} k_i \Delta P_i = \sum_{i=1}^{\text{Nbr}} k_i R_i |I_i|^2 = \sum_{i=1}^{\text{Nbr}} k_i R_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (7)$$

Trong đó,  $\Delta P_i$ : tổn thất công suất tác dụng trên nhánh thứ  $i$ , Nbr: tổng số nhánh,  $P_i$ ,  $Q_i$ : công suất tác dụng và công suất phản kháng trên nhánh thứ  $i$ ,  $V_i$ ,  $I_i$ : điện áp nút kết nối của nhánh và dòng điện trên nhánh thứ  $i$ ,  $P_{\text{loss}}$ : tổn thất công suất tác dụng của hệ thống,  $k_i$ : trạng thái của của các khóa điện, nếu  $k_i = 0$ , khóa điện thứ  $i$  mở và ngược lại.

Điều kiện ràng buộc: Phương pháp đề xuất được chia làm hai giai đoạn, do đó các điều kiện ràng buộc trong từng giai đoạn như sau:

Giai đoạn I: Xác định vị trí và công suất nguồn phân tán, cần thỏa mãn các ràng buộc sau:

Giới hạn công suất phát của DG:

$$P_{\text{DGi,min}} \leq P_{\text{DG,i}} \leq P_{\text{DGi,max}}, \text{ với } i=1,2,\dots,N_{\text{DG}} \quad (8)$$

Trong đó  $P_{\text{DGi,min}}$  và  $P_{\text{DGi,max}}$  lần lượt là giới hạn công suất nhỏ nhất và lớn nhất của DG thứ  $i$ ,  $P_{\text{DG,i}}$  là công suất phát của DG thứ  $i$ ,  $N_{\text{DG}}$  là số lượng DG kết nối trên LĐPP.

Giới hạn dòng điện trên các nhánh và điện áp các nút:

$$|I_i| \leq I_{i,\text{max}}, \text{ với } i=1,2,\dots,N_{\text{bus}} \quad (9)$$

$$V_{i,\text{min}} \leq |V_i| \leq V_{i,\text{max}}, \text{ với } i=1,2,\dots,N_{\text{bus}} \quad (10)$$

Trong đó,  $N_{\text{bus}}$  là số nút trong LĐPP,  $I_{i,\text{max}}$  là giới hạn dòng điện trên nhánh thứ  $i$ ,  $V_{i,\text{min}}$  và  $V_{i,\text{max}}$  lần lượt là giới hạn điện áp nút nhỏ nhất và lớn nhất cho phép.

Giai đoạn II: Xác định cấu trúc vận hành tối ưu của lưới điện, bên cạnh việc phải thỏa mãn các ràng buộc liên quan đến điện áp các nút và dòng điện trên các nhánh phải nằm trong giới hạn cho phép, thì ràng buộc về cấu trúc lưới hình tia là một trong những ràng buộc quan trọng nhất của bài toán nhằm tìm ra cấu trúc vận hành hình tia của LĐPP.

## 3 ỨNG DỤNG GA CHO BÀI TOÁN TỐI ƯU VỊ TRÍ VÀ CÔNG SUẤT DG CÓ XÉT ĐẾN TÁI CẤU HÌNH LĐPP.

Phương pháp xác định vị trí và công suất DG có xét đến tái cấu hình LĐPP đề xuất được chia làm hai giai đoạn. Tuy nhiên, mỗi giai đoạn là một bài toán tối ưu có ràng buộc và cần phải sử dụng các thuật toán tối ưu để giải từng bài toán. Trong bài báo này, thuật toán GA được sử dụng cho cả hai giai đoạn do bởi thuật toán GA là một thuật toán phổ biến, dễ thực hiện và đã được áp dụng thành công trong nhiều bài toán liên quan đến hệ thống điện nói chung cũng như bài toán tối ưu vị trí DG và bài toán tái cấu hình LĐPP nói riêng. Các bước cơ bản của thuật toán giải thuật GA được thực hiện như sau:

(1) Khởi tạo: Trong giai đoạn I, Các biến cần tối ưu là vị trí và công suất các máy phát điện phân tán, vì vậy véc tơ biến điều khiển có dạng như biểu thức (11). Khi đó quần thể (N) nhiễm sắc thể (NST) được khởi tạo ngẫu nhiên như biểu thức (12):

$$X_i = [VT_1^i, \dots, VT_m^i, P_1^i, \dots, P_m^i] \quad (11)$$

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} \text{round}[\text{VT}_{\text{min},d} + \text{rand} \times (\text{VT}_{\text{max},d} - \text{VT}_{\text{min},d})], \\ P_{\text{min},d} + \text{rand} \times (P_{\text{max},d} - P_{\text{min},d}) \end{array} \right\} \quad (12)$$

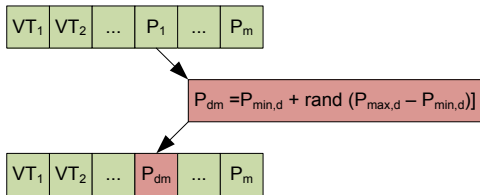
Trong đó,  $\text{VT}_{\text{min},d}$  và  $\text{VT}_{\text{max},d}$  lần lượt là thứ tự các nút nhỏ nhất và lớn nhất trong LĐPP mà DG thứ  $d$  có thể lắp đặt;  $P_{\text{min},d}$  và  $P_{\text{max},d}$  lần lượt là giới hạn công suất nhỏ nhất và lớn nhất của DG thứ  $d$ ;  $m$  là số lượng DG;  $d = 1, 2, \dots, m$  và  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Dựa trên quần thể vừa khởi tạo, bài toán phân bố công suất dựa trên phương pháp Newton-Raphson được giải và giá trị thích nghi của mỗi NST được tính dựa trên biểu thức (7).

(2) Chọn lọc: Dựa trên giá trị thích nghi của các NST, các NST tốt được giữ lại. Trong khi đó, các NST xấu được loại khỏi quần thể để nhường chỗ cho các NST mới. Trong nghiên cứu này, phương pháp chọn lọc xếp hạng được sử dụng để chọn lọc các NST tốt và tỉ lệ chọn lọc được giữ cố định là 50% NST trong quần thể.

(3) Ghép chéo: Ghép chéo là một hoạt động quan trọng trong thuật toán Giải thuật GA. Mục đích của ghép chéo, là để trao đổi thông tin đầy đủ giữa các NST. Trong nghiên cứu này phương pháp ghép chéo đơn điểm được sử dụng để tạo ra các NST mới.

(4) Đột biến: Để giúp GA thoát khỏi các cực trị địa phương và khám phá vùng tìm kiếm mới, cơ chế đột biến được sử dụng. Trong nghiên cứu này, tỉ lệ đột biến được chọn là 20% tổng số gen (mỗi gen là vị trí hoặc công suất DG) trong quần thể. Các gen được chọn đột biến sẽ được thay thế bằng một gen mới. Quá trình đột biến được mô tả chi tiết trong Hình 4.



Hình 4. Quá trình đột biến

Thực hiện xong bước 2-4, một quần thể mới được sinh ra thay thế cho thế hệ cha mẹ với một số NST mới và loại bỏ một số NST xấu. Quần thể mới được đánh giá bằng hàm thích nghi. Nếu các điều kiện hội tụ được thỏa mãn, thuật toán sẽ được dừng lại ngược lại thuật toán sẽ quay lại bước 2 và tiếp tục thực hiện các bước tiếp theo.

Sau khi thực hiện tối ưu vị trí và công suất các DG trên LĐPP kín, thông số các DG được cập nhật vào thông số LĐPP. Khi đó, giải thuật GA tiếp tục được sử dụng để xác định các khóa điện mở trong LĐPP để tạo ra cấu trúc vận hành hình tia của LĐPP. Quá trình áp dụng GA trong giai đoạn – II tương tự như giai đoạn – I, duy chỉ có cấu trúc của mỗi NST ở biểu thức (11) được thay thế bằng cấu trúc NST mới được mô tả bằng biểu thức (13):

$$X_i = [S_1^i, S_2^i, \dots, S_{NO}^i] \quad (13)$$

Trong đó,  $S_{NO}^i$  là khóa điện mở, NO là số lượng khóa mở để duy trì cấu trúc lưới hình tia.

Phương pháp xác định vị trí và công suất DG có xét đến tái cấu hình được thực hiện tuần tự theo các bước sau:

Bước 1: Đóng tất cả các khóa điện tạo thành LĐPP kín.

Bước 2: Sử dụng giải thuật GA xác định vị trí và công suất các máy phát điện phân tán trên LĐPP giảm tổn thất công suất.

Bước 3: Cập nhật lại thông số LĐPP có sự xuất hiện của các nguồn phân tán vừa xác định.

Bước 4: Sử dụng giải thuật GA xác định cấu trúc

vận hành hình tia LĐPP giảm tổn thất công suất.

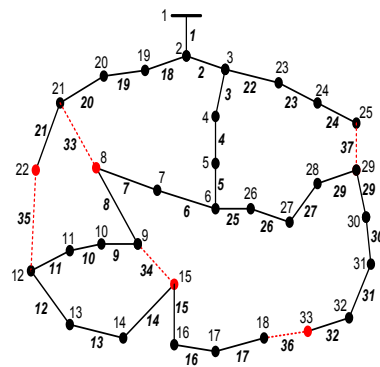
## 4 KẾT QUẢ TÍNH TOÁN.

### 4.1 Lựa chọn thông số

Để chứng minh khả năng và hiệu quả của phương pháp đề xuất, LĐPP 33 và 69 nút được sử dụng để tính toán. Mặc dù trong phương pháp đề xuất, số lượng DG có thể được chọn tùy ý. Tuy nhiên để thuận lợi trong quá trình so sánh với một số nghiên cứu, số lượng DG trong cả hai hệ thống được giới hạn là 3. Đối với GA, kích thước quần thể được chọn là 30, tỉ lệ chọn lọc và đột biến được chọn lần lượt là 50% và 20% cho cả giai đoạn – I và giai đoạn – II. Trong khi đó, số vòng lặp lớn nhất được chọn trong giai đoạn – I là 500 cho LĐPP 33 nút và 2000 cho LĐPP 69 nút và giai đoạn – II là 150 cho cả hai LĐPP.

### 4.2 LĐPP 33 nút

Hệ thống phân phối 33 nút, bao gồm 37 nhánh, 32 khóa điện thường đóng và 5 khóa điện thường mở. Sơ đồ đơn tuyến được trình bày trong Hình 5. Tổng công suất thực của tải và công suất phản kháng của hệ thống tương ứng là 3,72MW và 2,3 MVAR [15]. Tổng tổn thất công suất thực và công suất phản kháng đối với các trường hợp ban đầu tính từ phân bố công suất tương ứng là 202,68 kW và 135,14 kVAr.



Hình 5. Sơ đồ LĐPP 33 nút

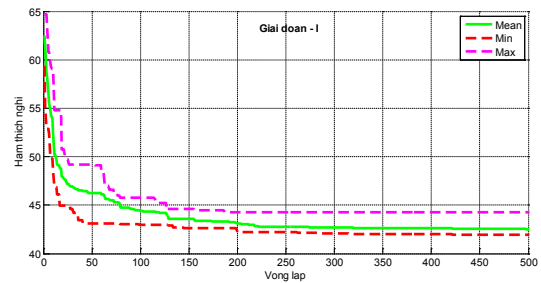
Bảng 1. Kết quả thực hiện hai giai đoạn trên LĐPP 33 nút

	LĐPP ban đầu	Giai đoạn I	Giai đoạn II
Vị trí DG (nút)	-	32, 8, 25	32, 8, 25
$P_{DG}$ (MW)	-	0,8234, 1,1047, 1,1073	0,8234, 1,1047, 1,1073
Khóa mở	33, 34, 35, 36, 37	Không có khóa mở	33, 34, 11, 30, 28
Tổn thất (kW)	202,68	41,9082 (LĐPP kín)	53,4274 (LĐPP hở)
$U_{min}$ (pu)	0,9108	0,9832	0,9685
$U_{max}$ (pu)	1	1	1
Giá trị hàm thích nghi	202,68	41,9082	53,4274
Giá trị lớn nhất hàm thích nghi	-	44,2733	53,4274
Giá trị trung bình hàm thích nghi	-	42,5102	53,4274
Độ lệch chuẩn	-	0,9969	0
Thời gian tính toán trung bình (giây)	-	130,49	39,54

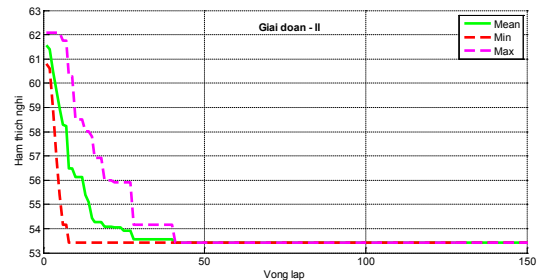
Bảng 1 trình bày kết quả tính toán trong hai giai đoạn. Trong giai đoạn I, vị trí các máy phát phân tán lần lượt được lắp đặt tại các vị trí tối ưu là nút 32, 8 và 25 với công suất tương ứng là 0,8234, 1,1047 và 1,1073 MW. Tổn thất công suất trên lưới điện này là 41,9082 kW. Tuy nhiên, cần lưu ý là cấu trúc lưới trong giai đoạn I là cấu trúc lưới điện kín và tổn thất công suất trên lưới điện kín là tổn thất bé nhất mà LĐPP có thể đạt được. Sau khi xác định được vị trí và công suất tối ưu của máy phát phân tán trên cấu trúc lưới kín, giai đoạn II được thực hiện để tìm các khóa điện mở và cấu trúc lưới thu được với các khóa mở là 33, 34, 11, 30 và 28 tương ứng với tổn thất công suất 53,4274 kW. Tổng tổn thất công suất đã được giảm 73,64% so với chưa thực hiện tối ưu lưới điện. Ngoài ra, điện áp thấp nhất trong hệ thống đã được cải thiện từ 0,91081 tới 0,9685pu.

Bảng 1 cũng cho thấy giá trị trung bình của hàm thích nghi trong giai đoạn I là 42,5102 gần bằng với giá trị hàm thích nghi nhỏ nhất 41,9082 với độ lệch chuẩn 0,9969. Trong khi đó, ở giai đoạn II, trong tất cả các lần thực hiện, GA đều tìm được cấu trúc vận hành tối ưu. Điều này được thể hiện qua các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình của hàm thích nghi đều bằng 53,4274 với độ lệch chuẩn bằng 0. Đặc tính hội tụ lớn nhất, trung bình

và nhỏ nhất của GA trong hai giai đoạn được thực hiện trong 20 lần chạy độc lập được cho trên Hình 6 và Hình 7. Từ hình vẽ cho thấy, đường đặc tính trung bình tiệm cận (trong giai đoạn I) hoặc trùng (giai đoạn II) với đường đặc tính hội tụ nhỏ nhất. Điều này chứng tỏ độ ổn định và sự phù hợp của GA khi áp dụng vào bài toán xác định vị trí và công suất phát của các DG trong đó có xét đến vận hành LĐPP. Thời gian thực hiện tính toán trên máy tính cá nhân core i3, ram 2G khoảng 170 s cho cả hai giai đoạn.

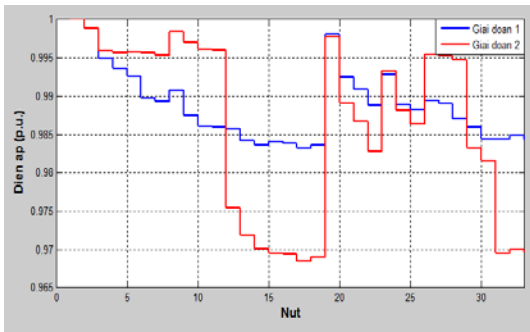


Hình 6. Đặc tính hội tụ của GA trong giai đoạn - I trên LĐPP 33 nút

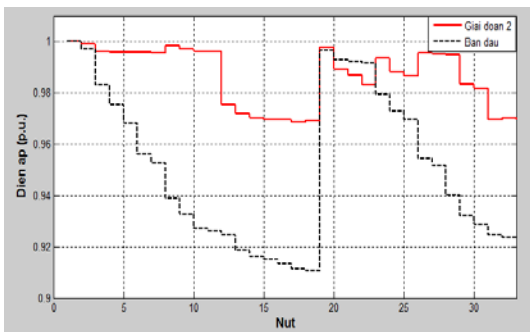


Hình 7. Đặc tính hội tụ của GA trong giai đoạn - II trên LĐPP 33 nút

Điện áp các nút trong hệ thống sau khi thực hiện hai giai đoạn được cho ở Hình 8. Từ hình vẽ cho thấy, điện áp các nút trong giai đoạn - I tốt hơn so với giai đoạn - II. Điều này khẳng định sự tối ưu của cấu trúc vận hành kín so với cấu trúc vận hành hở và nếu các thiết bị bảo vệ lưới điện đáp ứng nhu cầu vận hành kín, thì việc vận hành LĐPP kín có nhiều ưu điểm về tổn thất công suất và điện áp các nút trên toàn hệ thống. Tuy nhiên, mặc dù điện áp các nút không tốt hơn cấu trúc vận hành kín, nhưng rõ ràng điện áp các nút sau giai đoạn - II đã được cải thiện đáng kể so với cấu trúc vận hành ban đầu, điều này được thể hiện bằng sự so sánh với điện áp ban đầu tại Hình 9.



Hình 8. Điện áp các nút trong hai giai đoạn tính toán



Hình 9. Điện áp trước và sau khi tối ưu lưới điện

Bảng 2. So sánh kết quả thực hiện với các phương pháp trên LĐPP 33 nút

	GA	HSA [12]	FWA [13]	CSA [14]
Vị trí DG (nút)	32, 8, 25	32, 31, 33	32, 29, 18	18, 25, 7
$P_{DG}(MW)$	0,8234,	0,5258,	0,5367,	0,8968,
	1,1047,	0,5586,	0,6158,	1,4381,
	1,1073	0,5840	0,5315	0,9646
	$P_{\Sigma}=3,035$	$P_{\Sigma}=1,6684$	$P_{\Sigma}=1,68$	$P_{\Sigma}=3,299$
Khóa mở	33, 34, 11, 30, 28	7, 14, 10, 32, 28	7, 14, 11, 32, 28	33, 34, 11, 31, 28
$\Delta P$ (kW)	53,43	73,05	67,11	53,21
$U_{min}$ (p.u.)	0,9685	0,9700	0,9713	0,9806

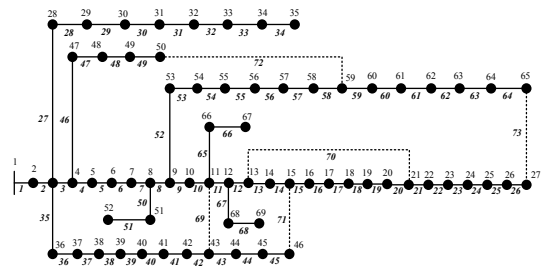
Kết quả so sánh với một số phương pháp được trình bày trong Bảng 2. Kết quả cho thấy, ở thành phần tổn thất công suất, phương pháp đề xuất có cấu trúc lưới tối ưu với tổn thất công suất 53,43 kW so với 73,05 kW khi thực hiện bằng thuật toán tìm kiếm hài hòa (harmony search algorithm-HSA) và 67,11 kW với thuật toán pháo hoa (fireworks algorithm-FWA). Trong khi, điện áp nhỏ nhất tại các nút trong hệ thống là gần như tương tự nhau với điện áp nhỏ nhất trên hệ thống được thực hiện bằng phương pháp đề nghị, HSA và FWA lần lượt là 0,9685, 0,9700 và 0,9713 p.u. Đối với thuật toán CSA, tổn thất công suất thu được của phương pháp

đề nghị gần bằng với phương pháp CSA với tổn thất công suất của hai phương pháp lần lượt là 53,43 kW và 53,21 kW. Điện áp nút nhỏ nhất từ phương pháp đề xuất là 0,9685 p.u. so với 0,9806pu. trong phương pháp CSA. Từ kết quả so sánh với một số giải thuật tối ưu mới được phát triển như HSA, FWA và CSA có thể thấy rằng phương pháp đề nghị thực hiện tối ưu vị trí và công suất DG kết hợp với xác định cấu trúc vận hành LĐPP bằng hai giai đoạn riêng rẽ sử dụng thuật toán GA là một phương pháp khả thi để thực hiện tối ưu LĐPP liên quan đến DG và cấu trúc vận hành LĐPP.

### 4.3 LĐPP 69 nút

LĐPP 69 nút bao gồm 69 nút, 73 nhánh, 5 khóa thường mở và tổng công suất phụ tải là 3,802 + j 3,696 MW. Sơ đồ đơn tuyến được trình bày tại Hình 10 và thông số hệ thống được cho ở [16]. Trong điều kiện vận hành bình thường các khóa điện {69, 70, 71, 72 và 73} được mở.

Kết quả tính toán trên LĐPP 69 nút ở Bảng 3 cho thấy, sau khi thực hiện tối ưu vị trí và công suất DG và xác định cấu trúc vận hành hồ tối ưu, tổn thất công suất đã giảm từ 224,89 kW xuống 39,332 kW và biên độ điện áp nút thấp nhất trong hệ thống đã được cải thiện đáng kể từ 0,9092 đến 0,9841 p.u.



Hình 10. LĐPP 69 nút

Bảng 3 cũng cho thấy giá trị trung bình của hàm thích nghi trong 20 lần thực hiện độc lập trong giai đoạn – I gần bằng với giá trị hàm thích nghi nhỏ nhất với độ lệch chuẩn 0,0233. Trong khi đó, ở giai đoạn – II, trong tất cả các lần thực hiện, GA đều tìm được cấu trúc vận hành tối ưu. Điều này được thể hiện qua các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình của hàm thích nghi đều bằng nhau với độ lệch chuẩn bằng 0. Đặc tính hội tụ lớn nhất, nhỏ nhất và trung bình của GA trong hai giai đoạn được cho ở Hình 11 và Hình 12. Hình vẽ cho thấy, đường đặc tính trung bình rất gần với đường đặc tính hội tụ nhỏ nhất trong cả hai giai đoạn.

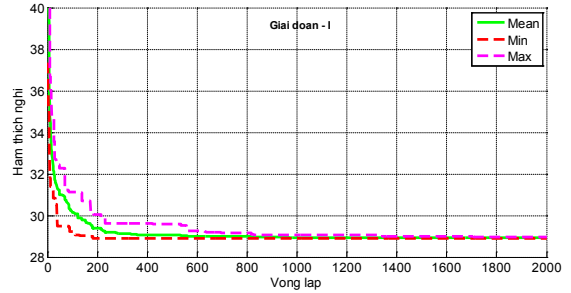
Bảng 3. Kết quả thực hiện hai giai đoạn trên LĐPP 69 nút

	LĐPP ban đầu	Giai đoạn I	Giai đoạn II
Vị trí DG (nút)	-	50, 21, 61	50, 21, 61
$P_{DG}$ (MW)	-	0,7431, 0,6778, 1,6224	0,7431, 0,6778, 1,6224
Khóa mở	69, 70, 71, 72, 73	Không có khóa mở	69, 70, 12, 55, 62
Tổn thất (kW)	224,89	28,8883	39,332
$U_{min}$ (pu)	0,9092	0,9881	0,9841
$U_{max}$ (pu)	1	1	1
Giá trị hàm thích nghi	-	28,8883	39,332
Giá trị lớn nhất hàm thích nghi	-	28,9766	39,332
Giá trị trung bình hàm thích nghi	-	28,9241	39,332
Độ lệch chuẩn	-	0,0233	6e-11
Thời gian tính toán trung bình (giây)	-	806,47	214,95

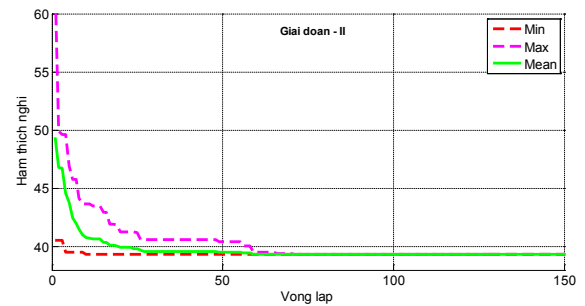
Kết quả so sánh với một số phương pháp được trình bày trong Bảng 4. Kết quả cho thấy, tổn thất công suất thu được bằng phương pháp đề xuất nhỏ hơn so với HSA và CSA với giá trị tổn thất công suất là 39,332 kW, trong khi đối với HSA và CSA lần lượt là 40,3 và 40,49 kW. So với FWA, tổn thất công suất thu được khi sử dụng phương pháp đề xuất cao hơn 0,0820 kW so với FWA.

Bảng 4. So sánh kết quả thực hiện với các phương pháp trên LĐPP 69 nút

	GA	HSA [16]	FWA [17]	CSA [19]
Vị trí DG (nút)	50, 21, 61	61, 60, 62	61, 62, 65	61, 62, 65
$P_{DG}$ (MW)	0,7431, 0,6778, 1,6224 $P\Sigma=3,0433$	1,0666, 0,3525, 0,4257 $P\Sigma=1,8448$	1,1272, 0,2750, 0,4159 $P\Sigma=1,8181$	1,7496, 0,1566, 0,4090 $P\Sigma= 2,3152$
Khóa mở	69, 70, 12, 55, 62	69, 17, 13, 58, 61	69, 70, 13, 55, 63	69, 70, 12, 58, 61
$\Delta P$ (kW)	39,332	40,3	39,25	40,49
$U_{min}$ (p.u.)	0,9841	0,9736	0,9796	0,9873



Hình 11. Đặc tính hội tụ của GA trong giai đoạn I trên LĐPP 69 nút



Hình 12. Đặc tính hội tụ của GA trong giai đoạn II trên LĐPP 69 nút

## 5 KẾT LUẬN.

Bài báo này tiếp cận bài toán xác định vị trí và công suất DG trên LĐPP có xét đến cấu trúc vận hành lưới điện với mục tiêu là giảm tổn thất công suất tác dụng trên hệ thống phân phối. Giải pháp xác định vị trí và công suất DG tối ưu và xác định cấu trúc vận hành được thực hiện riêng rẽ bằng hai giai đoạn sử dụng thuật toán GA. Trong đó, ở giai đoạn thứ nhất sử dụng thuật toán GA xác định vị trí và công suất tối ưu của các DG trên LĐPP kín; ở giai đoạn thứ hai, giải thuật GA được sử dụng để xác định cấu trúc vận hành hồ tối ưu của hệ thống. Từ kết quả của việc áp dụng thử nghiệm phương pháp vào hệ thống mạng 33 nút và 69 nút, phương pháp thực hiện đơn giản, rút ngắn thời gian thực hiện cho giải thuật GA vì số lượng biến cần tối ưu trong mỗi lần thực hiện là tương đối nhỏ. Kết quả thực hiện so sánh với một số nghiên cứu cho thấy sự phù hợp của phương pháp đề xuất.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Merlin and H. Back, "Search for a minimal loss operating tree configuration in an urban power distribution system," *Proceeding 5th power Syst. Comput. Conf (PSCC)*, Cambridge, UK, vol. 1, pp. 1-18, 1975
- [2] S. Civanlar, "Distribution feeder reconfiguration for



- loss reduction s," *IEEE Trans Power Delive*, vol. 3, no. 3, pp. 1217-1223, 1988.
- [3] Nguyễn Minh Châu, "Tối ưu hóa các nguồn sản xuất điện phân tán trên hệ thống điện", Luận văn Thạc sĩ năm 2006, ĐHSPKT TPHCM.
- [4] Trương Quang Đăng Khoa, Phan Thị Thanh Bình, Hồng Bảo Trân, "Xác định dung lượng và vị trí của máy phát phân bố (DG) tối ưu tồn thất lưới phân phối", *Tạp chí Phát triển KH&CN*, tập 10, số 3, 2007.
- [5] Lê Kim Hùng, Lê Thái Thanh, "Tối ưu hóa vị trí đặt và công suất phát của nguồn phân tán trên mô hình lưới điện phân phối 22kV", *Tạp chí KH&CN*, Đại học Đà Nẵng, số 25, tr. 67-72, 2008.
- [6] D. Q. Hung, N. Mithulanathan, 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.
- [7] César Augusto Peñuela Meneses and José Roberto Sánchez Mantovani, "Improving the Grid Operation and Reliability Cost of Distribution Systems With Dispersed Generation", *IEEE Transactions on power systems*, vol. 28, no. 3, pp. 2485-2496, August 2013.
- [8] V. V. S. N. Murty and A. Kumar, "Optimal placement of DG in radial distribution systems bases on new voltage stability index under load growth," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 69, pp. 246-256, July 2015.
- [9] I. a. Mohamed and M. Kowsalya, "Optimal size and siting of multiple distributed generators in distribution system using bacterial foraging optimization," *Swarm Evol. Comput.* vol. 15, pp. 58-65, April 2014.
- [10] A. Ameli, B. Shahab, K. Farid, and H. Mahmood-Reza, "A Multiobjective Particle Swarm Optimization for Sizing and Placement of DGs from DG Owner's and Distribution Company's Viewpoints," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no 4, pp. 1831-1840, 2014.
- [11] S. Tan, J. X. Xu, and S. K. Panda, "Optimization of distribution network incorporating distributed generators: An integrated approach" *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 2421- 2432, 2013.
- [12] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 317-325, 2013.
- [13] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, "A novel intergration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 461-472, 2014.
- [14] 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.
- [15] 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.

- [16] H.-D. Chiang and R. Jean-Jumeau, "Optimal network reconfigurations in distribution systems: Part 2: Solution algorithms and numerical results," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 5, no. 3, pp. 1568-1574, 1990.

**Nguyễn Tùng Linh** sinh năm 1982, tốt nghiệp Đại học Điện lực năm 2005, nhận bằng Thạc Sĩ năm 2009 tại Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện là giảng viên trường Đại học Điện lực Hà Nội từ năm 2006. Hướng nghiên cứu chính bao gồm Hệ thống điện, ứng dụng công nghệ thông tin trong hệ thống điện, hệ thống điện thông minh, tái cấu hình lưới điện phân phối, lưới điện thông minh, GIS cho ngành điện.

**Nguyễn Thanh Thuận** nhận bằng Đại học và Thạc sĩ trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh năm 2008 và năm 2012. Hiện là giảng viên Trường Cao đẳng Công nghệ cao Đồng An. Hướng nghiên cứu chính tối ưu hóa vận hành lưới điện phân phối.

**Tôn Ngọc Triều** nhận bằng Đại học và Thạc sĩ trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh năm 2005 và năm 2010. Hiện là giảng viên Trường Cao đẳng Công nghệ Thủ Đức. Hướng nghiên cứu chính tối ưu hóa vận hành lưới điện phân phối, năng lượng tái tạo.

**Nguyễn Anh Xuân** nhận bằng Đại học từ năm 2012 tại Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội và đang là học viên cao học tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh. Hiện đang công tác tại Văn phòng Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh. Hướng nghiên cứu chính lưới Xác định vị trí và công suất máy phát điện phân tán trên lưới điện phân phối.

**Trương Việt Anh** nhận bằng Đại học, Thạc sĩ và Tiến Sĩ hệ thống điện trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh năm 1994, 1999, và năm 2004. Hiện là giảng viên Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam. Hướng nghiên cứu chính bao gồm các vấn đề liên quan đến ổn định hệ thống điện, độ tin cậy, FACTS, và thị trường điện.

# Application of genetic algorithm for problem of optimizing location and capacity of distributed generation considering distributed network reconfiguration

Nguyen Tung Linh, Nguyen Thanh Thuan, Ton Ngoc Trieu,  
Nguyen Anh Xuan, Truong Viet Anh

**Abstract**—This paper presents a method of determining the location and size of distributed generation (DG) considering to operate the configuration of distribution network to minimize the real power loss. The proposed method which is based on the genetic algorithm (GA) is divided into two stages. In the first stage, GA is used to optimize the location and size of DG in the mesh distribution network, while in the second stage, GA is used to determine the radial network configuration after installing DG. The simulation results on the 33-nodes and 69-nodes systems show that the proposed method can be an efficient method for the placing DG problem and that is considering to solve the problem of distribution network reconfiguration.

**Index Terms** — Distribution network, distributed power supply, power loss, genetic algorithm.