

CẢI TIẾN THUẬT TOÁN DI TRUYỀN ÁP DỤNG CHO BÀI TOÁN TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN CÓ XÉT ĐẾN VỊ TRÍ VÀ CÔNG SUẤT CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN KẾT NỐI VÀO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

IMPROVEMENT OF GENETIC ALGORITHM FOR DISTRIBUTION NETWORK RECONFIGURATION PROBLEM WITH THE POSITION AND POWER CAPACITY OF DISTRIBUTER CONNECTOR GRID

Nguyễn Tùng Linh¹, Trương Việt Anh², Nguyễn Thanh Thuận³

¹Trường Đại học Điện lực; linhht@epu.edu.vn

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh; tvanhspkt@gmail.com

³Trường Cao đẳng nghề Công nghệ cao Đồng An

Tóm tắt - Trong tương lai nguồn năng lượng sạch từ các nguồn điện phân tán (Distributed generation - DG) sẽ đóng vai trò quan trọng trong các lưới điện phân phối. Việc kết nối DG vào lưới điện phân phối sẽ giúp nâng cao độ tin cậy và khả năng cung cấp điện, giảm tổn thất trong quá trình truyền tải điện năng. Tuy nhiên, nó cũng đòi hỏi một cấu hình lưới hợp lý để nâng cao hiệu quả cung cấp điện cũng như sử dụng hiệu quả các nguồn điện phân tán. Do đó trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp xác định vị trí và công suất của nguồn điện phân tán có xét đến bài toán tái cấu trúc lưới điện với hàm mục tiêu là giảm tổn thất công suất tác dụng. Phương pháp đề xuất được kiểm tra trên lưới điện mẫu của IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) và so sánh với các kết quả nghiên cứu khác.

Từ khóa - lưới điện phân phối; tái cấu trúc; thuật toán gen; nguồn điện phân tán; giảm tổn thất điện năng.

Abstract - In the future, clean energy resources from distributed generation (DG) will play an important role in electrical distribution networks. Location and size of the distributed generators (DGs) and the number of DGs in distribution network system affect distribution network configuration in normal operating conditions and restoration conditions from faults. So, in this article, the authors propose using genetic algorithms to determine the location and capacity of scattered power considering the reconstruction problem of distribution network with the objective of reducing power losses. The proposed is tested on IEEE electric grid and compared with the results of other studies.

Key words - electrical distribution network; reconfiguration; genetic algorithms; distributed generation; power loss reduction.

1. Giới thiệu

Cấu trúc hệ thống điện truyền thống có dạng dọc, mạng phân phối sẽ nhận điện từ lưới truyền tải hoặc truyền tải phụ sau đó cung cấp đến hộ tiêu thụ điện. Mạng lưới phân phối 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 mạng phân phối 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 mạng phân phối (khoảng 10 - 15% tổng công suất của hệ thống). Với cấu trúc mới của lưới phân phối hiện nay, do có sự tham gia của các DG, dòng công suất không chỉ đổ về từ hệ thống truyền tải mà còn lưu thông giữa các phần của mạng phân phối 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, lưới điện phân phối (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 và điện năng, hỗ trợ lưới điện.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về bài toán tái cấu trúc 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 [3] - giải quyết bài toán thông qua kỹ thuật heuristic rời rạc nhánh - biên, Civanlar và các cộng

sự [4] - phương pháp trao đổi nhánh hay các phương pháp heuristic hoặc meta-heuristic như GA, PSO, 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 LĐPP được đề cập trong các nghiên cứu [8-14]. 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 kết hợp hai bài toán vị trí và dung lượng của DG với bài toán tái cấu trúc LĐPP [15-17] đã giải quyết được cả hai mục tiêu là tính kinh tế vì đã tận dụng tối đa công suất của DG, đồng thời đảm bảo được hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất trên lưới trong bài toán tái cấu trúc là nhỏ nhất, do đó việc nghiên cứu này là cần thiết.

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 trúc 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.

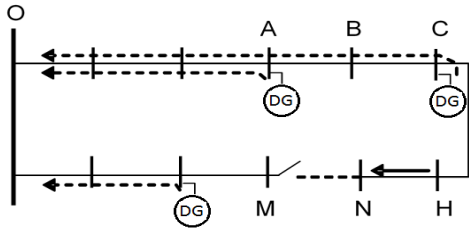
Giải pháp xác định vị trí và công suất của các DG tối ưu và xác định cấu hình vận hành được thực hiện bằng hai giai đoạn với thuật toán di truyền (GA - Genetic Algorithm). Trong đó, giai đoạn thứ nhất sử dụng GA xác định vị trí và công suất tối ưu của các máy phát phân tán trên LĐPP kín (đóng tất cả các khóa điện); Giai đoạn thứ hai, giải thuật di truyền 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 [12-15], cho thấy tính hiệu quả của giải pháp đề xuất.

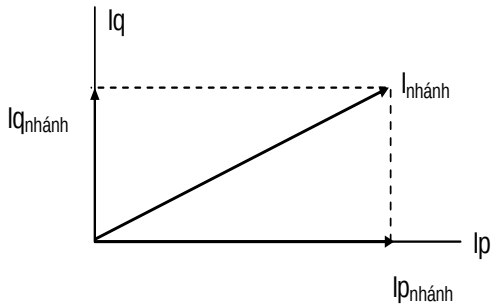
2. Mô hình bài toán tái cấu trúc có xét đến kết nối nguồn điện phân tán vào lưới điện phân phối

2.1. Mô hình toán học của bài toán

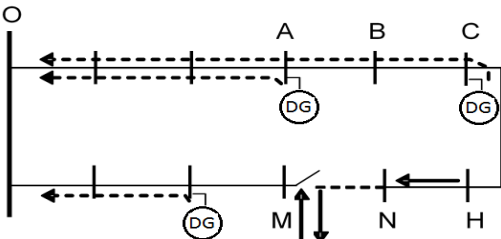
Xét LĐPP đơn giản như Hình 1. Với 3 vị trí có lắp DG cho phép không làm mất tính tổng quát khi mô tả tất cả các trường hợp vị trí khóa mở và vị trí DG. Hàm tổn thất công suất tác dụng ΔP của LĐPP ở Hình 1 được viết tại biểu thức (1), dòng điện nhánh trên LĐPP Hình 1 có thể biểu diễn thành 2 thành phần như Hình 2: $\vec{I}_{nhánh} = \vec{I}_p + \vec{I}_q$. Để mô tả hàm số ΔP , 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 khoá điện đang mở trên nhánh MN cùng một dòng điện có giá trị là I_{MN} như Hình 3.



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 khoá MN

Tổn hao công suất của LĐPP trước khi tái cấu trúc lưới:

$$\begin{aligned} \Delta P^{trước} = & \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PA}^{DG} - I_{PC}^{DG} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QA}^{DG} - I_{QC}^{DG} \right)^2 R_i \\ & i \in OA \quad i \in OA \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PC}^{DG} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QC}^{DG} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n I_{Pi}^2 R_i + \sum_{i=1}^n I_{Qi}^2 R_i \\ & i \in ABC \quad i \in ABC \quad i \in CN \quad i \in CN \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PL}^D \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QL}^{DG} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n I_{Pi}^2 R_i + \sum_{i=1}^n I_{Qi}^2 R_i \\ & i \in OL \quad i \in OL \quad i \in LM \quad i \in LM \end{aligned} \quad (1)$$

Tổn hao công suất của LĐPP sau khi tái cấu trúc:

$$\begin{aligned} \Delta P^{sau} = & \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PA}^{DG} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & i \in OA \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QA}^{bu} - I_{QC}^{bu} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & i \in OA \quad i \in ABC \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QC}^{DG} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & i \in ABC \quad i \in CN \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PL}^{DG} + I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & i \in CN \quad i \in OL \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QL}^{DG} + I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} + I_P^{MN} \right)^2 R_i \\ & i \in OL \quad i \in LM \\ & + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} + I_Q^{MN} \right)^2 R_i + \left(I_P^{MN} \right)^2 R_{MN} + \left(I_Q^{MN} \right)^2 R_{MN} \quad (2) \\ & i \in LM \end{aligned}$$

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 I_P^{MN} và I_Q^{MN} để giá trị ΔP của lưới điện Hình 1 đạt cực tiểu thì:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_P^{MN}} = 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_Q^{MN}} = 0 \\ \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_P^{MN}} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PA}^{DG} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right) R_i \\ + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PC}^{DG} - I_P^{MN} \right) R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_P^{MN} \right) R_i \\ - \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} - I_{PL}^{DG} + I_P^{MN} \right) R_i - \sum_{i=1}^n \left(I_{Pi} + I_P^{MN} \right) R_i - I_P^{MN} R_{MN} = 0 \\ \frac{\partial \Delta P^{sau}}{\partial I_Q^{MN}} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QA}^{bu} - I_{QC}^{bu} - I_Q^{MN} \right) R_i \\ + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QC}^{bu} - I_Q^{MN} \right) R_i + \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_Q^{MN} \right) R_i \\ - \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} - I_{QL}^{bu} + I_Q^{MN} \right) R_i - \sum_{i=1}^n \left(I_{Qi} + I_Q^{MN} \right) R_i - I_Q^{MN} R_{MN} = 0 \end{aligned}$$

Giải ra được

$$\begin{aligned} I_P^{MN} = & \frac{1}{R_{Loop}} \left[\sum_{i \in OM}^{i=1} I_{Pi} R_i - \sum_{i \in ON}^{i=1} I_{Pi} R_i \right] + \\ & \frac{1}{R_{Loop}} \left[I_{PA}^{DG} \sum_{i \in OA}^{i=1} R_i + I_{PC}^{DG} \sum_{i \in OC}^{i=1} R_i - I_{PL}^{DG} \sum_{i \in OL}^{i=1} R_i \right] \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_Q^{MN} = & \frac{1}{R_{Loop}} \left[\sum_{i \in OM}^{i=1} I_{Qi} R_i - \sum_{i \in ON}^{i=1} I_{Qi} R_i \right] + \\ & \frac{1}{R_{Loop}} \left[I_{QA}^{DG} \sum_{i \in OA}^{i=1} R_i + I_{QC}^{DG} \sum_{i \in OC}^{i=1} R_i - I_{QL}^{DG} \sum_{i \in OL}^{i=1} R_i \right] \quad (4) \end{aligned}$$

Biểu thức (3) và (4) cho thấy việc đặt DG vào LĐPP sẽ làm vị trí khóa mở sẽ 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 trúc LĐPP 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 lưới điện phân phối 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

Tổn thất công suất của hệ thống bằng tổng tổn thất trên các nhánh.

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

Trong đó:

ΔP_i : tổn thất công suất tác dụng trên nhánh thứ i ;

Nbr: tổng số nhánh;

P_i, Q_i : công suất tác dụng, 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_{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 2 giai đoạn, do đó các điều kiện ràng buộc được chia như sau:

Giai đoạn 1: Xác định vị trí và công suất nguồn phân tán.

Giai đoạn 2: Xác định cấu trúc vận hành tối ưu của lưới điện.

Đối với giai đoạn 1, cần thỏa mãn các ràng buộc sau:

Giới hạn công suất phát của các máy phát phân tán:

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

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

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

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

Đối với giai đoạn 2, 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. Đề xuất phương pháp sử dụng giải thuật di truyền cho bài toán tái cấu trúc có xét đến nguồn phân tán

3.1. Giải thuật di truyền

Trong giai đoạn 1 và 2, thuật toán di truyền được sử dụng để tối ưu các biến điều khiển. Các bước cơ bản của thuật toán giải thuật di truyền được thực hiện như sau:

(1) Khởi tạo quần thể: Với các biến điều khiển cho trước X , chọn ngẫu nhiên một quần thể nhiễm sắc thể

(NST) $\{X_0^1, X_0^2, \dots, X_0^p\}$ trong đó mỗi NST X_0^i có thể được thể hiện bởi một chuỗi mã nhị phân hay các số liên tục. Khi đó, mỗi NST tương ứng với một giá trị hàm mục tiêu $f(X_0^i)$, và quần thể tương ứng với tập giá trị hàm mục tiêu $\{f(X_0^1), f(X_0^2), \dots, f(X_0^p)\}$. Đặt thế hệ $k = 0$, di chuyển đến bước tiếp theo.

(2) Lựa chọn: Chọn một cặp NST từ quần thể như là một cha mẹ. Thông thường, NST với độ thích nghi lớn hơn có một xác suất được lựa chọn lớn hơn.

(3) Ghép chéo: là hoạt động quan trọng trong thuật toán Giải thuật di truyền. Mục đích của ghép chéo, là để trao đổi thông tin đầy đủ giữa các nhiễm sắc thể (NST). Có rất nhiều phương pháp ghép chéo, như ghép chéo một điểm và ghép chéo đa điểm.

(4) Đột biến: là hoạt động quan trọng khác trong thuật toán di truyền. Các đột biến tốt sẽ được giữ lại, và đột biến xấu sẽ được loại bỏ. Thông thường, các NST với độ thích nghi kém có xác suất được lựa chọn lớn hơn. Tương tự như ghép chéo, có đột biến một điểm và đa điểm.

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.

3.2. Mã hóa các biến trong các giai đoạn

Giai đoạn 1: Các biến cần tối ưu là vị trí và công suất các máy phát điện phân tán, vì vậy vectơ biến điều khiển có dạng như sau:

$$X_i = [VT_1^i, \dots, VT_m^i, DG_1^i, \dots, DG_m^i] \quad (5)$$

Trong đó, VT_m^i là vị trí các nút được lắp đặt DG nằm trong giới hạn là tất cả các nút trong hệ thống trừ nút nguồn, m là số lượng DG cần lắp đặt, DG_m^i là công suất của DG cần lắp đặt.

Giai đoạn 2: Các biến cần tối ưu là các khóa điện mở trong hệ thống, vì vậy vectơ biến điều khiển có dạng như sau:

$$X_i = [S_1^i, S_2^i, \dots, S_{NO}^i] \quad (6)$$

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

Lưu đồ giải thuật chi tiết được trình bày trong Hình 4.

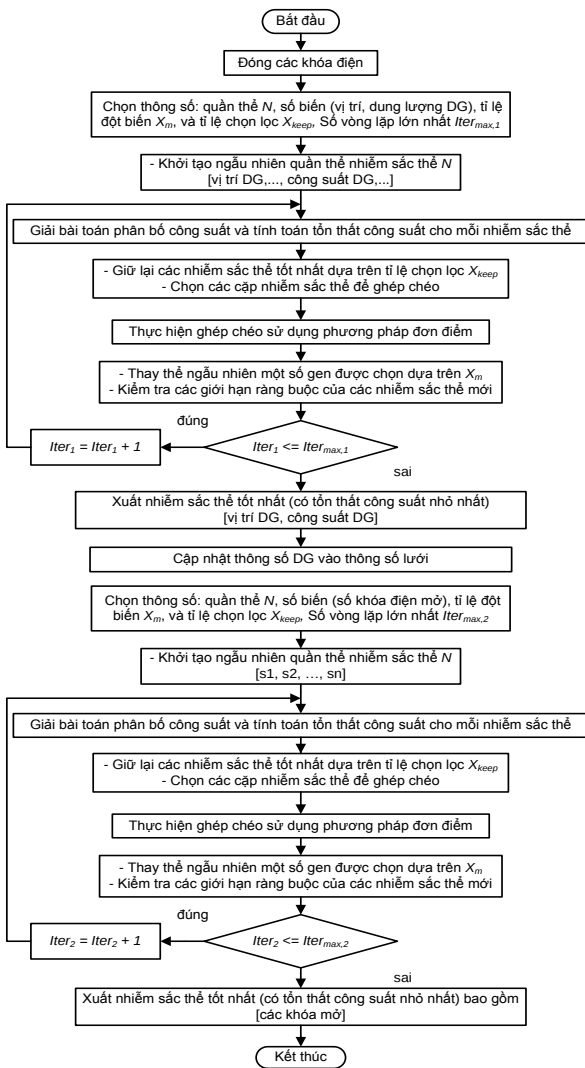
Phương pháp xác định vị trí và công suất nguồn phát trong quy hoạch LĐPP được thực hiện như sau:

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

Bước 2: Sử dụng giải thuật di truyền 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.

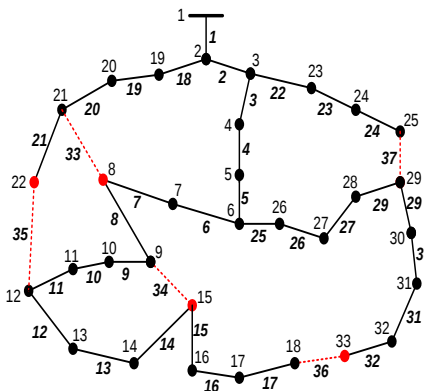
Bước 4: Sử dụng giải thuật di truyền xác định cấu trúc vận hành hình tia LĐPP giảm tổn thất công suất.



Hình 4. Lưu đồ giải thuật GA cho bài toán tái cấu trúc

4. Kiểm tra trên các lưới mẫu của IEEE

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 2.3MVAR. 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. Độ lớn điện áp nhỏ nhất của hệ thống là 0.9108 p.u. xảy ra tại nút 18.



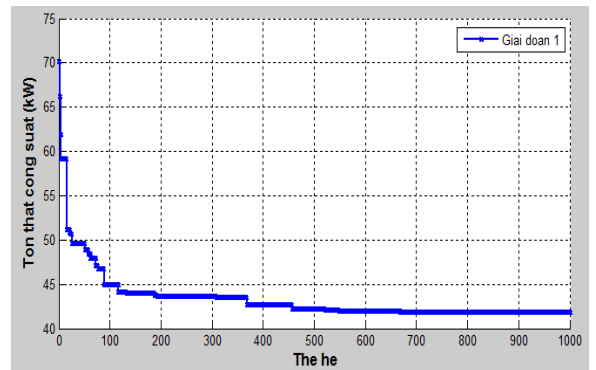
Hình 5. Sơ đồ lưới điện 33 nút

Bảng 1. Kết quả thực hiện hai giai đoạn lưới điện 33 nút

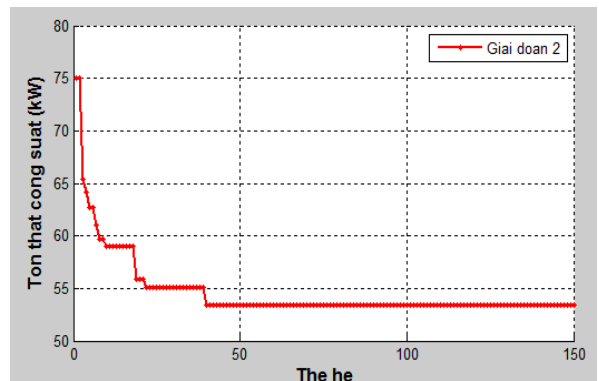
	Giai đoạn 1	Giai đoạn 2
Vị trí DG (nút)	32; 8; 25	32; 8; 25
P _{DG} (MW)	0,8234; 1,1047, 1,1073	0,8234; 1,1047, 1,1073
Khóa mở	Không có khóa mở	33, 34, 11, 30, 28
Tổn thất (kW)	41,9082	53, 4274
U _{min} (pu)	0,9832	0,9685
U _{max} (pu)	1	1
Giá trị hàm mục tiêu	41,9082	53,4274
Thời gian tính toán (giây)	130,49	39,54

Bảng 1 trình bày kết quả tính toán trong hai giai đoạn. Giai đoạn 1, 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 1 là cấu trúc lưới điện kín và tổn thất công suất trên lưới điện kín là tổn thất bé nhất mà lưới điện phân phối 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 2 được thực hiện để tìm các khóa điện mở. 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.

Quá trình hội tụ của giai đoạn 1 và giai đoạn 2 được thể hiện trong các Hình 6, 7. Thời gian thực hiện tính toán trên máy tính cá nhân core i3, ram 2G khoảng 170 s cho cả hai giai đoạn.



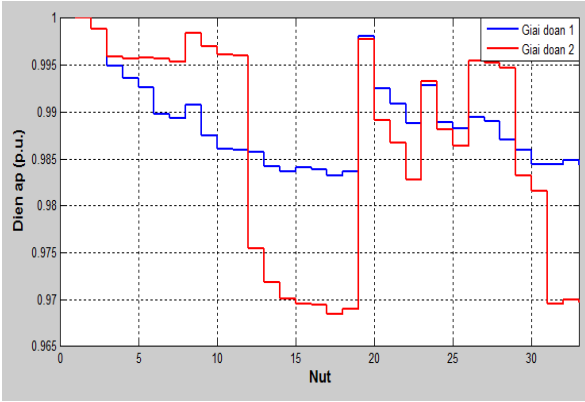
Hình 6. Đặc tính hội tụ giải thuật di truyền giai đoạn 1



Hình 7. Đặc tính hội tụ giải thuật di truyền giai đoạn 2

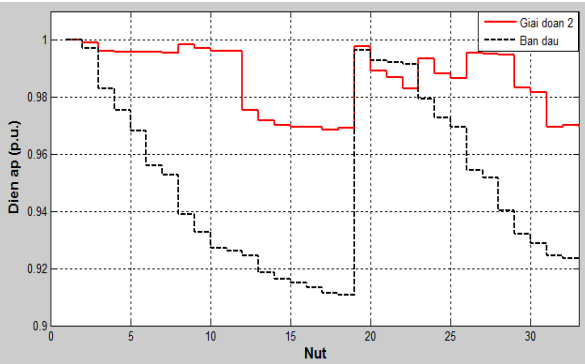
Điện áp các nút trong hệ thống sau khi thực hiện hai giai

đoạn được cho ở Hình 8. Từ Hình 8 cho thấy, điện áp các nút trong giai đoạn 1 tốt hơn so với giai đoạn 2. Điều này khẳng định, sự tối ưu của cấu trúc vận hành kín so với cấu trúc vận hành hở. Do đó, 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 và điện áp các nút trên toàn hệ thống.



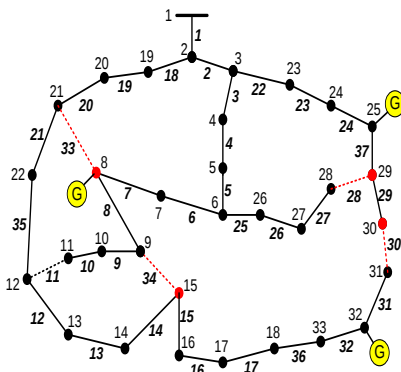
Hình 8. Điện áp các nút trong hai giai đoạn tính toán

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 2 đã được cải thiện đáng kể so với cấu trúc ban đầu, điều này được thể hiện bằng sự so sánh với điện áp ban đầu tại Hình 8. Cấu trúc lưới và vị trí lắp đặt máy phát phân tán tối ưu trên hệ thống được trình bày trên Hình 9.



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

Cấu trúc tối ưu sau khi tính toán, Hình 10.



Hình 10. Cấu trúc lưới tối ưu

Kết quả so sánh giữa các phương pháp được trình bày trong Bảng 2 và Bảng 3. Từ kết quả so sánh 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 HSA và 67,11 kW với 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. Từ kết quả so sánh trong Bảng 2 ta nhận thấy phương pháp đề xuất có U_{min} là 0.9685 thấp hơn so với điện áp U_{min} của phương pháp CSA là 0.9806pu tuy nhiên vẫn nằm trong giới hạn cho phép. Các thông số tổn thất công suất, các điều kiện khóa mở/đóng, công suất huy động của nguồn điện phân tán của phương án đề xuất so với các phương án trong bảng so sánh là khả thi để thực hiện.

Bảng 2. So sánh kết quả thực hiện với cấu trúc ban đầu

	LĐPP ban đầu không có DG	LĐPP hở có DG đề xuất
Vị trí DG (nút)	Không	32; 8; 25
P_{DG} (MW)	Không	0,8234; 1,1047; 1,1073
Khóa mở	33; 34; 35; 36; 37	33; 34; 11; 30; 28
Tổn thất (kW)	202.68	53,4274
U_{min} (pu)	0,9108	0,9685
U_{max} (pu)	1	1
Giá trị hàm mục tiêu	Không	53,4274
Thời gian tính toán (giây)	Không	39,54

Bảng 3. So sánh kết quả thực hiện với các phương pháp

	Phương pháp đề nghị	HSA [11]	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 1,1047 1,1073 $P_{\Sigma}=3,035$	0,5258 0,5586 0,5840 $P_{\Sigma}=1,6684$	0,5367 0,6158 0,5315 $P_{\Sigma}=1,68$	0,8968 1,4381 0,9646 $P_{\Sigma}=3,299$
Khóa mở	33; 34; 11; 30; 28	7; 14; 10; 32; 28	7; 14; 11; 32; 28	33; 34; 11; 31; 28
Ptt (kW)	53,43	73,05	67,11	53,21
U_{min} (pu)	0,9685	0,9700	0,9713	0,9806

5. Kết luận

Bài báo này tiếp cận bài toán xác định vị trí và công suất máy phát điện phân tán 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 máy phát điện phân tán tối ưu và xác định cấu trúc vận hành được thực hiện riêng rẽ bằng hai giai đoạn sử dụng thuật toán di truyền. Trong đó, giai đoạn 1 sử dụng thuật toán di truyền xác định vị trí và công suất tối ưu của các máy phát phân tán trên lưới điện phân phối kín; Giai đoạn 2 giải thuật di truyền được sử dụng để xác định cấu trúc vận hành hở tối ưu của hệ thống. Từ kết quả của việc áp dụng thử nghiệm phương pháp vào hệ thống mạng 33 nút, phương pháp thực hiện đơn giản, rút ngắn thời gian thực hiện cho giải thuật di truyền 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] S. Kalambe and G. Agnihotri, "Loss minimization techniques used in distribution network: Bibliographical survey", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29 pp. 184-200, 2014.
- [2] T.T. Nguyen and A. V. Truong, "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm", *Int. j. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 68, pp. 233-242, 2015.
- [3] 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. 1-18, 1975.
- [4] S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin, and S.S.H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction s.", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol.3, no.3, pp. 1217-1223, 1988.
- [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 2(25) 2008. pp 67-72
- [6] 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.
- [7] César Augusto Peñuela Meneses, José Roberto Sanches Mantovani, "Improving the Grid Operation and Reliability Cost of Distribution Systems With Dispersed Generation", *IEEE Transactions on power systems*, vol. 28, no. 3, 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, 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, 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.*, 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. 1-9, 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.

(BBT nhận bài: 05/05/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 14/06/2017)