

ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TÁI CẤU HÌNH LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY CUNG CẤP ĐIỆN

PROPOSED METHOD OF CONFIGURING DISTRIBUTION NETWORK ENHANCING RELIABILITY IN POWER SUPPLY

Trương Việt Anh¹, Nguyễn Tùng Linh^{2,*}

TÓM TẮT

Trong lưới điện phân phối, bài toán tái cấu hình lưới điện phân phối để đạt được chi phí vận hành, đặc biệt là chi phí ngưng cung cấp điện nhỏ nhất mà vẫn đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện cho khách hàng luôn là bài toán quan trọng trong thực tế. Bài báo trình bày phương pháp tìm và mở các khóa điện để đạt cấu hình được lưới điện phân phối có chi phí vận hành và chi phí ngưng cung cấp điện nhỏ nhất, đồng thời nâng cao độ tin cậy cung cấp điện. Phương pháp đề xuất được kiểm chứng trên hai lưới điện mẫu 7 nút và 33 nút của IEEE. Kết quả mô phỏng xác định được cấu hình các lưới điện có chi phí vận hành và chi phí ngưng cung cấp điện nhỏ nhất, phương pháp đề xuất được so sánh với phương pháp sử dụng thuật toán GSA cho thấy độ tin cậy cung cấp điện cao cho thấy phương pháp đề xuất có tính chính xác và khả năng ứng dụng trong thực tế.

Từ khóa: Lưới điện phân phối; tổn thất công suất; độ tin cậy; chi phí vận hành lưới điện phân phối.

ABSTRACT

In the distribution grid, the problem of reconfiguring the distribution grid to achieve operating costs, especially the minimum cost of stopping the power supply while ensuring the reliability of power supply to customers is always a problem. math is important in practice. The paper presents the method of finding and unlocking electric locks to achieve the configuration of the distribution grid with the smallest operating costs and stopping costs of power supply, and improving the reliability of power supply. The proposed method was tested on two IEEE 7- and 33-node sample grids. Simulation results determine the configuration of the grids with the smallest operating costs and power supply shutdown costs, the output method is compared with the method using GSA algorithm to show the reliability of power supply. It shows that the proposed method has accuracy and applicability in practice.

Keywords: Distribution network; power loss; reliability; reconfiguration distribution network.

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Điện lực

*Email: linhnt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 27/3/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

1. GIỚI THIỆU

Lưới điện phân phối (LĐPP) luôn đóng vai trò quan trọng trong hệ thống điện của bất kỳ quốc gia nào. LĐPP là

lưới điện trực tiếp cung cấp nguồn điện đến khách hàng hay phụ tải. Chính vì vậy mà độ tin cậy cung cấp điện của LĐPP cực kỳ quan trọng. Điều này có thể thấy được ở nước Brazil năm 1999, Mỹ và Canada năm 2003. Mới nhất là sự cố mất điện ở Ấn Độ vào tháng 7 năm 2012 làm gần 10% dân số thế giới phải sống trong bóng tối, chưa kể đến vô số hậu quả như mất nước, tắc nghẽn giao thông, bệnh viện ngừng phẫu thuật, gây chú ý trên toàn cầu. Ở Việt Nam thì sự cố mất điện vào tháng 5 năm 2013 gây mất điện toàn miền Nam gây ra thiệt hại về kinh tế cho đất nước và ảnh hưởng đến đời sống sinh hoạt của người dân. Những nguyên nhân gây nên mất điện thường là do tác động của môi trường (sét, mưa, gió, bão, tuyết,...), hư hỏng của thiết bị điện, lỗi trong vận hành và cả trong thiết kế, hoạch định phát triển hệ thống điện [7].

Độ tin cậy của hệ thống điện được hiểu là khả năng của hệ thống đảm bảo việc cung cấp đầy đủ và liên tục điện năng cho các hộ tiêu thụ với chất lượng (điện áp, tần số) hợp chuẩn [1]. Độ tin cậy cung cấp điện rất được xem trọng vì nó được ràng buộc trong hợp đồng giữa công ty điện lực và khách hàng tiêu thụ điện. Trong những năm trở lại đây, với yêu cầu phải đáp ứng được nguồn năng lượng điện liên tục cho phát triển kinh tế và phục vụ đời sống nhân dân đang phát triển nhanh. Đòi hỏi các công ty sản xuất và vận hành các hệ thống điện phải đánh giá chính xác độ tin cậy cung cấp điện trong hệ thống đang quản lý.

Trong thực tế mục tiêu của bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối là đi tìm ra một cấu trúc lưới điện có những lợi ích về mặt kinh tế là lớn nhất nhưng vẫn đảm bảo về mặt kỹ thuật để lưới điện phân phối vận hành ổn định trong điều kiện vận hành bình thường cũng như sự cố. Những lợi ích về mặt kinh tế bao gồm cả chi phí tổn thất trên lưới điện, chi phí chuyển tải (đóng cắt các khóa điện) chi phí thiệt hại của khách hàng do bị ngừng cung cấp điện và cả chi phí không bán được điện của công ty điện lực. Việc ngừng (gián đoạn) cung cấp điện cho khách hàng và công ty điện lực không bán được điện phụ thuộc nhiều vào độ tin cậy cung cấp điện của từng phần tử tạo nên cấu trúc lưới điện phân phối. Điều này thể hiện qua chỉ tiêu độ tin cậy cung cấp điện của lưới phân phối ENS (thiếu hụt năng lượng điện). Như vậy, đi tìm lời giải cho bài toán tái cấu trúc

lưới để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cũng chính là tìm ra cấu trúc lưới phân có chi phí vận hành và chi phí ngừng cung cấp điện là bé nhất.

Năm 2002, Peng Wang và Roy Billinton [9] đã nghiên cứu phân chia thời tiết thành hai trạng thái: bình thường và không bình thường, để xem xét tác động của thời tiết, các thông số trên các phần tử đã được đưa vào hệ số ảnh hưởng. Các tổ chức khoa học kỹ thuật điện uy tín trên thế giới như IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineer, EEL - Edison Electric Institute, EPRI - Electric Power Research Institute và CEA - Canadian Electric Association đã đưa ra các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện và đã được áp dụng ở nhiều nước trên thế giới. Phần lớn các nước trên thế giới đang áp dụng các chỉ số SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI để đánh giá độ tin cậy cung cấp điện và hiện nay Việt Nam đang triển khai áp dụng các chỉ số SAIDI, SAIFI, MAIFI để đánh giá độ tin cậy cung cấp điện.

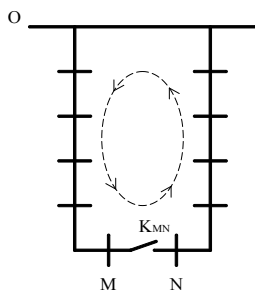
Trong nghiên cứu này, dựa trên việc xây dựng hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc nâng cao độ tin cậy cung cấp điện bằng phương pháp xác định cấu hình tối ưu cho lưới điện phân phối. Phương pháp đề xuất được thực hiện kiểm chứng trên lưới mẫu IEEE và lưới điện thực tế tại Việt Nam cho kết quả tin cậy.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

Bài toán tái cấu hình LĐPP được áp dụng rất nhiều vì vốn đầu tư ban đầu không lớn lại đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật và kinh tế. Tái cấu hình LĐPP là việc thay đổi trạng thái của các khóa điện. Việc thay đổi các khóa điện này phải đảm bảo các điều kiện ràng buộc về kỹ thuật, đồng thời phải đảm bảo tổn thất công suất trên lưới là bé nhất, đáp ứng chỉ tiêu cực tiểu chi phí vận hành. Không chỉ dừng lại ở đó, tái cấu hình LĐPP còn nhằm mục đích là tìm ra được cấu hình lưới điện có chi phí ngừng cung cấp điện bé nhất hay nói cách khác là độ tin cậy cung cấp điện lớn nhất. Nếu LĐPP đáp ứng được những chỉ tiêu trên thì cả nhà cung cấp điện là các công ty điện lực và cả khách hàng đều có lợi. Như vậy, tái cấu hình LĐPP là tìm ra một cấu hình LĐPP tối ưu sao cho chi phí vận hành và chi phí ngừng cung cấp điện là bé nhất bằng cách vận hành đóng mở các khóa điện đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật như là: cấu hình lưới điện là hình tia, cung cấp điện cho tất cả phụ tải, điện áp trong mức cho phép, tổn thất công suất là bé nhất,... và độ tin cậy cung cấp điện là lớn nhất.

2.1. Xây dựng hàm mục tiêu của bài toán

Xét LĐPP có cấu hình đơn giản như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ lưới điện đơn giản

Chi phí cho tổn hao công suất trên lưới điện [2]:

$$C_{thcs} = C_1 \cdot \Delta P_{\Sigma} = C_1 \cdot \sum R_i \cdot I_i^2 \tag{1}$$

Trong đó:

C_{thcs} là chi phí tổn hao công suất trên toàn lưới điện.

C_1 là đơn giá bán điện thông thường của một phụ tải (\$/kW).

ΔP_{Σ} là tổng tổn thất công suất trên lưới điện.

R_i là tổng trở của nhánh i .

I_i là dòng điện của nhánh i .

Chi phí ngừng cung cấp điện [2]:

$$C_{nccd} = C_2 \sum \lambda_i \cdot I_i \cdot t_i \tag{2}$$

Trong đó:

C_{nccd} là chi phí ngừng cung cấp điện.

C_2 là đơn giá điện năng khi ngừng cung cấp điện, hay còn gọi là đơn giá vi phạm hợp đồng cung cấp điện của phụ tải (\$/kWh). Đơn giá này thường cao gấp nhiều lần so với đơn giá bán điện thông thường C_1 .

λ_i là tần suất sự cố tại nút i , I_i là dòng điện của nhánh i , t_i là thời gian khắc phục sự cố nút i .

Bài toán tái cấu hình LĐPP nâng cao độ tin cậy cung cấp điện phải xét đến chi phí tổn hao công suất (chi phí vận hành) và chi phí ngừng cung cấp điện. Vì vậy, phải xây dựng hàm mục tiêu bao gồm cả hai yếu tố trên [2]:

$$F = C_{tt} + C_{nccd} = C_1 \cdot \sum R_i \cdot I_i^2 + C_2 \sum \lambda_i \cdot I_i \cdot t_i \tag{3}$$

Nếu khảo sát trong 1 năm thì hàm mục tiêu là [2]:

$$F = C_1 \cdot \sum_{j=1}^{365} \Delta P_j + C_2 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot P_i \tag{4}$$

Vận hành LĐPP hờ với mục tiêu cực tiểu chi phí vận hành và ngừng cung cấp, còn phải thỏa mãn các điều kiện sau:

Điện áp tại mỗi nút phải nằm trong giá trị cho phép [2]:

$$V_{i,min} \leq |V_i| \leq V_{i,max} \tag{5}$$

Dòng điện trên mỗi nhánh luôn nằm trong giới hạn cho phép của đường dây [2]:

$$|I_k| \leq I_{k,max} \tag{6}$$

Cấu hình lưới phải là hình tia.

Tất cả phụ tải phải được cung cấp điện.

Với: V_i là điện áp tại nút thứ i .

$V_{i,min}, V_{i,max}$ là điện áp nhỏ nhất và điện áp lớn nhất tại nút thứ i .

I_k là dòng điện trên nhánh thứ k .

$I_{k,max}$ là khả năng mang dòng lớn nhất của đường dây trên nhánh thứ k .

Xét LĐPP đơn giản như hình 1 có chiều dương là chiều ngược chiều kim đồng hồ. Khi khóa K_{MN} đóng thì LĐPP ở chế độ mạch vòng, còn khi khóa K_{MN} mở thì LĐPP vận hành hình tia. Gọi dòng điện trên các nhánh thứ i là I_i với $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Khi đóng khóa K_{MN} thì LĐPP là lưới điện kín, giả sử dòng điện trên các nhánh của OM giảm đi I_{MN} thì dòng điện

trên các nhánh ON sẽ tăng lên một lượng là I_{MN} . Lúc này ta có hàm mục tiêu trong từng trường hợp:

Khi chưa mở khóa K_{MN} , LĐPP ở chế độ mạch vòng [2]:

$$F_{kin} = C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i \cdot I_i^2 + C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i^2 + C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 + C_2 \cdot \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + C_2 \cdot \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + \lambda_{MN} \cdot t_{MN} \quad (7)$$

Đối với lưới điện kín thì $\sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + \lambda_{MN} \cdot t_{MN} \cdot I_{MN} = 0$ vì khi có sự cố trên nhánh thì không có phụ tải nào mất điện. Vậy ta có [2]:

$$F_{kin} = C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i \cdot I_i^2 + C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i^2 + C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 \quad (8)$$

Khi mở khóa K_{MN} , LĐPP ở chế độ hình tia [2]:

$$F_{hở} = C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i \cdot (I_i - I_{MN})^2 + C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot (I_i + I_{MN})^2 + C_2 \cdot \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot (I_i - I_{MN}) + C_2 \cdot \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot (I_i + I_{MN}) \quad (9)$$

Vận hành LĐPP sao cho chi phí vận hành và chi phí ngưng cung cấp điện là nhỏ nhất, điều này đồng nghĩa với làm cho hàm mục tiêu là nhỏ nhất F_{min} .

LĐPP kín, vừa có tổn thất công suất, tổn thất năng lượng bé hơn cũng như chi phí đền bù điện năng thấp hơn LĐPP hình tia nên nếu giá trị $\Delta F = F_{hở} - F_{kin}$ của LĐPP hở nào so với LĐPP kín có giá trị bé nhất thì LĐPP hở đấy có hàm F bé nhất.

So sánh hàm mục tiêu của LĐPP khi vận hành kín và vận hành hình tia:

$$\begin{aligned} \Delta F &= F_{hở} - F_{kin} = \\ &= C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i \cdot (I_i + I_{MN})^2 + C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot (I_i - I_{MN})^2 \\ &+ C_2 \cdot \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot (I_i + I_{MN}) + C_2 \cdot \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot (I_i - I_{MN}) \\ &- C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i \cdot I_i^2 - C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i^2 - C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 \\ &= C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i (I_i^2 - 2I_i I_{MN} + I_{MN}^2) \\ &+ C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i (I_i^2 + 2I_i I_{MN} + I_{MN}^2) - C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &- C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i^2 - C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 \\ &+ C_2 \cdot \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + C_2 \cdot \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_{MN} \\ &+ C_2 \cdot \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i - C_2 \cdot \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_{MN} \\ &= C_1 \cdot \sum_{i \in OM}^n R_i (-2I_i I_{MN} + I_{MN}^2) \\ &+ C_1 \cdot \sum_{i \in ON}^n R_i (2I_i I_{MN} + I_{MN}^2) - C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 \\ &+ C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 - C_1 \cdot R_{MN} \cdot I_{MN}^2 - C_2 \cdot \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i \\ &+ C_2 \cdot \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + C_2 \cdot I_{MN} \left(\sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i - \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \right) \\ &= C_1 \cdot I_{MN}^2 \left(\sum_{i \in OM}^n R_i + \sum_{i \in ON}^n R_i + R_{MN} \right) \\ &+ 2 \cdot C_1 \cdot I_{MN} \left(\sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i - \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i + R_{MN} \cdot I_{MN} \right) \\ &+ C_2 \left(\sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i \right) \\ &+ C_2 \cdot I_{MN} \left(\sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i - \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \right) \end{aligned}$$

Xét lưới thuần trở nên theo định luật K2:

$$\sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i - \sum_{i \in ON}^n R_i \cdot I_i + R_{MN} \cdot I_{MN} = 0$$

Và: $R_{loop} = \sum_{i \in OM}^n R_i + \sum_{i \in ON}^n R_i + R_{MN}$: tổng điện trở các nhánh trong lưới điện kín.

Ta được:

$$\begin{aligned} \Delta F &= C_1 \cdot I_{MN}^2 \cdot R_{loop} + C_2 \left(\sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i + \sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot I_i \right) \\ &+ C_2 \cdot I_{MN} \left(\sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i - \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \right) \quad (10) \end{aligned}$$

Để ΔF bé nhất, lấy đạo hàm ΔF theo I_{MN} ta được:

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial I_{MN}} = 2 \cdot C_1 \cdot I_{MN} \cdot R_{loop} + C_2 \left(\sum_{i \in ON}^n \lambda_i \cdot t_i - \sum_{i \in OM}^n \lambda_i \cdot t_i \right) \quad (11)$$

Cho đạo hàm bằng 0:

$$\frac{\partial \Delta F}{\partial I_{MN}} = 0$$

$$\Leftrightarrow 2 \cdot C_1 \cdot I_{MN} \cdot R_{loop} + C_2 \left(\sum_{i \in ON} \lambda_i \cdot t_i - \sum_{i \in OM} \lambda_i \cdot t_i \right) = 0 \quad (12)$$

$$\Rightarrow I_{MN} = - \frac{C_2 \left(\sum_{i \in ON} \lambda_i \cdot t_i - \sum_{i \in OM} \lambda_i \cdot t_i \right)}{2 \cdot C_1 \cdot R_{loop}} \quad (13)$$

Nhận xét:

Biểu thức (10) cho thấy nếu không xét đến độ tin cậy cung cấp điện ($C_2 = 0$) thì ΔF tỷ lệ thuận với tổn thất công suất tác dụng. Nói cách khác tổn thất công suất của LĐPP hở bé nhất khi mở khóa có dòng điện I_{MN} bé nhất

Việc chỉ ra giá dòng điện I_{MN} trên LĐPP kín có giá trị gần đúng theo (13) để ΔF bé nhất sẽ gặp khó khăn hơn việc sử dụng biểu thức (11) để tìm giá trị $\left| \frac{\partial \Delta F}{\partial I_{MN}} \right|$ bé nhất

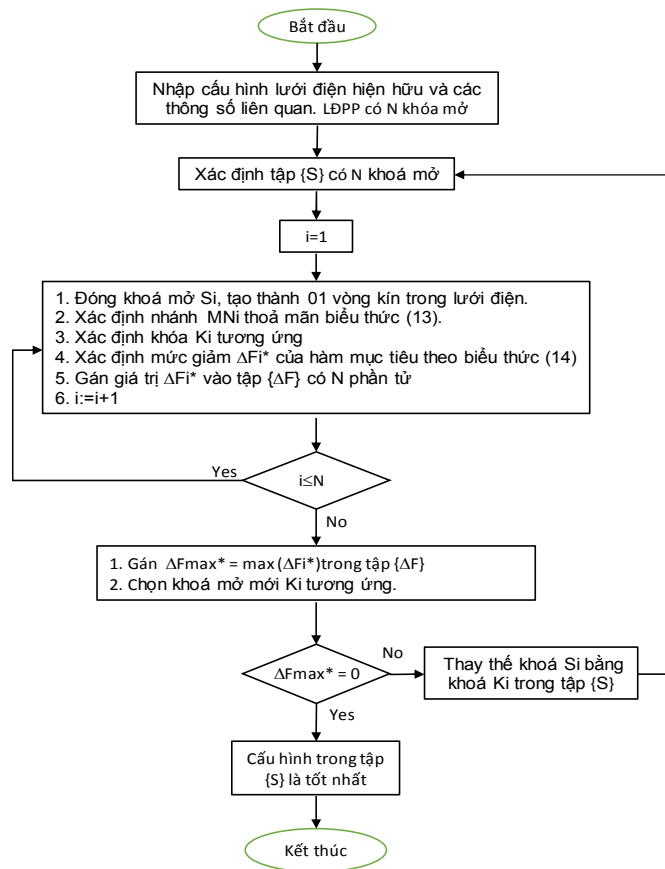
2.2. So sánh giá trị hàm F của 2 LĐPP hở

Để làm giảm giá trị hàm F khi vận hành LĐPP hở, chúng ta cần so sánh hai trạng thái LĐPP hở thứ nhất (mở khóa MN1, có $F_{hở}^{MN1}$) và LĐPP hở thứ hai (mở khóa MN2, có $F_{hở}^{MN2}$). Việc này có thể giải quyết khá đơn giản bằng cách xét độ chênh lệch hàm $\Delta F^* = F_{hở}^{MN1} - F_{hở}^{MN2}$ thông qua biểu thức (10).

$$\Delta F^* = F_{hở}^{MN1} - F_{hở}^{MN2} = F_{hở}^{MN1} - F_{kin} + F_{kin} - F_{hở}^{MN2}$$

$$= (F_{hở}^{MN1} - F_{kin}) - (F_{hở}^{MN2} - F_{kin}) = \Delta F^{MN1} - \Delta F^{MN2} \quad (14)$$

2.3. Giải thuật đổi nhánh cải tiến



Hình 2. Lưu đồ thuật toán của phương pháp đề xuất

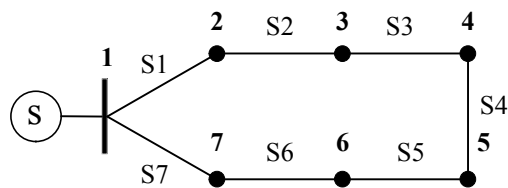
Giải thuật đổi nhánh được đề xuất lần đầu tiên do Civalar [6] để xuất năm 1998 dùng để xác định cấu hình LĐPP hở có tổn thất công suất bé nhất. Trong nội dung này, chúng tôi đề xuất áp dụng hàm mục tiêu là hàm F thay cho hàm tổn thất công suất, xác định khóa mở MN2 để mức giảm ΔF của hàm mục tiêu F theo biểu thức (14) là lớn nhất có thể, từ đó giảm số lần lặp trong một vòng khảo sát.

Sơ đồ giải thuật đổi nhánh được trình bày tại hình 2.

3. VÍ DỤ KIỂM CHỨNG

3.1. Lưới điện phân phối 1 vòng

Để kiểm tra độ chính xác của giải thuật đề xuất, một ví dụ khảo sát trên LĐPP có một khóa điện mở và 7 nút tải như hình 3, để LĐPP này trở thành LĐPP hở, cần phải mở một trong khóa điện S_i ($i = 1...7$).



Hình 3. Sơ đồ lưới điện 7 nút

LĐPP có các thông số phụ tải (P,Q), tổng trở nhánh (r_0 , L), tần suất sự cố và thời gian khôi phục sự cố (t) lần lượt cho tại các bảng 1 và 2.

Bảng 1. Bảng giá trị phụ tải lưới điện 7 nút

Nút	1	2	3	4	5	6	7
P (kW)	0	300	600	300	300	300	300
Q (kVar)	0	150	300	150	150	150	150

Bảng 2. Bảng giá trị r_0 , tần suất sự cố λ , chiều dài đường dây nhánh, thời gian sửa chữa

Nhánh	1-2	2-3	3-4	4-5
Z_0 (Ω /km)	0,1+0,35j	0,1+0,35j	0,1+0,35j	0,1+0,35j
λ (lần/mùa)	0,5	0,5	0,5	0,1
L chiều dài (km)	1	1	1	1
t (h)	1	1	1	1
Nhánh	5-6	6-7	7-1	
Z_0 (Ω /km)	0,1+0,35j	0,1+0,35j	0,1+0,35j	
λ (lần/mùa)	0,1	0,1	0,1	
L chiều dài (km)	1	1	1	
t (h)	1	1	1	

Giá trị hàm F tính theo (9) khi lần lượt mở các khóa điện S_i ($i = 1...7$) được mô tả tại bảng 4 với $C_1 = 0,1\$/kW$, $C_2 = 1,0\$/kWh$.

Bảng 3. Bảng giá trị hàm mục tiêu theo biểu thức (4)

Nhánh	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-1
Khóa mở	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
F (\$)	608,7	337,4	201,9	202,9	261,1	353,3	479,2
ΔP (W)	4723,3	2290,2	1216,7	1192,9	1509,9	2167	3160,9

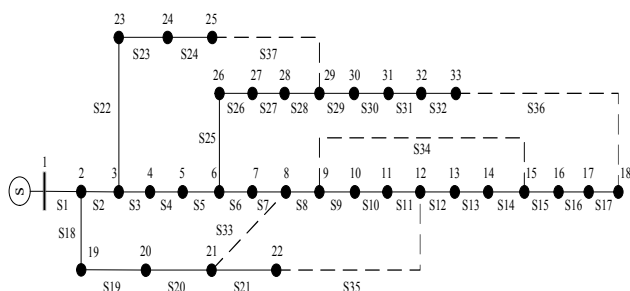
I kín (A)	71,3	40,1	8,8	6,7	22,3	37,9	53,4
$\left \frac{\partial \Delta F}{\partial I_{MN}} \right (15)$	11,2	6,0	1,6	1,8	4,2	6,6	9,0

Giá trị dòng điện nhánh trên ĐPĐ kín và giá trị $\left| \frac{\partial \Delta F}{\partial I_{MN}} \right|$ tính theo (15) được trình bày tại bảng 3. Giá trị dòng điện của ĐPĐ kín trên nhánh 4-5 có giá trị bé nhất nên ĐPĐ hở nhánh 4-5 sẽ có tổn thất công suất thấp nhất nhưng lúc này giá trị hàm F không phải bé nhất. Giá trị $\left| \frac{\partial \Delta F}{\partial I_{MN}} \right|$ có giá trị bé nhất tại nhánh 3-4, theo nhận xét tại mục 2.1, khi mở khóa điện 3-4, ĐPĐ hở sẽ có hàm mục tiêu F bé nhất, kết quả này trùng với kết quả tính hàm F trực tiếp tại bảng 3. Điều này cho thấy tính chính xác của mô hình toán đề xuất.

3.2. Khảo sát mô phỏng lưới điện 33 nút

Thực hiện khảo sát lưới điện 33 nút tiêu chuẩn, với 1 nguồn và 32 phụ tải, tổng công suất phụ tải là 3,72MW, 37 nhánh, 32 khóa điện thường đóng và 5 khóa điện thường mở (hình 4).

Cấu hình lưới điện 33 nút với các khóa mở ban đầu là S33, S34, S35, S36 và S37.



Hình 4. Lưới điện phân phối 33 nút

Xét lưới điện với 2 trường hợp:

Trường hợp 1: khảo sát ĐPĐ 33 nút ban đầu trong mùa nắng với giả sử rằng tần suất sự cố trên đường dây của các nhánh là như nhau $\lambda = 0,1$ lần/mùa và thời gian sửa chữa trên đường dây các nhánh của lưới điện là bằng nhau $t = 10$ giờ, các phụ tải có mức độ quan trọng như nhau. Chi phí vận hành lưới điện là $F = 306,190\$.$

Trường hợp 2: khảo sát ĐPĐ 33 nút ban đầu trong mùa mưa với giả sử rằng tần suất sự cố trên đường dây của các nhánh 8 - 21, 15 - 9, 22 - 12 là như nhau $\lambda = 0,2$ lần/mùa, tần suất sự cố trên đường dây của nhánh 6 - 26 là $\lambda = 0,3$ lần/mùa, tần suất sự cố trên đường dây của nhánh 3 - 23 là $\lambda = 0,4$ lần/mùa, tần suất sự cố trên đường dây của nhánh 2 - 19 là $\lambda = 0,5$ lần/mùa, tần suất sự cố trên đường dây của các nhánh còn lại là như nhau $\lambda = 0,1$ lần/mùa và thời gian sửa chữa trên đường dây các nhánh của lưới điện là bằng nhau $t = 10$ giờ, các phụ tải có mức độ quan trọng như nhau. Chi phí vận hành lưới điện là $F = 354,750\$.$

Sau khi tái cấu hình thì lưới điện 33 nút ta có bảng so sánh kết quả như bảng 4.

Từ bảng 4 cho biết rằng, sau khi tái cấu hình lưới điện thì chi phí vận hành và ngưng cung cấp điện trong trường hợp 1, 2 giảm 14,5% và tổn thất điện năng cũng giảm gần 20%.

Bảng 4. Bảng so sánh kết quả trước và sau khi tái cấu hình lưới điện 33 nút

Cấu hình lưới điện	Chi phí vận hành theo mùa (\$/mùa)	Khóa mở	Tổn thất điện năng (kWh)
Ban đầu	TH1: 306,190	S33, S34, S35, S36, S37	900,320
	TH2: 354,750		
Tái cấu hình	TH1: 228,740	S7, S10, S14, S28, S32	607,770
	TH2: 295,134		

Như vậy, sau khi tái cấu hình thì có thể giảm chi phí vận hành và nâng cao độ tin cậy của lưới điện. Kết quả tính toán được so sánh với GSA [4] được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Bảng so sánh kết quả sau khi tái cấu hình lưới điện 33 nút với GSA [4]

Cấu hình lưới điện	Chi phí vận hành theo mùa (\$/mùa)	Khóa mở	Tổn thất điện năng (kWh)
Trường hợp 1			
Phương pháp đề nghị	228,740	S7, S10, S14, S28, S32	607,770
GSA [4]	228,740	S7, S10, S14, S28, S32	607,770
Trường hợp 2			
Phương pháp đề nghị	295,134	S7, S10, S14, S28, S32	607,770
GSA [4]	310,390	S10, S14, S28, S33, S36	654,290

Từ bảng 5, nhận thấy rằng sau khi tái cấu hình lưới 33 nút trong trường hợp 1: phương pháp đề nghị và GSA [4] có khóa mở giống nhau, hàm mục tiêu và tổn thất điện năng của phương pháp đề nghị bằng với GSA [4]. Trường hợp 2, về cấu hình hai phương pháp khác nhau ở khóa mở: phương pháp đề nghị (S7, S32) và GSA [4] (S33, S36), còn hàm mục tiêu, tổn thất điện năng của phương pháp đề nghị nhỏ hơn so với GSA [4]. Từ đó, có thể thấy phương pháp đề nghị có cấu hình tốt hơn GSA [4], vì phương pháp đề nghị tính theo công suất trung bình nên cấu hình trong hai trường hợp không thay đổi, trong khi GSA [4] tính theo công suất cực đại nên cấu hình thay đổi.

4. KẾT LUẬN

Lưới điện phân phối thường được vận hành ở điện áp thấp, dòng điện lớn nên thường có tổn thất công suất lớn, vì vậy chi phí vận hành cao. Đồng thời ĐPĐ cung cấp điện trực tiếp đến các phụ tải nên đòi hỏi độ tin cậy cung cấp điện cao. Từ đó đặt ra yêu cầu phải vận hành ĐPĐ với chi chí thấp và độ tin cậy cung cấp điện cao. Với mục tiêu đó, nghiên cứu đã đề xuất phương pháp tái cấu hình ĐPĐ là thay đổi trạng thái các khóa điện sao cho ĐPĐ được vận hành hình tia có chi phí vận hành thấp nhất và độ tin cậy cung cấp điện được nâng cao. Phương pháp đã được áp dụng để tái cấu hình lưới điện 7 nút, 33 nút tiêu chuẩn. Từ kết quả đã đạt được có thể rút ra được một số kết luận như sau: Phương pháp thực hiện đơn giản, kết quả là tái cấu

hình được LĐPP với chi phí vận hành thấp và độ tin cậy cao. Có thể áp dụng để tái cấu hình cho các LĐPP thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tran Dinh Long, 19993. *Quy hoạch phát triển năng lượng và điện lực*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [2]. Nguyen Hoang Viet, 2004. *Danh gia do tin cay trong he thong dien*. Vietnam National University Ho Chi Minh City Press.
- [3]. Truong Viet Anh, 2014. *Cac giai thuat tai cau hinh luoi dien phan phoi*. Vietnam National University Ho Chi Minh City Press..
- [4]. Truong Ngoc Thao, 2014. *Tai cau hinh luoi dien phan phoi dung giai thuat toi uu trong trong trung GSA*.
- [5]. Broadwater R. P., P. A. Dolloff, T. L. Herdman, R. Karamikhova, A. Sargent, 1996. *Minimum Loss Optimization in Distribution Systems: Discrete Ascent Optimal Programming*. Electric Power Systems Research, vol. 36, pp. 113-121.
- [6]. S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin, S.S.H. Lee, 1998. *Distribution feeder reconfiguration for loss reduction*. IEEE Transactions on power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 1217-1223.
- [7]. Merlin A., Back H., 1975. *Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in Urban Power Distribution Systems*. Proc. Of. 5th Power System Comp. Con., Cambridge, U.K.
- [8]. Shirmohammadi D., H. W. Hong, 1989. *Reconfiguration of Electric Distribution for Resistive Line Loss Reduction*. IEEE Transactions on Power Delivery, 4-2, pp. 1492-1498.
- [9]. Peng Wang, R. Billiton, 2002. *Reliability cost/worth assessment of distribution systems incorporating time-varying weather conditions and restoration resources*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 17, Issue 1, Page 260 - 265.
- [10]. J.Z. Zhu, 2002. *Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm*. Electric Power Systems Research, Volume 62, page 37 - 42.
- [11]. Esmat Rashedi, Hossein Nezamabadi-pour, Saeid Saryazdi, 2009. *GSA: A Gravitational Search Algorithm*. Information Sciences 179, 2232-2248.
- [12]. R. Srinivasa Rao, S.V.L. Narasimham, M. Ramalingaraju, 2008. *Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Using Artificial Bee Colony Algorithm*. Word Academy of Science, engineering and technology, 45.
- [13]. S. Chaitusaney, A. Yokoyama, 2006. *Reliability Analysis of Distribution System with Distributed Generation Considering Loss of Protection Coordination*. 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems KTH, Stockholm, Sweden.
- [14]. Abdullah M. Alshehr, 2007. *Optimal Reconfiguration of Distribution Networks Using Ant Colony Method*. King Saud University College of Engineering Electrical Engineering Department.
- [15]. Kwang Y. Lee, Mohamed A. El-Sharkawi, 2008. *Modern Heuristic Optimization Techniques Theory and application to Power systems*. Power engineering.
- [16]. RoyBillinton, Ronald N. Allan, 1996. *Reliability Evaluation of Power Systems*. Pitman Books.

AUTHORS INFORMATION

Truong Viet Anh¹, Nguyen Tung Linh²

¹Ho Chi Minh City University of Technology and Education

²Electric Power University