

TÁI CẤU HÌNH LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI VỚI HÀM MỤC TIÊU GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG CÓ XÉT ĐẾN CHI PHÍ ĐÓNG/MỞ

RECONFIGURING THE DISTRIBUTION POWER GRID WITH THE OBJECTIVE FUNCTION OF REDUCING POWER LOSS CONSIDERING OPEN/CLOSE COSTS

Trương Việt Anh¹, Nguyễn Tùng Linh^{2*}, Lê Hải Đăng³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh, ²Trường Đại học Điện lực, ³Trường Điện lực Cà Mau,
Ngày nhận bài: 09/11/2023, Ngày chấp nhận đăng: 29/12/2023, Phản biện: TS. Đào Thị Mai Phương

Tóm tắt:

Tái cấu hình lưới điện phân phối là bài toán nhằm tìm phương thức vận hành tối ưu với các hàm mục tiêu khác nhau. Trong bài báo này đề xuất phương pháp sử dụng giải thuật thích hợp nhằm tìm ra các cấu hình lưới điện thay đổi với lợi nhuận của phương án khi tổn thất điện năng là bé nhất lớn hơn chi phí vận hành đóng/mở các khóa điện trên các thiết bị đóng cắt. Phương pháp đề xuất được kiểm tra trên lưới điện mẫu IEEE – 33 nút và thực hiện trên các kịch bản kiểm tra khác nhau. Việc kết hợp công cụ loadflow của phần mềm PSS/ADEPT và code Matlab của thuật toán với hàm mục tiêu chi phí bé nhất đạt hiệu quả và có độ tin cậy. Phương pháp đề xuất đã cho thấy hiệu quả trong một ngày nhằm mang lại lợi ích cho công ty quản lý lưới điện và ngành điện.

Từ khóa:

Hệ thống điện phân phối, tái cấu hình lưới điện phân phối, tổn thất điện năng, đồ thị phụ tải, chỉ số NPV.

Abstract:

The reconfiguration of the electrical distribution network is a problem aimed at finding the optimal operating method with various objective functions. In this study, the paper proposes a method using suitable algorithms to find electrical grid configurations that change with the profitability of the solution when the electrical energy loss is minimally greater than the operating cost of opening/closing the electrical switches on the switching devices. The proposed method was tested on the IEEE-33 node sample distribution network and implemented on various test cases. The combination of the loadflow tool of PSS/ADEPT software and Matlab code of the algorithm with the objective function of minimal cost proved to be effective and reliable. The proposed method has shown its effectiveness in a day to bring benefits to the electrical grid management company and the power industry.

Keywords:

Distributed network, reconfiguration distribution network, Power losses, load cover, factor NPV.

1. GIỚI THIỆU

Lưới điện phân phối hiện nay không có

khả năng đóng cắt nhiều lần trong thời gian khảo sát do chi phí chuyển tải quá

lớn so với mức giảm tổn thất năng lượng. Để giảm chi phí vận hành và tránh gây mất điện khi chuyển tải trong lưới điện phân phối, các điều độ viên chỉ cho phép thay đổi cấu trúc lưới điện khi thật cần thiết với mục tiêu như: giảm tổn thất điện năng toàn hệ thống, chống quá tải trên các nhánh của lưới điện, tái cấu trúc để khôi phục lưới điện phân phối sau sự cố... Nhưng với mục tiêu giảm tổn thất điện năng của lưới điện phân phối được nghiên cứu và xem xét phải phù hợp với chi phí vận hành trên lưới điện phân phối [1].

Vì vậy, mục tiêu điều khiển lưới điện trong trường hợp này là: Xác định cấu trúc lưới điện thay đổi trong thời gian khảo sát nhằm để tổn thất năng lượng ΔA là bé nhất nhưng phải xem xét lợi nhuận khi giảm tổn thất phải lớn hơn chi phí vận hành khi chuyển đổi các khóa điện thay đổi cấu hình lưới điện. Thời gian khảo sát có thể là trong 1 ngày, trong tuần, trong tháng, trong mùa. Đây chính là lý do xuất hiện bài toán tái cấu hình lưới trong vận hành lưới điện phân phối. Đã có nhiều nghiên cứu giải quyết bài toán này [6]-[9] nhưng nghiên cứu của Taleski [4] được xem là đầy đủ hơn cả. Tuy nhiên, giải thuật của Taleski còn quá phức tạp trong việc cộng dồn đồ thị để tính độ giảm ΔA cho mỗi vòng lặp do sử dụng giải thuật giảm ΔP của Civanlar [5]. Sử dụng giải thuật này, nghiên cứu đề xuất áp dụng cho hàm mục tiêu có xét đến chi phí đóng/mở các khóa (được giả thiết là chi phí khấu hao trong vòng đời hoạt động của thiết bị). Hàm mục tiêu của bài toán bao gồm chi phí giảm tổn thất điện năng và chi phí

đóng/mở các khóa và các điều kiện kỹ thuật về điện áp, dòng điện cho phép trong vận hành lưới điện phân phối hình tia.

Bài báo này nhằm giải quyết bài toán tái cấu hình lưới điện phân phối với mục tiêu giảm tổn thất năng lượng của lưới điện với cấu hình lưới điện thay đổi theo thời gian có xét đến hàm lợi nhuận F , với thỏa mãn về lợi nhuận thu được so với chi phí vận hành các khóa điện trên lưới điện phân phối.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Để giải bài toán kết hợp chi phí vận hành bé nhất với tái cấu trúc lưới để có ΔA bé nhất trong lưới điện phân phối. Các nghiên cứu có thể được chia thành ba nhóm chính: Nhóm thứ nhất sử dụng các phương pháp giải tích, nhóm thứ hai sử dụng các giải thuật Heuristics, nhóm thứ ba sử dụng các thuật toán Metaheuristics [1]-[3]. Trong các phương pháp sử dụng giải thuật Heuristic kết hợp giải thuật tối ưu và giải thuật thuần Heuristic mang hiệu quả cao vì dễ tìm được cấu trúc lưới tối ưu. Kỹ thuật đổi nhánh của Merlin & Back, hay giải thuật Civanlar là những nghiên cứu điển hình.

Xây dựng hàm mục tiêu giảm tổn thất có xét đến chi phí đóng/mở được thực hiện:

Xét lưới điện phân phối đơn giản và chiều dương được chọn là ngược chiều kim đồng hồ như Hình 1. Nếu khóa điện MN đóng, lưới điện phân phối đang ở trạng thái vận hành kiểu mạch vòng. Gọi dòng điện trên các nhánh thứ i là I_i ($i=1...n$). Khi mở khóa MN, nếu giả thiết dòng điện

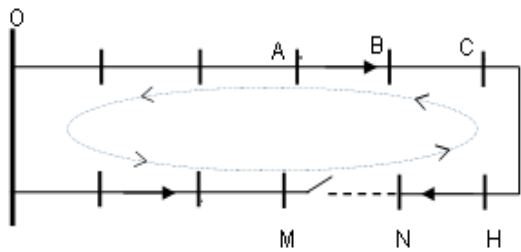
trên các nhánh thuộc OM giảm đi một lượng I_{MN} , thì dòng điện trên các nhánh thuộc ON sẽ tăng lên một lượng là I_{MN} . Khi đó, hàm tổn thất công suất tác dụng ΔP cho lưới điện kín và cho lưới điện hở của lưới điện phân phối được viết tại biểu thức (1) và biểu thức (2). Tổn hao công suất của lưới điện phân phối trước khi tái cấu hình lưới:

$$\Delta P^{kín} = \sum_{i \in OM}^n R_i I_i^2 + R_{MN} I_{MN}^2 + \sum_{i \in NO}^n (-I_i)^2 R_i \quad (1)$$

$$\Delta P^{hở} = \sum_{i \in OM}^n R_i (I_i - I_{MN})^2 + \sum_{i \in NO}^n R_i (I_i + I_{MN})^2 \quad (2)$$

$$\Delta P^{kín} = \sum_{i \in OM}^n R_i I_i^2 + R_{MN} I_{MN}^2 + \sum_{i \in NO}^n (-I_i)^2 R_i \quad (3)$$

$$\Delta P^{hở} = \sum_{i \in OM}^n R_i (I_i - I_{MN})^2 + \sum_{i \in NO}^n R_i (I_i + I_{MN})^2 \quad (4)$$



Hình 1. Lưới điện phân phối kín và hở

So sánh tổn thất công suất tác dụng của lưới điện phân phối vận hành mạch vòng và vận hành hở được biểu diễn theo biểu thức (2) [14]. Xét vòng 1:

$$\begin{aligned} \Delta P^{hở} - \Delta P^{kín} &= \sum_{i \in OM}^{i=n} R_i (I_i^2 - 2I_{MN}I_i + I_{MN}^2) + \sum_{i \in NO}^{i=n} R_i (I_i^2 + 2I_{MN}I_i + I_{MN}^2) - \\ &\sum_{i \in OM}^{i=n} R_i I_i^2 - R_{MN} I_{MN}^2 - \sum_{i \in NO}^{i=n} R_i I_i^2 \\ &= \sum_{i \in OM}^{i=n} R_i (-2I_i I_{MN} + I_{MN}^2) + \\ &\sum_{i \in NO}^{i=n} R_i (2I_i I_{MN} + I_{MN}^2) - R_{MN} I_{MN}^2 + \\ &R_{MN} I_{MN}^2 - R_{MN} I_{MN}^2 \end{aligned}$$

$$= I_{MN}^2 (\sum_{i \in OM}^{i=n} R_i + R_{MN} + \sum_{i \in NO}^{i=n} R_i) - 2I_{MN} (\sum_{i \in OM}^{i=n} R_i I_i + R_{MN} I_{MN} - \sum_{i \in NO}^{i=n} R_i I_i)$$

Hay:

$$\Delta P^{hở} - \Delta P^{kín} = I_{MN}^2 R_{MN}^{Loop} - 2I_{MN} (\sum_{i \in OM}^{i=n} R_i I_i + R_{MN} I_{MN} - \sum_{i \in NO}^{i=n} R_i I_i)$$

$$2I_{MN} (\sum_{i \in OM}^{i=n} R_i I_i + R_{MN} I_{MN} - \sum_{i \in NO}^{i=n} R_i I_i) = 0$$

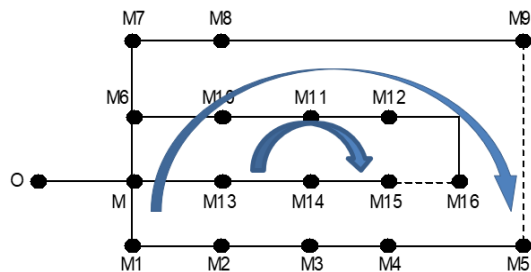
Trong đó: R_{MN}^{Loop} là tổng điện trở các nhánh trong vòng kín MN.

Mặt khác, do phân bố công suất trên lưới điện phân phối mạch hở, dòng điện trên các nhánh không phụ thuộc vào tổng trở của nhánh của lưới điện phân phối mà chỉ phụ thuộc vào công suất tiêu thụ tại các phụ tải. Vậy có thể giả thiết rằng tồn tại một lưới điện phân phối có tổng trở nhánh thuần trở vẫn đảm bảo tổn hao công suất tác dụng như lưới điện phân phối thông thường và được tính (5) [13]. Do đó, khi đóng khóa điện trên nhánh MN của lưới điện phân phối này, theo định luật K2 [15] thì:

$$\sum_{i \in OM}^n R_i I_i + R_{MN} I_{MN} - \sum_{i \in NO}^n I_i R_i = 0 \quad (5)$$

Vì vậy:

$$\begin{aligned} \Delta P^{hở} - \Delta P^{kín} &= I_{MN}^2 R_{loop} = \delta > 0 \Rightarrow \\ \Delta P^{hở} &> \Delta P^{kín} \end{aligned} \quad (6)$$



Hình 2. Lưới điện phân phối một nguồn và hai vòng đơn

Khi xét lưới điện phân phối có 1 nguồn và 2 vòng kín như Hình 2 thì trong phạm vi của bài báo, mục tiêu của tái cấu hình là tìm ra các cấu trúc lưới điện vận hành thay đổi theo đồ thị phụ tải mà có hàm lợi nhuận là lớn nhất mà không vi phạm các ràng buộc về dòng điện, điện áp, số khóa thay đổi... Xét một lưới điện phân phối tổng quát như Hình 2, tổn thất công suất của lưới điện là:

Xét vòng thứ 1: Khi thay đổi khóa trong một vòng kín thì sẽ tạo ra nhiều cấu hình khác nhau:

- Giả sử khi thay đổi khóa để có cấu hình lưới điện phân phối thứ 1 thì tổn thất của lưới điện phân phối thì sẽ tương ứng: $\Delta P_1^{ho} - \Delta P^{kin} = I_1^2 R_{Loop}$.

- Giả sử khi thay đổi khóa để có cấu hình lưới điện phân phối thứ 2 thì tổn thất của lưới điện phân phối thì sẽ tương ứng: $\Delta P_2^{ho} - \Delta P^{kin} = I_2^2 R_{Loop}$.

- Tương tự khi thay đổi khóa để có cấu hình lưới điện phân phối thứ i thì tổn thất của lưới điện phân phối thì sẽ tương ứng: $\Delta P_i^{ho} - \Delta P^{kin} = I_i^2 R_{Loop}$.

Như vậy: Cấu hình thứ 1 và cấu hình thứ 2 có sự chênh lệch nhau về tổn hao công suất: $\Delta P_1^{ho} - \Delta P_2^{ho} = (I_1^2 - I_2^2) R_{Loop}$.

Hay nói cách khác: Tổn thất điện năng là

$$\Delta A_1 - \Delta A_2 = R_{Loop} \sum_{i=1}^n t_i (I_{1i}^2 - I_{2i}^2) = \sum_{i=1}^n t_i (\Delta P_{1i} - \Delta P_{2i}) \quad (7)$$

Do mỗi loại khóa điện có cơ cấu đóng cắt khác nhau và thường nằm cách xa nhau về địa lý nên sẽ mất thời gian thực hiện chuyển đổi (đóng/mở) các khóa điện

trong khi tái cấu hình lưới và đây là phần việc chiếm phần lớn thời gian và chi phí vận hành, vì vậy cần được quan tâm bằng cách cực tiểu số lần chuyển khóa so với cấu hình vận hành bình thường. Số lần chuyển khóa đóng/ mở so với cấu trúc lưới ban đầu khi thực hiện tái cấu trúc được xác định bằng biểu thức:

Hàm mục tiêu:

$$F = c(\Delta A_1 - \Delta A_2) - (C_{close} + C_{open})$$

$$F = c(\sum_{i=1}^n t_i (\Delta P_{1i} - \Delta P_{2i})) - (C_{close} + C_{open}) \quad (7)$$

Trong đó:

c: Giá tiền điện;

C_{close} : Chi phí đóng khóa khi chuyển đổi khóa;

C_{open} : Chi phí khi mở khóa khi chuyển đổi khóa.

Như vậy, hàm mục tiêu cần cực tiểu trong quá trình tái cấu hình lưới điện điện gồm các thành phần:

$$F = c(\sum_{i=1}^n t_i (\Delta P_{1i} - \Delta P_{2i})) - (C_{close} + C_{open})$$

Hay:

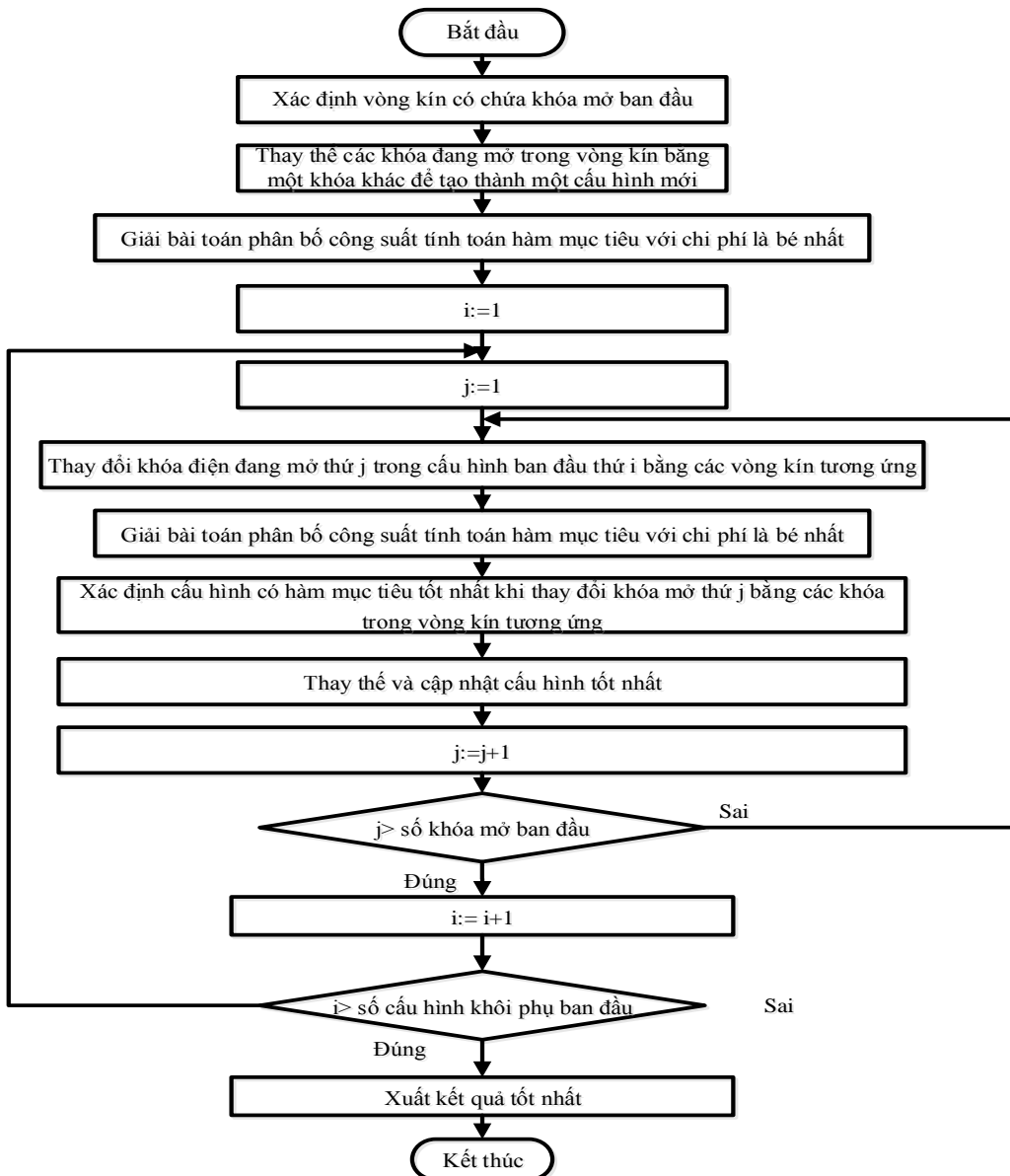
$$F = c(\sum_{i=1}^n t_i (I_{1i}^2 - I_{2i}^2) R_{Loop}) - (C_{close} + C_{open}) \quad (8)$$

Ở đây, với hàm lợi nhuận (7) hay (8) có thể được tính toán và quy đổi cho phù hợp với quá trình tính toán phân bố công suất trong lưới điện phân phối. Từ công thức (8) với hàm chi phí bé nhất thì đồng nghĩa việc thỏa mãn là $F > 0$, khi đó sẽ nhận được cấu hình lưới mới với độ lệch về tổn thất điện năng lớn hơn chi phí thay đổi các khóa điện để có cấu hình mới. Khi

$F < 0$ có nghĩa là chi phí chuyển khóa lớn hơn lượng điện năng tiết kiệm được. Khi lựa chọn phương án cấu hình mới đồng thời phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc trong hệ thống như dòng điện, điện áp. Phương pháp đề xuất để giải bài toán tối ưu với hàm mục tiêu (8) và các điều kiện đảm bảo về điện áp, dòng điện trên lưới phân phối.

3. PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT TÌM CẤU HÌNH TỐI ƯU VỚI HÀM MỤC TIÊU

Phương pháp đề xuất được trình bày trong sơ đồ giải thuật bằng cách áp dụng kỹ thuật đổi nhánh, được trình bày trong Hình 3. Các bước của giải thuật cho thấy rằng việc xác định cấu hình thay đổi theo phụ tải tại các thời điểm khác nhau để đạt mục tiêu là chi phí bé nhất có thể thực hiện bằng kỹ thuật trao đổi nhánh, cụ thể như sau:



Hình 3. Sơ đồ thuật toán cho hàm mục tiêu giảm tổn thất kết hợp tối ưu chi phí đóng/mở

Các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Xác định vòng kín có chứa khóa mở ban đầu ở cấu hình vận hành bình thường.

Bước 2: Thay thế khóa đang mở trong vòng kín bằng một khóa khác trong vòng kín, để tạo các cấu hình có thể khôi phục ban đầu.

Bước 3: Giải bài toán phân bố công suất, tính toán hàm mục tiêu: chi phí bé nhất, chống quá tải, ràng buộc về điện áp.

Bước 4: Xét từng cấu hình i khôi phục ban đầu.

Bước 5: Xét từng khóa điện j trong cấu hình khôi phục ban đầu đang xét.

Bước 6: Thay khóa điện đang xét bằng các khóa điện trong vòng kín tương ứng.

Bước 7: Giải bài toán phân bố công suất, tính toán hàm mục tiêu: chi phí bé nhất, chống quá tải, ràng buộc về điện áp.

Bước 8: Xác định cấu hình có hàm mục tiêu tốt nhất khi thay khóa mở bằng các khóa ở vòng kín tương ứng.

Bước 9: Cập nhật cấu hình cấu hình khôi phục ban đầu đang xét bằng cấu hình lựa chọn tốt nhất khi thay đổi khóa điện.

Bước 10: Thay thế và cập nhật cấu hình tốt nhất có lựa chọn.

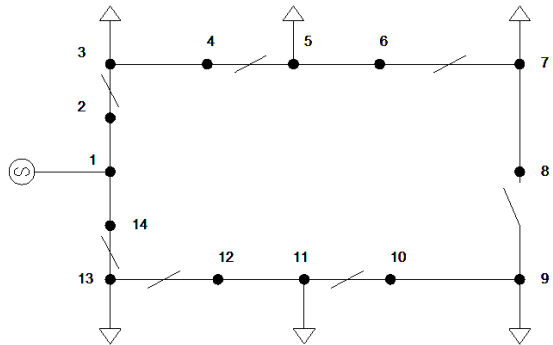
Bước 11: Lặp lại bước 7 cho đến khi các khóa điện trong cấu hình lựa chọn ban đầu đang xét được thay thế hết.

Bước 12: Lặp lại bước 6 cho đến khi các cấu hình lựa chọn ban đầu được xét hết.

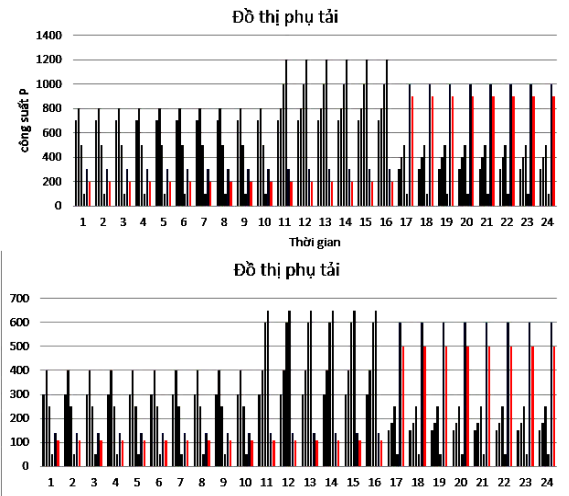
Bước 13: Xuất kết quả là cấu hình tốt nhất.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô phỏng trên lưới điện có 1 vòng kín như Hình 4 gồm 7 khóa điện là: 2-3; 4-5; 6-7; 8-9; 10-11; 12-13; 13-14. Với điện trở các nhánh là 0.15Ω và các phụ tải tại các nút 3, 5, 7, 9, 11, 13 như Hình 5.



Hình 4. Mạng 1 nguồn có 7 nhánh

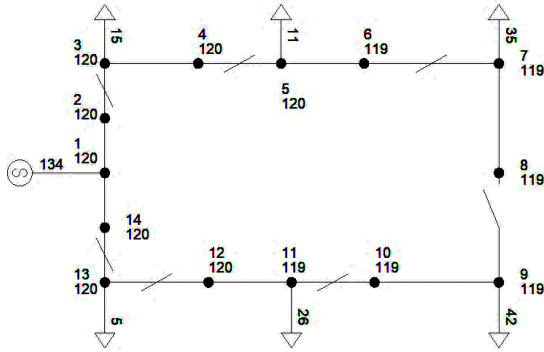


Hình 5. Đồ thị phụ tải P (kW), Q(kVar)

Ở điều kiện vận hành bình thường thì có khóa 8-9 là mở. Để tìm cấu hình tối ưu cho từng giai đoạn vận hành của lưới điện.

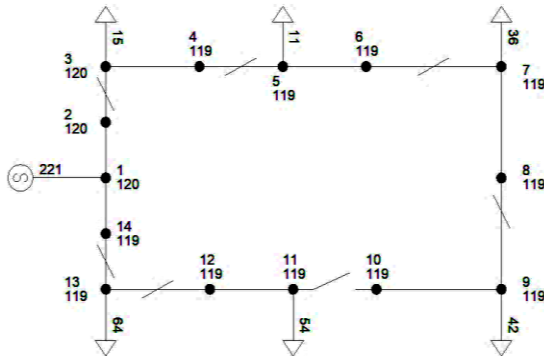
- Tính phân bố công suất các vòng kín: tìm ra nhánh có tổn thất công suất là bé nhất, xác định được khóa mở của nhánh đó trong vòng kín.

+ Ở giai đoạn 1: khi tính toán trong 10 giờ thì khóa mở là 8-9 như Hình 6.



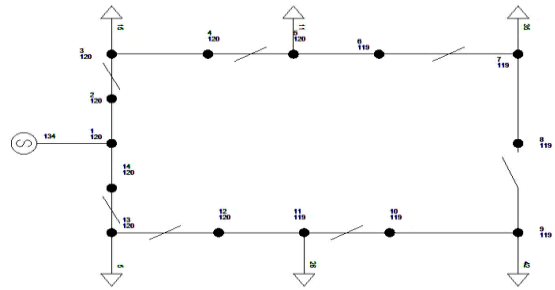
Hình 6. Cấu hình lưới ở giai đoạn 1

+ Ở giai đoạn 2: khi tính toán trong 6 giờ thì khóa mở là 10-11 như Hình 7.



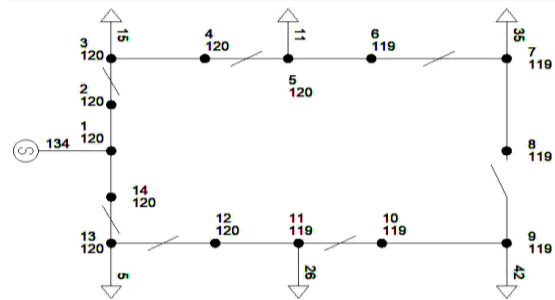
Hình 7. Cấu hình lưới ở giai đoạn 2

+ Ở giai đoạn 3: khi tính toán trong 8 giờ thì khóa mở là 8-9 như Hình 8.



Hình 8. Cấu hình lưới ở giai đoạn 3

+ Khi tính toán sử dụng TOPO sử dụng công suất trung bình thì khóa mở 8-9 như Hình 9.



Hình 9. Cấu hình lưới khi tính công suất trung bình

Như vậy, có 2 lần chuyển khóa trong 2 giai đoạn: Giai đoạn 1: vận hành lưới điện với khóa mở là 8-9. Giai đoạn 2: vận hành lưới điện với khóa mở là 10-11 và đóng điện với khóa 8-9. Giai đoạn 3: vận hành lưới điện với khóa mở là 8-9 và đóng khóa 10-11.

Bảng 1. Thông số sau khi tính toán

	Nút	Khóa	I (A)			I ² .t		
			0-10h	10-16h	16-24h	0-10h	10-16h	16-24h
Line1	3; 4	4-5	63	93	63	39690	51894	31752
Line2	5; 6	6-7	53	82	17	28090	40344	2312
Line3	7; 8	8-9	18	47	8	3240	13254	512
Line4	9; 10	10-11	25	11	22	6250	726	3872
Line5	11; 12	12-13	51	52	47	26010	16224	17672
Line7	1; 2	2-3	79	108	117	62410	69984	109512
Line6	1; 14	13-14	56	115	52	31360	79350	21632

Độ lệch tổng tổn thất công suất giữa cấu hình đang vận hành và cấu hình mới có chênh lệch là lớn nhất, gồm có 2 phần:

+ Khi cấu hình 1 chuyển sang cấu hình 2:

$$\sum_{i=1}^n (I_{1i}^2 t_i - I_{2i}^2 t_i) R_{\text{LOOP}} = (3240 - 726) \times 7$$

$$\times 0.15 \Omega = 2639.7 \text{ Wh}$$

+ Khi cấu hình 2 chuyển sang cấu hình 3:

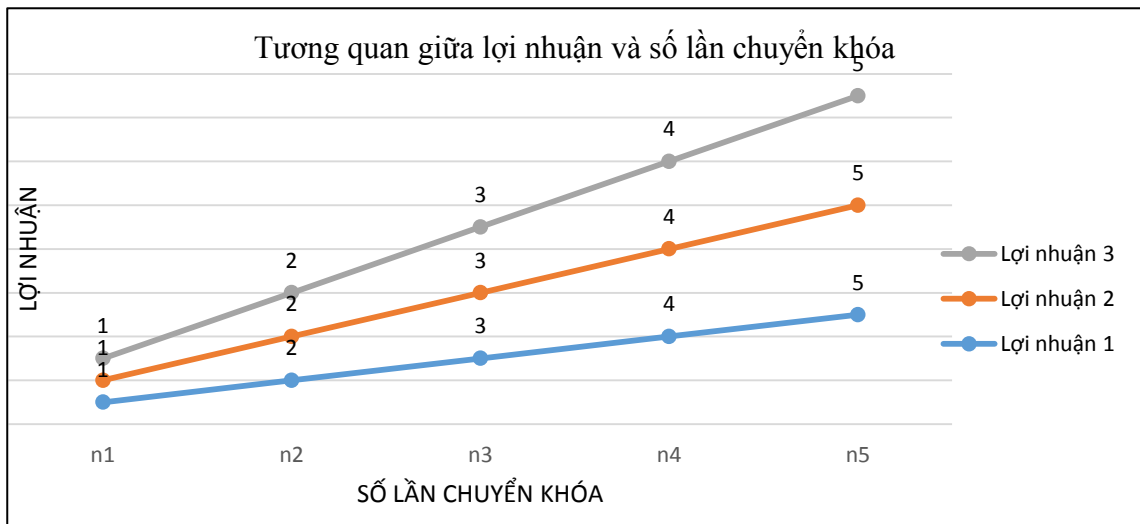
$$\sum_{i=1}^n (I_{1i}^2 t_i - I_{2i}^2 t_i) R_{\text{LOOP}} = (726 - 512) \times 7 \times$$

$$0.15 \Omega = 224.7 \text{ Wh}$$

Từ hàm lợi nhuận F có nhận xét Bảng 2:

Bảng 2. Các trường hợp của đồ thị phụ tải chuyển khóa theo thời gian

Giai đoạn	Khóa mở	Giá chuyển khóa ($C_{\text{open}} + C_{\text{close}}$)	Lợi nhuận khi giảm tổn thất điện năng $\sum_{i=1}^n (I_{1i}^2 t_i - I_{2i}^2 t_i) R_{\text{LOOP}}$	Vận hành
1	8-9	0	0	Không chuyển khóa
2	10-11	Giá cao	$2639.7 \times c$	Không nên chuyển khóa
		Giá bình thường	$2639.7 \times c$	Xem xét giá tiền điện c (giá tiền điện) và giá chuyển khóa để lựa chọn
		Giá thấp	$2639.7 \times c$	Chọn chuyển khóa
3	8-9	Giá cao	$224.7 \times c$	Không nên chuyển khóa
		Giá bình thường	$224.7 \times c$	Xem xét giá tiền điện c (giá tiền điện) và giá chuyển khóa để lựa chọn
		Giá thấp	$224.7 \times c$	Chọn chuyển khóa



Hình 10. Tương quan giữa lợi nhuận và số lần chuyển khóa

Việc chấp nhận chuyển khóa hay không chuyển khóa phụ thuộc vào hàm lợi nhuận thu được F. Trong thực tế thì phần lớn phụ thuộc vào: thời gian chuyển khóa, chi phí chuyển khóa (gồm mở khóa và đóng khóa)...

Như vậy, để có cấu hình lưới điện mới cần phải xem xét số lần chuyển khóa n như sau:

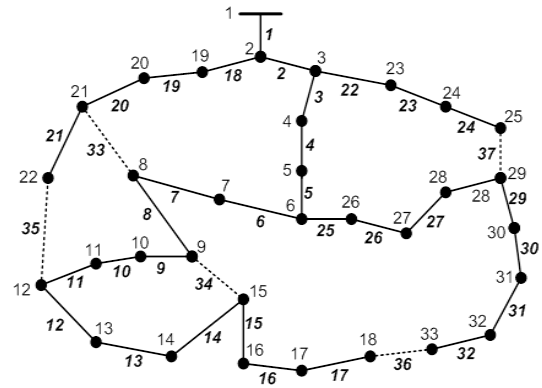
$$n = \frac{c \sum_{i=1}^n t_i (I_{1i}^2 - I_{2i}^2) R_{\text{LOOP}}}{(C_{\text{close}} + C_{\text{open}})} \quad (10)$$

Nhận xét: Dựa vào hàm mục tiêu khi vận hành thay đổi đóng/ mở các khóa điện thì phải xem xét hàm lợi nhuận khi giảm được tổn thất điện năng trong một thời gian chuyển khóa. Từ đó, so sánh với chi phí đóng mở các khóa điện để đưa ra quyết định cho phép thay đổi cấu hình lưới mới hay không, như được trình bày ở Bảng 2 với các khóa chuyển có $C1-C2 > 0$ thì chấp nhận chuyển khóa, nếu $C1-C2 < 0$ thì không chấp nhận chuyển khóa tức là giữ nguyên các khóa mở trước đó. Tuy nhiên việc chuyển khóa hay không cũng còn phụ thuộc vào hàm lợi nhuận (10) về số lần chuyển khóa.

Trong Hình 10 nhận thấy không phải giai đoạn nào cũng có thể chuyển khóa để thay đổi cấu hình, tùy thuộc vào lợi nhuận mà xem xét cấu hình đó có thể được cấu hình lại hay không, tức thỏa mãn lợi nhuận chi phí tiết kiệm do tổn thất điện năng lớn hơn chi phí chuyển khóa. Như vậy, phải xem xét lợi nhuận khi chấp nhận chuyển khóa và cũng xem xét các điều

kiện ràng buộc khác như dòng điện, điện áp...

Tương tự xét lưới điện mạng 1 nguồn, 33 nút tại Hình 11 là một lưới điện phân phối đơn giản do Baran lần đầu tiên đề xuất để kiểm tra giải thuật của mình. Có rất nhiều tác giả đã sử dụng lưới điện mẫu này làm ví dụ để kiểm chứng độ chính xác giải thuật và được xem mạng 1 nguồn - 33 nút mẫu của IEEE. Hệ thống phân phối 33 nút, bao gồm 37 nhánh, 32 phân đoạn chuyển mạch và 5 khóa điện của Baran [10-12].



Hình 11. Lưới điện 33 nút

Lưới gồm có 5 mạch vòng bao gồm:

Vòng 1 = [2 3 4 5 6 7 18 19 20 33].

Vòng 2 = [9 10 11 12 13 14 34].

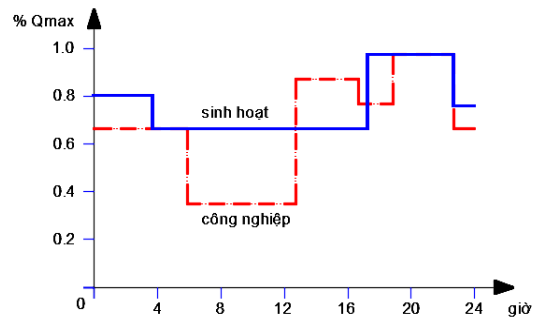
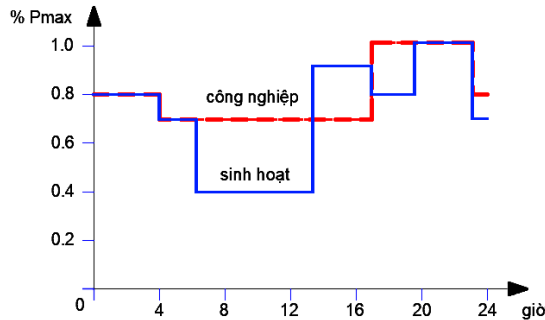
Vòng 3 = [2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 18 19 20 21 35].

Vòng 4 = [6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 25 26 27 28 29 30 31 32 36].

Vòng 5 = [3 4 5 22 23 24 25 26 27 28 37].

Giả sử khi chuyển khóa, điện áp nhỏ nhất cho phép $V_{\text{min}} = 0.9$ p.u. và không có đường dây nào bị quá tải hay $\text{Max}(I/I_{\text{max}}) \leq 1.0$ với cường độ dòng điện cho phép trên mỗi nhánh bằng nhau và bằng 255A.

Kết quả mô phỏng qua các bước được tổng hợp trong Bảng 1.



Hình 12. Đồ thị phụ tải P(t)% theo P_{max} và Q(t)% theo Q_{max}

Bảng 3. Các khóa mở khi sử dụng cấu hình ở các giai đoạn

Giai đoạn	Giai đoạn 1	Giai đoạn 2	Giai đoạn 3	Giai đoạn 4	Giai đoạn 5	Giai đoạn 6	Giai đoạn 7	TOPO (ΔA _{min} không chuyển tải)
Các khóa mở	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 17-18	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32	29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 32-33

Nhận xét: Với đặc tính tải như Hình 12 ta có kết quả tính toán như Bảng 3 nhận thấy:

- Khi sử dụng TOPO cho kết quả tối ưu của công suất trung bình tương ứng các khóa mở là 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 32-33.
- Khi tính toán tối ưu ở giai đoạn 1 có các khóa mở: 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 17-18.
- Còn từ giai đoạn 2 đến giai đoạn 7 coi như không đổi và chọn các khóa mở 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32.

Bảng 4. Các khóa mở lựa chọn khi sử dụng cấu hình ở các giai đoạn

STT	Giá chuyển khóa (C _{open} + C _{close}) (VNĐ)	Lợi nhuận khi giảm tổn thất điện năng (VNĐ)	n ∈ N	Vận hành
1	2× (400+400)×10 ³	630×10 ³ , giá điện 1500 VNĐ	n=0,39 => n=0	Không nên chuyển khóa (Giữ nguyên cấu hình TOPO): 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 32-33

Như vậy sẽ vận hành như sau: khi thay đổi khóa điện từ 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32 thành 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 17-18 thì có lợi nhuận là: (405-5)*21.R (kWh).

Tương ứng với số lần chuyển khóa n là:

$$n = \frac{c \sum_{i=1}^n t_i (I_{1i}^2 - I_{2i}^2) R_{LOOP}}{(C_{close} + C_{open})} = \frac{(405-5)c R_{LOOP}}{(C_{close} + C_{open})}, n \in \mathbb{N}$$

Ở đây, ta có 1 lần chuyển khóa (mở khóa và đóng khóa), được thể hiện ở Bảng 4:

STT	Giá chuyển khóa ($C_{open} + C_{close}$) (VNĐ)	Lợi nhuận khi giảm tổn thất điện năng (VNĐ)	$n \in \mathbf{N}$	Vận hành
2	$2 \times (350 + 350) \times 10^3$	1890×10^3 , giá điện 4500 VNĐ	$n=1,35$ \Rightarrow $n=1$	Chọn $n=1$ $L=1890-2 \times 700=490 < 630$. Chọn $n=0$; $L=630$ Không nên chuyển khóa (Giữ nguyên cấu hình TOPO): 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 32-33
3	$2 \times (300 + 300) \times 10^3$	1890×10^3 , giá điện 4500 VNĐ	$n=1,57$ \Rightarrow $n=1$	Chọn $n=1$ $L=1890-4 \times 300 = 690 > 630$ Vận hành 2 giai đoạn: 1. Từ giai đoạn 2-7: vận hành mở các khóa 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32. 2. Giai đoạn 1: vận hành các khóa mở: 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 17-18.
4	$2 \times (200 + 200) \times 10^3$	1890×10^3 , giá điện 4500 VNĐ	$n=2,36$ \Rightarrow $n=2$	Chọn $n=2$ $L=1890-2 \times 4 \times 200 = 290 < 630$ Chọn $n=1$ $L=1890 - 4 \times 200 = 1090 < 630$ Vận hành 2 giai đoạn: 1. Từ giai đoạn 2-7: vận hành mở các khóa 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32. 2. Giai đoạn 1: vận hành các khóa mở: 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 17-18.

Nhận xét: Từ Bảng 4

Trường hợp 1: Khi chi phí chuyển tải là 400.000 VNĐ cho 1 lần đóng/mở reloser và giá điện là 1500 VNĐ/kWh, lợi nhuận thu được từ việc không chuyển tải trong giai đoạn 1 là 630.000 VNĐ, trong khi đó chi phí chuyển tải là 4×400.000 VNĐ nên không thực thi chuyển tải mà sử dụng sơ đồ không chuyển tải TOPO.

Trường hợp 2: Khi chi phí chuyển tải là 350.000 VNĐ cho 1 lần đóng/mở reloser do cải tiến chi phí chuyển tải bằng cách giảm chi phí bảo trì và sửa chữa. Giá điện là 4.500 VNĐ/kWh, lợi nhuận thu được từ việc không chuyển tải trong giai đoạn 1 là 1.890.000 VNĐ, trong khi đó chi phí chuyển tải là 4×350.000 VNĐ, số lần chuyển khóa có thể là $n=1$. Tuy nhiên lợi nhuận sau chuyển tải chỉ là 490.000 VNĐ

bé hơn lợi nhuận không chuyển tải nên không thực thi chuyển tải mà sử dụng sơ đồ không chuyển tải TOPO.

Trường hợp 3: Khi chi phí chuyển tải là 300.000 VNĐ cho 1 lần đóng/mở reloser do cải tiến chi phí chuyển tải bằng cách giảm chi phí bảo trì và sửa chữa. Giá điện là 4.500 VNĐ/kWh, lợi nhuận thu được từ việc không chuyển tải trong giai đoạn 1 là 1.890.000 VNĐ, trong khi đó chi phí chuyển tải là 4×300.000 VNĐ, số lần chuyển khóa có thể là $n=1$. Lợi nhuận sau chuyển tải chỉ là 690.000 VNĐ lớn hơn lợi nhuận chuyển tải là 630.000 VNĐ. Vì vậy, việc chuyển tải được thực thi như sau:

Giai đoạn 2, 3, 4, 5, 6, 7: vận hành mở các khóa 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 31-32.

Giai đoạn 1: vận hành các khóa mở: 29-28; 14-15; 7-8; 9-10; 17-18

Trường hợp 4: Khi chi phí chuyển tải là 200.000 VNĐ cho 1 lần đóng/mở reloser do cải tiến chi phí chuyển tải bằng cách điều khiển từ xa và giảm chi phí bảo trì, sửa chữa. Giá điện là 4.500 VNĐ/kWh, lợi nhuận thu được từ việc không chuyển tải trong giai đoạn 1 là 1.890.000 VNĐ, trong khi đó chi phí chuyển tải là

4×200.000 VNĐ, số lần chuyển khóa có thể là $n=2$. Lợi nhuận sau 2 lần chuyển tải chỉ là 290.000 VNĐ bé hơn lợi nhuận không chuyển tải là 630.000 VNĐ. Vì vậy, sử dụng 01 lần chuyển tải ($n=1$). Lợi nhuận thu về là 1.090.000 VNĐ lớn hơn chi phí không chuyển tải.

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, bài báo đã đề xuất giải thuật tối ưu cho bài toán tái cấu hình lưới điện phân phối với hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất có xét đến chi phí đóng/cắt trên các thiết bị đóng cắt. Kết quả mô phỏng được thực hiện trên lưới điện 1 mạch vòng và lưới mẫu IEEE-33 nút với các kịch bản khác nhau cho thấy giải pháp đề xuất cho kết quả chính xác, đảm bảo các điều kiện ràng buộc và có độ tin cậy cao đảm bảo tối ưu hàm mục tiêu nhằm mang lại lợi ích cho công ty quản lý lưới điện nói riêng và ngành điện nói chung. Kết quả nghiên cứu sẽ được hoàn thiện bổ sung khi xét thêm các yếu tố khác như: độ tin cậy, sự biến thiên phụ tải bất định,... Các nghiên cứu này sẽ được nghiên cứu bổ sung trong các công trình tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sarfi R. J. , Salama M. M. A. , Chakani A. Y. , "A survey of the state of the art in distribution system reconfiguration for system loss reduction", Electric Power System Research 31 - 1994, pp. 61-70.
- [2] Shirmohammadi, Q. Zhou D. and Liu W.H. E, "Distribution Feeder Reconfiguration For Operation Cost Reduction", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [3] Shirmohammadi, Q. Zhou D. and Liu W.H. E, "Distribution Feeder Reconfiguration For Service Restoration And Load Balancing", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [4] Civanlar, S., J. J. Grainger, Y. Yin and S. S. Lee, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE Transactions on Power Delivery, 3-3, July 1988, pp. 1217-1223.
- [5] Broadwater, R. P., A. H. Khan, H. E. Shaalan and R. E. Lee, "Time Varying Load Analysis to Reduce Distribution Losses Through Reconfiguration", IEEE Transactions on Power Delivery, 8- I, January 1993, pp 294 - 300.

- [6] Chen C. S. , and Cho M. Y. "Energy Loss Reduction by Critical Switches", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 8, No. 3, pp. 1246-1253, July 1993.
- [7] Baran, M. E. and F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Transactions on Power Delivery, 4-2, April 1989, pp. 1401- 1407.
- [8] H. Chitsaz, P. Zamani-Dehkordi, H. Zareipour, and P. P. Parikh, "Electricity Price Forecasting for Operational Scheduling of Behind-the-Meter Storage Systems," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 9, no. 6, pp. 6612–6622, Oct. 2018, doi: 10.1109/TSG.2017.2717282.
- [9] J.S. Wu, K.L. Tomsovic and C.S. Chen, A heuristic approach to feeder switching operations for overload, faults, unbalanced flow and maintenance, IEEE Trans. Power Deliver),, 6 (4) (1991) 1579-1585.
- [10] E.N. Dialynas and D.G. Michos, Interactive modelling of supply restoration procedures in distribution system operation, IEEE Trans. Power Deliver),, 4 (3) (1989) 1847 1854.
- [11] C.S. Chen, J.S. Wu and C.S. Moo, Fault restoration by optimizing switch configuration in distribution systems, J. Chin. Inst. Eng., 12 (6) (1989) 781-789.
- [12] Nguyen TT, Truong AV. Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm. Int J Electr Power Energy Syst 2015;68:233–42.
- [13] Merlin A, Back H. Search for a minimal loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system. In: Proceeding 5th power syst comput conf (PSCC), Cambridge, UK, vol. 1–18; 1975.
- [14] Civanlar S, Grainger JJ, Yin H, Lee SSH. Distribution feeder reconfiguration for loss reduction. IEEE Trans Power Deliv 1988;3(3):1217–23.
- [15] Duan D-L, Ling X-D, Wu X-Y, Zhong B. Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm. Int J Electr Power Energy Syst 2015;64:88–95.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trương Việt Anh tốt nghiệp đại học năm 1994, nhận bằng Thạc sĩ năm 1999 và Tiến sĩ năm 2004 tại Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh. Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.

Lĩnh vực nghiên cứu: ổn định hệ thống điện, FACTS, tái cấu trúc lưới điện, phân tích hệ thống điện, thị trường điện, tự động hóa lưới điện.



Tác giả Nguyễn Tùng Linh tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2005; nhận bằng Thạc sĩ năm 2010, bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điều khiển tự động hóa năm 2018 tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện, ứng dụng AI cho hệ thống điện, lưới điện phân phối, tự động hóa hệ thống điện, lưới điện phân phối.



Tác giả Lê Hải Đăng tốt nghiệp đại học ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2018 tại Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh.

Lĩnh vực nghiên cứu: tối ưu vận hành lưới điện phân phối, bảo vệ hệ thống điện, tính toán và phân tích hệ thống điện.