

# TỐI ƯU SỐ LƯỢNG VÀ VỊ TRÍ ĐẶT CÁC THIẾT BỊ PHÂN ĐOẠN TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI TRUNG ÁP BẰNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

QUANTITY AND PLACEMENT OPTIMIZATION OF SECTIONALIZER ON MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK BY MEANS OF GENETIC ALGORITHM

**Trần Anh Tùng**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 4/12/2019, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2019, Phản biện: TS. Nguyễn Phúc Huy

## **Tóm tắt:**

Các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện như SAIDI, SAIFI hay ENS phản ánh mức độ tin cậy trong cung cấp điện của các công ty điện lực. Các chỉ số này thường bị ảnh hưởng bởi cách thức sử dụng các thiết bị phân đoạn trên lưới điện. Chính vì vậy, bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu tối ưu hóa việc sử dụng số lượng, chủng loại và vị trí đặt dao phân đoạn trên xuất tuyến trung thế 482E4.3 của công ty điện lực Vĩnh Phúc bằng thuật toán di truyền. Hàm mục tiêu đa đối tượng tối thiểu hóa các chi phí thiết bị và lượng điện năng không được cung cấp do mất điện. Kết quả chỉ ra rằng các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện của xuất tuyến này khi tối ưu sử dụng các dao phân đoạn bằng thuật toán di truyền đã được cải thiện đáng kể so với các dữ liệu lịch sử.

## **Từ khóa:**

Dao phân đoạn, thiết bị tự đóng lại, thuật toán di truyền, SAIDI, SAIFI, ENS.

## **Abstract:**

Indices SAIDI, SAIFI or ENS serve as valuable tools for comparing electrical utilities performance reliability. These indicators may be influenced by the using method of sectionalizers in electrical grid. Therefore, this paper presents the investigated results on quantity, types and placement optimization of sectionalizers on 482E4.3 feeder of Vinh Phuc Power Company by means of genetic algorithm. Objective function optimizes the cost of equipments and the energy which is not supplied due to the outage of the network. The obtained results showed that reliability indicators of this feeder were much improved by using an optimization process in comparison to historical data.

## **Key words:**

Sectionalizer, recloser, genetic algorithm, SAIDI, SAIFI, ENS.

## **1. MỞ ĐẦU**

Đối với vấn đề độ tin cậy hệ thống điện, giải thuật di truyền thường được áp dụng để tìm ra số lượng và điểm đặt tối ưu của

các dao phân đoạn nhằm thỏa mãn một hàm mục tiêu định trước. Những nghiên cứu sớm nhất về vấn đề này đã được giới thiệu trong [1]. Các hàm mục tiêu có thể

là đơn đối tượng hoặc đa đối tượng [2]. Sự ứng dụng thuật toán di truyền để tìm điểm mở trên lưới phân phối hình tia cũng được giới thiệu trong [3] sử dụng hàm fuzzy khi xác định tính quan trọng của các phụ tải.

Một phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu sử dụng thuật toán tiến hóa được đề xuất trong [4] nhằm xác định độ tin cậy tốt nhất cho lưới phân phối khi tối thiểu hóa chi phí mở rộng lưới. Nghiên cứu về các thiết bị tự đóng lại được giới thiệu trong [5]. Các nghiên cứu trong các tài liệu tham khảo trên chỉ ra rằng lợi ích mang lại bởi các phương pháp tối ưu cho phép giảm từ 30% tới 50% chi phí, điều đó cũng cho thấy một ảnh hưởng tích cực đến hiệu năng của hệ thống phân phối điện.

Mặt khác, các tài liệu tham khảo chỉ ra rằng phần lớn các phương pháp đề xuất được thử nghiệm với các lưới nhỏ, đó là những ví dụ không đặc trưng cho các lưới điện thực tế. Bên cạnh đó, nhu cầu cải thiện chất lượng dịch vụ tăng lên đòi hỏi sự tăng cường tính tự động hóa lưới điện bằng sự tích hợp của các thiết bị phân đoạn dạng khác như thiết bị tự đóng lại (Recloser). Sự đa dạng của thiết bị phân đoạn và cấu hình lớn của lưới điện thực tế làm cho bài toán tối ưu sử dụng thiết bị phân đoạn trở nên phức tạp hơn rất nhiều.

Chính vì bài báo này giới thiệu tính toán dựa trên thuật toán di truyền cho phép xác định số lượng và vị trí đặt dao phân đoạn (thường đóng) và loại dao (dao tự động hay đóng mở cơ học) trên lưới điện phân phối. Để đánh giá độ tin cậy của lưới

điện, thuật toán di truyền sẽ sử dụng ba chỉ số: SAIFI (tần suất mất điện trung bình), SAIDI (thời gian mất điện trung bình) và ENS (lượng điện năng không được cung cấp do sự cố). Lời giải của bài toán tối ưu sẽ đem đến giải pháp nâng cao các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện. Bên cạnh đó, xây dựng được mô đun phần mềm ứng dụng trong giảng dạy và nghiên cứu lưới điện phân phối của Trường Đại học Điện lực.

## 2. XÂY DỰNG GIẢI THUẬT VÀ HÀM MỤC TIÊU

### 2.1. Chỉ số độ tin cậy cung cấp điện

Để xác định được điểm thỏa hiệp tốt nhất giữa chi phí đầu tư và lợi ích mang lại của việc đặt dao phân đoạn, ba chỉ số được sử dụng: Tần suất mất điện trung bình SAIFI, thời gian mất điện trung bình SAIDI và lượng điện năng không được cung cấp do mất điện (ENS). SAIFI được sử dụng để hiệu chỉnh tần suất sự cố trung bình. Các thông số khác được sử dụng trong tính toán các chỉ số độ tin cậy bao gồm:

- Tần suất sự cố trung bình  $\lambda$ ;
- Tổng thời gian ngừng cung cấp điện trung bình  $U$ ;
- Thời gian mất điện trung bình  $r$ .

Các thông số này được tính toán cho từng khu vực lưới bằng các phương trình sau:

$$\lambda_b = \sum_{i \in b} \lambda_i \quad (1)$$

$$U_b = \sum_{i \in b} \lambda_i r_i \quad (2)$$

$$r_b = \frac{U_b}{\lambda_b} = \frac{\sum_{i \in b} \lambda_i r_i}{\sum_{i \in b} \lambda_i} \quad (3)$$

Trong đó,  $\lambda_b$  là tần suất sự cố trung bình của khu vực  $b$ ,  $\lambda_i$  là tần suất sự cố của từng nhánh  $i$  thuộc về khu vực  $b$ ,  $U_b$  là thời gian mất điện của khu vực  $b$  và  $r_i$  là thời gian mất điện trung bình của nhánh  $i$ . Một khu vực  $b$  trong lưới điện đang xét được định nghĩa như là một nhóm nút được giới hạn hay khoanh vùng bởi các thiết bị bảo vệ hoặc phân đoạn. Từ đó, các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện được xác định bởi công thức:

$$SAIDI = \frac{\sum_{b \in B} U_b N_b}{\sum_{b \in B} N_b} \quad (4)$$

$$ENS = \sum_{b \in B} \lambda_b r_b L_b \quad (5)$$

Trong đó,  $B$  là số khu vực của lưới điện đang xét,  $N_b$  là số khách hàng trong khu vực  $b$  và  $L_b$  là phụ tải trung bình năm của khu vực  $b$ .

## 2.2. Hàm mục tiêu và các ràng buộc

Xuất tuyến lưới điện phân phối hình tia thường bao gồm  $B$  khu vực có thể được mô tả bởi cây  $G(V, E)$  trong đó  $V$  là tập hợp chứa  $n$  nút và  $E$  là tập hợp chứa  $m$  cành. Mỗi nút  $v_i$  với  $1 \leq i \leq n$  tương ứng với một điểm tải và mỗi cành  $e_j$  với  $1 \leq j \leq m$  tương ứng với 1 nhánh đường dây, dao phân đoạn hoặc thiết bị bảo vệ.

Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình toán học ứng dụng chỉ số lượng điện năng không được cung cấp (ENS) trong hàm mục tiêu và tối thiểu hóa thông số này. Bên cạnh đó, cần lưu ý rằng các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện có ràng buộc với

nhau, do đó cải thiện chỉ số này thường dẫn đến cải thiện các chỉ số khác.

Mục đích của bài toán tối ưu dao phân đoạn là xác định loại dao, số lượng và vị trí đặt phù hợp nhất trên lưới điện phân phối. Các biến quyết định sẽ xem xét các dao phân đoạn thường đồng với các chủng loại khác nhau có tính đến dòng điện định mức và đặc tính thao tác của chúng (tự động hoặc bằng tay).

$$x_{ij}^s = \begin{cases} 1, \text{ nếu một dao thường đóng,} & (6) \\ \text{dạng } s \in S, \\ \text{được đặt trong nhánh } (i, j) \in E; \\ 0, \text{ nếu khác} \end{cases}$$

Gọi  $X$  là nhóm các dao thường đóng ( $x_{ij}^s = 1$ ). Trong khi đó nhóm  $S$  chứa thông tin về loại dao xác định bởi dòng điện định mức và phương thức thao tác (tự động hoặc bằng tay). Hàm mục tiêu cần tối thiểu hóa có dạng như sau:

$$F = \min \{ c^e ENS(X) + \sum_{s \in S} \sum_{(i,j) \in E} c^s x_{ij}^s \} \quad (7)$$

Các ràng buộc cần phải thỏa mãn bao gồm:

$$SAIDI(X) \leq SAIDI_{max} \quad (8)$$

$$x_{ij}^s \leq 1 \quad (i, j) \in E, s \in S \quad (9)$$

$$\sum_{j \in A_i} (f_{ji} - f_{ij}) \leq l_i \quad i \in V \quad (10)$$

$$f_{ij} x_{ij}^s \leq F^s \quad (i, j) \in E, s \in S \quad (11)$$

$$ENS = \sum_{i \in V} l_i U_i \quad (12)$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i \in V} N_i U_i}{\sum_{i \in V} N_i} \quad (13)$$

$$U_i = \lambda_i r_i(X) \quad i \in V \quad (14)$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad (i, j) \in E \quad (15)$$

Trong đó  $f_{ij}$  là dòng công suất chảy qua nhánh  $(i,j)$ ;  $l_i$  là phụ tải của nút  $i$ ;  $A_i$  là nhóm nút lân cận nút  $i$ ,  $F_s$  là dòng điện định mức cho phép của dao loại  $s$ ;  $N_i$  là số lượng khách hàng sử dụng điện tại nút  $i$ ;  $c^e$  là giá điện năng;  $c^s$  là chi phí mua và lắp đặt cho một dao mới loại  $s$ ;  $SAIDI_{max}$  là chỉ số thời gian mất điện trung bình tối đa quy định.

Như vậy, hàm mục tiêu  $F$  trong phương trình (7) bao gồm tổn thất kinh tế do lượng điện năng không được cung cấp và chi phí mua, lắp đặt các dao phân đoạn mới trong lưới. Ràng buộc (8) giới hạn giá trị của SAIDI. Trong khi đó, ràng buộc (9) đảm bảo rằng chỉ có không quá một dao phân đoạn trên một nhánh. Ràng buộc (10) đảm bảo sự cân bằng công suất. Ràng buộc (11) đảm bảo rằng dòng điện trên các nhánh không được vượt quá dòng điện định mức của dao đặt trên nhánh đó. Các chỉ số ENS, SAIDI và  $U_i$  được xác định bởi các ràng buộc (12), (13) và (14). Tính không âm của dòng điện (công suất) được giới thiệu bởi các ràng buộc (15).

Chúng ta cần lưu ý rằng, các biến quyết định  $x_{ij}^s$  sẽ được đặt bằng 1 nếu như nhánh đang xét trên lưới điện đã cho đã có một dao phân đoạn.

### 2.3. Xây dựng giải thuật

Thuật toán tối ưu sử dụng dao phân đoạn bao gồm hai bước: các chỉ tiêu đánh giá độ tin cậy được tính toán trong bước 1 dựa trên các dữ liệu lịch sử về tần suất sự cố của lưới điện, thuật toán di truyền được sử dụng trong bước 2 để tìm lời giải tối ưu về loại dao, số lượng và vị trí đặt mới trên lưới.

Các chỉ tiêu độ tin cậy được sử dụng ở đây là ENS và SAIDI, các thông số này được tính toán theo các công thức (12) và (13) dựa trên dữ liệu lịch sử về tần suất sự cố của lưới điện.

Thuật toán di truyền sau đó được áp dụng để tìm lời giải tối ưu về loại, số lượng và vị trí đặt dao mới trên lưới sao cho tối thiểu hóa lượng điện năng không được cung cấp ENS. Ta có  $E$  là số nhánh và  $k$  là số loại dao (trong đó có các lựa chọn về dao thường đóng hoặc thường mở, tự động hoặc bằng tay). Như vậy với mỗi nhánh, một quá trình tối ưu phải lựa chọn một giải pháp trong số  $k$  giải pháp. Không gian tìm kiếm lời giải sẽ bao gồm  $kE$  lời giải. Chính vì vậy, thuật toán di truyền được áp dụng để hạn chế bớt không gian tìm kiếm mà đôi khi quá lớn đối với các vòng lặp thông thường. Tại mỗi thế hệ, các cá thể tốt nhất sẽ được di truyền mã gen cho thế hệ con cháu tiếp theo.

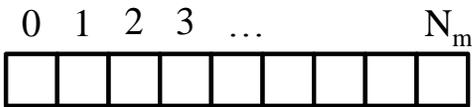
Một cá thể được mô tả bởi một nhiễm sắc thể, là một chuỗi kí tự nhị phân biểu diễn một lời giải. Mỗi nhiễm sắc thể là một mảng nhị phân. Mỗi vị trí trong chuỗi nhiễm sắc thể giới thiệu một nhánh và được gán một giá trị nằm trong giới hạn  $[0,4]$ , trong đó các giá trị này giới thiệu một loại dao được sử dụng. Các loại dao tương ứng với giá trị  $[0,4]$  được giới thiệu trong bảng 1.

Ngoài giá thành, sự khác biệt giữa dao phân đoạn bằng tay và tự động là thời gian chuyển tải của dao tự động nhanh hơn rất nhiều. Do đó các dao tự động khi bố trí tại các vị trí hợp lí trên lưới sẽ cải thiện đáng kể các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện.

**Bảng 1. Loại dao phân đoạn được sử dụng**

Giá trị gán cho nhánh (hay loại dao)	Kí hiệu	Dòng điện cực đại (A)	Đặc tính thao tác	Giá thành (triệu đồng)
0	Không có dao	Không có dao	Không có dao	Không có dao
1	C400	400	Bằng tay	28
2	C630	630	Bằng tay	50
3	A400	400	Tự động	250
4	A630	630	Tự động	350

Cấu trúc của một nhiệm sắc thể được giới thiệu trên hình 1,  $N_m$  là số nhánh của lưới điện có thể được đặt dao phân đoạn. Mỗi vị trí trong số  $N_m$  vị trí này, như đã trình bày ở trên được gán ngẫu nhiên các giá trị trong khoảng [0,4] tương ứng với một trong sáu loại dao được sử dụng.



**Hình 1. Nhiệm sắc thể chứa đựng thông tin cho một phương thức bố trí dao phân đoạn**

Các bước của thuật toán di truyền sau đó được thực hiện như sau:

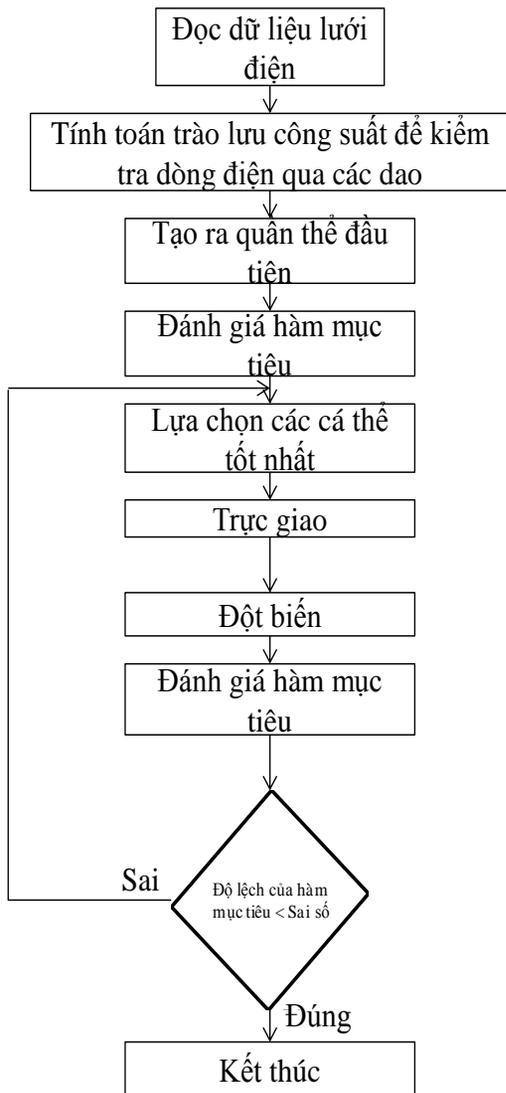
**Khởi tạo quần thể đầu tiên:** Quần thể đầu tiên được khởi tạo một cách ngẫu nhiên gồm 50 cá thể. Mỗi cá thể được tạo ra tương ứng với một phương thức bố trí dao phân đoạn của xuất tuyến. Mỗi vị trí trên nhiệm sắc thể (cá thể) sẽ được gán một loại dao phân đoạn hoặc không chứa dao. Sau đó, hàm mục tiêu sẽ được tính

toán với từng phương thức (hay từng cá thể) đồng thời các ràng buộc cũng phải được thỏa mãn. Các cá thể có lợi nhất được sắp xếp lên các vị trí đầu tiên;

**Thực giao:** Sau khi xác định được các cá thể tốt nhất trong từng thế hệ di truyền, thao tác thực giao được thực hiện giữa các cá thể này. Vị trí ngắt nhiễm sắc thể để thực hiện thực giao được xác định một cách ngẫu nhiên, thao tác này sẽ chia nhiễm sắc thể gốc thành hai phần. Từ đó, nhiễm sắc thể con được tạo ra bởi sự ghép nối phần đầu và phần sau của các nhiễm sắc thể bố mẹ. Như vậy số lượng cá thể trong sau mỗi thế hệ được cập nhật thêm các nhiễm sắc thể con;

**Đột biến:** phép đột biến được áp dụng nhằm làm tăng tính đa dạng của quần thể. Sự đột biến được thực hiện trên nhiễm sắc thể con sau khi thực giao. Nếu một nhánh không có dao phân đoạn nào thì thuật toán sẽ đặt một dao trên nó với xác suất là 0,1. Ngược lại, nếu như trên nhánh đó đã có dao phân đoạn rồi thì dao này được thay thế bởi loại dao rẻ hơn cũng với xác suất 0,1.

Như vậy, tại mỗi thế hệ, các nhiễm sắc thể được thực hiện thực giao, đột biến và tái sắp xếp với trị số hàm mục tiêu từ nhỏ đến lớn. Các vòng lặp của thuật toán di truyền sẽ được thực hiện cho tới khi đạt số thế hệ tối đa (chọn bằng 100) hoặc thuật toán hội tụ. Khi đó lời giải tối ưu được chấp nhận là cá thể đầu tiên của quần thể cuối cùng. Lưu đồ giải thuật di truyền cho tối ưu sử dụng dao phân đoạn được giới thiệu trên hình 2.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán di truyền để tối ưu sử dụng dao phân đoạn

### 3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN TỐI ƯU SỬ DỤNG THIẾT BỊ PHÂN ĐOẠN CHO XUẤT TUYẾN 482E4.3

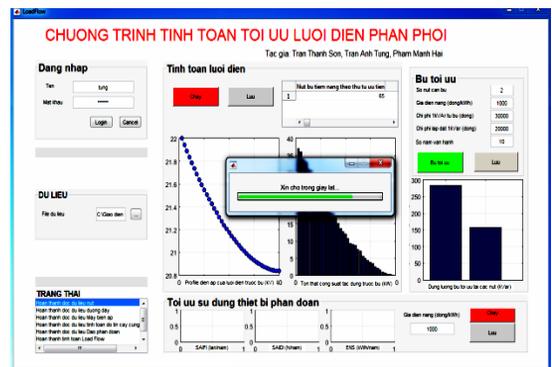
Các thông số về tần suất sự cố trên các nhánh và hiện trạng bố trí các dao phân đoạn trên xuất tuyến 482E4.3 theo dữ liệu năm 2016 được thống kê và từ đó cho phép tính toán được các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện như sau:

- SAIDI = 71,94 giờ;
- SAIFI = 12,86 lần;
- ENS = 248580 kWh.

Hiện trạng sử dụng các dao phân đoạn trên xuất tuyến 482E4.3 được giới thiệu trong bảng 2.

Bảng 2. Hiện trạng sử dụng dao phân đoạn trên xuất tuyến 482E4.3 [6]

STT	Mã hiệu dao	Vị trí	Dòng định mức (A)	Giá thành (triệu đồng)
1	482-7E4.3/1	Nhánh 2 (nút 2 đến 3)	400	28
2	482-7E4.3/21	Nhánh 4 (nút 3 đến 5)	400	28
3	482-7E4.3/22	Nhánh 5 (nút 5 đến 6)	400	28
4	482-7E4.3/4	Nhánh 7 (nút 7 đến 8)	400	28
5	Dao 8	Nhánh 8 (nút 8 đến 9)	400	28
6	Dao 9	Nhánh 9 (nút 9 đến 10)	400	28
7	482-7E4.3/44	Nhánh 14 (nút 13 đến 15)	400	28



Hình 3. Mô đun chương trình tính toán tối ưu sử dụng dao phân đoạn trên lưới điện phân phối

**Bảng 3. Dữ liệu về tần suất sự cố trên các nhánh đường dây của xuất tuyến 482E4.3 [6]**

Nhánh	Nút đầu	Nút cuối	Chiều dài (km)	Tần suất sự cố (lần/năm)	Thời gian mất điện trung bình (giờ/năm)	Có đặt thiết bị bảo vệ hoặc phân đoạn không	Số lượng khách hàng	Công suất phụ tải (kVA)
1	1	2	0,35	2	1	1	616	0
2	2	3	0,2	5	4	1	473	0
3	3	4	0,02	3	4	0	352	360
4	3	5	0,26	5	8	1	831	0
5	5	6	0,2	4	8	1	585	0
6	6	7	0,22	2	2	0	550	0
7	7	8	0,02	6	5	1	917	360
8	8	9	0,16	5	4	1	286	288
9	9	10	0,1	7	6	1	757	360
10	6	11	0,2	5	7	0	754	0
11	11	12	0,23	3	8	0	380	288
12	11	13	0,3	2	3	0	568	0
13	13	14	0,18	7	7	0	529	567
14	13	15	0,1	4	7	1	529	0
15	15	16	0,3	6	2	0	531	360
16	16	17	0,47	3	1	0	779	360

Các thông số về tần suất sự cố trên các nhánh theo dữ liệu năm 2016 và số lượng khách hàng được giới thiệu trong bảng 3.

Với chi phí cho các loại dao phân đoạn  $c^s$  được báo cáo trong bảng 1, giá điện năng trung áp tính cho 1 kWh tham khảo là 2013 đồng. Trên cơ sở đó, kết quả chạy tối ưu sử dụng dao phân đoạn bằng môđun tối ưu được viết bằng chương trình MATLAB (hình 3) được giới thiệu trong bảng 4.

Sự cải thiện của các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện sau khi tối ưu sử dụng dao phân đoạn như sau:

**Bảng 4. Kết quả tối ưu sử dụng dao phân đoạn trên xuất tuyến 482E4.3**

STT	Từ nút	Tới nút	Loại dao sử dụng
1	1	2	Máy cắt

STT	Từ nút	Tới nút	Loại dao sử dụng
2	2	3	0
3	3	4	A400
4	3	5	C630
5	5	6	0
6	6	7	A630
7	7	8	0
8	8	9	A400
9	9	10	0
10	6	11	0
11	11	12	A400
12	11	13	0
13	13	14	C400
14	13	15	A400
15	15	16	0
16	16	17	C400

- SAIDI = 30,76 giờ;

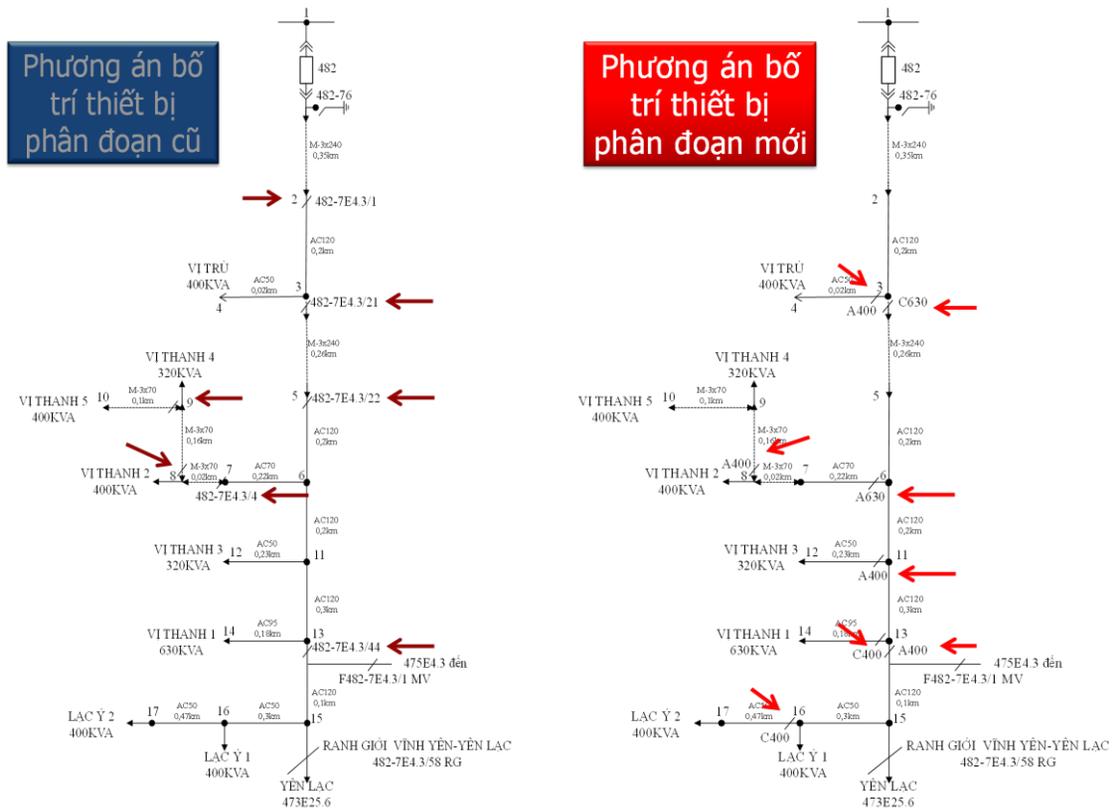
- SAIFI = 6,06 lần;
- ENS = 94095 kWh.

Như vậy, chúng ta thấy rằng nhờ tính toán tối ưu sử dụng dao phân đoạn mà các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện đã được cải thiện rõ rệt. Các chỉ số này đều được giảm xuống hơn hai lần. Điện năng thiếu hụt do mất điện từ 248580 kWh giảm xuống còn 94094 kWh. Những sự cải thiện này có ý nghĩa lớn trong việc nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, mang lại những lợi ích kinh tế-xã hội to lớn cho khách hàng. Sơ đồ bố trí các dao phân đoạn trước và sau tối ưu được giới thiệu trên hình 4.

#### 4. KẾT LUẬN

Thuật toán di truyền đề xuất dựa trên việc

tối thiểu hóa hàm mục tiêu gồm lượng điện năng thiếu hụt do mất điện và chi phí cho các loại dao phân đoạn để tìm ra lời giải tối ưu. Kết quả đã cho thấy thuật toán sử dụng nhiều hơn các dao phân đoạn tự động để có thể cải thiện các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện. Các chỉ số sau khi tối ưu của xuất tuyến 482E4.3 của điện lực Vĩnh Phúc lần lượt là SAIDI = 30,76 giờ, SAIFI = 6,06 lần, lượng điện năng thiếu hụt do mất điện ENS = 94095 kWh. Sự cải thiện này có ý nghĩa lớn trong việc nâng cao độ tin cậy cung cấp điện. Bên cạnh đó, xây dựng được mô đun phần mềm có thể được ứng dụng vào nghiên cứu và giảng dạy tại Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.



Hình 4. Bố trí dao phân đoạn trên xuất tuyến 482E4.3: trước tối ưu (bên trái); sau tối ưu (bên phải)

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Billinton, R. and Allan, R.N., *Reliability evaluation of power systems*, 2nd ed. Plenum Press, 1996.
- [2] Billinton, R. and Jonnavithula, S., *Optimal switching device placement in radial distribution systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, 11:1646 - 1651, 1996.
- [3] Haghifam, M.R., *Optimal allocation of tie points in radial distribution systems using a genetic algorithm*, EUROPEAN TRANSACTIONS ON ELECTRICAL POWER, 14:85 - 96, 2004.
- [4] Ramirez-Rosado, I.J. and Bernal-Agustin, J.L., *Reliability and costs optimization for distribution networks expansion using an evolutionary algorithm*, IEEE Transactions on Power Systems 16:111–118, 2001.
- [5] Carvalho, P.M.S., Ferreira, L.A.F.M., and Cerejo da Silva, A.J., *A decomposition approach to optimal remote controlled switch allocation in distribution systems*, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, 20:1031 - 1036, 2005.
- [6] Báo cáo Vận hành lưới điện phân phối Công ty điện lực Vĩnh Phúc, 2016.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Anh Tùng tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội ngành hệ thống điện năm 2007; bảo vệ luận án Tiến sỹ Kỹ thuật điện tại Đại học Paul Sabatier – Toulouse - Pháp năm 2011. Tác giả hiện là Trưởng Bộ môn Mạng và Hệ thống điện - Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới điện thông minh, tính toán khả năng tải của cáp ngầm cao thế, vật liệu cách điện polyme và nanocomposite.