

# Nghiên cứu phương pháp phát hiện, định vị, cô lập sự cố và khôi phục cung cấp điện cho lưới điện phân phối thông minh

Lê Duy Phúc<sup>1,2,\*</sup>, Bùi Minh Dương<sup>2</sup>, Đoàn Ngọc Minh<sup>1</sup>, Huỳnh Công Phúc<sup>1</sup>, Đỗ Minh Hải<sup>1</sup>

## TÓM TẮT

Mô hình lưới điện thông minh được định nghĩa từ nhiều năm trước đây, trong đó có lĩnh vực quản lý lưới điện phân phối. Việc ứng dụng công nghệ tự động khôi phục (viết tắt là FLISR) trên lưới điện phân phối là một trong những vấn đề quan trọng và có ý nghĩa trong việc cải thiện chỉ số độ tin cậy cung cấp điện của khu vực triển khai. Khi các sự cố xuất hiện trên lưới điện phân phối, công cụ FLISR sẽ phát hiện nhanh, định vị chính xác vị trí sự cố trước khi thực hiện những phân tích, tính toán và đề xuất các phương án cô lập sự cố cũng như các phương án khôi phục điện cho những khu vực bị ảnh hưởng mất điện do sự cố với thời gian xử lý nhanh, giảm thiểu tối đa lượng công suất điện bị mất hoặc số khách hàng mất điện. Trong nghiên cứu này, các tín hiệu chỉ báo sự cố từ các thiết bị FTU, FI là một trong những cơ sở để công cụ FLISR phát hiện nhanh và định vị chính xác vị trí sự cố. Tiếp theo, công cụ sẽ thực hiện phân tích, đánh giá và xếp hạng phương án cô lập sự cố và khôi phục cung cấp điện dựa vào hai điều kiện ràng buộc gồm: *i) lượng điện năng có thể khôi phục là lớn nhất và ii) số lượng bước thao tác là ít nhất*. Kết quả thực nghiệm được trình bày để chứng minh sự hiệu quả và tính khả thi khi triển khai áp dụng mạng phân phối 22kV vào thực tế của nghiên cứu.

**Từ khoá:** lưới điện phân phối thông minh, phát hiện sự cố, xác định vị trí sự cố, cô lập sự cố, khôi phục cung cấp điện

<sup>1</sup>Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Tp.HCM, Tổng công ty Điện lực Tp.HCM

<sup>2</sup>Viện Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM

## Liên hệ

**Lê Duy Phúc**, Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Tp.HCM, Tổng công ty Điện lực Tp.HCM

Viện Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM

Email: phuclud@hcmpec.com.vn

## Lịch sử

- Ngày nhận: 21-1-2019
- Ngày chấp nhận: 10-4-2019
- Ngày đăng: 28-5-2019

## DOI:



## Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



## ĐẶT VẤN ĐỀ

### Tổng quan về FLISR trong lưới điện phân phối

Một vấn đề quan trọng trong vận hành lưới điện phân phối chính là đảm bảo chất lượng điện năng và độ tin cậy cung cấp điện đối với khách hàng. Để đạt được những yêu cầu này, việc ứng dụng công nghệ tự động khôi phục lưới điện là tất yếu. Công nghệ này có khả năng phát hiện sự cố, khoanh vùng chính xác vị trí sự cố, tìm phương án cô lập vùng sự cố và khôi phục điện cho những vùng bị ảnh hưởng bởi sự cố. Điểm mấu chốt của công nghệ này chính là phương pháp xác định nhanh các dạng sự cố, chỉ ra chính xác phân đoạn sự cố để tiến hành cô lập.

Việc phát hiện, xác định vị trí sự cố trong lưới điện phân phối là những yêu cầu tất yếu trong lĩnh vực tự động hóa lưới điện phân phối. Các phương pháp xác định phân đoạn sự cố nhờ vào các tín hiệu cảnh báo truyền từ các thiết bị phát hiện sự cố lắp tại các phát tuyến đầu nguồn (FTU), hoặc từ các thiết bị chỉ báo sự cố (FI) tích hợp sẵn trong các thiết bị đóng cắt kết hợp trạng thái thực tế của lưới điện được trình bày trong các tài liệu<sup>1-3</sup>. Trong tài liệu<sup>1</sup>, một lưới điện phân phối hình tia đơn giản được mô hình để phân tích và phán đoán vùng sự cố dựa vào tình trạng đóng/mở

của thiết bị đóng cắt. Phương pháp này chỉ cho biết phạm vi mất điện và không thể cung cấp thông tin về phân đoạn sự cố. Đối với tài liệu<sup>2</sup>, chỉ có các FI được sử dụng để chẩn đoán và xác định chính xác phân đoạn sự cố. Tuy nhiên, trên lưới điện phân phối thực tế tồn tại cả FTU và FI. Trong tài liệu<sup>3</sup>, cả hai loại thiết bị nêu trên đều được lắp đặt trên lưới điện phân phối hình tia đơn giản và được sử dụng để phân vùng lưới điện. Dựa vào các tín hiệu thông báo sự cố truyền từ các FTU, FI và trạng thái của lưới điện thực tế, vị trí sự cố được xác định chính xác trên phát tuyến. Ngoài ra, cần lưu ý rằng, các thành phần trên mô hình lưới điện này chỉ bao gồm tải và các thiết bị FTU, FI, không có hỗ trợ của thiết bị đóng cắt. Thêm vào đó, phương pháp đề xuất trong tài liệu cũng không đề cập vấn đề khôi phục cung cấp điện cho những vùng mất điện do ảnh hưởng bởi sự cố.

Tài liệu<sup>4</sup> giới thiệu nhiều phương pháp và mô hình hỗ trợ xử lý khi xảy ra sự cố. Mô hình đơn giản đầu tiên là sử dụng Recloser (REC) để phát hiện mất điện (LoV) và đưa ra quyết định đóng cắt với thời gian cài đặt trước. Phương pháp thứ hai yêu cầu các thiết bị đóng cắt phải được hỗ trợ về công nghệ giao tiếp GOOSE và hạ tầng truyền dẫn thông tin. Phương pháp cuối cùng dựa vào nền tảng của việc tích hợp hệ thống quản lý lưới điện phân phối (DMS) vào hệ thống SCADA hiện

**Trích dẫn bài báo này:** Phúc L D, Dương B M, Minh D J N, Phúc H C, Hải D J M. **Nghiên cứu phương pháp phát hiện, định vị, cô lập sự cố và khôi phục cung cấp điện cho lưới điện phân phối thông minh.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; (1):1-10.

hữu, hoặc còn gọi là mô hình FLISR tập trung. Mô hình này có thể đảm nhận công việc thu thập dữ liệu, phân tích, đề xuất quyết định, thực thi đóng cắt khi lưới điện xuất hiện sự cố. Tiếp theo, một mô hình FLISR phân tán được giới thiệu trong bài<sup>5</sup> cho thấy các thiết bị đầu cuối (RTU) trao đổi dữ liệu với nhau và tự động thực hiện các bước phát hiện, xác định vị trí, cô lập sự cố và khôi phục điện.

Như vậy, có thể thấy rằng, hiệu quả của việc ứng dụng FLISR phụ thuộc vào cả thiết bị phần cứng và phần mềm, như là: khả năng vận hành thiết bị cảnh báo, cơ cấu chấp hành của thiết bị, hạ tầng truyền thông, giải thuật phát hiện và dò tìm vị trí sự cố, trình tự đóng cắt trong quá trình cô lập và khôi phục cung cấp điện. Do đó, để lưới điện phân phối đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện, mô hình triển khai FLISR phải đáp ứng các yêu cầu sau:

- Phải có các thiết bị điện tử thông minh và đáp ứng khả năng trao đổi dữ liệu trên mạng truyền dẫn như RTU, IED, FI hoặc AMI;
- Nâng cấp các thiết bị hiện hữu để có khả năng trao đổi dữ liệu;
- Cải thiện các giải thuật về phát hiện sự cố, dò tìm vị trí sự cố để cô lập;
- Có giải thuật khôi phục cung cấp điện cho khách hàng mà vi phạm các ràng buộc về điện trong vận hành lưới điện.

### Phương pháp xác định vị trí và cô lập sự cố

Tài liệu<sup>6,7</sup> trình bày về phương pháp xác định vị trí sự cố nhờ vào phép biến đổi tương đương của tổng trở, phương pháp này chủ yếu dựa vào các giá trị dòng điện, điện áp sự cố thu thập từ các bảng ghi sự cố để tìm kiếm những vị trí có khả năng bị sự cố. Tuy nhiên, phương pháp này gặp nhiều khó khăn bởi những ảnh hưởng xuất phát từ:

- Tổng trở đất tại điểm sự cố;
- Khả năng mang tải của đường dây trong sự cố;
- Phát tuyến nhận điện từ nhiều nguồn.

Trong tài liệu<sup>8-10</sup>, mạng trí tuệ nhân tạo (ANN), logic mờ, hệ chuyên gia và phép lai được sử dụng để tìm kiếm vị trí sự cố trong lưới điện phân phối. Tuy nhiên, những phương pháp này không phù hợp trong trường hợp lưới điện có sự thay đổi về cấu trúc hoặc mất tính phối hợp giữa các relay bảo vệ. Bên cạnh đó, các phương pháp này thường mất nhiều thời gian để dò tìm vị trí sự cố và gây ảnh hưởng đến việc đảm bảo yêu cầu về thời gian khôi phục cung cấp điện.

### Phương pháp khôi phục cung cấp điện

Các phương pháp khôi phục cung cấp điện nhờ vào giải thuật heuristics, meta-heuristic hoặc lập trình

tính toán được trình bày trong tài liệu<sup>11,12</sup>. Tài liệu<sup>13</sup> đề cập đến phương pháp khôi phục cung cấp điện cho một lưới điện phân phối để thỏa mãn ràng buộc về “cực tiểu số lượng bước thao tác”. Phương pháp này tuy có thể giảm thiểu về thời gian thao tác thiết bị nhưng lượng điện khôi phục có thể không lớn nhất. Ngoài ra, nếu các thiết bị này chỉ có khả năng thao tác tại chỗ, thời gian thao tác thiết bị có thể ảnh hưởng đến các chỉ số độ tin cậy cung cấp điện (RI).

### Tóm tắt nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp tiếp cận về kỹ thuật FLISR dành cho lưới điện phân phối thông minh. Các thiết bị chỉ báo sự cố được bố trí dọc trên đường dây để phân vùng cho từng phân đoạn của các phát tuyến trung thế. Các tín hiệu cảnh báo từ FTU hoặc FI, tín hiệu bảo vệ khởi động của relay quá dòng, thông tin sự cố đều được sử dụng để thực hiện phân tích, chẩn đoán và xác định vị trí sự cố. Trên cơ sở đó, các phương án cô lập sự cố và khôi phục cung cấp điện được tìm kiếm và đề xuất nhờ vào việc giải các hàm mục tiêu sao cho đảm bảo các điều kiện ràng buộc: i) lượng điện năng có thể khôi phục là lớn nhất và ii) số lượng bước thao tác là ít nhất. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên phần mềm E-terra sẽ chứng minh tính đúng đắn của công trình nghiên cứu. Cấu trúc của bài báo này được tổ chức như sau: Phần 2 trình bày một số cơ sở lý luận và phương pháp tiếp cận kỹ thuật FLISR do nhóm tác giả đề xuất. Trong phần 3, một lưới điện phân phối được mô phỏng để đánh giá tính hiệu quả của giải thuật đề xuất. Phần 4 diễn giải các kết quả thực nghiệm trên lưới điện phân phối 22kV. Tại phần 5, một số kết luận, đánh giá được nhóm tác giả rút ra trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

## CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN, ĐỊNH VỊ, CÁCH LY SỰ CỐ VÀ KHÔI PHỤC CUNG CẤP ĐIỆN ĐỀ XUẤT

### Cấu trúc FLISR của phần mềm E-terra

Mô hình FLISR của phần mềm E-terra được xây dựng theo kiểu tập trung và được triển khai trên hệ thống máy chủ SCADA/DMS. Trong hình 1, tất cả dữ liệu thời gian thực ghi nhận tại các thiết bị đo lường, thiết bị đóng cắt, các RTU sẽ được truyền về hệ thống máy chủ FEP (Front End Server) nằm cùng vị trí đặt hệ thống SCADA/DMS với chuẩn giao thức truyền dữ liệu là IEC 60870-5-101/104. Dữ liệu được truyền từ máy chủ FEP đến cấp máy chủ SCADA được chuyển đổi thành giao thức nội bộ ISD. Từ đó, cấp máy chủ DMS sẽ sử dụng những dữ liệu này để thực thi các

bước FLISR. Mặt khác, các RTU có tích hợp sẵn bộ chuyển đổi giao thức IEC 61850 để đáp ứng khả năng thu thập và trao đổi dữ liệu từ các IED để truyền về máy chủ SCADA.

### Giải thuật FLISR

Công cụ FLISR của phần mềm E-terra gồm bốn chức năng chính, bao gồm: phát hiện sự cố, xác định vị trí sự cố, cô lập phân đoạn sự cố và khôi phục cung cấp điện cho những phân đoạn bị ảnh hưởng bởi sự cố. Khi sự cố xảy ra, các thiết bị IED sẽ phát hiện và cung cấp thông tin sự cố đến các máy chủ SCADA và DMS. Thông tin sự cố bao gồm dòng điện, điện áp sự cố và tín hiệu cảnh báo từ các FI. Nhờ vào những thông tin này, máy chủ DMS có thể dò tìm được chính xác phân đoạn sự cố. Sau đó, công cụ FLISR sẽ đề xuất tất cả các kịch bản vận hành để có thể cô lập phân đoạn sự cố và khôi phục cung cấp điện nhờ vào việc kiểm tra hiện trạng lưới điện và xếp hạng các phương án tương ứng với các tiêu chí được thể hiện trong các hàm mục tiêu, như cực đại hóa số lượng điện có thể khôi phục hoặc cực tiểu hóa số lượng bước thao tác.

### Phương pháp phát hiện sự cố

Trong nghiên cứu này, phương pháp phát hiện sự cố của công cụ FLISR sẽ dựa vào các tín hiệu chỉ báo sự cố từ FI và việc quan sát hiện tượng mất điện áp (MDA). Khi các chức năng bảo vệ của relay hoặc recloser được kích hoạt bởi sự cố, các tín hiệu tác động cắt và bảo vệ khởi động sẽ được sử dụng hiệu quả để xác định chính xác phân đoạn sự cố trong lưới điện phân phối.

### Phương pháp xác định vị trí sự cố

Để minh họa cho phương pháp xác định vị trí sự cố bằng việc quan sát tín hiệu chỉ báo sự cố FI và hiện tượng mất điện, một mô hình lưới điện phân phối hình tia được thể hiện trong hình 2. Lưới điện này có 04 thiết bị đóng cắt, trong đó có 03 thiết bị được tích hợp sẵn chức năng bảo vệ gồm: máy cắt (MC), recloser 1 (REC1) và recloser 2 (REC2). Như vậy, có thể thấy rằng chỉ có tối đa 03 vị trí sự cố tương ứng với 03 phân đoạn F1, F2 và F3 đối với phát tuyến này. **Bảng 1** thể hiện trạng thái tín hiệu của các thiết bị bảo vệ đặt tại máy cắt và các recloser khi lưới điện phân phối trên xuất hiện sự cố tương ứng với bảy kịch bản có khả năng xảy ra. Các giá trị “0” và “1” lần lượt thể hiện cho trạng thái chức năng bảo vệ và trạng thái thiết bị đang “Không kích hoạt” hoặc “Kích hoạt” và “Mở” hoặc “Đóng”.

Theo thống kê từ bảng trên, các kịch bản sự cố 1, 3, 5 là những trường hợp sự cố mà thiết bị bảo vệ hoạt

động và tác động đúng để cô lập dòng sự cố. Kịch bản 2, 4, 6 và 7 xảy ra khi các thiết bị bảo vệ không đảm bảo về thời gian phối hợp gây tác động vượt cấp hoặc tác động đồng thời. Tuy nhiên, cần cứ theo kết quả trên, ở bất kỳ kịch bản sự cố nào, công cụ FLISR đều phán đoán chính xác phân đoạn sự cố.

### Phương pháp cô lập phân đoạn sự cố

Trong lưới điện phân phối truyền thống (chưa có sự tham gia của những nguồn năng lượng phân tán), dòng công suất chỉ có hướng từ phát tuyến đến tải. Vì vậy, khi xuất hiện sự cố, các relay bảo vệ hoặc các recloser sẽ hoạt động để ngăn dòng điện sự cố đổ về điểm sự cố. Ngay lập tức, công cụ FLISR phát hiện và tiến hành dò tìm phân đoạn sự cố. Cuối cùng, các thiết bị đóng cắt phân đoạn sẽ được điều khiển mở để cô lập phân đoạn sự cố. Để chứng minh tính đúng đắn của phương pháp cô lập này, các phương án xử lý cô lập phân đoạn sự cố tương ứng với các kịch bản sự cố sẽ được diễn giải trong **Bảng 2**.

### Phương pháp khôi phục cung cấp điện

Ở phương pháp này, công cụ FLISR phải thỏa mãn 02 điều kiện ràng buộc, cụ thể như sau:

- Cực đại lượng phụ tải điện có thể khôi phục;
- Cực tiểu số bước thực hiện trong phương án.

Để đánh giá các phương án khôi phục có thể thỏa mãn 02 điều kiện ràng buộc nêu trên, các chỉ số đánh giá hiệu quả (PF) được lựa chọn và sử dụng trong quá trình phân tích, tìm kiếm phương án khôi phục điện và được chỉ ra trong **Bảng 3** :

Các chỉ số đánh giá hiệu quả trên đều được đưa vào tính toán trong một hàm mục tiêu sau:

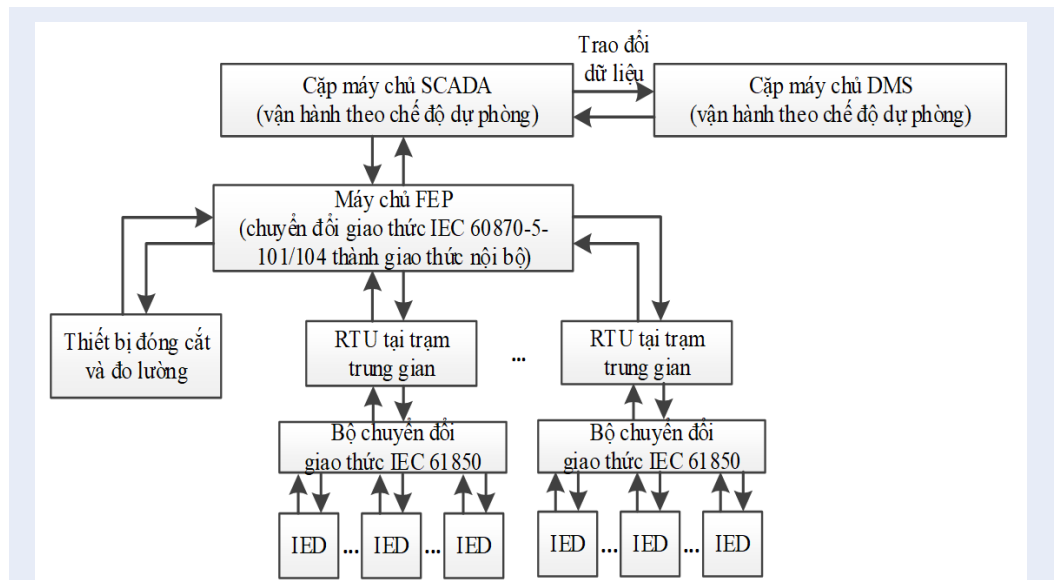
$$F = \min \sum_{i=1}^n w_i \times PF \quad (1)$$

Trong đó,  $w$  là trọng số tương ứng với các chỉ số PF, giá trị này có thể tùy chọn từ 0 đến vô cùng ( $\infty$ ),  $n$  là thứ tự của chỉ số PF. Dựa vào hàm mục tiêu và 02 điều kiện ràng buộc đã nêu, công cụ FLISR có thể căn cứ và đề xuất nhiều phương án khả thi trong việc khôi phục cung cấp điện đến những khách hàng thuộc vùng bị ảnh hưởng bởi sự cố.

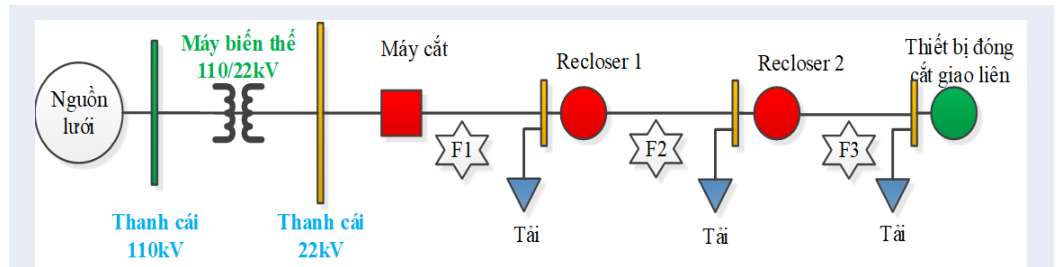
### Lưu đồ giải thuật FLISR đề xuất

Các bước thực hiện chính của phương pháp FLISR đề xuất được thể hiện dưới dạng lưu đồ như hình 3, diễn giải thành 07 bước, cụ thể như sau:

1. Hiện trạng vận hành của lưới điện được hệ thống SCADA/DMS giám sát bao gồm: cảnh báo mất điện áp, dòng sự cố, các tín hiệu chỉ báo sự cố từ FI/FTU.
2. Khi điện áp tại các nút vượt giá trị ngưỡng cho phép và các giá trị dòng điện pha/đất cao hơn giá trị



Hình 1: Cấu trúc triển khai mô hình FLISR tập trung của một hệ thống SCADA/DMS cho lưới điện phân phối.



Hình 2: Sơ đồ đơn tuyến của một phát tuyến thuộc một lưới điện phân phối điển hình.

Bảng 1: Phương pháp xác định vị trí sự cố sử dụng tín hiệu cảnh báo của thiết bị tương ứng với các kịch bản vận hành

Kịch bản	Trạng thái tín hiệu						Vị trí sự cố được xác định
	MC	REC1		REC2			
	KĐ <sup>1</sup>	TT <sup>2</sup>	KĐ <sup>1</sup>	TT <sup>2</sup>	KĐ <sup>1</sup>	TT <sup>2</sup>	
1	1	0	0	1	0	1	F1
2	1	0	1	1	0	1	F2
3	1	1	1	0	0	1	F2
4	1	0	1	0	0	1	F1, F2
5	1	1	1	1	1	0	F3
6	1	1	1	0	1	1	F3
7	1	1	1	0	1	0	F2, F3

<sup>1</sup> Giá trị “0” và “1” của tín hiệu khởi động KĐ lần lượt đại diện cho trạng thái “Không kích hoạt” và “Kích hoạt”, gửi từ relay bảo vệ của máy cắt và recloser.

<sup>2</sup> Giá trị “0” và “1” của tín hiệu trạng thái vận hành TT lần lượt đại diện cho trạng thái “Mở” và “Đóng”, gửi từ relay bảo vệ của máy cắt và recloser.

**Bảng 2: Phương pháp cô lập phân đoạn sự cố bằng công cụ FLISR**

Kịch bản	Phương án cô lập
1	Phân đoạn này được xác định nằm giữa MC và REC1. Khi sự cố xảy ra, MC sẽ tác động mở do relay bảo vệ được kích hoạt, trong khi đó REC1 chỉ mở khi nhận lệnh điều khiển từ công cụ FLISR.
2, 3, 4	Đối với các kịch bản này, tuy khác nhau về phạm vi mất điện, phương án cô lập duy nhất chính là cả 2 thiết bị REC1 và REC2 đều phải mở.
5, 6, 7	Phương án cô lập trong các kịch bản này chỉ là REC2 phải mở bởi vì đây là phân đoạn cuối cùng của phát tuyến.

**Bảng 3: Các chỉ số đánh giá hiệu quả được sử dụng trong phương án khôi phục cung cấp điện**

STT	Chỉ số đánh giá hiệu quả	Mô tả về chỉ số đánh giá hiệu quả và phương pháp tính toán chỉ số
1	Xung đột về dòng công suất (XĐDCS)	$PF_{dcs} = \sum_{i=1}^m (B_{qua\ tai,i})^2$ trong đó, $m$ là số lượng nhánh; Nếu không có nhánh nào quá tải thì $B_{qua\ tai} = 0$ , ngược lại $B_{qua\ tai} = P_{dcs} - P_{ghn}$ , với $P_{dcs}$ là dòng công suất tính toán and $P_{ghn}$ là dòng công suất cho phép trên nhánh.
2	Xung đột về điện áp nút (XĐĐAN)	$PF_{ap} = \sum_{i=1}^n (R_{ap\_vi\ pham,i})^2$ trong đó, $n$ là số lượng nút; Nếu điện áp nút tính toán lớn hoặc nhỏ hơn giá trị cho phép thì $R_{ap\_vi\ pham} =  V_{tinh\ toan} - V_{gioi\ han} $ , ngược lại, giá trị $R_{ap\_vi\ pham}$ bằng không khi tất cả các điện áp nút tính toán đều nằm trong ngưỡng cho phép.
3	Tổng chi phí đóng cắt (TCP)	Chỉ số này đại diện cho chi phí đóng cắt thiết bị khi thực hiện phương án cô lập sự cố và khôi phục cung cấp điện.
4	Lượng điện không cung cấp được (LĐKCC)	Khi phân đoạn sự cố được tìm thấy, chức năng FLISR sẽ tính toán lượng công suất không khôi phục được để so sánh, phân tích ưu/khuyết điểm giữa các phương án
5	Số lượng khách hàng mất điện (KHMD)	Số lượng khách hàng mất điện được xác định dựa vào số lượng máy biến thế phân phối không được cung cấp điện. Thông tin về lượng khách hàng và máy biến thế phân phối được tổng hợp bằng chương trình quản lý mất điện OMS.
6	Số lượng bước thao tác (SLBTT)	Công cụ FLISR đếm số bước thực hiện trong mỗi phương án khôi phục điện để xem xét hiệu quả về mặt thời gian.
7	Đảm bảo khả năng phối hợp bảo vệ (KNPHBV)	Tương ứng với từng cấu trúc lưới điện phân phối, công cụ FLISR sẽ so sánh giá trị cài đặt bảo vệ hiện hữu của các thiết bị bảo vệ với giá trị tính toán ngắn mạch cho nhiều dạng sự cố, loại sự cố. Nếu như giá trị dòng ngắn mạch tính toán nhỏ nhất cao hơn giá trị cài đặt hiện hữu, công cụ FLISR sẽ xuất thông tin cảnh báo. Và ngược lại, giá trị cài đặt hiện hữu vẫn đảm bảo độ tin cậy về mặt phối hợp giữa các thiết bị bảo vệ.

Chú thích: qua tai: Quá tải; ap\_vi pham: Áp vi phạm; tinh toan: Tính toán; gioi han: Giới hạn.

ngưỡng khởi động và ngưỡng tác động của relay quá dòng/recloser, hệ thống sẽ nhận biết được có sự cố trên lưới điện phân phối.

3. Để xác định chính xác phân đoạn trên lưới điện phân phối, các tín hiệu cảnh báo bảo vệ khởi động từ FI/FTU sẽ được sử dụng. Dựa vào việc xem xét trạng thái kích hoạt của các tín hiệu này, phân đoạn sự cố sẽ được xác định.

4. Sau khi phân đoạn sự cố đã được xác định, dữ liệu quá khứ của phát tuyến sự cố sẽ được truy xuất để phân tích lượng công suất mất đi và có thể khôi phục. Bên cạnh đó, công cụ FLISR còn thu thập thêm các

thông tin cần thiết để tính toán khả năng nhận tải của các tuyến dây lân cận tuyến dây sự cố.

5. Quá trình lập phương án cô lập và khôi phục được tiến hành song song và thông qua việc giải hàm mục tiêu nhằm thỏa mãn các điều kiện ràng buộc, như i) cung cấp điện cho những phụ tải điện có khả năng khôi phục và ii) đảm bảo số bước thao tác thực hiện là ít nhất. 07 chỉ số đánh giá sẽ được sử dụng trong quá trình tính toán phương án khôi phục cung cấp điện.

6. Tất cả các phương án có khả năng thực hiện sẽ được xếp hạng. Phương án có tổng các chỉ số đánh giá thấp

nhất thì phương án đó được đánh giá là tốt nhất.

7. Công cụ FLISR đề xuất các bước thao tác thực hiện ứng với từng phương án để người điều hành lựa chọn và thực hiện trên thực tế.

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM, NHỮNG PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN

Hình 4 thể hiện sơ đồ một sợi tóm gọn của một lưới điện phân phối được mô hình, trong đó, trạm trung gian Bàu Đưng cấp nguồn cho 02 phát tuyến gồm 473 Gò Nổi, 475 Phú Thuận thông qua một máy biến thế 110/22kV với công suất đặt là 16 MVA. Các thiết bị đóng cắt trên lưới điện phân phối này bao gồm các máy cắt, các recloser có khả năng thao tác xa và được tích hợp các chức năng cảnh báo sự cố. Ngoài ra, chẳng hạn khi sự cố xảy ra trên phát tuyến 473 Gò Nổi, các phương án cách ly sự cố và khôi phục cung cấp điện có thể sử dụng nguồn từ máy biến thế (MBT) chính Bàu Đưng 110/22kV (thông qua Recloser Sa Nhỏ) hoặc từ máy biến thế dự phòng Cù Chi 2 110/22kV (thông qua Recloser Trung Bình). Tóm lại, khi sự cố xảy ra trên lưới điện này, các tín hiệu cảnh báo có thể truyền về hệ thống SCADA/DMS, dựa vào đó, công cụ FLISR đảm nhận nhiệm vụ tìm kiếm phương án cô lập và khôi phục phù hợp.

Ngày 10/01/2018, sự cố có dạng một pha chạm đất xảy ra trên phát tuyến 473 Gò Nổi với thông tin sự cố được thể hiện trong bảng 4. Trong hình 5, các biểu đồ sóng sự cố của các thành phần điện và các tín hiệu tác động được ghi nhận lại trong bảng ghi sự kiện của relay quá dòng tại máy cắt 473 Gò Nổi.

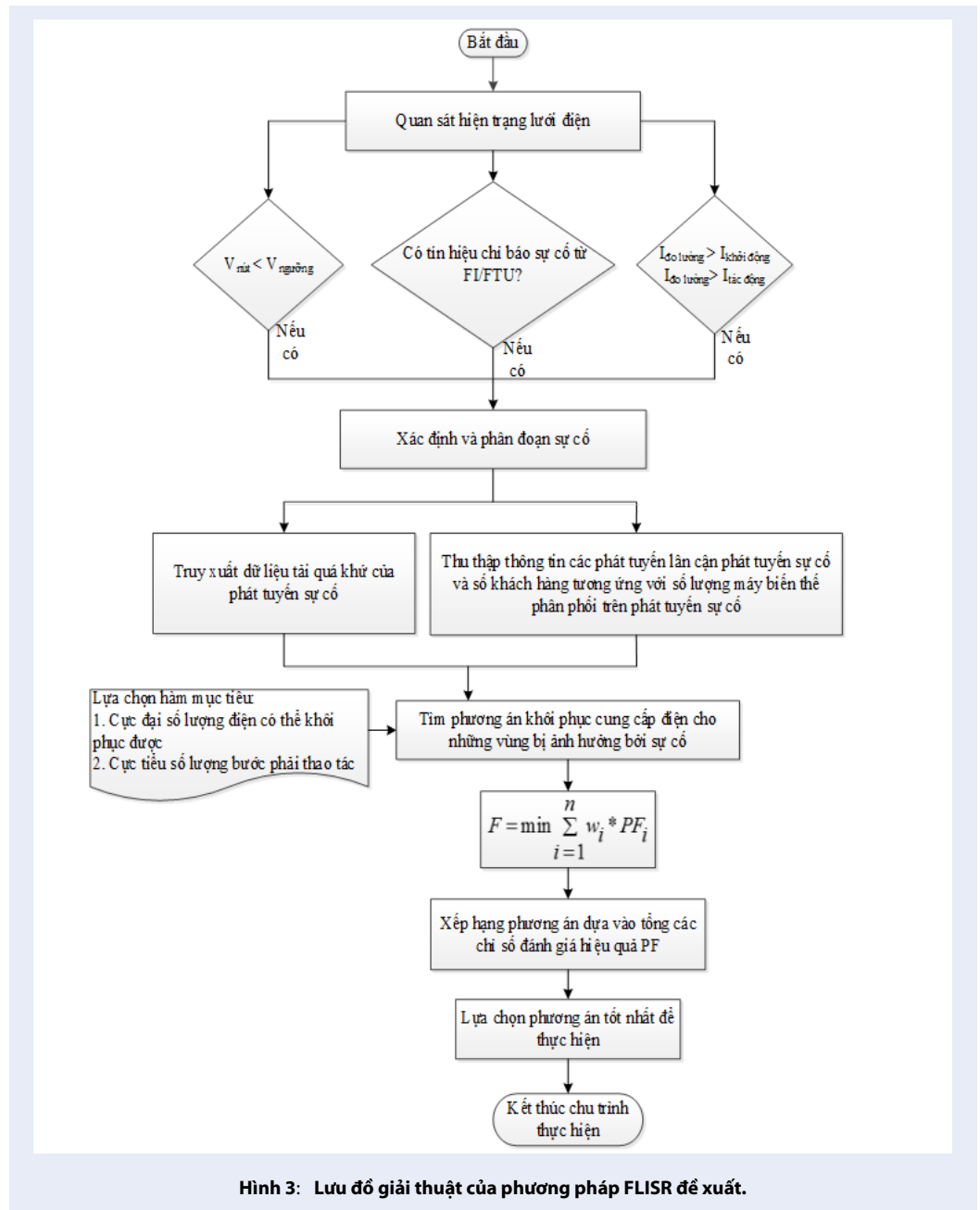
Sự cố xảy ra trên phân đoạn F<sub>1</sub> gây mất điện cho toàn bộ khách hàng nhận điện từ phát tuyến 473 Gò Nổi, lượng công suất ước tính không cung cấp được là 1,9 MW. Khi sự cố xảy ra, relay quá dòng tại máy cắt 473 Gò Nổi được kích hoạt khởi động trước khi tác động để ngăn chặn dòng điện sự cố đi qua. Có thể thấy rằng, trong khoảng chu kỳ thứ 4,0 đến chu kỳ thứ 4,8, các giá trị điện áp của từng pha dao động đáng kể và vượt ngưỡng giá trị vận hành định mức. Bên cạnh đó, dòng điện pha A tăng nhanh từ giá trị dòng tải vận hành đến giá trị sự cố là 4085A và duy trì trong khoảng 12,5 chu kỳ điện (tương đương với 250 mili-giây). Ngoài ra, RTU tại phát tuyến 473 Gò Nổi cũng nhận biết được sự cố thông qua trao đổi thông tin với relay quá dòng và thực hiện truyền dữ liệu đến hệ thống SCADA/DMS Trung tâm. Tiếp theo, công cụ FLISR thực hiện phân tích trạng thái các tín hiệu cảnh báo/khởi động của relay quá dòng và các recloser được đề cập trong bảng 5 để xác định vị trí sự cố nằm trên phân đoạn F<sub>1</sub>. Chi tiết hơn, máy cắt 473 Gò Nổi đã được tự động điều khiển mở do nhận lệnh từ relay

bảo vệ để cách ly dòng sự cố đổ về vị trí sự cố, trong khi đó, recloser Cổ Cò và Trung Lập Thượng vẫn duy trì trạng thái ( TT) đóng. Tương tự, tín hiệu bảo vệ khởi động (KD) chỉ được kích hoạt tại máy cắt 473 Gò Nổi nhưng trạng thái mất điện áp (MĐA) được phát hiện tại cả máy cắt và hai recloser.

Cuối cùng, giải thuật tìm kiếm phương án cô lập phân đoạn sự cố và khôi phục điện cho những vùng mất điện do sự cố được thực hiện bởi công cụ FLISR với khoảng thời gian xử lý là 02 phút. Cần lưu ý rằng, thời gian thu thập và xác thực dữ liệu chiếm 98% tổng số thời gian xử lý giải thuật của công cụ FLISR. Điều này ngụ ý rằng, phương pháp FLISR đề xuất phụ thuộc đáng kể vào độ chính xác của dữ liệu và chất lượng của kênh truyền dữ liệu. Mặt khác, việc bố trí thiết bị có khả năng điều khiển từ xa, có tích hợp FI trên lưới điện phân phối cũng đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ công cụ FLISR tìm kiếm phương án phù hợp. Thêm vào đó, bảng 6 chỉ ra rằng các chỉ số đánh giá hiệu quả như số lượng bước thao tác, lượng công suất bị mất, số khách hàng mất điện, khả năng đảm bảo phối hợp bảo vệ cũng ảnh hưởng đáng kể đến kết quả xếp hạng phương án của công cụ FLISR. Một điểm đáng lưu ý rằng, chỉ số đánh giá KNPHBV của phương án FLISR xếp hạng 1 thấp hơn nhiều so với hai phương án còn lại, điều này phản ánh khả năng mất phối hợp bảo vệ của phương án FLISR xếp hạng 1 thấp hơn so với các phương án xếp hạng 2 và 3. Có thể lý giải rằng, khi tính toán ngắn mạch trước khi đề xuất phương án FLISR, việc khôi phục cung cấp điện sử dụng nguồn từ MBT chính Bàu Đưng 110/22kV (16 MVA) sẽ có dòng ngắn mạch thấp hơn so với phương án sử dụng nguồn từ MBT dự phòng Cù Chi 2 110/22kV (63 MVA), do đó, khả năng mất phối hợp bảo vệ giữa các thiết bị bảo vệ bố trí dọc trên phát tuyến 473 Gò Nổi sẽ thấp hơn. Có thể nhận thấy rằng, tổng các chỉ số đánh giá hiệu quả càng nhỏ, phương án tương ứng được xếp hạng càng cao. Trong các phương án được đề cập ở bảng 7, phương án được xếp hạng cao nhất, ngoài việc phải thỏa mãn hai điều kiện ràng buộc đã nêu trong nghiên cứu, còn phải đảm bảo khả năng phối hợp bảo vệ và không xảy ra bất kỳ xung đột nào giữa các thiết bị khi áp dụng cấu trúc lưới điện mới. Kết quả của tiến trình cô lập sự cố và khôi phục điện cho các phân đoạn còn lại là 81% trên tổng số lượng khách hàng mất điện được khôi phục, tương ứng với 1,38 MW.

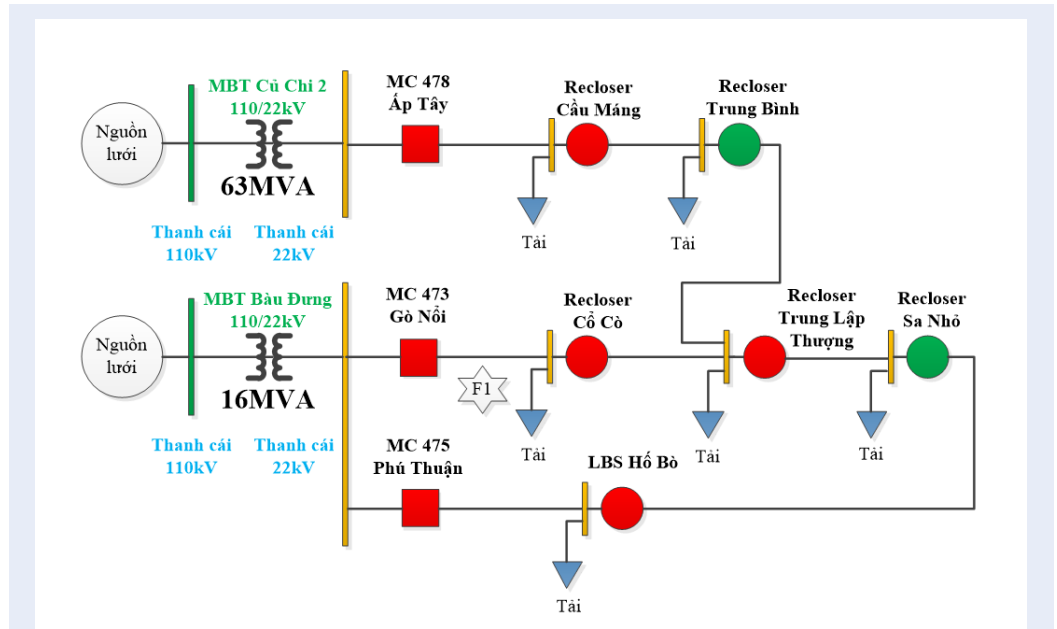
## ĐÁNH GIÁ VÀ KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã trình bày một phương pháp tiếp cận dành cho lưới điện phân phối thông minh, trong đó, các tín hiệu khởi động/cảnh báo từ các FI/FTU được sử dụng kết hợp với trạng thái hiện hữu của lưới

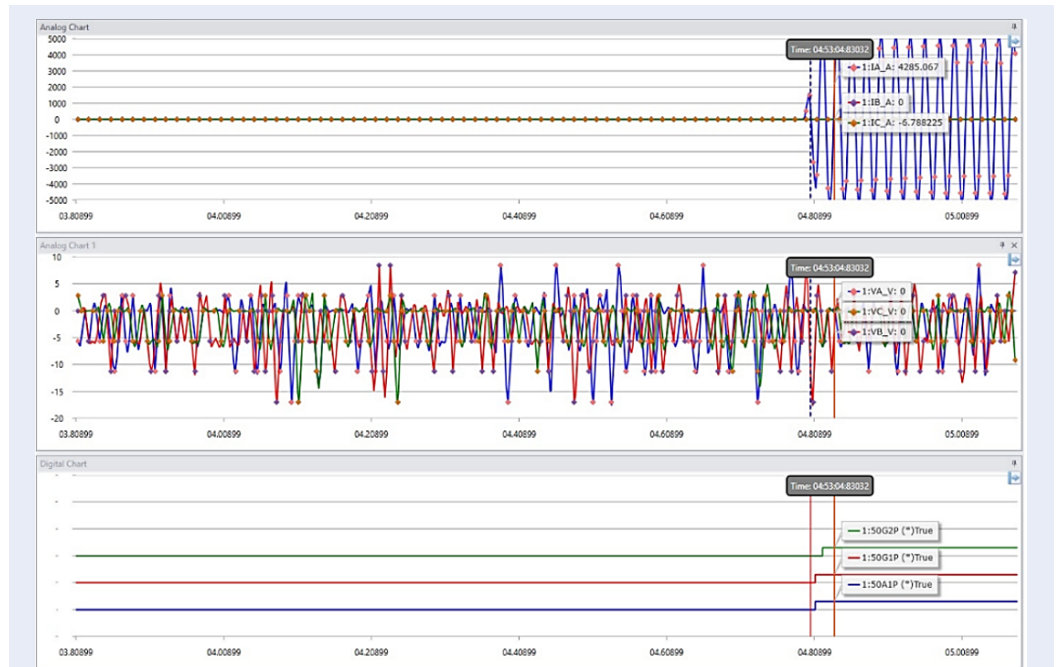


**Bảng 4: Thông tin sự cố một pha chạm đất ghi nhận từ relay**

Thông số	Thông tin sự cố			
	Pha A	Pha B	Pha C	Đất
Dòng sự cố	4084,6 A	2,3 A	4,0 A	4078,4 A
Điện áp sự cố	1 kV	2 kV	2 kV	6 kV



Hình 4: Sơ đồ một sợi của lưới điện phân phối Bầu Đưng có thể hiện vị trí sự cố nằm trên phân đoạn F1 (phân đoạn nằm giữa MC 473 Gò Nổi và Recloser Cổ Cò).



Hình 5: Biểu đồ sóng dòng điện/điện áp tương ứng với sự cố một pha chạm đất tại F1 (IA\_A, IB\_A, IC\_A lần lượt là các giá trị dòng điện sự cố tức thời pha A, B, C; VA\_V, VB\_V, VC\_V lần lượt là các giá trị điện áp sự cố tức thời pha A, B, C và các tín hiệu 50G1P, 50G2P, 50A1P lần lượt đại diện cho tín hiệu cắt cấp độ 1, cấp độ 2 và pha A).



**Bảng 5: Bảng hiển thị thông tin tín hiệu trạng thái tương ứng với sự cố tại F 1**

Tín hiệu trạng thái của relay quá dòng và các recloser								
Relay 473 Gò Nổi			Recloser Cổ Cò			Recloser Trung Lập Thượng		
KĐ	TT	MĐA	KĐ	TT	MĐA	KĐ	TT	MĐA
1	0	1	0	1	1	0	1	1

**Bảng 6: Bảng thống kê kết quả tính toán các chỉ số đánh giá đối với sự cố một pha chạm đất trên phát tuyến Gò Nổi**

Phương án FLISR	XĐ DCS	XĐ ĐAN	TCP	LĐ KCC	KH MĐ	SLB TT	KNP HBV	Tổng PF
Phương án xếp hạng 1	0	0	2	525	1049	20	245	1841
Phương án xếp hạng 2	0	0	2	525	1049	20	2470	4066
Phương án xếp hạng 3	0	0	4	525	1049	40	2715	4333

**Bảng 7: 03 phương án xử lý sự cố được đề xuất bởi công cụ FLISR đối với sự cố tại phân đoạn F 1**

Xếp hạng	Bước thực hiện	Số KH khôi phục (KH)	Số KH không phục (KH)	Số lượng điện không phục (kW)	Tổng PF	
					Hàm mục tiêu i	Hàm mục tiêu ii
1	B1: mở recloser Cổ Cò; B2: đóng recloser Sa Nhỏ	4720	1049	525,33	1841,47	3821,46
2	B1: mở recloser Cổ Cò; B2: đóng recloser Trung Bình	4720	1049	525,33	4066,39	6038,84
3	B1: mở re-closer Trung Lập Thượng; B2: đóng recloser Sa Nhỏ; B3: mở recloser Cổ Cò; B4: đóng recloser Trung Bình	4720	1049	525,33	4333,53	8286,07

điện để phát hiện và xác định phân đoạn sự cố. Ưu điểm của phương pháp này có thể được tóm tắt qua các nội dung sau:

- i. Có khả năng xác định các trường hợp tác động vượt cấp của relay quá dòng;
- ii. Cảnh báo khả năng mất phối hợp bảo vệ của những phát tuyến lân cận phát tuyến sự cố;
- iii. Tiến trình lập phương án cô lập và khôi phục cung cấp điện được thực hiện bằng cách giải các hàm mục tiêu dựa vào hai điều kiện ràng buộc.
- iv. Căn cứ trên kết quả của mô phỏng và thực nghiệm, thời gian xử lý của phương pháp FLISR thỏa mãn yêu

cầu về độ tin cậy cung cấp điện đối với lưới điện phân phối.

## DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

FLISR: Phương pháp phát hiện, định vị, cô lập sự cố và khôi phục cung cấp điện cho lưới điện phân phối thông minh – Fault Detection, Location, Isolation and Service Restoration;

FTU: Thiết bị thu thập dữ liệu đặt tại phát tuyến đầu nguồn – Feeder Terminal Unit;

FI: Thiết bị chỉ báo sự cố – Fault Indicator;

REC: Thiết bị Recloser;

LoV: Tín hiệu cảnh báo mất điện áp – Loss of Voltage;  
GOOSE: Giao thức truyền thông tin sự kiện trong nội bộ trạm biến áp – Generic Object-Oriented Substation Event;  
DMS: Hệ thống quản lý lưới điện phân phối – Distribution Management System;  
SCADA: Hệ thống giám sát và điều khiển từ xa – Supervisory Control and Data Acquisition;  
IED: Thiết bị điện tử thông minh – Intelligent Electronic Device;  
AMI: Hạ tầng đo đếm tiên tiến – Advanced Measurement Infrastructure;  
ANN: Mạng trí tuệ nhân tạo – Artificial Neural Network;  
RI: Chỉ số độ tin cậy cung cấp điện – Reliability Index;  
FEP: Thiết bị thu thập dữ liệu – Front End Server;  
MĐA: Mất điện áp;  
MC: Máy cắt;  
TT: Trạng thái;  
KĐ: Khởi động;  
XĐDCS: Xung đột dòng công suất;  
XĐĐAN: Xung đột điện áp nút;  
TCP: Tổng chi phí;  
LĐKCC: Lượng điện không cung cấp được;  
KHMD: Số khách hàng mất điện;  
SLBTT: Số lượng bước thao tác;  
KNPHBV: Khả năng phối hợp bảo vệ.

## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

## ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Lê Duy Phúc đưa ra ý tưởng viết bài, đóng góp diễn giải phương pháp thực hiện, kết quả thực nghiệm, những phân tích và thảo luận của nghiên cứu và viết bản thảo. Bùi Minh Dương đã đóng góp phần tổng

quan và kết luận của bài viết. Đoàn Ngọc Minh và Huỳnh Công Phúc tham gia mô hình hóa dữ liệu trên hệ thống DMS và thực hiện thu thập số liệu, dữ liệu từ thực nghiệm. Đỗ Minh Hải tham gia thu thập dữ liệu và kiểm tra lại bài viết.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Zhihai T, Liang G, Qiupeng S, Fengqing Z, Zhihong L. Simplified Model of Distribution Network based on Minimum Area and its Application. In: China International Conference on Electricity Distribution (CICED); 2012. Shang hai.
2. Kho TLT.
3. Xin L; 2011. Master thesis.
4. Zhihai T, Liang G, Taileng K, Fengqing Z, Yu Z, Xiaoyun H, et al. An accurate fault location method of smart distribution network. China International Conference on Electricity Distribution (CICED). 2014;p. 23–26. Available from: China.DOI: 10.1109/CICED.2014.6991842.
5. Siirto O, Kuru J, Lehtonen M. Fault location, isolation and restoration in a city distribution network. In: Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ); 2014. p. 11–13. Available from: DOI:10.1109/PQ.2014.6866843.
6. Coster E, Kerstens W, Berry T. Self-healing distribution networks using smart controllers. In: The 22rd International Conference on Electricity Distribution; 2013.
7. Ferreira GD. Impedance-based fault location for overhead and underground distribution systems. In: The Proc. North Amer. Power Symp; 2012. p. 1–6.
8. Choi MS, Lee SJ, Lim SI, Lee DS, Yang X. A direct three-phase circuit analysis-based fault location for line-to-line fault. IEEE Trans Power Del. 2007;22(4):2541–2547.
9. Souza JCS, Rodrigues MAP, Schilling MT, Filho MBDC. Fault location in electrical power systems using intelligent systems techniques. IEEE Trans Power Del. 2001;16(1):59–67.
10. Teo CY, Gooi HB. Artificial intelligence in diagnosis and supply restoration for a distribution network. IEE Proc Gener Transm Distrib. 1998;145(4):444–450.
11. Momoh JA, Dias LG, Laird DN. An implementation of a hybrid intelligent tool for distribution system fault diagnosis. IEEE Trans Power Del. 1997;12(2):1035–1040.
12. Zidan A, El-Saadany EF. A cooperative multi-agent framework for self-healing mechanisms in distribution systems. IEEE Trans Smart Grid. 2012;3(3):1525–1539.
13. Sanches DS, London JBA, J, Delbem ACB. Multi-objective evolutionary algorithm for single and multiple fault service restoration in large-scale distribution systems. Elect Power Syst Res. 2014;110:144–153.

# The Fault Detection, Location, Isolation and Service Restoration Research for a Smart Distribution Network

Phuc Duy Le<sup>1,\*</sup>, Duong Bui Minh<sup>2</sup>, Minh Doan Ngoc<sup>1</sup>, Phuc Huynh Cong<sup>1</sup>, Hai Do Minh<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The smart grid model has been determined in recent years, which is included the smart distribution network field. The application of self-healing technology in the smart distribution network is one of the most important problems needed to be solved to enhance the reliability indexes of implemented areas. When a fault occurs, FLISR tool will quickly detect and locate the fault segments accurately before implementing calculation, analysis and proposing isolation and service restoration plans which minimize the amount of lost power or outaged customers at power supply interrupted areas. This research proposes a method based on fault indicated signals from FTU, FI that can help FLISR tool quickly detect and locate the fault segments within a short-time process. Then, the FLISR tool will analyzes, evaluates and ranks the isolation and service restoration plans based on two main constraints included: restoring the possible maximum number of out-of-service loads; and (ii) limiting the minimum number of switching operation. An experimental result is used to validate the FLISR approach proposed for a real 22kV distribution network.

**Key words:** Smart distribution network, fault detection, fault location, fault isolation, service restoration

<sup>1</sup>Ho Chi Minh City Load Dispatching Center, Ho Chi Minh Power Corporation

<sup>2</sup>Technology Institute, HUTECH University

## Correspondence

**Phuc Duy Le**, Ho Chi Minh City Load Dispatching Center, Ho Chi Minh Power Corporation

Email: phucl@hcmpp.com.vn

## History

- Received: 21/1/2019
- Accepted: 10/4/2019
- Published: 28/5/2019

DOI :



## Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Cite this article :** Le P D, Minh D B, Ngoc M D, Cong P H, Minh H D. **The Fault Detection, Location, Isolation and Service Restoration Research for a Smart Distribution Network.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2(1):11-21.