

ĐỀ XUẤT THUẬT TOÁN FLISR VÀ XÂY DỰNG HỆ THỐNG HIL DỰA TRÊN GIẢI PHÁP OPAL-RT CHO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI TỈNH THỪA THIÊN HUẾ

PROPOSED FLISR ALGORITHM AND BUILDING HIL SYSTEM BASED ON OPAL-RT SOLUTION FOR POWER DISTRIBUTION NETWORK IN THUA THIEN HUE

Trần Chí Thành¹, Nguyễn Văn Ngọc Duy¹,
Phan Quang Nhật², Lê Tiến Dũng^{3,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.035>

TÓM TẮT

Nội dung bài báo nghiên cứu và đề xuất thuật toán FLISR, có chức năng định vị nhanh, cô lập và khôi phục cung cấp điện đối với các phụ tải thông qua giải thuật di truyền khi xảy ra sự cố trên lưới điện phân phối. Giải thuật vận dụng nguyên lý tiến hóa tự nhiên để giải quyết bài toán tìm kiếm và tối ưu cực đại số lượng phụ tải được cung cấp trong quá trình khôi phục cung cấp điện. Đồng thời xây dựng mô hình lưới điện phân phối với các thông số tín hiệu điện được chạy trong thời gian thực bằng phương pháp mô phỏng Hardware-In-The-Loop dựa trên giải pháp OPAL-RT. Về mặt truyền thông, mô hình được kết nối đến hệ thống SCADA thông qua giao thức truyền thông IEC 60870-5-104 để có thể giám sát toàn bộ các thông số lưới. Để kiểm nghiệm thuật toán FLISR, mô hình lưới điện được mô phỏng và giả lập sự cố thông qua phần mềm Action.Wise để nghiệm thu kết quả và so sánh với thuật toán FLISR đã đề xuất được xây dựng trên Matlab-Simulink. Mô hình nghiên cứu sẽ áp dụng vào lưới điện phân phối tỉnh Thừa Thiên Huế và đánh giá hiệu quả vận hành.

Từ khóa: FLISR, giải thuật di truyền, lưới điện phân phối, Hardware-In-The-Loop, OPAL-RT.

ABSTRACT

The article researches and proposes the FLISR algorithm, which has the function of rapid positioning, isolating, and restoring power supply to loads through a genetic algorithm when a fault occurs on the distribution grid. The algorithm applies the principle of natural evolution to solve the problem of finding and optimizing the maximum number of loads provided in the process of restoring the power supply. At the same time, build a distribution grid model with electrical signal parameters that are run in real-time using the Hardware-In-The-Loop simulation method based on the OPAL-RT solution. In terms of communication, the model is connected to the SCADA system through the IEC 60870-5-104 communication protocol to be able to monitor the entire grid parameters. To test the FLISR algorithm, the grid model is simulated and simulated through Action.Wise software to accept the results and compare them with the proposed FLISR algorithm built on Matlab-Simulink. The research model will be applied to the distribution grid of Thua Thien Hue province and evaluate operational efficiency.

Keywords: FLISR, genetic algorithm, distribution grid, Hardware-In-The-Loop, OPAL-RT.

¹Lớp 18TDH - Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Công ty Điện lực Thừa Thiên Huế

³Khoa Điện, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng

*Email: ltdung@dut.udn.vn

Ngày nhận bài: 27/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 04/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mô phỏng từ lâu được công nhận là bước quan trọng và cần thiết trong việc thiết kế, thử nghiệm và phát triển các hệ thống điện. Trong [1], có 03 phương pháp mô phỏng theo thời gian thực được giới thiệu là phương pháp Rapid Control Prototyping (RCP), phương pháp Software-In-The-Loop (SIL) và phương pháp Hardware-In-The-Loop (HIL). Các phương pháp này thực hiện nhờ vào bộ mô phỏng thời gian thực, tuy vậy sự khác nhau nằm ở đối tượng được mô phỏng và mối quan hệ giữa hệ thống điều khiển và quá trình điều khiển (là các thiết bị đơn lẻ hay là một hệ thống). Trong [2], với RCP, hệ thống điều khiển được mô phỏng trong bộ mô phỏng thời gian thực và kết nối đến quá trình điều khiển là các thiết bị hoặc hệ thống thực. Mặc khác phương pháp SIL, hệ thống điều khiển và quá trình điều khiển đều được mô phỏng trên cùng bộ mô phỏng. So với RCP, SIL thì trong phương pháp HIL, quá trình điều khiển được mô hình hoá thành các thiết bị hoặc hệ thống mô phỏng trên bộ mô phỏng và được kết nối đến hệ thống điều khiển thực.

Những tiến bộ gần đây trong cả phần cứng máy tính và kỹ thuật mô hình hoá các thành phần của hệ thống điện phức tạp đã thúc đẩy đáng kể việc nghiên cứu ứng dụng mô phỏng kỹ thuật số trong hệ thống điện.

Đối với nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng bộ mô phỏng số Real-time Digital Simulator (RTDS) để thiết kế và mô phỏng

vùng lưới điện phân phối theo thời gian thực. Bộ RTDS trong nghiên cứu bao gồm phần cứng là thiết bị số OPAL-RT 4510 và phần mềm chuyên dụng là phần mềm Hypersim, từ đó tiến hành thử nghiệm trên vùng lưới điện mô phỏng để phân tích các chức năng vận hành hệ thống điện theo thời gian thực khi kiểm thử khả năng đáp ứng của chức năng FLISR.

Thuật toán FLISR - Fault Location, Isolation and Service Restoration, có khả năng phát hiện sự cố, khoanh vùng chính xác vị trí sự cố, tìm ra phương án cô lập vùng sự cố và khôi phục cung cấp điện cho phụ tải không bị ảnh hưởng với thời gian xử lý nhanh, giảm thiểu tối đa lượng công suất điện bị mất và số khách hàng mất điện giúp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện khi có sự cố xảy ra trên lưới điện phân phối. Trong [4], một số giải pháp FLISR trong quy trình xử lý sự cố như giải pháp FLISR cục bộ, giải pháp FLISR phân tán và giải pháp FLISR tập trung đã được nhắc đến. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất và xây dựng giải pháp FLISR tập trung dựa trên trí thông minh tập trung (Centralized Intelligence) tích hợp vào hệ thống trung tâm điều khiển để vận hành trong quy trình công nghệ xử lý lỗi tại địa bàn.

Trong [4], có nhiều thành tựu và nghiên cứu trong việc tính toán, tìm kiếm các trạng thái đóng cắt của các thiết bị trong sơ đồ tải cấu hình lưới điện (khôi phục cung cấp điện) để tối ưu hoá các điều kiện vận hành lưới điện phân phối được nhắc đến như giải thuật mạng thần kinh nhân tạo (ANN), giải thuật tối ưu hoá theo bầy đàn (PSO), giải thuật di truyền (GA) và giải thuật tìm kiếm (Tabu Search). Trong đó, giải thuật di truyền - Genetic Algorithm (GA) được nhóm tác giả quan tâm và ứng dụng trong nghiên cứu lần này. Trong [3], giải thuật dựa trên nguyên lý tiến hoá tự nhiên loài sinh vật của nhà bác học Charles Darwin, và được John Halland xây dựng vào năm 1975, giải thuật vận dụng nguyên lý tiến hoá như quá trình chọn lọc tự nhiên, lai tạo và đột biến để giải quyết bài toán tìm kiếm và tối ưu hoá các vấn đề phức tạp. Tuy nhiên, giải thuật GA có những hạn chế trong vấn đề chọn tham số như tỉ lệ chọn lọc, lai ghép và đột biến cũng như nghiệm của bài toán có thể rơi vào cực trị địa phương, gặp khó khăn trong việc tìm kiếm nghiệm cực trị toàn cục. Việc áp dụng giải thuật GA trong nghiên cứu nhằm giải quyết vấn đề khôi phục cung cấp điện, cụ thể là giải quyết bài toán tìm kiếm và tối ưu hoá hàm đơn mục tiêu là cực đại số lượng phụ tải được cung cấp trong quá trình tái cấu hình lưới điện sau khi đã cô lập được sự cố trên lưới điện, thêm vào đó phải đảm bảo được các điều kiện ràng buộc trong quá trình vận hành lưới điện phân phối.

Trong báo cáo này, nhóm tác giả trình bày về phương pháp mô phỏng thời gian thực HIL sử dụng thiết bị mô phỏng số OPAL-RT 4510, đồng thời phần mềm Hypersim có nhiệm vụ xây dựng một phân vùng lưới điện trung thế tại địa bàn tỉnh Thừa Thiên Huế cùng với các hệ thống bảo vệ Relay, để thực hiện mô phỏng quá trình điều khiển trong thời gian thực. Về mặt truyền thông, mô hình được

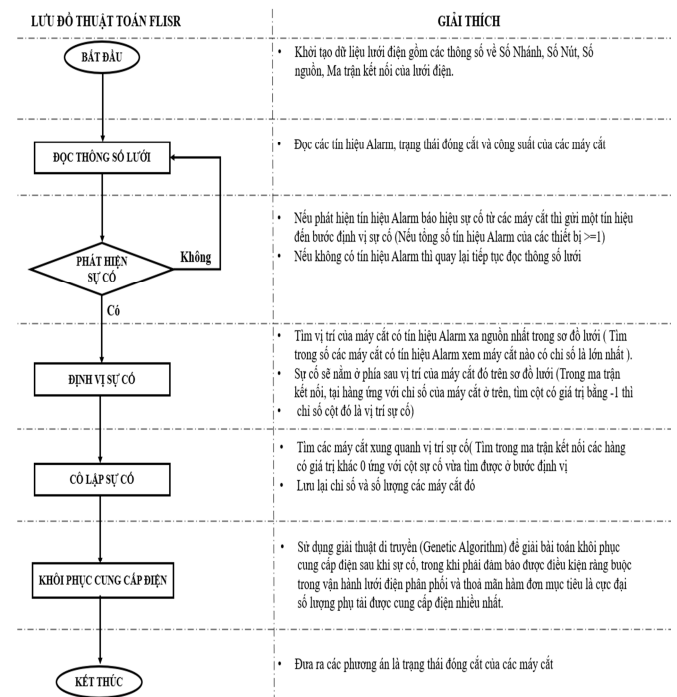
thiết lập và kết nối đến hệ thống SCADA thông qua giao thức truyền thông IEC 60870-5-104. Để kiểm nghiệm thuật toán FLISR, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Action.Wise đã tích hợp chức năng FLISR, qua đó tiến hành giả lập các sự cố lỗi trên phân vùng lưới điện được mô phỏng và thực hiện so sánh với thuật toán FLISR do nhóm tác giả đề xuất được xây dựng trên phần mềm Matlab-Simulink, từ đó nghiệm thu và đánh giá kết quả vận hành.

2. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU

2.1. Thuật toán FLISR và giải thuật di truyền

2.1.1. Thuật toán FLISR

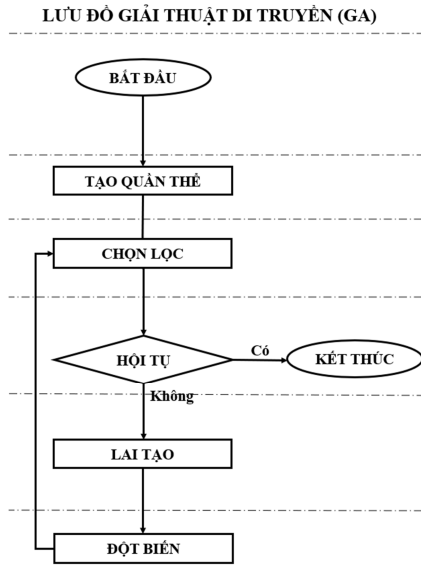
Điểm mấu chốt của thuật toán FLISR chính là phương pháp xác định nhanh các dạng sự cố, chỉ ra chính xác phân đoạn sự cố, từ đó tiến hành cô lập vùng sự cố. Các phương pháp xác định phân đoạn sự cố nhờ vào các tín hiệu cảnh báo từ các thiết bị chỉ báo sự cố, các tín hiệu Alarm tích hợp sẵn trong các thiết bị đóng cắt kết hợp trạng thái thực tế của lưới điện. Các giai đoạn của quá trình FLISR được mô tả trong hình 1.



Hình 1. Lưu đồ thuật toán các giai đoạn của quá trình FLISR

2.1.2. Giải thuật di truyền

Trong các giai đoạn của quá trình FLISR, nhóm tác giả đặc biệt quan tâm đến giai đoạn khôi phục cung cấp điện cho các phụ tải sau khi đã cô lập được vị trí sự cố, tức là quá trình thay đổi cấu trúc hình học của lưới điện bằng việc thay đổi trạng thái đóng hoặc cắt của các thiết bị trên lưới, trong khi vẫn phải đảm bảo được các điều kiện ràng buộc trong quy trình vận hành lưới điện phân phối. Trong báo cáo, việc xây dựng giải thuật di truyền để áp dụng vào giai đoạn khôi phục cung cấp điện. Lưu đồ quá trình giải thuật được mô tả trong hình 2.



Hình 2. Lưu đồ quá trình giải thuật di truyền

Giải thuật GA vận dụng nguyên lý tiến hoá tự nhiên để giải quyết bài toán tìm kiếm và tối ưu hàm đơn mục tiêu là cực đại số lượng phụ tải được cung cấp trong quá trình tái cấu hình lưới điện khi khôi phục sự cố.

Cực đại số lượng phụ tải tức là tổng công suất tiêu thụ phụ tải trên lưới điện được cung cấp là nhiều nhất, như vậy hàm đơn mục tiêu của quá trình được biểu diễn như sau:

$$P_{max} = \sum_{j=1}^{N_{bus}} P_j \text{ (kW)}$$

Trong đó, P_{max} (kW) là tổng công suất lớn nhất của các phụ tải trên lưới điện, N_{bus} là tổng số nút tải, P_j (kW) là công suất tác dụng trên nút tải thứ j.

Các điều kiện ràng buộc trong quá trình tìm kiếm nghiệm tối ưu cho bài toán khôi phục cung cấp điện được trình bày như sau:

- Tất cả các nút tải đều phải được cung cấp điện trên mạng lưới điện phân phối.
- Cấu hình hình tia luôn được duy trì trong mọi điều kiện trên mạng lưới điện phân phối.
- Điện áp tại các nút phải nằm trong giới hạn định mức cho phép.

$$V_{min,cp} \leq V_j \leq V_{max,cp} \text{ với } j=1,2,\dots,N_{bus}$$

Trong đó, V_j là điện áp nút thứ j, N_{bus} là tổng số nút trong lưới điện phân phối.

- Dòng điện trên các nhánh phải nằm trong giới hạn định mức cho phép.

$$I_{min,cp} \leq I_i \leq I_{max,cp} \text{ với } i=1,2,\dots,N_{br}$$

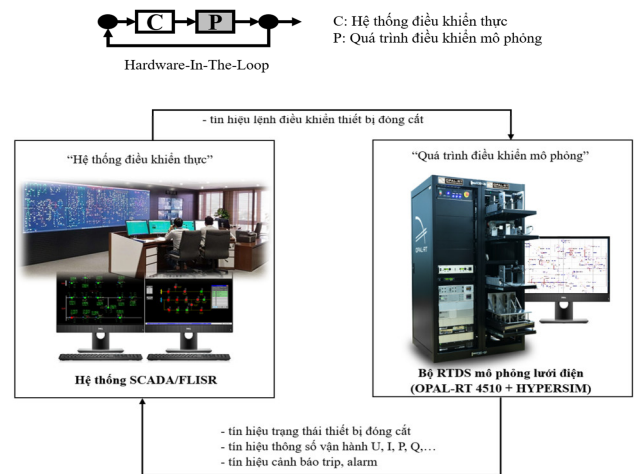
Trong đó, I_i là dòng điện tại nhánh thứ i, N_{br} là tổng số nhánh trong lưới điện phân phối.

2.2. Xây dựng hệ thống HIL dựa trên giải pháp OPAL-RT

Mô phỏng HIL được thực hiện trong vòng lặp khép kín, trong đó hệ thống điều khiển được thử nghiệm sẽ nhận tín

hiệu đáp ứng từ mô phỏng và cung cấp trở lại mô phỏng. Trong nghiên cứu này, để phát triển mô phỏng HIL thì một bộ mô phỏng số RTDS đã được áp dụng. Phần cứng của bộ RTDS là thiết bị số OPAL-RT 4510 được thiết kế để dễ dàng ghép nối với thiết bị ngoại vi, có hỗ trợ giao thức truyền thông IEC 60870-5-104. Đối với phần mềm của bộ RTDS là phần mềm Hypersim được tổ chức thành 03 khối thành phần là giao diện đồ hoạ dành cho người dùng, trình biên dịch và các thành phần hệ thống điện, với mục đích nhằm tạo ra mô hình mô phỏng hệ thống điện trong thời gian thực.

Trong nghiên cứu này, một phần vùng lưới điện trung thế tại địa bàn tỉnh Thừa Thiên Huế, với 02 nguồn cấp, 03 xuất tuyến và 14 thiết bị đóng cắt (Recloser, máy cắt, LBS) cùng với hệ thống bảo vệ Relay, được lựa chọn để thực hiện mô phỏng với bộ RTDS. Áp dụng phương pháp mô phỏng HIL, lưới điện mô phỏng đóng vai trò là quá trình điều khiển và được kết nối truyền thông đến hệ thống SCADA. Chức năng FLISR đóng vai trò là hệ thống điều khiển thực. Xây dựng mô hình hệ thống HIL dựa trên giải pháp OPAL-RT được mô tả như hình 3.



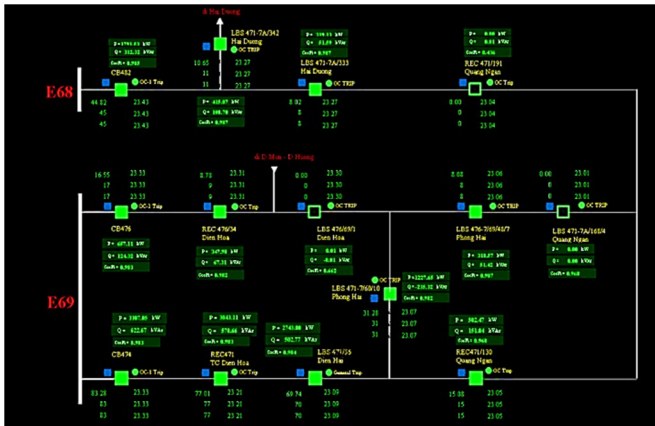
Hình 3. Xây dựng mô hình hệ thống HIL dựa trên giải pháp OPAL-RT

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đánh giá thông số vận hành của lưới điện mô phỏng và kết nối truyền thông đến hệ thống SCADA

Việc ứng dụng mô phỏng HIL được xử lý thông qua một số chức năng chuyên dụng của phần mềm Hyperim trong bộ RTDS, qua các đánh giá từ kinh nghiệm thực tế cho thấy rằng các tín hiệu điện và thông số vận hành như dòng điện trên nhánh, điện áp tại các nút và các quá trình trào lưu công suất đều được thể hiện trong thời gian thực ở chế độ kết lưới cơ bản cũng như các chế độ kết lưới khác nhau.

Mô hình lưới điện mô phỏng kết nối đến hệ thống SCADA thông qua giao thức truyền thông IEC 60870-5-104, có thể theo dõi, giám sát và đo lường các trạng thái của thiết bị trên lưới điện mô phỏng theo thời gian thực, đồng thời có thể gửi lệnh điều khiển để thay đổi trạng thái các thiết bị điều khiển trên lưới điện mô phỏng. Một phần vùng lưới điện trung thế được mô phỏng kết nối đến hệ thống SCADA được mô tả như hình 4.



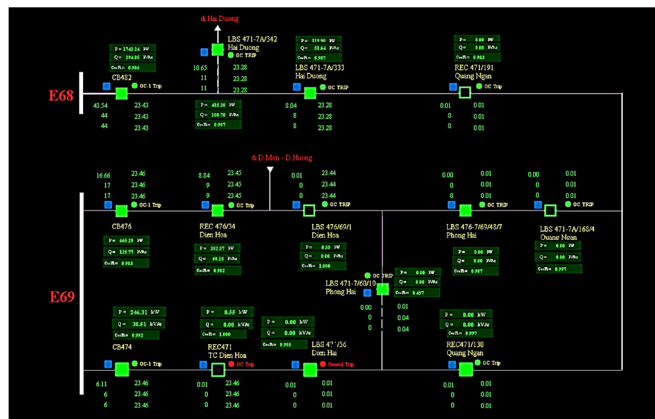
Hình 4. Thông số đo lường được mô phỏng theo thời gian thực hiện thị trên SCADA

3.2. Kết quả thuật toán FLISR trên Action.Wise

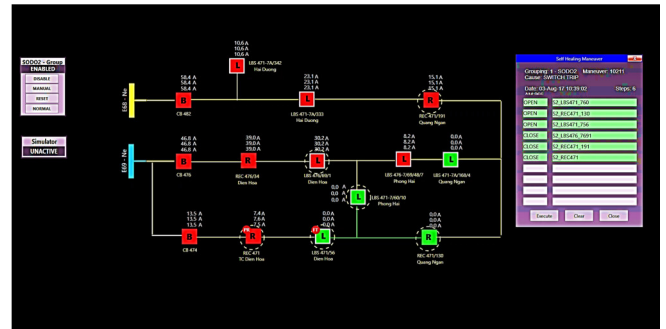
Để nghiên cứu tính chính xác và hiệu quả làm việc của chức năng FLISR, nhóm tác giả thử nghiệm các tình huống sự cố giả lập khác nhau trên một số phân đoạn lưới điện dự kiến. Thông số chức năng quá dòng của relay bảo vệ đối với các thiết bị đóng cắt sẽ được cài đặt theo tính toán và ban hành theo phiếu chỉnh định được duyệt. Đồng thời, cài đặt tiêu chí khôi phục sự cố (hàm mục tiêu) trong Action.Wise là ưu tiên số lượng phụ tải được cung cấp điện là nhiều nhất.

3.2.1. Sự cố ngắn mạch 03 pha, Relay tác động bảo vệ thành công

Sự cố được mô phỏng ở đây nằm sau LBS 471/56 Điện Hải. Đây là loại sự cố ngắn mạch 03 pha chạm đất, relay quá dòng tác động bảo vệ chính xác và thành công khiến thiết bị Recloser REC471 được cắt ra, nhằm không cho dòng điện chảy vào vùng đang bị sự cố đảm bảo về mặt an toàn trong quy trình xử lý sự cố. Sự cố mô phỏng nằm sau LBS 471/56, Relay bảo vệ tác động thành công thể hiện hình 5. Thông qua các tín hiệu cảnh báo sự cố (Trip), chức năng FLISR tích hợp trong Action.Wise cho thấy được sự phản ứng chính xác và tin cậy bằng việc đưa ra các phương án nhằm định vị phân đoạn gây ra sự cố, cô lập vùng xảy ra sự cố và đưa ra giải pháp tối ưu trong việc khôi phục cung cấp điện, phù hợp với kinh nghiệm của người vận hành. Phương án tối ưu chức năng FLISR đề xuất với sự cố nằm sau LBS 471/56 mô tả như hình 6.



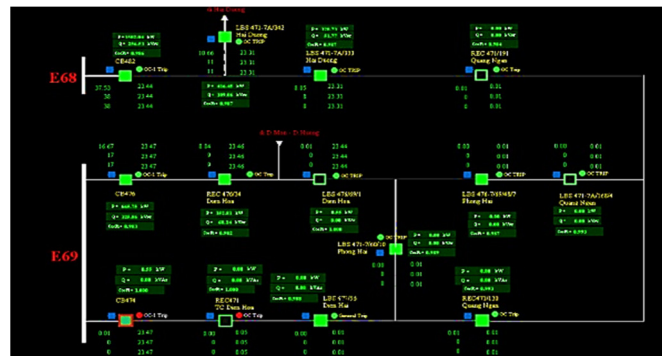
Hình 5. Sự cố mô phỏng nằm sau LBS 471/56, relay bảo vệ tác động thành công



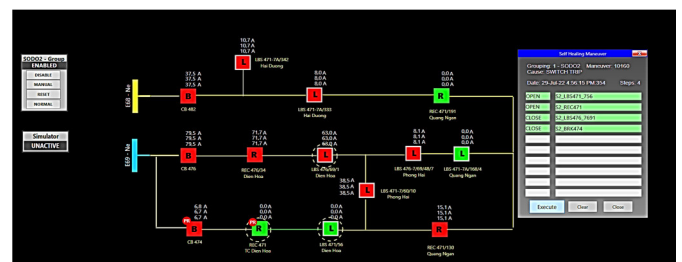
Hình 6. Phương án tối ưu chức năng FLISR đề xuất với sự cố nằm sau LBS 471/56

3.2.2. Sự cố ngắn mạch 03 pha, Relay tác động nhảy vượt cấp

Sự cố được mô phỏng ở đây nằm giữa REC471 Điện Hoà và LBS 471/56 Điện Hải. Đây là loại sự cố ngắn mạch 03 pha chạm đất, khiến relay bảo vệ quá dòng tác động nhảy vượt cấp, ngoài việc thiết bị Recloser REC471 được cắt ra, thêm vào đó máy cắt đầu xuất tuyến CB474 cũng được cắt ra, khiến vùng phạm vi sự cố xác định rộng hơn bình thường theo như quan sát người vận hành thể hiện như hình 7. Chức năng FLISR trong Action.Wise lúc này đã xác định chính xác phân đoạn gây ra sự cố, sau đó cô lập vùng xảy ra sự cố sao cho phạm vi cô lập là nhỏ nhất, đồng thời đưa ra giải pháp tối ưu theo các tiêu chí mong muốn người vận hành trong việc khôi phục cung cấp điện mô tả như hình 8.



Hình 7. Sự cố mô phỏng nằm giữa REC và LBS, role bảo vệ tác động nhảy vượt cấp

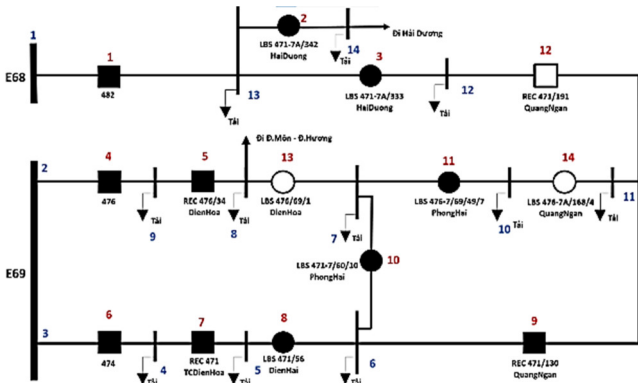


Hình 8. Phương án tối ưu chức năng FLISR đề xuất với sự cố nằm giữa REC và LBS

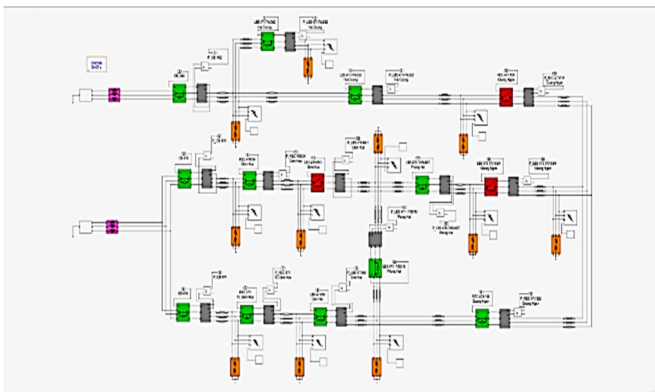
Các kết quả thực nghiệm trên cho thấy rằng, với từng trường hợp sự cố mô phỏng khác nhau trên phân vùng lưới điện dự kiến khác nhau, đã thể hiện được tính chính xác và hiệu quả mà chức năng FLISR trong Action.Wise mang lại. Qua đó, tạo tiền đề cơ sở để so sánh và đánh giá độ tin cậy đối với kết quả của thuật toán FLISR do nhóm tác giả đề xuất.

3.3. Kết quả thuật toán FLISR trên Matlab-Simulink

Để thực hiện thuật toán FLISR bằng giải thuật di truyền thì nhóm tác giả đã tiến hành mã hoá lưới điện thành 01 ma trận kết nối với số hàng là số nhánh và số cột là số nút. Trong đó, số nhánh là số thiết bị đóng cắt, còn số nút bao gồm số nguồn điện và số phụ tải có trong lưới điện phân phối. Sơ đồ một sợi của lưới điện phân phối được đánh số cho việc mã hoá mô tả như hình 9. Một mô hình lưới điện phân phối được xây dựng trên Matlab-Simulink, thực hiện giải thuật di truyền để nhằm tìm kiếm và tối ưu các nghiệm là các trạng thái đóng cắt của 14 thiết bị trên lưới thỏa mãn được hàm đơn mục tiêu là cực đại số lượng phụ tải được cung cấp trong quá trình khôi phục cung cấp điện sau khi đã cô lập được vùng sự cố, đồng thời các điều kiện ràng buộc trong quá trình vận hành lưới điện phải được đảm bảo. Mô hình lưới điện phân phối xây dựng trên Matlab-Simulink được thể hiện như hình 10.



Hình 9. Sơ đồ một sợi vùng lưới điện mô phỏng được đánh số cho việc mã hoá



Hình 10. Mô hình vùng lưới điện mô phỏng được xây dựng trên Matlab-Simulink

Bảng 1. Kết quả 04 trường hợp trạng thái đóng cắt của 14 thiết bị đối với sự cố sau LBS

Thiết bị đóng cắt		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Trạng thái 1: đóng 0: cắt	TH1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
	TH2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	TH3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
	TH4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1

3.3.1. Sự cố ngắn mạch 03 pha, Relay tác động bảo vệ thành công

Đối với loại sự cố mô phỏng này, nhóm tác giả cũng thực nghiệm giả lập sự cố ngắn mạch 03 pha chạm đất, relay bảo vệ tác động thành công tại vị trí nằm sau LBS 471/56 Điện Hải (nút tải 06) để đảm bảo việc so sánh với chức năng FLISR trong Action.Wise, qua đó đánh giá tính hiệu quả và độ tin cậy thuật toán FLISR do nhóm tác giả đề xuất. Kết quả các trường hợp cho phép đưa ra trạng thái đóng cắt của 14 thiết bị trên lưới của thuật toán FLISR ghi nhận trong bảng 1.

Dựa vào kết quả trong bảng 1, có thể thấy rằng:

+ Thuật toán FLISR đề xuất cho ra được kết quả là 04 nghiệm tối ưu bằng việc thay đổi các trạng thái đóng cắt đối với 14 thiết bị trên lưới phù hợp việc giải quyết bài toán định vị, cô lập và khôi phục cung cấp điện sau sự cố. Đồng thời các nghiệm của bài toán đảm bảo được các điều kiện ràng buộc trong quá trình tái cấu hình lưới điện phân phối. Quan sát từ trường hợp 01 đến trường hợp 04, nhóm tác giả sắp xếp các nghiệm của bài toán theo thứ tự tăng dần và ưu tiên dành cho hàm đơn mục tiêu, thể hiện rõ nhất tại trường hợp 04 chính là nghiệm tối ưu cần tìm kiếm trong việc giải quyết bài toán theo hàm mục tiêu là tổng số lượng phụ tải được cung cấp điện là nhiều nhất.

+ Việc đưa ra 04 nghiệm của bài toán giúp người vận hành/điều độ viên có tham khảo và chọn được giải pháp tối ưu, phù hợp với hoàn cảnh và môi trường thực tế trên lưới điện phân phối.

3.3.2. Sự cố ngắn mạch 03 pha, Relay tác động nhảy vượt cấp

Nhóm tác giả tiến hành thực nghiệm giả lập sự cố ngắn mạch 03 chạm đất, relay bảo vệ tác động nhảy vượt cấp tại vị trí nằm giữa REC471 Điện Hoà và LBS 471/56 Điện Hải (nút tải 05), đồng thời thực hiện so sánh và kiểm nghiệm với chức năng FLISR trong Action.Wise. Kết quả các trường hợp cho phép đưa ra trạng thái đóng cắt của 14 thiết bị trên lưới của thuật toán FLISR ghi nhận trong bảng 2.

Dựa vào kết quả trong bảng 2, có thể thấy rằng:

+ Các kết quả của bài toán đưa ra là phù hợp với quá trình FLISR, được sắp xếp theo thứ tự tăng dần và ưu tiên tại trường hợp 04, là nghiệm tối ưu trong việc giải quyết bài toán hàm đơn mục tiêu.

+ Với việc Relay bảo vệ tác động nhảy vượt cấp nhưng thuật toán FLISR được nhóm tác giả đề xuất vẫn đưa ra các phương án phù hợp và tối ưu trong việc xác định chính xác phân đoạn gây ra sự cố, cô lập vùng xảy ra sự cố sao nhỏ phạm vi cô lập là nhỏ nhất và đồng thời khôi phục cung cấp điện đối với những phạm vi ngoài vùng sự cố theo tiêu chí của hàm mục tiêu, đảm bảo được lưới điện vận hành an toàn và ổn định trở lại.

Bảng 2. Kết quả 04 trường hợp trạng thái đóng cắt của 14 thiết bị đối với sự cố giữa REC và LBS

Thiết bị đóng cắt		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Trạng thái 1: đóng 0: cắt	TH1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
	TH2	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
	TH3	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
	TH4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1

• Kết hợp các kết quả nghiên cứu trên phần mềm Action.Wise, thuật toán FLISR được nhóm tác giả đề xuất về cơ bản đã giải quyết thành công các bài toán về định vị và cô lập được vùng xảy ra sự cố đối với từng trường hợp giả lập sự cố khác nhau trên vùng lưới điện dự kiến.

• Trong bài toán khôi phục cung cấp điện sử dụng giải thuật di truyền để giải quyết hàm mục tiêu có ràng buộc vẫn chưa tối ưu, khác với giai đoạn tái cấu hình lưới điện trong Action.Wise và trong một số trường hợp các nghiệm được đưa ra rơi vào nghiệm cục bộ địa phương (các nghiệm tìm kiếm xung quanh vùng lân cận nghiệm toàn cục). Việc chọn lựa tỉ lệ chọn lọc, lai ghép và tỉ lệ đột biến là một phần nguyên nhân ảnh hưởng đến giải pháp nghiệm tối ưu thu được, nhưng về mặt thực tiễn và qua đánh giá kinh nghiệm của người vận hành/điều độ viên thì các nghiệm được đưa ra là phù hợp và thoả mãn được tiêu chí hàm mục tiêu được đề xuất.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã áp dụng phương pháp mô phỏng Hardware-In-The-Loop (HIL) dựa trên giải pháp công nghệ OPAL-RT, thực hiện xây dựng và phân tích đánh giá các chức năng vận hành một hệ thống điện mô phỏng theo thời gian thực với bộ RTDS. Việc có thể giả lập linh hoạt các tình huống sự cố trên hệ thống điện mô phỏng cung cấp khả năng phân tích đánh giá một cách toàn diện các chức năng vận hành của hệ thống, đây là việc sẽ rất phức tạp khi thực hiện đối với hệ thống điện trong thực tế. So với các giải pháp truyền thống, sử dụng hệ thống điện mô phỏng theo thời gian thực dựa trên phương pháp mô phỏng HIL có thể xem là một giải pháp mới và hiệu quả trong thử nghiệm, phân tích đánh giá chức năng tự động hoá lưới phân phối. Giải pháp giúp giảm thời gian, chi phí thử nghiệm đồng thời giảm thiểu tối đa việc hư hỏng thiết bị cũng như hạn chế việc tạm ngừng cung cấp điện khi phải tiến hành các thử nghiệm trên hệ thống thực.

Thuật toán FLISR được đề xuất đóng vai trò quan trọng trong hệ thống tự động hoá phân phối, là giải pháp có tính hiệu quả và độ tin cậy cao, tiết kiệm thời gian, tiết kiệm chi phí trong quy trình xử lý sự cố, đồng thời đáp ứng yêu cầu về tự động, hiện đại hoá vận hành hệ thống điện trong lộ trình phát triển lưới điện thông minh tại Việt Nam hiện nay.

Hướng phát triển nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả thực hiện tối ưu cách chọn các tỉ lệ chọn lọc, lai ghép và đột biến để đảm bảo cho giải thuật di truyền được hội tụ, các nghiệm của bài toán được đưa ra đối với hàm mục tiêu là

chính xác và mang tính toàn cục. Thuật toán FLISR sau khi được đề xuất sẽ được kết nối đến hệ thống SCADA thông qua giao thức OPC để kiểm tra vận hành đối với lưới điện mô phỏng thời gian thực, làm cơ sở để triển khai trên phân vùng lưới điện thực tế. Nhóm tác giả cũng đề xuất việc thay đổi hàm đơn mục tiêu có ràng buộc thành hàm đa mục tiêu như giải quyết bài toán cực tiểu tổn thất công suất trên mạng lưới điện và cực tiểu số bước thao tác đóng cắt trên các thiết bị trong quy trình xử lý sự cố giúp nâng cao độ tin cậy, an toàn trên hệ thống lưới điện phân phối hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. R. Isermann, J. Schaffnit, S. Sinsel, 1998. *Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems*. Control Engineering Practice 7 (1999), 643-653.

[2]. J. Bélanger, P. Venne, J. N. Paquin, 2010. *The What, Where and Why of Real-Time Simulation*. IEEE Catalogue, 37-49.

[3]. S.N.Sivanandam, S.N.Deepa, 2008. *Introduction to Genetic Algorithms*. Indian.

[4]. Jian liu, Xinzhou dong, Xingying chen, Xiangqian Tong, Xiaoqing Zhang, Shiming Xu, 2016. *Fault location and service restoration for electrical distribution systems*. China.

AUTHORS INFORMATION

Tran Chi Thanh¹, Nguyen Van Ngoc Duy¹, Phan Quang Nhat², Le Tien Dung³

¹Class 18TDH, Faculty of Electrical Engineering, DaNang University of Science and Technology

²Thua Thien Hue Power Company

³Faculty of Electrical Engineering, DaNang University of Science and Technology