

ỨNG DỤNG HIỆU QUẢ CÔNG NGHỆ MỚI FPI VỀ CHỈ BÁO ĐƯỜNG ĐI SỰ CỐ CHO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI THÔNG MINH

EFFECTIVE APPLICATION OF NEW TECHNOLOGY FPI TO FAULT PASSAGE INDICATOR IN SMART POWER DISTRIBUTION GRID

Đinh Thành Việt¹, Võ Văn Phương²

¹Đại học Đà Nẵng; dtviet@ac.udn.vn

²Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng; phuongvv@cpc.vn

Tóm tắt - Bài báo này trình bày ứng dụng thuật toán bầy đàn để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu về ứng dụng hiệu quả công nghệ mới FPI (Fault Passage Indicator - chỉ báo đường đi sự cố) cho lưới điện phân phối thông minh. Vấn đề được đặt ra là xác định số lượng, vị trí lắp đặt và công nghệ sử dụng cho mỗi vị trí FPI lắp đặt lên lưới điện phân phối để đạt hiệu quả ưu việt nhất về cả phương diện kinh tế lẫn kỹ thuật. Bài báo thực hiện nghiên cứu sử dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn đa mục tiêu (MOPSO) và thực hiện kiểm tra đánh giá với 2 trường hợp trên mô hình lưới điện phân phối thực tế tại xuất tuyến 471E13 trạm biến áp (TBA) 220 kV Ngũ Hành Sơn ở thành phố Đà Nẵng, Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu cụ thể đã được rút ra từ chương trình được viết trên cơ sở phần mềm MATLAB.

Từ khóa - tối ưu hóa đa mục tiêu; PSO; MOPSO; độ tin cậy; lưới điện phân phối; lưới điện thông minh; chỉ báo đường đi sự cố; FPI

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, việc phát triển lưới điện thông minh (smart grid) đang là xu thế tất yếu và là mối quan tâm hàng đầu của ngành điện Việt Nam cũng như toàn thế giới, nhằm nâng cao chất lượng và độ tin cậy (ĐTC) cung cấp điện [1, 12]. Để phát triển được lưới điện thông minh tại Việt Nam cần thực hiện nhiều giải pháp, trong đó việc ứng dụng công nghệ mới về chỉ báo đường đi sự cố (Fault Passage Indicator – FPI) được xem là một trong những giải pháp hiệu quả giúp nâng cao ĐTC cung cấp điện cũng như hiệu quả vận hành lưới điện phân phối (LĐPP) thông minh. Tuy nhiên, thiết bị FPI có giá thành không phải là thấp; việc lắp đặt bao nhiêu thiết bị FPI, ở vị trí nào trong LĐPP và sử dụng công nghệ nào để đạt được hiệu quả cao nhất vẫn là vấn đề mà các công ty điện lực luôn đặt ra.

Trên thế giới đã có một số công bố liên quan đến tối ưu hóa lắp đặt FPI, sử dụng các phương pháp tối ưu hóa như lý thuyết tối ưu Pareto [2, 4, 10], PSO [3, 5, 6, 13], thuật toán đàn kiến [9]. Tuy nhiên, các kết quả này chỉ tính cho thiết bị phân đoạn (TBPĐ) nói chung, chưa lưu ý đến tối ưu hóa thiết bị FPI có kết nối SCADA, chưa chú ý nhiều đến loại TBPĐ cụ thể. Trong bài báo này sẽ áp dụng thuật toán tối ưu bầy đàn đa mục tiêu MOPSO [7, 8, 10, 11] để xây dựng chương trình ứng dụng hiệu quả công nghệ chỉ báo đường đi sự cố FPI nhằm nâng cao ĐTC cung cấp điện cho LĐPP, tiết giảm lãng phí trong đầu tư, nâng cao năng suất lao động.

2. Mô hình tính toán ĐTC lưới điện và ảnh hưởng của các thiết bị FPI đến độ tin cậy của LĐPP

2.1. Mô hình lưới điện phân phối

LĐPP được biểu diễn dưới dạng sơ đồ một sợi, gồm có các nút và nhánh. Nhánh được xem là liên kết giữa nút đầu

Abstract - This paper presents the application of particle swarm optimization (PSO) algorithm to solve the multi-objective optimization problem to efficient application of new technology FPI (Fault Passage Indicator) in smart power distribution grid. The issue is to determine the number, installation location and technology used for each FPI installed on the grid to achieve the best economic and technical efficiency. The study is carried out using the multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm with two test case studies on the actual distribution network feeder 471E13 at the 220 kV Ngu Hanh Son substation in Da Nang city, Viet Nam. The research results have been derived using a MATLAB based program.

Key words - multi-objective optimization; PSO; MOPSO; reliability; power distribution system; smart grid; fault passage indicator; FPI

và nút cuối, việc đánh số thứ tự theo nguyên tắc số thứ tự của nhánh trùng với số thứ tự nút cuối, phụ tải được gắn với tên nút. Tên các TBPĐ được lấy theo số thứ tự nhánh và gắn cho vị trí lắp đặt trên LĐPP.

2.2. Mô hình tính toán chỉ số độ tin cậy SAIDI

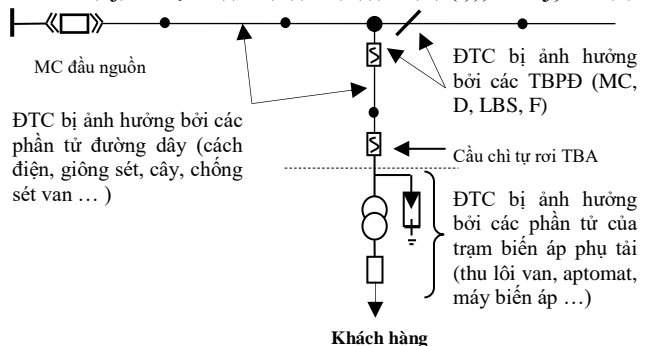
Mô hình toán học tính toán chỉ số ĐTC SAIDI được xây dựng trên hai toán tử $p(i)$ và $s(i)$ [2, 3] (Hình 1). Trong đó, toán tử $p(i)$ được ký hiệu là liên kết trước của nhánh thứ i , $s(i)$ được ký hiệu là liên kết sau nhánh thứ i .

Toán tử $P(i,j)$ được định nghĩa là

$$P(i,j) = P\{i, p(i), p(p(i)), p(p(p(i))), \dots, j\} \quad (1)$$

Toán tử $S(i,j)$ được định nghĩa là

$$S(i,j) = S\{i, s(i), s(s(i)), s(s(s(i))), \dots, j\} \quad (2)$$



Hình 1. Sơ đồ tính toán ĐTC LĐPP

Hàm mục tiêu SAIDI được thiết lập như sau:

$$SAIDI = SAIDI_{DZ} + SAIDI_{TBPĐ} + SAIDI_{TBA} \quad (3)$$

Trong đó, $SAIDI_{DZ}$ do các đoạn đường dây trong LĐPP gây ra, $SAIDI_{TBPĐ}$ do vị trí các TBPĐ trong LĐPP gây ra, $SAIDI_{TBA}$ do TBA phân phối gây ra.

Theo [2]:

$$SAIDI = \frac{1}{N_T} \left[\sum_{i=1}^{ns} [(\lambda_i + \gamma'_i)l_i + \lambda_i^f] \left(\sum_{j \in \Omega_i^s} N_j r_j^s + \sum_{j \in \Omega_i^r} N_j r_j^r \right) + \sum_{h=1}^{nsw} (\lambda_h^{TBPĐ}) \left(\sum_{j \in \Omega_h^s} N_j r_h^{ssw} + \sum_{j \in \Omega_h^r} N_j r_h^{rsw} \right) + \sum_{k=1}^{ntr} (\lambda_k^{TBA} \cdot r_k^{tr} N_k) \right] \quad (4)$$

Trong đó: r_i^s là thời gian trung bình thao tác cô lập sự cố nhánh i ; r_i^r là thời gian trung bình sửa chữa sự cố nhánh i ; r_h^{ssw} là thời gian trung bình thao tác cô lập sự cố TBPĐ thứ h ; r_h^{rsw} là thời gian trung bình sửa chữa sự cố TBPĐ thứ h ; r_k^{tr} là thời gian trung bình sửa chữa sự cố TBA thứ k ;

Ω_i^s : Khu vực bị mất điện trong thời gian thao tác để cô lập sự cố ở nhánh i , được xác định theo công thức sau:

$$k = S(i, MC \cup D \cup LBS) \cap (MC \cup D \cup LBS) \quad (5)$$

$$\max(TC(S(k) \cap TP) \geq \sum_{j \in S(k)} P_j \quad (6)$$

* Nếu khu vực không bị sự cố có thể chuyển tải được, hay $S(k) \cap TP \neq \emptyset$, thì:

$$\Omega_i^s = \begin{cases} S(k), \text{ nếu } P(i, MC \cup F \cup D \cup LBS) \cap \\ (MC \cup F \cup D \cup LBS) \in (MC \cup F) \\ S(k) \cup S(P(i, MC \cup F) \cap (MC \cup F)), \\ P(i, D \cup LBS) \cap (D \cup LBS), \text{ khác} \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó $S(k)$ là tập các nhánh sau nhánh k (nhánh có thiết bị phân đoạn sau điểm sự cố); TP là tập các nhánh liên lạc với đường dây khác.

* Nếu khu vực không bị sự cố, không chuyển tải được, hay $S(k) \cap TP = \emptyset$, thì:

$$\Omega_i^s = S(P(i, MC \cup F) \cap (MC \cup F), P(i, D \cup LBS) \cap (D \cup LBS)) \quad (8)$$

Ω_i^r : Khu vực bị mất điện trong thời gian sửa chữa sự cố ở nhánh thứ i , được xác định theo công thức sau:

$$\Omega_i^r = S(P(i, MC \cup F \cup D \cup LBS) \cap (MC \cup F \cup D \cup LBS)) - \Omega_i^s \quad (9)$$

Ω_h^s : Khu vực bị mất điện trong thời gian thao tác để cô lập sự cố TBPĐ thứ h , được xác định theo công thức như ở (10, 11, 12, 13) nhưng loại bỏ TBPĐ thứ h ra khỏi tập hợp các TBPĐ bảo vệ, cụ thể:

$$k = S((h, MC \cup D \cup LBS) \setminus h) \cap ((MC \cup D \cup LBS) \setminus h) \quad (10)$$

$$\max(TC(S(k) \cap TP) \geq \sum_{j \in S(k)} P_j \quad (11)$$

* Nếu khu vực không bị sự cố có thể chuyển tải được, hay $S(k) \cap TP \neq \emptyset$, thì:

$$\Omega_h^s = \begin{cases} S(k), \text{ nếu } P((h, MC \cup F \cup D \cup LBS) \setminus h) \cap \\ ((MC \cup F \cup D \cup LBS) \setminus h) \in ((MC \cup F) \setminus h) \\ S(k) \cup S(P((h, MC \cup F) \setminus h) \cap ((MC \cup F) \setminus h)), \\ P((i, D \cup LBS) \setminus h) \cap ((D \cup LBS) \setminus h), \text{ khác} \end{cases} \quad (12)$$

* Nếu khu vực không bị sự cố, không chuyển tải được, hay $S(k) \cap TP = \emptyset$, thì:

$$\Omega_h^s = S \left(\frac{P((h, MC \cup F) \setminus h) \cap ((MC \cup F) \setminus h)}{P((h, D \cup LBS) \setminus h) \cap ((D \cup LBS) \setminus h)} \right) \quad (13)$$

Ω_h^r : Khu vực bị mất điện trong thời gian sửa chữa TBPĐ thứ h , được xác định theo công thức như ở (14) nhưng loại bỏ TBPĐ thứ k ra khỏi tập hợp các TBPĐ bảo vệ. Cụ thể:

$$\Omega_h^r = S(P((h, MC \cup F \cup D \cup LBS) \setminus h) \cap ((MC \cup F \cup D \cup LBS) \setminus h)) - \Omega_h^s \quad (14)$$

2.3. Công nghệ chỉ báo đường đi sự cố (FPI)

2.3.1. Định nghĩa thiết bị chỉ thị sự cố

Thiết bị chỉ thị sự cố FPI (Fault Passage Indicator) thường là các cảm biến dòng điện. Khi xảy ra sự cố thì thiết bị sẽ hiển thị tín hiệu (thường là bằng đèn) và các thông tin sự cố sẽ được báo về trung tâm điều khiển thông qua kênh truyền thông (khi thiết bị có kết nối SCADA) giúp nhân viên vận hành nhanh chóng tìm ra điểm sự cố để cách ly, sửa chữa đoạn bị sự cố, khôi phục hoạt động cho đoạn không bị sự cố tiếp tục làm việc [6].

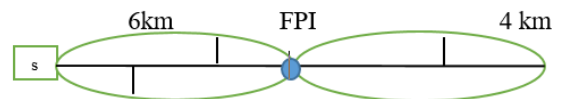
2.3.2. Phân loại các công nghệ FPI theo sử dụng

- Loại chỉ thị sự cố đơn giản, không có chức năng SCADA. Khi phát hiện sự cố, FPI sẽ sáng đèn báo hiệu cho nhân viên vận hành biết tuyến đường sự cố đi qua. Nhân viên vận hành sẽ dò tìm từ đầu đến cuối đường dây cho đến khi tìm được điểm sự cố.

- Loại chỉ thị sự cố có tích hợp chức năng SCADA, tự động truyền tín hiệu hoặc gửi tin nhắn về trung tâm điều khiển khi phát hiện sự cố. Nhờ đó, nhân viên vận hành sẽ nhanh chóng phân đoạn được vị trí sự cố mà không phải đi kiểm tra toàn bộ các FPI trên tuyến đường dây.

Sự cố mặt của các thiết bị FPI giúp làm giảm thời gian tìm kiếm điểm sự cố, từ đó giảm được thời gian ngừng cung cấp điện cho khách hàng ở khu vực có thể chuyển tải, cũng như khách hàng ở khu vực ở vùng sự cố không chuyển tải được. Kết quả là ĐTC cung cấp điện của hệ thống sẽ được tăng lên. Các thiết bị FPI sẽ giới hạn khu vực mà nhân viên vận hành phải tìm kiếm khi xảy ra sự cố. Các khu vực phải tìm kiếm được giới hạn lại giữa các thiết bị FPI [6].

Giả sử có một xuất tuyến có chiều dài 10 km, thời gian trung bình ban đầu để xác định điểm sự cố khi chưa đặt FPI là 1 giờ chung cho cả xuất tuyến như ở Hình 2.



Hình 2. Mô hình tính toán khi lắp đặt FPI trên lưới điện

Tiến hành lắp đặt FPI, chia xuất tuyến thành hai vùng nhỏ, vùng 1 có chiều dài $l_1 = 6$ km, vùng 2 có chiều dài $l_2 = 4$ km. Xem gần đúng thời gian trung bình xác định điểm sự cố t_s trên một nhánh tỷ lệ với chiều dài của nhánh, thời gian trung bình xác định điểm sự cố t_s theo vùng tỷ lệ với chiều dài của xuất tuyến.

Thời gian xác định điểm sự cố t_{s1} của vùng 1 ($l_1 = 6$ km):

$$t_{s1} = \frac{6}{6+4} \times 1 = 0,6 \text{ (h)}$$

Thời gian xác định điểm sự cố t_{s2} của vùng 2 ($l_2 = 4$ km):

$$t_{s2} = \frac{4}{6+4} \times 1 = 0,4 \text{ (h)}$$

Với lập luận như trên, khi lắp một số lượng n FPI vào lưới điện thì n FPI này sẽ chia lưới điện thành $n+1$ vùng nhỏ. Khi đó thời gian xác định điểm sự cố của từng vùng $t_s(i)$ được tính theo công thức (16):

$$t_s(i) = t_s \frac{l_i}{\sum_{j=1}^{n+1} l_j} \quad (16)$$

với l_i : tổng chiều dài của vùng thứ i ; t_s : thời gian trung bình ban đầu để xác định điểm sự cố khi chưa đưa FPI vào.

Như vậy, thời gian xác định điểm sự cố $t_s(i)$ được giảm xuống khi đặt FPI vào lưới điện, do đó giá trị chỉ số SAIDI cũng được giảm theo.

3. Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn giải quyết bài toán đa mục tiêu

3.1. Bài toán đa mục tiêu

Trong các bài toán kỹ thuật thực tế, có thể phải tối ưu hóa đồng thời một lúc nhiều mục tiêu. Tối ưu cho N đối tượng được biểu diễn bởi công thức:

$$\text{Min } \vec{y} = \vec{F}(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_N(\vec{x})]^T \quad (17)$$

$$\text{Ràng buộc: } g_j(\vec{x}) \leq 0, j = 1, 2, \dots, M$$

với $\vec{x} \in \Omega$; \vec{y} là véc-tơ đối tượng, $g_j(\vec{x})$ biểu diễn các ràng buộc và \vec{x} là véc-tơ quyết định trong không gian tham số Ω [5]. Việc tối ưu hóa đa mục tiêu gặp rất nhiều khó khăn để tối ưu hóa các hàm đối tượng ở cùng một thời điểm, vì vậy, tối ưu Pareto được sử dụng trong bài báo [2, 4, 10].

Véc-tơ quyết định $\vec{u} \in \Omega$ được gọi là Pareto trội so với véc-tơ $\vec{v} \in \Omega$ khi và chỉ khi:

$$\forall i \in \{1, K, N\}, f_i(\vec{u}) \leq f_i(\vec{v}),$$

$$\text{và } \exists j \in \{1, K, N\}, f_j(\vec{u}) < f_j(\vec{v}), \quad (18)$$

Pareto trội được dùng để so sánh và xếp thứ hạng cho các véc-tơ quyết định. Véc-tơ \vec{u} trội hơn véc-tơ \vec{v} có nghĩa là $\vec{F}(\vec{u})$ hoặc là tốt hơn hoặc là giống như $\vec{F}(\vec{v})$ cho tất cả các hàm đối tượng, và ở đây có ít nhất một hàm đối tượng trong $\vec{F}(\vec{u})$ là chặt hơn (nhỏ hơn) $\vec{F}(\vec{v})$.

3.2. Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn đa mục tiêu

Tối ưu hóa bầy đàn (PSO) là một trong những phương pháp tối ưu được đề xuất bởi J. Kennedy và R. Eberhart vào năm 1995. PSO là một công cụ tối ưu cung cấp một quy trình tìm kiếm dựa trên bầy đàn, trong đó mỗi cá thể thay đổi vị trí của nó theo thời gian. Một lời giải tiềm năng cho mỗi bài toán có thể được đại diện như một cá thể trong đàn, bay trong không gian tìm kiếm có d chiều. Sự điều chỉnh tốc độ và vị trí của mỗi cá thể có thể được tính toán bằng cách sử dụng vận tốc hiện tại và khoảng cách từ pbest đến gbest theo công thức (19) và (20) [3, 7, 8]:

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + c_1 \text{rand}_1 \times (Pbest_{id}^k - X_{id}^k) + c_2 \text{rand}_2 \times (Gbest_{id}^k - X_{id}^k) \quad (19)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (20)$$

3.3. Xây dựng chương trình tính toán ứng dụng hiệu quả công nghệ mới FPI cho LĐPP thông minh

Trên cơ sở các lý thuyết nêu trên, bài báo đề xuất thuật toán ứng dụng hiệu quả công nghệ FPI để nâng cao ĐTC cung cấp điện. Chương trình được xây dựng dựa trên phần mềm MATLAB và được tính toán thử nghiệm trên lưới

điện thực tế tại thành phố Đà Nẵng.

3.3.1. Hàm mục tiêu của bài toán

Hàm mục tiêu để tính toán ứng dụng hiệu quả công nghệ FPI nhằm nâng cao ĐTC cung cấp điện trong LĐPP:

$$\text{Min } F(x) \equiv [F_1(x), F_2(x)] \quad (21)$$

trong đó, $F(x)$ là hàm đa mục tiêu của bài toán; $F_1(x)$ là hàm mục tiêu kinh tế; $F_2(x)$ là hàm mục tiêu kỹ thuật.

a. Hàm mục tiêu kinh tế

Trong bài báo này, hàm mục tiêu kinh tế được đề xuất như sau:

$$F_1 = C^{FPI} = \sum_{j \in \Omega^c} \alpha_j \cdot C_j^{FPI} \quad (22)$$

$$\text{Min } F_1 = \text{min } C^{FPI} \quad (23)$$

Trong đó:

Ω^c : tập hợp các vị trí có thể được lắp đặt FPI; C_j^{FPI} : chi phí lắp đặt FPI tại vị trí đó, chi phí này sẽ thay đổi theo công nghệ FPI (có sử dụng loại hỗ trợ truyền tín hiệu qua hệ thống SCADA hay không); α_j : biến nhị phân xác định có lắp đặt FPI tại vị trí j hay không.

Yếu tố chi phí thiệt hại do mất điện của khách hàng sẽ không được xét đến theo điều kiện thực tế ở Việt Nam.

b. Hàm mục tiêu kỹ thuật (ĐTC của lưới điện)

Việc ứng dụng công nghệ chỉ báo đường đi sự cố trong LĐPP góp phần nâng cao ĐTC cung cấp điện thông qua việc giảm giá trị SAIDI. Do đó hàm mục tiêu ĐTC sẽ là:

$$\text{Min } F_2 = \text{min SAIDI} \quad (24)$$

với SAIDI của lưới điện được tính toán theo (4).

c. Xác định các ràng buộc

Các ràng buộc có thể có của bài toán bao gồm:

- Theo tính chất của LĐPP, tại các recloser đều có khả năng xác định có sự cố xảy ra đằng sau nó. Vì vậy các thiết bị FPI sẽ không được đặt tại các vị trí này.
- Ràng buộc về số lượng thiết bị FPI có thể lắp đặt trên lưới theo yêu cầu của đơn vị quản lý vận hành.
- Ràng buộc về khoảng cách tối thiểu giữa các FPI.
- Ràng buộc về các nhánh trên lưới điện không thể lắp đặt FPI (do tình hình thực tế hoặc do yêu cầu chủ quan của đơn vị quản lý vận hành).
- Ràng buộc về kinh phí tối đa có thể đầu tư cho FPI.

3.3.2. Thuật toán chương trình (Hình 3)

Bước 1: Nhập số liệu lưới điện

- Dữ liệu nhập vào chương trình là cấu trúc lưới điện (các điểm nút, chiều dài dây dẫn, số lượng khách hàng tại các nút, vị trí các TBPĐ, các mạch vòng...).
- Suất hỏng hóc và thời gian sửa chữa các phần tử lưới điện.
- Các ràng buộc liên quan đến kỹ thuật và kinh tế.

Bước 2: Nhập thông số liên quan đến thuật toán MOPSO: số vòng lặp, số lượng phần tử, số lượng nghiệm ưu việt.

Bước 3: Khởi tạo quần thể ban đầu: Tạo ngẫu nhiên quần thể đầu tiên P_0 với n cá thể. Mỗi cá thể bao gồm m bit nhị phân, với m có giá trị gấp 2 lần số lượng nhánh của lưới điện. $m/2$ bit nhị phân đầu tiên thể hiện vị trí các FPI được lắp đặt trên các nhánh của lưới điện (nếu bit thứ

M có giá trị là 1 thì nhánh M của lưới điện sẽ được lắp đặt FPI). Tương tự, m/2 bit tiếp theo sẽ xác định công nghệ FPI được sử dụng cho nhánh đó, nếu bằng 1 thì FPI tương ứng sẽ được ứng dụng công nghệ SCADA, ngược lại thì chỉ sử dụng FPI thường.

Bước 10: Cập nhật tập nghiệm ưu việt và lưu ở bộ nhớ ngoài.

Bước 11: Cập nhật pbest cho mỗi phần tử.

Bước 12: Kiểm tra điều kiện dừng (đã đạt đến số vòng lặp cho trước). Nếu chưa thỏa mãn điều kiện dừng thì quay lại Bước 6.

Bước 13: Quyết định tập nghiệm tối ưu: Trong tập hợp nghiệm tối ưu nằm trên biên Pareto, tùy tính chất của bài toán, tập nghiệm có thể đến từ vài chục đến vài trăm nghiệm nằm trên biên tối ưu.

Để tạo thuận lợi trong việc ra quyết định chọn nghiệm tối ưu, sử dụng phương án trọng số nhằm giới hạn lại số cá thể cần chọn trong tập nghiệm [2]:

$$F = \min_i (w_{Cost} \frac{Cost_i - Cost_{min}}{Cost_{max} - Cost_{min}} + w_{SAIDI} \frac{SAIDI_i - SAIDI_{min}}{SAIDI_{max} - SAIDI_{min}}) \quad (25)$$

$$\text{Với: } w_{Cost} + w_{SAIDI} = 1 \quad (26)$$

Trong đó, w_{Cost} , w_{SAIDI} là các trọng số, tùy mức độ quan trọng và quan điểm trong quản lý vận hành, các chỉ số có giá trị khác nhau.

Bước 14: Kết thúc chương trình: xuất ra kết quả giải pháp bố trí các FPI tối ưu, tương ứng với giá trị của các hàm mục tiêu và phương pháp trọng số đã chọn.

4. Kết quả tính toán cho lưới điện thực tế

Ứng dụng thuật toán để tính toán ứng dụng hiệu quả công nghệ chỉ báo đường đi sự cố cho xuất tuyến 471 Ngũ Hành Sơn thuộc LĐPP thành phố Đà Nẵng. Tổng số nhánh của lưới điện: 131 nhánh; 3 điểm liên lạc với nguồn khác tại các nhánh (3, 73, 114); 1 MC tại trạm; 4 MC Recloser đường dây; 7 dao cách ly; 2 cầu chì phân đoạn. Thông số sự cố lưới điện được cho ở Bảng 1, thời gian thao tác TBPĐ được tính trung bình là 20 phút.

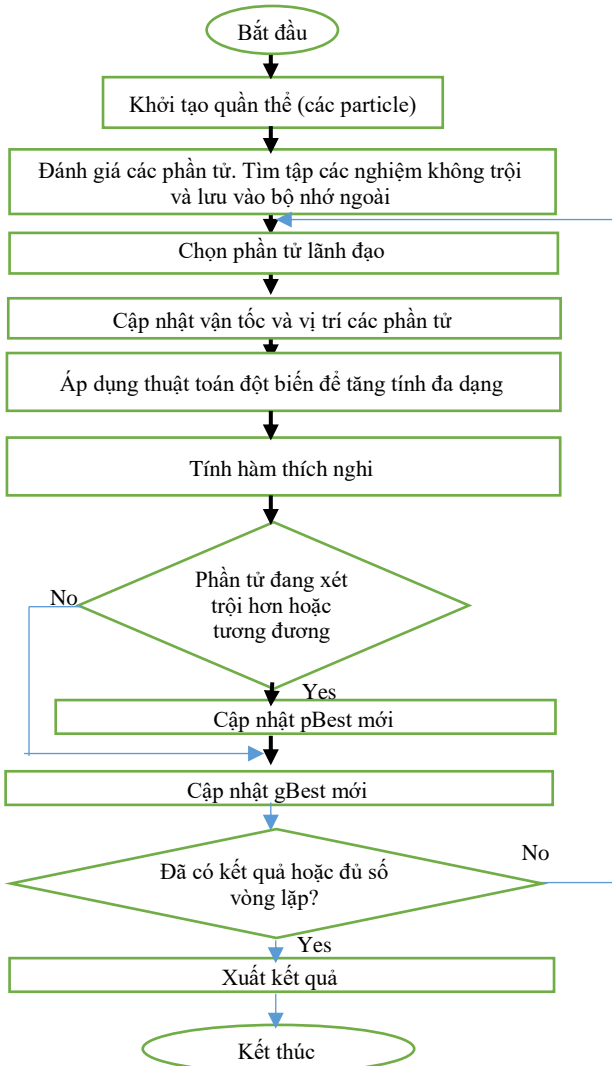
Bảng 1. Thông số sự cố lưới điện

| Thiết bị | Suất sự cố thoáng qua (lần/năm) | Suất sự cố vĩnh cửu (lần/năm) | Thời gian sửa chữa (phút) |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Dây dẫn trần | 0,1352 (*) | 0,0748 (*) | 30 |
| Cáp bọc trung áp | 0,0623 (*) | 0,0672 (*) | 30 |
| Cáp ngầm trung áp | | 0,0014 (*) | 240 |
| TBA phân phối | | 0,0200 | 120 |
| Máy cắt tại trạm | | 0,0470 | 60 |
| Máy cắt recloser | | 0,0010 | 60 |
| Dao cắt có tải | | 0,0010 | 60 |
| Dao cách ly | | 0,0500 | 60 |
| Cầu chì tự rơi trung áp | | 0,0133 | 30 |

(*): Đơn vị (lần/km/năm)

4.1. Giả thiết 1: các số liệu nhập vào chương trình

Số vòng lặp tối đa: 100 vòng lặp; số cá thể trong quần thể: 100 cá thể; số cá thể trong tập nghiệm ưu việt: 15 cá thể; trọng số lựa chọn theo chỉ tiêu kinh tế: 0,7; trọng số lựa chọn theo chỉ tiêu kỹ thuật: 0,3; suất đầu tư cho mỗi FPI thường: 15 triệu đồng/bộ; suất đầu tư cho mỗi FPI có



Hình 3. Lưu đồ thuật toán tối ưu hóa PSO đa mục tiêu

Bước 4: Kiểm tra điều kiện ràng buộc: Đối với mỗi cá thể phải kiểm tra các ràng buộc như đã nêu trên. Nếu không thỏa mãn điều kiện ràng buộc thì thực hiện thuật toán để hiệu chỉnh các cá thể phù hợp với yêu cầu bài toán.

Bước 5: Tính toán các hàm mục tiêu: Tương ứng mỗi cá thể trong quần thể, tiến hành tính toán các hàm mục tiêu giá trị kinh tế và chỉ số ĐTC SAIDI.

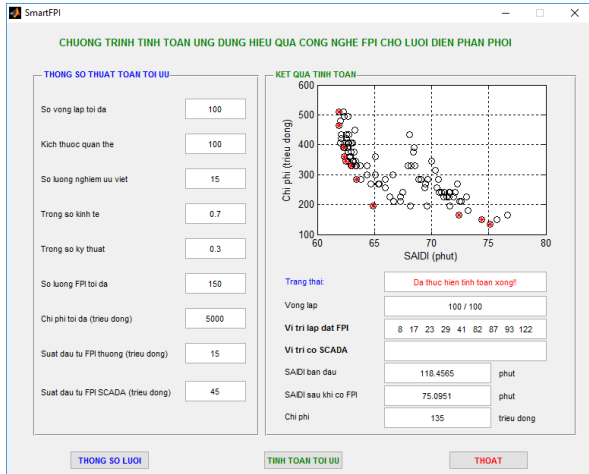
Bước 6: Dùng thuật toán sắp xếp các nghiệm không trội: Sử dụng thuật toán phân loại nghiệm không trội và thứ hạng tương ứng ở phần trước để xác định các bộ nghiệm ưu việt và phân bố trên biên Pareto.

Bước 7: Lựa chọn một nghiệm ưu việt để hình thành quần thể mới.

Bước 8: Cập nhật vận tốc và vị trí mới cho các phần tử.

Bước 9: Tính hàm thích nghi cho mỗi phần tử trong quần thể.

kèm theo hệ thống SCADA: 45 triệu đồng/bộ; giới hạn về số lượng và kinh phí lắp đặt: không giới hạn. Kết quả tính toán và phân bố nghiệm ưu việt trên biên Pareto ở vòng lặp cuối cùng được thể hiện như trên Hình 4.



Hình 4. Kết quả phương án tối ưu với giả thiết 1

Nhận xét:

Dựa vào đồ thị trên biên Pareto có thể nhận thấy rằng, có một số kết quả khác tương đương với kết quả đã nêu (ĐTC cao hơn, tuy nhiên chi phí đầu tư lớn hơn). Do ở đây ta đặt giả thiết yếu tố kinh tế có tầm quan trọng hơn so với yếu tố kỹ thuật (trọng số kinh tế bằng 0,7) nên chương trình đã đưa ra kết quả nghiên về mặt kinh tế nhiều hơn.

Tính toán hiệu quả kinh tế với giá bán điện bình quân 1.705 đồng/kWh: kết quả tính toán như ở Bảng 2. Có thể thấy, thời gian hoàn vốn khá dài là do điều kiện thực tế ở nước ta chưa tính toán giá trị thiệt hại do khách hàng mất điện.

Bảng 2. Bảng tính hiệu quả đầu tư với giả thiết 1

| | SAIDI (phút) | Điện năng không cung cấp được (kWh) | Thành tiền (đồng) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------|
| Trước lắp đặt | 118,4565 | 15.399,345 | 26.255.883,23 |
| Sau lắp đặt | 75,0951 | 9.762,363 | 16.644.828,92 |
| Giá trị làm lợi mỗi năm (đồng) | | | 9.611.054,31 |
| Tổng mức đầu tư (đồng) | | | 135.000.000 |
| Thời gian hoàn vốn (năm) | | | 14,05 |

4.2. Giả thiết 2

Số vòng lặp tối đa: 2 vòng lặp; số cá thể trong quần thể: 5 cá thể; số cá thể trong tập nghiệm ưu việt: 2 cá thể; trọng số lựa chọn theo chỉ tiêu kinh tế: 0,7; trọng số lựa chọn theo chỉ tiêu kỹ thuật: 0,3; suất đầu tư cho mỗi FPI thường: 15 triệu đồng/bộ; suất đầu tư cho mỗi FPI có kèm theo hệ thống SCADA: 45 triệu đồng/bộ; giới hạn về số lượng FPI có thể lắp đặt trên lưới điện: 5 thiết bị; giới hạn về kinh phí lắp đặt: 150 triệu đồng.

Kết quả tính toán và phân bố nghiệm ưu việt trên biên Pareto ở vòng lặp cuối cùng được thể hiện như trên Hình 5. Với các giả thiết 2 như trên, chương trình đã cho kết quả phương án tối ưu là: Lắp đặt FPI ở các vị trí nhánh: 8, 34, 82, 122; các nhánh sử dụng FPI kèm theo công nghệ SCADA: 82,122; chỉ số SAIDI của lưới điện trước khi lắp

đặt FPI: 118,4565 phút; chỉ số SAIDI của lưới điện trước khi lắp đặt FPI: 88,0127 phút; tổng kinh phí đầu tư: 120 triệu đồng. Tính toán hiệu quả kinh tế với giá bán điện bình quân là 1.705 đồng/kWh: kết quả tính toán như ở Bảng 3.

Kết quả chạy chương trình với Giả thiết 2 cho thấy đã có xuất hiện các FPI kèm theo công nghệ SCADA. Trong khi đó với Giả thiết 1, kết quả chỉ cho ra các FPI loại thường. Các kết quả ở Bảng 1, 2 cho thấy cần phải đưa yếu tố đền bù đối với kỳ vọng toán học về thiệt hại cho khách hàng vào tính toán ĐTC LĐPP thì mới phù hợp với xu hướng hiện đại trên thế giới và cho kết quả thời gian hoàn vốn hợp lý, tạo điều kiện để ứng dụng các công nghệ mới cho LĐPP thông minh.



Hình 5. Kết quả phương án tối ưu với các giả thiết 2

Bảng 3. Bảng tính hiệu quả đầu tư với giả thiết 2

| | SAIDI (phút) | Điện năng không cung cấp được (kWh) | Thành tiền (đồng) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------|
| Trước lắp đặt | 118.4565 | 15.399.345 | 26.255.883,23 |
| Sau lắp đặt | 88.0127 | 11.441.651 | 19.508.014,96 |
| Giá trị làm lợi mỗi năm (đồng) | | | 6.747.868,27 |
| Tổng mức đầu tư (đồng) | | | 135.000.000 |
| Thời gian hoàn vốn (năm) | | | 20,01 |

5. Kết luận

Bài báo đã sử dụng lý thuyết tối ưu Pareto, thuật toán tối ưu hóa bầy đàn đa mục tiêu để xây dựng thuật toán và chương trình tính toán ứng dụng hiệu quả công nghệ chỉ báo đường đi sự cố. Chương trình này có thể là công cụ giúp cho các công ty điện lực tối ưu hóa chỉ số ĐTC cung cấp điện cho LĐPP. Bài báo đã sử dụng xuất tuyến 471 Ngũ Hành Sơn để nghiên cứu tối ưu thiết bị chỉ báo đường đi sự cố qua chương trình tìm kiếm vị trí lắp đặt tối ưu và lựa chọn công nghệ tối ưu cho TBPĐ. Kết quả tính toán được phân tích chi tiết cho từng trường hợp cụ thể và hoàn toàn phù hợp với thực tiễn LĐPP đang được vận hành. Các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy cần phải đưa yếu tố đền bù đối với kỳ vọng toán học về thiệt hại cho khách hàng vào tính toán ĐTC LĐPP thì mới phù hợp với xu hướng hiện đại trên thế giới và cho kết quả thời gian hoàn vốn hợp lý, tạo điều kiện để ứng dụng các công nghệ mới cho LĐPP thông minh.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài mã số B2016-DNA-49-TT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thủ tướng Chính phủ nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, *Quyết định Phê duyệt đề án phát triển Lưới điện Thông minh tại Việt Nam*, Quyết định số 1670/QĐ - TTg ngày 08/11/2012.
- [2] Đình Thành Việt, Trương Nguyễn Quang Minh, Võ Văn Phương, “Ứng dụng thuật toán di truyền để xác định vị trí tối ưu thiết bị phân đoạn để nâng cao các chỉ số độ tin cậy lưới điện phân phối”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 7(104), 2016, trang 67.
- [3] Carlos A. Coello Coello, Gregorio Toscano Pulido, and Maximino Salazar Lechuga, “Handling Multiple Objectives With Particle Swarm Optimization”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 8(3), 2004, pp. 256-279.
- [4] Gelan Zhu, Yige MA, Dong Hua, “Reliability programming of distribution network feeder switches based on Pareto Optimality Theory”, *Journal of Convergence Information Technology*, 8(9), 2013, pp. 413-421.
- [5] Gustavo Dorneles Ferreira, Arturo Suman Bretas, Ghendry Cardoso Jr., *Optimal Distribution Protection Design Considering Momentary and Sustained Reliability Indices*, IEEE, 2010
- [6] H. Falaghi, M. R. Haghifam, M. R. Osouali Tabrizi, *Fault Indicators Effects on Distribution Reliability Indices*, 18th International Conference on Electricity Distribution, 2005.
- [7] J. Kennedy and R. Eberhart, *Particle swarm optimization*, Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks, 4, 1995, pp. 1942-1948.
- [8] J. Kennedy and R. Eberhart, *A discrete binary version of the particle swarm algorithm*, Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 97), 5, 1997, pp. 4104-4109.
- [9] Kirill Netreba, Yury Chistyakov, Elena Kholodova, *Application of Artificial Bee Colony Algorithm for Optimal Distribution Protection Design*, Researches in Environmental and Geological Sciences, 2012, pp. 151-156.
- [10] Kwang Y. Lee and Mohamed A. El-Sharkawi, *Modern Heuristic Optimization techniques – Theory and applications to power system*, IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc., Published, 2008.
- [11] M. Reyes, C. A. Coello, “Multi-objective particle swarm optimizers: A survey of the state-of-the-art”, *International Journal of Computational Intelligence Research*, 2(3), 2006, pp. 287-308.
- [12] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2ed, Plenum, New York, 1996.
- [13] Y. Shi and R. Eberhart, *A modified particle swarm optimizer*, in Proc IEEE Int. Conf. Evol. Comput., 1998, pp. 69-73.

(BBT nhận bài: 01/01/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 25/03/2018)