

Áp dụng mô hình Meta Heuristic với thuật toán Firefly cho bài toán tối ưu điều phối Role quá dòng

Applying MetaHeuristic model with Firefly algorithm for overcurrent relay coordination optimization problems

Dương Ngọc Hùng^{1,*}, Nguyễn Phước Tín¹

¹ Trường Đại học Tiền Giang, 119 Ấp Bắc, Phường 5, Mỹ Tho, Tiền Giang, Việt Nam

Thông tin chung

Ngày nhận bài:

26/05/2021

Ngày nhận kết quả phản biện:

06/07/2021

Ngày chấp nhận đăng:

15/09/2021

Từ khóa:

Thuật toán Firefly, Lập trình tuyến tính, Role bảo vệ quá dòng, phối hợp bảo vệ, relay bảo vệ

Keywords:

Firefly Algorithm, Linear Programming, Overcurrent Relays, Coordination, Protection Relays

Tóm tắt

Trong hệ thống điện, tính năng quan trọng nhất của thiết bị bảo vệ là hoạt động trong tình trạng không bình thường để đảm bảo cách ly hoàn toàn giữa phần không có sự cố điện và phần bị sự cố điện. Chức năng này nhằm đảm bảo độ tin cậy của hệ thống điện. Để nâng cao độ tin cậy và hiệu suất của hệ thống điện, điều phối role được thực hiện với việc cài đặt thời gian hoạt động tối ưu. Role quá dòng được sử dụng trong khi lưới điện có nhiều hơn một nguồn được kết nối, role quá dòng có hướng được sử dụng chỉ hoạt động khi dòng điện sự cố chạy theo một hướng xác định của role. Mục tiêu chính của bài báo này là xác định cài đặt tối ưu cho các role trong các kiểu mạng khác nhau bằng cách sử dụng Thuật toán Firefly (FA) và Lập trình tuyến tính (LP) cho việc tìm kiếm tối ưu tham số cài đặt thời gian phối hợp bảo vệ. Kết quả tối ưu được tìm ra cho các hệ thống thử nghiệm trong môi trường matlab.

Abstract

In an electrical system, the most important feature of protective equipment is to operate under abnormal conditions to ensure the complete isolation between the parts without electrical faults and those with electrical faults. This function aims to guarantee the reliability of the electrical system. To improve the reliability and performance of the electrical system, relay coordination is conducted with optimal uptime settings. Overcurrent relays are used in case the electrical grids have more than one source connected, directional overcurrent relays only operate when fault currents flow in a specified direction of the relays. The main objective of this paper is to determine the optimal settings for relays in different network types by using Firefly Algorithm (FA) and Linear Programming (LP) for optimally finding parameters of time settings in coordination with protection. Optimal results are found for the systems tested in Matlab environment.

1. GIỚI THIỆU

Điều phối role là một trong những vấn đề lớn được quan tâm nghiên cứu

trong lĩnh vực bảo vệ hệ thống điện. Để cải thiện tính ổn định và tính sẵn sàng của hệ thống, hệ thống chuyển tiếp phải

* tác giả liên hệ, email: duongngochung@tgu.edu.vn, 0903 959 203

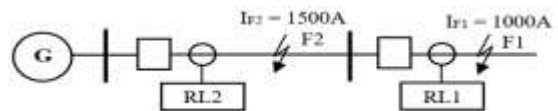
hoạt động theo các đặc tính như độ tin cậy, độ chọn lọc, độ nhạy, khả năng phân biệt, tốc độ, v.v. để tối ưu hóa thời gian hoạt động. Hệ thống role phải hoạt động nhanh nhất có thể đối với các bất thường xảy ra trong lưới điện để đảm bảo ít thiệt hại nhất cho hệ thống điện cũng như cho người tiêu dùng.

Bảo vệ chính trong hệ thống phân phối điện chủ yếu kết hợp với role quá dòng. Chức năng bảo vệ quá dòng của role cũng được sử dụng như một biện pháp bảo vệ dự phòng trong các hệ thống truyền dẫn điện. Các role này được thiết kế để hoạt động nhanh chóng, không bị trục trặc, nhờ đó bộ ngắt mạch cách ly phân bị sự cố khỏi lưới điện. Điều này cho thấy tầm quan trọng của vấn đề phối hợp role.

Các role được điều phối theo cách mà toàn bộ hệ thống sử dụng khả năng bảo vệ cũng như dự phòng để cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống. Hoạt động tối ưu của role được xác định bằng cách sử dụng cài đặt thời gian hoạt động tối ưu cho role. Điều phối role được thực hiện theo ba phương pháp khác nhau là (I) Điều phối theo thời gian (II) Phối hợp theo cường độ dòng điện và (III) Điều phối theo cả cường độ dòng điện và thời gian. Trong số các phương pháp này, phương pháp cuối cùng được sử dụng để điều phối hiệu quả các role nhằm tránh sự cố ảnh hưởng tới role cũng như theo thời gian hoạt động cố định được xác định trước.

Hệ thống role như Hình 1, role bảo vệ chính (RL1) phải hoạt động nhanh nhất có thể đối với sự cố F1 trong vùng bảo vệ. Nếu role không hoạt động do sự cố trong vùng, thì sau một thời gian role của phần lân cận từ phía nguồn sẽ

hoạt động (RL2). Đây được gọi là bảo vệ dự phòng [1]. Bảo vệ dự phòng hoạt động sau một thời gian, được gọi là Thời gian phối hợp tối thiểu (MCT - Minimum Coordination Time). Thời gian này là do thời gian hoạt động của cầu dao, thời gian phát hiện rơ le và một số hằng số ngẫu nhiên để đảm bảo phân biệt giữa bảo vệ chính và dự phòng.



Hình 1. Sơ đồ đường dây hình tia

Gần đây [2] đã xuất bản một bài báo cho cùng một vấn đề với Thuật toán đom đóm - Firefly. Kỹ thuật Lập trình tuyến tính được [3-5] thực hiện trên các cấu hình khác nhau cũng như các nền tảng mô phỏng khác nhau. Kỹ thuật lập trình tuyến tính là một trong những kỹ thuật tối ưu hóa được sử dụng thường xuyên và dễ thực hiện. Gần đây [6] đã xuất bản một bài báo sử dụng thuật toán Seeker cho cùng một vấn đề. Thuật toán di truyền cũng được thực hiện trên cùng một bài toán để tìm ra thời gian hoạt động tối ưu cho các cấu hình khác nhau [7, 8]. Thuật toán đàn ong nhân tạo được thực hiện bởi [9] cho các nghiên cứu phối hợp bảo vệ. Các Kỹ thuật Tiến hóa khác cụ thể là GA lai và GANLP lai cũng được áp dụng cho cùng một vấn đề tương tự [10, 11]. Kỹ thuật NM-PSO được sử dụng để tìm ra thời gian hoạt động tối thiểu [12].

Ý tưởng chính của thuật toán Meta heuristic lấy cảm hứng từ mục tiêu nói trên được tham khảo từ [13] để tìm ra giải pháp tối ưu cho bài toán tối ưu hóa này.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Phân tích bài toán phối hợp bảo vệ role

Thuật toán được điều chỉnh bởi các giả định nhất định rất cần thiết để thực hiện thuật toán này cho các nghiên cứu điều phối một cách hiệu quả. Những điều này làm cơ sở cho một số công thức trong nghiên cứu này.

Các giả định như sau:

- Tất cả những con đôm đóm là không giới tính nên chúng thu hút những con đôm đóm khác không xét tới giới tính của chúng.

- Độ hấp dẫn tỷ lệ thuận với độ sáng và tỷ lệ nghịch với khoảng cách.

- Độ sáng được xác định bởi hàm mục tiêu của nó.

Điều đó tương đồng với:

- Tất cả các role sẽ được phối hợp có cùng một đặc tính.

- Thời gian hoạt động tỷ lệ nghịch với độ lớn sự cố và tỷ lệ thuận với thời gian hoạt động được cài đặt.

- Thời gian hoạt động được xác định bởi các thông số cài đặt role.

Các công thức được xem xét trong [13] để hiệu chỉnh động của đôm đóm cho cả không gian tìm kiếm cục bộ và toàn cầu.

2.2. Phân tích công thức

2.2.1. Đặt vấn đề

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là tìm ra thời gian tác động tối thiểu để role tác động nhanh khi có sự cố nhằm tránh hư hỏng quá mức và cũng nhằm nâng cao hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống. Để tìm ra thời gian hoạt động tối thiểu, bài toán phối hợp có thể được

xây dựng dưới dạng bài toán tối ưu hóa ràng buộc tuyến tính hoặc bài toán phi tuyến. Để giảm độ phức tạp trong giải pháp của bài toán này, chúng ta có thể xây dựng nó dưới dạng bài toán tối ưu hóa tuyến tính trong đó hệ số nhân được giữ không đổi và thời gian hoạt động là một hàm tuyến tính theo các hệ số cài đặt và thời gian. Vì vậy, tổng thời gian hoạt động của các role được kết nối trong lưới điện là tối thiểu theo phương trình mục tiêu:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \quad (1)$$

2.2.2. Đặc tính Role

Để bảo vệ đường truyền tải điện, các role khoảng cách cũng như role quá dòng được sử dụng. Để bảo vệ các role điện kháng đường truyền ngắn được sử dụng, các role trở kháng dùng cho đường truyền trung bình và các role mho cho đường dây truyền tải dài.

Tất cả các role này có đặc tính thời gian nghịch đảo được cho bởi công thức:

$$T_{op} = \frac{a}{(PSM)^b - 1} * TDS + C \quad (2)$$

Trong đó:

a, b, C là hằng số

T_{op} là Thời gian hoạt động

TDS là Thời gian chu kỳ cài đặt (Time Dial Setting)

PSM là Hệ số nhân được xác định theo công thức:

$$PSM = (I_{fault} / I_{relay})$$

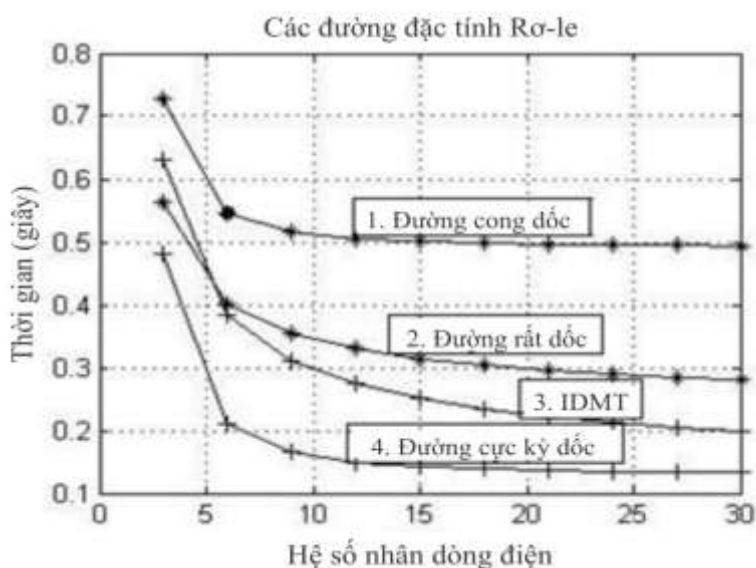
Các hằng số dùng phối hợp theo các đặc tính của role tham khảo theo bảng dưới đây [14]:

Bảng 1. Hệ số Role

Relay characteristics	Hệ số Relay		
	a	b	c
Normal inverse	0,092	0,02	0,149
Very inverse	18,92	2,0	0,492
Extremely inverse	28,08	2,0	0,13
IDMT	0,14	0,02	0,0

2.2.3. Đường đặc tính Role

Để bảo vệ đường truyền

**Hình 2. Đặc tính Role**

Đối với nghiên cứu trong bài báo này, chúng tôi đã xem xét các đặc tính của role IDMT (Inverse Definite Minimum Time) cho role quá dòng.

2.2.4. Hằng số thời gian phối hợp

Các tiêu chí cho sự phối hợp tối ưu của role được điều chỉnh bởi các ràng buộc được đưa ra dưới đây:

$$T_{backup} - T_{primary} \geq MCT \quad (3)$$

Trong đó, (3) thể hiện thời gian sai lệch giữa bảo vệ dự phòng và bảo vệ chính phải tối thiểu là Thời gian phối

hợp tối thiểu (MCT - Minimum Coordination Time). MCT thường được lấy từ 0,2 đến 0,5. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã coi giá trị của MCT là 0,2s.

2.3. Giải thuật lập trình tuyến tính

Phương pháp lập trình tuyến tính là một trong những phương pháp được sử dụng nhiều nhất để tối ưu hóa bất kỳ vấn đề nào. Trong phương pháp này, các ràng buộc được xử lý như một hàm tuyến tính và do đó công thức của bài toán tối ưu hóa được coi là một bài toán số

nguyên hỗn hợp tuyến tính (linear mixed integer).

Trong nghiên cứu này, chúng tôi coi cài đặt hệ số nhân của role là cố định (các hệ số a, b, PSM là hằng số), khi đó thời gian hoạt động được coi là một hàm tuyến tính của Thời gian cài đặt (Time Dial Setting - TDS) của role.

$$K = \frac{a}{(PSM)^b - 1} \quad (4)$$

Khi đó, thời gian phối hợp bảo vệ được mô tả ngắn gọn là:

$$T_{op} = K * TDS + C \quad (5)$$

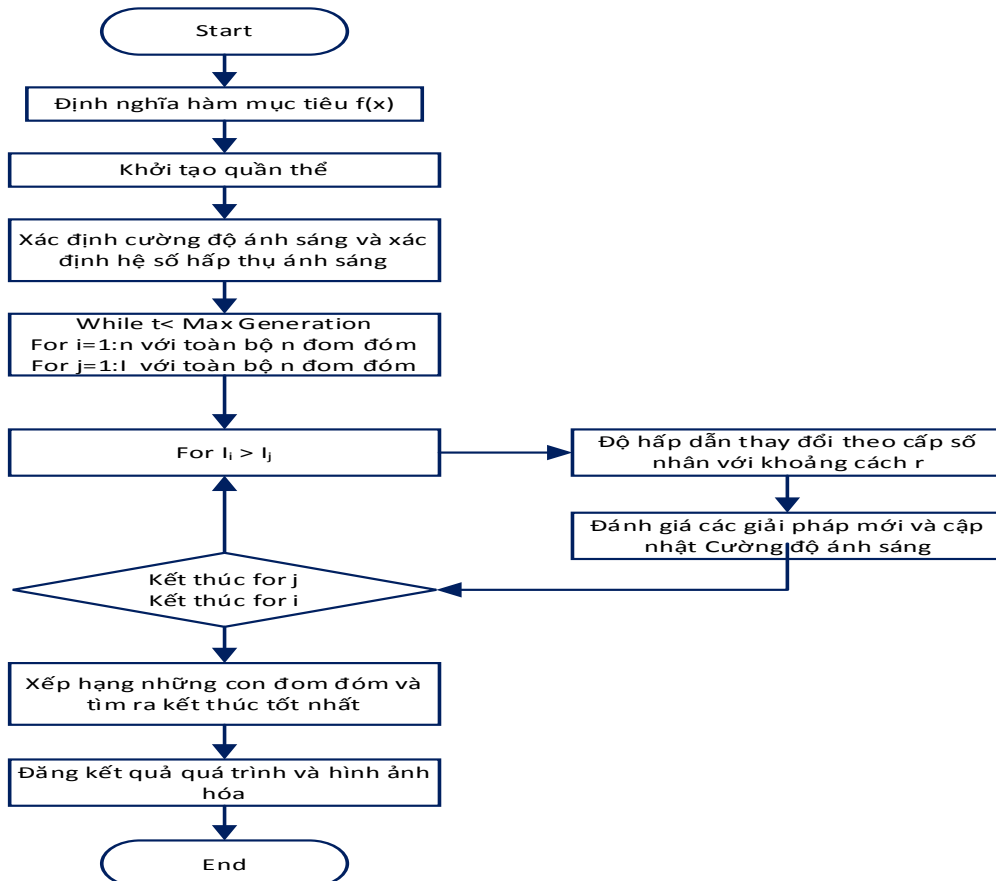
Bài toán phối hợp role được coi là bài toán tối ưu hóa ràng buộc có giới hạn.

$$T_{op(\min)} \geq T_{op} \geq T_{op(\max)} \quad (6)$$

Phương pháp này là một trong những phương pháp thông thường và mạnh mẽ nhất. Việc thực hiện phương pháp này rất đơn giản và dễ hiểu. Chúng tôi xây dựng công cụ dựa trên MATLAB.

2.4. Thuật toán đom đóm (Firefly)

Thuật toán Firefly được lấy cảm hứng từ thiên nhiên Thuật toán heuristic Meta được phát triển bởi Xin She Yang vào cuối năm 2007-2008. Thuật toán này giống như tối ưu hóa bầy hạt và dựa trên hành vi nhấp nháy của đom đóm. Lưu đồ của thuật toán như sau:



Hình 3. Lưu đồ thuật toán Đom đóm (Firefly)

Thuật toán đom đóm – Firefly, khởi tạo một bầy đom đóm với số lượng đom đóm xác định ở vị trí ngẫu nhiên trong không gian tìm kiếm n chiều. Không gian tìm kiếm này được điều chỉnh bởi số lượng role được kết nối trong một lưới điện. Vị trí của đom đóm này cho thấy giải pháp tiềm năng cho vấn đề tối ưu hóa trong không gian tìm kiếm cục bộ hoặc toàn cục. Độ sáng là một chỉ số về giá trị thể chất của mỗi con đom đóm.

Mỗi con đom đóm bị thu hút về phía con tương đối sáng hơn. Và do đó, sự hấp dẫn giữa các đom đóm được định nghĩa là một hàm của độ sáng. Vì độ sáng cũng là một hàm phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai con đom đóm. Do đó, độ hấp dẫn là một hàm của độ sáng cũng như khoảng cách. Vận tốc di chuyển của mỗi con đom đóm về phía sáng hơn phụ thuộc vào độ hấp dẫn. Vì nó là một phương pháp lặp lại nên các giá trị của độ sáng và độ hấp dẫn được tính toán và cập nhật sau mỗi lần lặp. Tùy thuộc vào các giá trị cập nhật này, vị trí của các con đom đóm trong một không gian ngẫu nhiên sẽ được cập nhật. Vòng lặp theo số lần lặp lại được xác định trước hoặc khi đạt đủ số lượng các con đom đóm hội tụ đến vị trí tốt nhất có thể trong không gian tìm kiếm n chiều.

$$x_i(k) = x_i(k-1) + \beta_i(x_i(k-1) - x_j(k-1)) + \alpha(random - 0.5) \quad (11)$$

Trong đó α là hệ số chuyển động ngẫu nhiên. Một α lớn hơn cung cấp không gian tìm kiếm toàn cục, khi giá trị nhỏ hơn sẽ hiển thị không gian tìm kiếm cục bộ. β được giới hạn trong khoảng từ 0 đến 1. Nếu β được giữ ở mức 1, thuật toán tạo ra giải pháp trong không gian tìm kiếm cục bộ nơi con đom đóm sáng nhất xác định hoặc phân loại vị trí của

Một con đom đóm được xác định bởi một vector trong không gian n chiều:

$$X_i = [X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^n] \quad (7)$$

Trong đó n biểu thị kích thước của không gian tìm kiếm. Không gian tìm kiếm được giới hạn bởi các ràng buộc:

$$X^k(\min) \leq X^k \leq X^k(\max) \quad (8)$$

Dân số ban đầu của đom đóm được điều chỉnh bởi phương trình sự phân bố đều:

$$X_m^k = X^k(\min) + (X^k(\max) - X^k(\min)) * random \quad (9)$$

Trong đó $random$ là một số ngẫu nhiên từ 0 đến 1, được lấy từ phân phối đồng đều.

Độ hấp dẫn của Đom đóm thứ i và j , β_{ij} , được xác định bởi:

$$\beta_{ij} = (\beta_{\max,i,j} - \beta_{\min,i,j}) \exp(-\gamma r_{i,j}^2) + \beta_{\min,i,j} \quad (10)$$

Trong đó $r_{i,j}$ là khoảng cách Descartes giữa đom đóm thứ i và thứ j .

Nếu cường độ ánh sáng của đom đóm thứ j nhiều hơn cường độ của đom đóm thứ i , thì đom đóm thứ i di chuyển về phía đom đóm thứ j sáng hơn và vị trí của nó tại lần lặp thứ k được đảm bảo bằng phương trình sau:

những con đom đóm khác. Nếu được giữ ở mức 0, nó sẽ kết hợp tìm kiếm cục bộ ngẫu nhiên theo cách hợp tác.

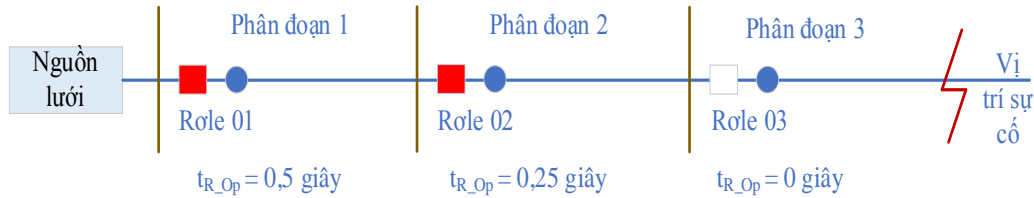
Tham số γ xác định sự thay đổi của mức độ hấp dẫn với khoảng cách trong không gian tìm kiếm. Nếu nó là 0 thì thuật toán tương tự PSO; và nếu nó là ∞ thì độ hấp dẫn bằng 0, hiển thị tìm kiếm ngẫu nhiên hoàn toàn. Cuối cùng, thuật

toán này hiển thị kết quả tốt nhất so với các phương pháp khác.

3. KẾT QUẢ VÀ MÔ PHỎNG

Một lưới điện đơn tuyến (như Hình 4) là một hệ thống đơn giản, trong đó dòng điện chỉ chạy theo một hướng. Chiều của dòng điện từ nguồn đến tải trong mạng điện. Vì dòng điện chỉ chạy theo một hướng, nên role được đặt không có bất kỳ đặc tính có hướng nào

có nghĩa là role là loại role quá dòng không hướng có đặc tính Thời gian tối thiểu xác định ngược (Inverse Definite Minimum Time - IDMT). Mỗi role có bộ ngắt mạch riêng để cách ly phân bị sự cố với phần còn lại để tránh hư hỏng quá mức trong trường hợp xảy ra sự cố, ví dụ: Role 03. Nếu rơ le đó không hoạt động thì rơ le cấp trên (Role 02) bảo vệ dự phòng.



Hình 4. LDPP được bảo vệ bởi 03 thiết bị Role, và vị trí sự cố xảy ra trên phân đoạn 3

Trong trường hợp thử nghiệm này, được coi là trường hợp dòng sự cố ngay bên ngoài bus A và bus B lần lượt là 5000 A và 4000 A. Để đơn giản, cài đặt phích cắm của mỗi rơ le được coi là 1. Tỷ lệ CT ở xe buýt A và xe buýt B được

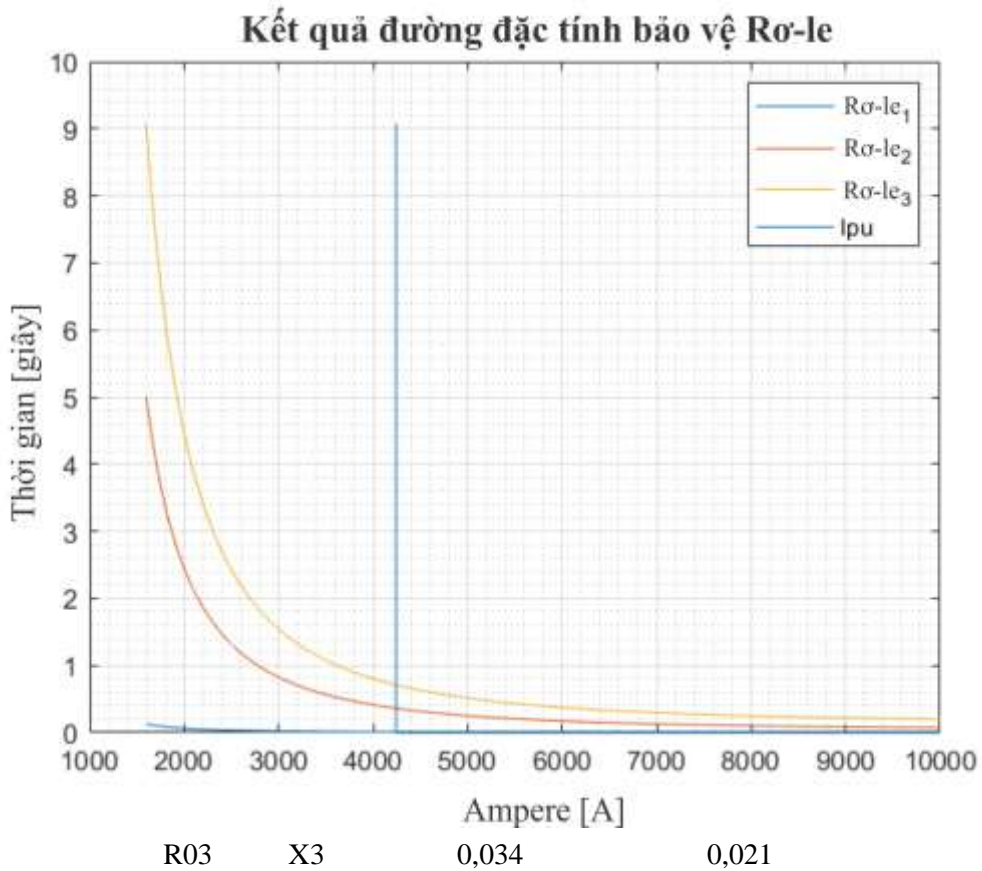
lấy tương ứng là 500: 1 và 400: 1. Thời gian hoạt động tối thiểu cho mỗi role được coi là 0,2s và tối đa là 1,2s. MCT là 0,25s. Tính toán cho hằng số K được thực hiện bằng cách sử dụng (4) và lập bảng:

Bảng 2. Hệ số K của các Role

STT	Vị trí sự cố	Role 01- hệ số K	Role 02 – hệ số K	Role 02 – hệ số K
1	Giữa Role 01 và Role 02	2,97	--	--
2	Giữa Role 02 và Role 03	3,296	2,97	--
3	Sau Role 03	3,54	3,296	2,97

Bảng 3. Kết quả tính toán TDS

Role	TDS	Tính theo Tuyến tính - LP	Thuật toán Đom đóm - FIREFLY
R01	X1	0,136	0,0980
R02	X2	0,067	0,0653



Hình 5. Kết quả phối hợp bảo vệ 3 Rơle sử dụng thuật toán Đom đóm- Firefly

4. KẾT LUẬN

Bài toán phối hợp rơle tối ưu được giải quyết bằng Thuật toán Firefly như Hình 3. Có một số kỹ thuật tối ưu hóa hiện đại khác có thể được chứng minh là hữu ích đã được đề cập trong tài liệu tham khảo. Thuật toán tương tự có thể được sử dụng cho các cấu hình khác nhau và cũng cho các mạng phân phối khác nhau. Trước khi ứng dụng, người ta phải hiểu rằng các nhu cầu cơ bản của ứng dụng không bị ảnh hưởng. Bản thân thuộc tính Meta-heuristic gợi ý rằng bạn phải thử và tìm ra thuật toán nào phù hợp nhất với ứng dụng và cung cấp giải pháp gần như tối ưu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Y. G. Paithankar, S. R. Bhide, Fundamentals of Power System Protection, Prentice Hall of India Pvt. Ltd, New Delhi 2013.
- [2]. S.S.Gokhle, Dr.V.S.Kale, "Application of the Firefly Algorithm to Optimal Overcurrent Relay Coordination", IEEE Conference on Optimization of Electrical and Electronic equipment, Bran, 2014.
- [3]. Supaswatchara Niyomphant, Ed., "Application of Linear Programming for Optimal Coordination of Directional Over-current Relays.", IEEE Transactions on Power Delivery, 2012.
- [4]. Zeineldin, E. F. El-Sadany, M. A. Salama, "Optimal Coordination of

- Directional Overcurrent Relay Coordination”, Power Engineering Society general meeting, IEEE, pp. 1101-1106, vol. 2, June 2005.
- [5]. Bbas Saber Noghabi, Habib RajabiMashhadi, JavadSadeh, “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Considering Different Network Topologies using Interval Linear Programming”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 3, July 2010.
- [6]. A. Turaj, “Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Seeker Algorithm”, IEEE Transactions on Power Delivery, pp. 14151422, 2012.
- [7]. C. Castillo, A. Conade, “Coordination of Overcurrent Relays Using Genetic Algorithms and Unconventional Curves”, IEEE Latin America Transactions, Vol. 12, No. 8, December 2014.
- [8]. Dharmendra Kumar Singh, Dr. S. Gupta, “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays: A Genetic Algorithm Approach”, IEEE students conference on Electrical, Electronics and Computer Science, 2012.
- [9]. D. Uthitsunthorn, P. Pao-La-Or, T. Kulworawanichpong, “Optimal Overcurrent Relay Coordination Using Artificial Bees Colony Algorithm”, The Eighth Electrical Engineering, Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Conference (ECTI2011), pp. 901-904.
- [10]. Abbas SaberiNoghabi, JavadSadeh, Habib RajabiMashhadi, “Considering Different Network Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, No. 4, October 2009.
- [11]. P. P. Bedkar, S. R. Bhide, “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relay Using the Hybrid GA-NLP Approach”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, No.1, January 2011.
- [13]. Liu, An. Yang, Ming-Ta, “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using NM-PSO Technique”, IEEE Transactions on International Symposium on Computer and Control, 2012, pp. 678681.
- [14]. X. S. Yang, Nature Inspired Meta-heuristic Algorithms, LuniverPress,Backington, 2010. Divya S. Nair, Reshma S, “Optimal Coordination of Protective Relays”, International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013, pp. 239-244.