

ÁP DỤNG ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC) CHO BÀI TOÁN TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN VỚI HÀM MỤC TIÊU CỰC TIỂU CHI PHÍ VẬN HÀNH VÀ CHI PHÍ NGỪNG CẤP ĐIỆN

APLICATON ARTIFICIAL BEE CONOLY FOR RECONFIGURE DISTRIBUTION NETWORK FOR MINIMUM FUNCTION OPERATING COSTS AND COSTS OF POWER SUPPLY

Nguyễn Tùng Linh^{1,*},
Trương Việt Anh², Nguyễn Ngọc Quý³

TÓM TẮT

Trong lưới điện phân phối, bài toán tái cấu trúc lưới điện theo sự thay đổi của phụ tải với mục tiêu giảm tổn thất công suất đã phần nào làm giảm được chi phí vận hành của lưới điện, tuy nhiên sẽ ảnh hưởng đến độ tin cậy cung cấp điện của phụ tải. Do đó trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày phương pháp sử dụng thuật toán Artificial Bee Colony (ABC) cho bài toán tái cấu trúc lưới điện với hàm mục tiêu của bài toán là giảm chi phí vận hành và chi phí ngừng cấp điện trên lưới điện phân phối. Thuật toán Artificial Bee Colony (ABC) là một trong những thuật toán tối ưu toàn cục được phát triển bởi Karaboga vào năm 2009. Giải thuật này dựa trên việc nghiên cứu các hành vi bay đàn của đàn ong trong quá trình lấy mật. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm tra trên lưới điện mẫu của IEEE, kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng ABC cho bài toán tái cấu trúc đáng tin cậy có tính hiệu quả.

Từ khóa: Lưới điện phân phối; tổn thất công suất; độ tin cậy, thuật toán ABC, tái cấu trúc lưới điện.

ABSTRACT

The distribution network, the problem of grid restructuring according to the change of load to reduce power loss has partly reduced the operation cost of the grid but will affect. to the power supply reliability of the load. Therefore, in this study, we present the method of using Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for the problem of grid restructuring with the objective function of the problem is to reduce operating costs and stop costs. electricity on the distribution grid. The Artificial Bee Colony (ABC) algorithm is one of optimization algorithms developed by Karaboga in 2009. This algorithm is based on the study of the herd behavior of bees during honey collection. The effectiveness of the proposed method was tested on the sample grid of IEEE, the research results gave reliable results showing the use of ABC for the restructuring problem.

Keywords: Distribution network; power loss; reliability; ABC algorithm, reconfiguration distribution network.

¹Trường Đại học Điện lực

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

³Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email:linhnt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/3/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/6/2020

1. GIỚI THIỆU

Lưới điện phân phối (LĐPP) làm nhiệm vụ cung cấp điện năng đến các phụ tải tiêu thụ, được thiết kế kín nhưng vận hành hở bởi có nhiều ưu điểm so với vận hành kín như dễ dàng bảo vệ lưới, dòng sự cố nhỏ, dễ dàng điều chỉnh điện áp và phân bố công suất, tuy nhiên do vận hành ở mức điện áp thấp và dòng điện lớn, LĐPP thường có tổn thất công suất và độ sụt áp lớn [1]. Hàng năm tổn thất công suất trên lưới điện phân phối chiếm khoảng 5 - 6,5%, vì vậy việc giảm tổn công suất trên LĐPP là nhiệm vụ quan trọng.

Trong thực tế mục tiêu của bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối là đi tìm ra một cấu trúc lưới điện có những lợi ích về mặt kinh tế là lớn nhất nhưng vẫn đảm bảo về mặt kỹ thuật để lưới điện phân phối vận hành ổn định trong điều kiện vận hành bình thường cũng như sự cố. Những lợi ích về mặt kinh tế bao gồm cả chi phí tổn thất trên lưới điện, chi phí chuyển tải (đóng cắt các khóa điện) chi phí thiệt hại của khách hàng do bị ngừng cung cấp điện, và cả chi phí không bán được điện của công ty điện lực. Việc ngừng (gián đoạn) cung cấp điện cho khách hàng và công ty điện lực không bán được điện phụ thuộc nhiều vào độ tin cậy cung cấp điện của từng phần tử tạo nên cấu trúc lưới điện phân phối. Điều này thể hiện qua chỉ tiêu độ tin cậy cung cấp điện của lưới phân phối ENS (thiếu hụt năng lượng điện). Như vậy, đi tìm lời giải cho bài toán tái cấu trúc lưới để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cũng chính là tìm ra cấu trúc lưới phân có chi phí vận hành và chi phí ngừng cung cấp điện là bé nhất.

Bài toán tái cấu trúc LĐPP được đề xuất lần đầu vào năm 1975 bởi Merlin và Back [2]. Civanlar và cộng sự [3] sử dụng phương pháp trao đổi nhánh để giảm tổn thất công suất dựa trên việc chọn lựa các cặp khóa điện. Shirmohammadi và Hong [4] đề xuất phương pháp tái cấu trúc giảm tổn thất công suất dựa trên phương pháp của Merlin và Back. Tiếp theo đó là hướng nghiên cứu tập trung vào việc áp dụng các thuật toán (genetic algorithm - GA) [5-7], thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) [8-10], (Fireworks Algorithm - FWA) [11], thuật toán tìm kiếm Tabu

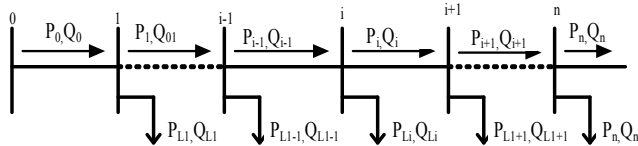
cải tiến (Improved Tabu Search - ITS hay Modified Tabu Search - MTS) [12, 13], (Harmony Search Algorithm - HSA) [12], thuật toán cạnh tranh để quốc cải tiến (Improved Adaptive Imperialist Competitive Algorithm - IAICA) [12] cho bài toán tái cấu trúc lưới điện. Đây là những phương pháp thường tiếp cận ngẫu nhiên mà không có các yêu cầu đặc biệt như tính liên tục của hàm mục tiêu và hiệu quả trong việc xử lý các bài toán tối ưu có ràng buộc [12]. Tuy nhiên, đối với các thuật toán heuristic tổng quát thì vấn đề cần quan tâm là chúng có thể rơi vào cực trị địa phương thay vì toàn cục và một số thuật toán lại yêu cầu một số lượng lớn các thông số cần điều chỉnh trong quá trình thực hiện. Vì vậy, trong lĩnh vực này việc ngăn ngừa sự hội tụ sớm vào cực trị địa phương của các thuật toán heuristic tổng quát thu hút được nhiều sự quan tâm của nhiều tác giả [12]. Bài báo này sử dụng thuật toán ABC cho bài toán tối ưu hàm mục tiêu giảm chi phí vận hành và chi phí ngưng cấp điện. Hiệu quả của ABC cho bài toán tái cấu trúc được kiểm tra trên lưới điện mẫu của IEEE. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc áp dụng thuật toán ABC cho kết quả tin cậy và tìm được cấu trúc tối ưu cho bài toán đặt ra.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

Một cấu trúc LĐPP được tái cấu trúc bằng cách mở các khóa phân đoạn và đóng các khóa chuyển mạch sao cho cấu trúc lưới điện vẫn là hình tia và tất cả các khách hàng đều được cung cấp điện. Do đó dòng công suất đi qua các nút, tổn thất công suất và độ tin cậy của lưới điện phân phối cũng thay đổi. Tái cấu trúc LĐPP thường được thực hiện để giảm quá tải trên đường dây, máy biến áp, giảm tổn thất công suất và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện gọi là giảm chi phí ngưng cấp điện.

2.1. Chi phí vận hành lưới điện phân phối

Giả sử sơ đồ đơn tuyến của một phát tuyến có dạng như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ đơn tuyến một phát tuyến

Công suất tác dụng và công suất phản kháng chạy trên nhánh (i+1) lần lượt được tính theo công suất gần đúng sau:

$$P_{i+1} = P_i - P_{Li+1} - R_{i,i+1} \left[\frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \right] \tag{1}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{Li+1} - X_{i,i+1} \left[\frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \right] \tag{2}$$

Tổn thất công suất tác dụng của một phần đường dây giữa nút i và nút i + 1:

$$\Delta P_{(i,i+1)} = R_{i,i+1} \left[\frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \right] \tag{3}$$

Giả sử công suất phản kháng và công suất phụ tải như trong đồ thị phụ tải như hình 2.

Hàm chi phí vận hành cho LĐPP một mùa trong năm.

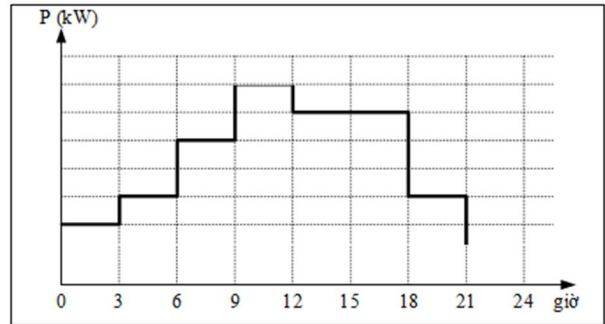
$$Cost_1 = C_0 \cdot m \cdot \sum_{j=1}^{24} \Delta P_j t_j = C_0 \cdot m \cdot \sum_{j=1}^n \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} t_j \tag{4}$$

trong đó:

ΔP_j : tổn thất công suất tác dụng tại thời điểm ij.

P_i, Q_i : công suất tác dụng và công suất phản kháng trên nhánh thứ i.

V_i : điện áp nút kết nối của nhánh trên nhánh thứ i.



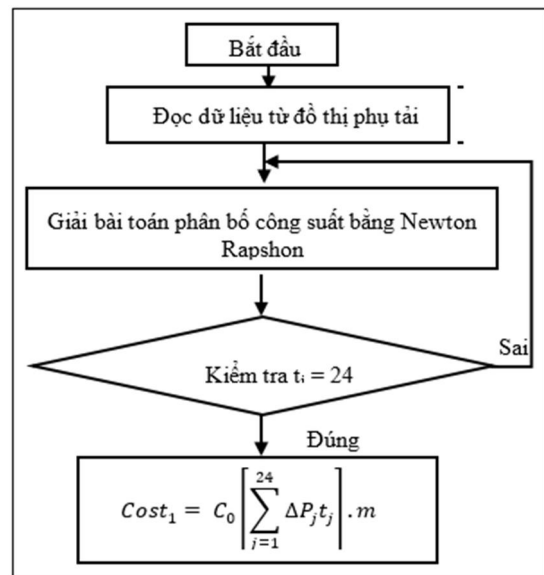
Hình 2. Đồ thị phụ tải hàng ngày của lưới điện trong một mùa

Điều kiện ràng buộc mà lưới điện phân phối phải thỏa mãn là điện áp và dòng điện phải duy trì trong giới hạn cho phép.

$$V_{i,min} \leq |V_i| \leq V_{i,max} \tag{5}$$

$$|I_i| \leq I_{i,max} \tag{6}$$

Lưu đồ tính chi phí vận hành LĐPP trong một mùa như hình 3.



Hình 3. Thuật toán tính chi phí vận hành trong một mùa /năm

Các bước thực hiện như sau:

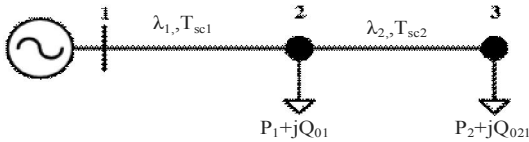
Bước 1: Đọc giá trị công suất tác dụng và công suất phản kháng từ đồ thị phụ tải.

Bước 2: Giải bài toán phân bố công suất theo phương pháp Newton Raphson tại thời gian t_j .

Bước 3: Kiểm tra xem đã phân bố công suất tại thời điểm $t_j = 24$ chưa? Nếu chưa thì quay lại bước 2, nếu đúng tính chi phí vận hành của lưới điện.

2.2. Chi phí ngừng cung cấp điện

Xét lưới điện đơn giản có một nguồn như hình 4.



Hình 4. Sơ đồ mạng một nguồn hai phụ tải

Giả sử mỗi trên mỗi đoạn lưới đều có thiết bị phân đoạn, thời gian mất điện của từng phụ tải:

$$T_{md1} = \lambda_1 T_{sc1}$$

$$T_{md2} = \lambda_2 T_{sc2} + T_{md1}$$

hay $T_{mdi} = \lambda_i T_{sci} + T_{mdi-1}$ (7)

Trong đó, $\lambda_i, T_{sci}, T_{mdi-1}$ lần lượt là cường độ sự cố, thời gian sự cố tại nút thứ i và thời gian ngừng điện từ nguồn, hoặc máy cắt tới nút thứ $i - 1$.

Điện năng không cung cấp điện được cho khách hàng lúc này là:

$$A = T_{md1} P_1 + T_{md2} P_2$$
 (8)

Bài toán tính chi phí ngừng điện của lưới điện phân phối có thể được tính thông qua chi phí thiệt hại do sự cố gây ra cho khách hàng bị gián đoạn cung cấp điện:

$$Cost_2 = C_1 A = C_1 \sum_{i=1}^n P_i \lambda_{sci} T_{sci}$$
 (9)

trong đó:

n là số phụ tải trong lưới điện.

C_1 là đơn giá điện năng khi ngừng cung cấp điện, hay còn gọi là đơn giá vi phạm hợp đồng cung cấp điện của phụ tải thứ i (\$/kwh), đơn giá này thường cao gấp nhiều lần so với đơn giá bán điện thông thường C_0 .

A là lượng điện năng không cung cấp được cho khách hàng.

P_i là công suất tác dụng tại nút thứ i (kW).

T_{sci} là thời gian sửa chữa của phụ tải thứ i (h).

λ_{sci} là cường độ sự cố của nút tải thứ trên tuyến dây (lần/năm).

Mô tả các bước thuật toán tính chi phí ngừng cung cấp điện (hình 5) như sau:

Bước 1: Nhập thông số lưới điện như (thông số nút, nhánh, cường độ và thời gian sự cố).

Bước 2: Nhập cấu trúc lưới điện hình tia (Cấu trúc này được thay đổi bằng cách thay đổi các khóa điện liên kết).

Bước 3: Tạo tập nguồn và tập tải từ cấu trúc lưới điện.

Bước 4: Tạo tập kết nối nguồn, tập tải từ cấu trúc lưới điện.

Bước 5: Thời gian ngừng điện từng kết nối

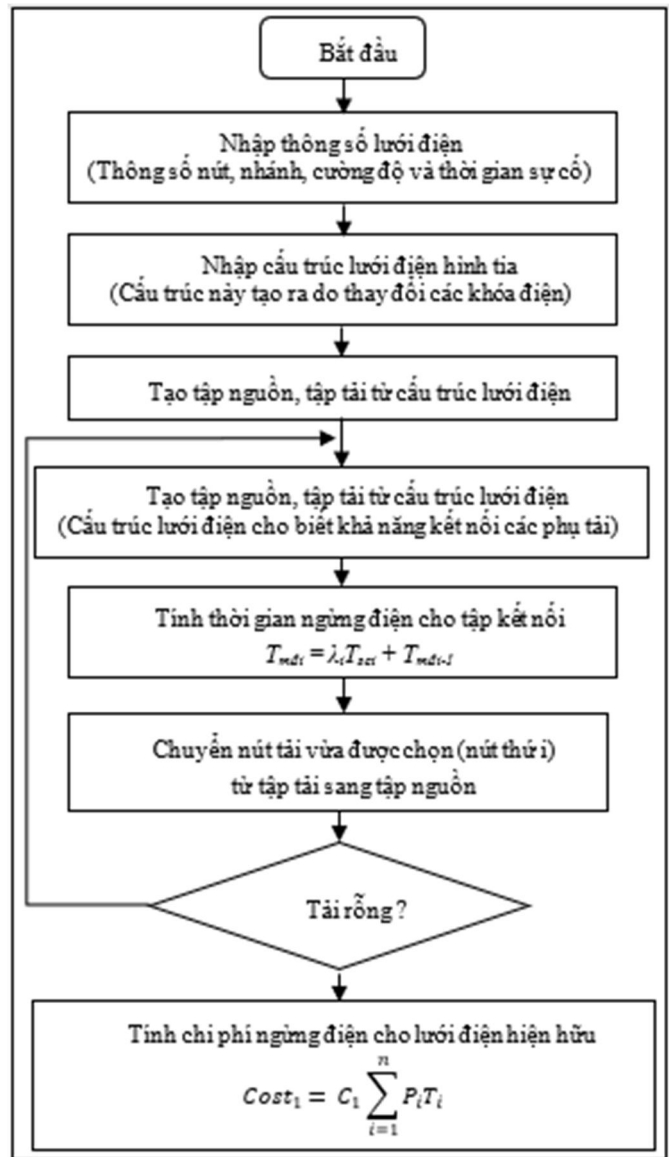
Bước 6: Chuyển tập tải vừa được chọn (nút thứ i) sang tập nguồn.

Bước 7: Kiểm tra lưới điện có phải là hình tia không?

- Nếu sai thì loại kết nối được tạo từ nguồn mới cập nhật và quay trở lại bước 4 thực hiện lại.

- Nếu đúng nhảy đến thực hiện bước 8.

Bước 8: Tính chi phí ngừng điện cấu trúc điện hiện hữu.



Hình 5. Thuật toán tính chi phí ngừng điện cho mỗi cấu trúc

2.3. Hàm mục tiêu của bài toán

Từ mục tiêu của bài toán giảm chi phí vận hành và chi phí ngừng cung cấp điện của khách hàng ta có thể đưa ra được hàm mục tiêu cho bài toán tái cấu trúc lưới có xét đến độ tin cậy cung cấp điện như sau:

$$COST = \min\{Cost_1 + Cost_2\}$$

$$= \min\{[\alpha_1 C_0 \sum_{j=1}^{24} \Delta P_j t_j].m + C_1 \sum_{i=1}^n P_i \lambda_{sci} T_{sci}\}$$
 (10)

trong đó:

m là số ngày khảo sát trong một năm.

P_i là công suất tiêu thụ tại nút thứ i (kW)

ΔP_j là tổng tổn thất công suất trên lưới điện tại thời điểm thứ j

t_j là thời gian khảo sát trong một ngày.

T_{sci} là thời gian sửa chữa phụ tải thứ i (h).

λ_{sci} là cường độ sự cố của nút tải thứ trên tuyến dây (lần/năm hoặc lần/mùa).

C_0 là đơn giá bán điện thông thường của một phụ tải thứ i (\$/kWh).

C_1 là đơn giá bán điện khi ngừng cung cấp của một phụ tải thứ i (\$/kWh).

α_1, α_2 là trọng số chọn lựa hàm mục tiêu.

3. ĐỀ XUẤT ÁP DỤNG GIẢI THUẬT ABC CHO BÀI TOÁN TÁI CẤU TRÚC LĐPP VỚI HÀM MỤC TIÊU GIẢM CHI PHÍ VẬN HÀNH VÀ CHI PHÍ NGỪNG CẤP ĐIỆN

Đề xuất áp dụng giải thuật ABC cho bài toán tái cấu trúc với hàm mục tiêu giảm chi phí vận hành và chi phí ngừng cấp điện.

3.1. Giới thiệu thuật toán ABC

Thuật toán đàn ong nhân tạo (ABC), được đề xuất bởi Karaboga để tối ưu hóa các vấn đề số trong [13], mô phỏng hành vi tìm kiếm thông minh của bầy ong mật, là một hướng tương đối mới trong trí thức bầy đàn. Sử dụng hành vi của các nhóm ong trong quá trình đi lấy mật bao gồm: Ong thợ, Ong trinh sát, ong thất nghiệp, hành vi của đàn ong mật sử dụng một số kĩ thuật như nhảy lúc lắc để xác định nguồn thức ăn tốt nhất và tìm các nguồn mới. Việc này khiến chúng trở thành phương án tốt cho việc phát triển thuật toán tìm kiếm thông minh mới.

3.1.1. Khởi tạo các vị trí nguồn thực phẩm [15]

Giới hạn của các nguồn thực phẩm x_{mi} được khởi tạo ($m = 1, \dots, SN$, SN là kích thước giới hạn). Từ mỗi nguồn thực phẩm, \vec{x}_m là một vector cho bài toán tối ưu hóa, mỗi \vec{x}_m vector giữ các giá trị x_{mi} ($i = 1, 2, \dots, n$) tương ứng với các tham số của một nghiệm của bài toán tối ưu hóa và n là số các tham số tối ưu. Nguồn khởi tạo được xác định bởi

$$x_{mi} = l_i + \text{rand}(0,1) \cdot (u_i - l_i) \tag{11}$$

trong đó: l_i và u_i là ràng buộc trên và ràng buộc dưới của tham số x_{mi} tương ứng.

3.1.2. Giai đoạn ong làm việc [15]

Ong làm việc đi tìm nguồn thức ăn mới (\vec{v}_m) có thêm mật hoa trong khu vực lân cận các nguồn thực phẩm (\vec{x}_m) trong bộ nhớ của chúng. Chúng tìm thấy một nguồn thức ăn lân cận và đánh giá giá trị nguồn thức ăn. Ví dụ, chúng có thể xác định một nguồn thức ăn lân cận (\vec{v}_m) sử dụng công thức (12) và đánh giá khả năng của mình bằng cách sử dụng phương trình (14).

$$v_{mi} = x_{mi} + \phi_{mi}(x_{mi} - x_{ki}) \tag{12}$$

trong đó:

\vec{x}_k là nguồn thực phẩm lựa chọn một cách ngẫu nhiên.

i là chỉ số tham số được chọn ngẫu nhiên.

ϕ_{mi} là một số ngẫu nhiên trong $[-a, a]$.

Sau khi tìm được nguồn thức ăn mới (\vec{v}_m), giá trị của nó được tính toán và lựa chọn được áp dụng giữa \vec{v}_m và \vec{x}_m

Giá trị có thể được áp dụng cho việc giải quyết các bài toán tối ưu tìm giá trị max hoặc giá trị min có điều kiện ràng buộc được áp dụng theo công thức sau:

$$f_{itm}(\vec{x}_m) = \begin{cases} 1 \\ 1 + f_m(\vec{x}_m) \\ 1 + \text{abs}(f_m(\vec{x}_m)) \end{cases} \tag{13}$$

trong đó: $f_m(\vec{x}_m)$, $f_m(\vec{x}_m)$ là giá trị chi phí của các hàm mục tiêu cho các giải pháp \vec{x}_m .

3.1.3. Ong giám sát [15]

Trong thuật toán ABC, một con ong giám sát chọn một nguồn thức ăn tùy thuộc vào các giá trị tính toán xác suất sử dụng thông tin có giá trị được cung cấp bởi ong làm việc. Với mục đích này, một phương pháp dựa trên kỹ thuật lựa chọn có thể được sử dụng.

Giá trị xác suất cho \vec{x}_m , p_m . Với \vec{x}_m được lựa chọn bởi một con ong giám sát có thể được tính bằng cách sử dụng biểu thức được đưa ra trong (14)

$$p_m = \frac{f_{itm}(\vec{x}_m)}{\sum_{m=1}^{SN} f_{itm}(\vec{x}_m)} \tag{14}$$

Sau khi một nguồn thực phẩm \vec{x}_m cho một con ong giám sát chọn, một nguồn khu vực lân cận \vec{v}_m được xác định bằng cách sử dụng công thức (12) và sau đó giá trị của nó là số lượng mật được xác định dựa trên việc mô tả hành vi. Như trong giai đoạn ong làm việc, một lựa chọn bộ nghiệm được lựa chọn thông qua giữa \vec{x}_m và \vec{v}_m .

3.1.4. Ong trinh sát [16]

Những con ong thất nghiệp chọn ngẫu nhiên các nguồn thực phẩm của chúng được gọi là scouts. Đầu tiên, trong thuật toán ABC, ong làm việc không tìm được giải pháp tốt hơn thông qua việc thử nghiệm thì nó trở thành những con ong scouts. Tiếp theo, chúng bắt đầu để tìm kiếm các giải pháp mới, ngẫu nhiên. Ví dụ, nếu các giải pháp x_m đã bị bỏ qua, những giải pháp mới được phát hiện bởi con ong scout của những người đã được những con ong làm việc của x_m có thể được xác định bằng công thức (12). Số lượng các lần thử nghiệm là một tham số quan trọng kiểm soát được gọi là "giới hạn hoặc tiêu chí bỏ qua".

3.1.5. Áp dụng thuật toán ABC cho các bài toán tối ưu

Các bài toán tối ưu với điều kiện ràng buộc (Constrained optimization) nhằm mục tiêu tìm ra vecto \vec{x} theo công thức (15) đảm bảo hàm mục tiêu $f(\vec{x})$ đạt giá trị min hoặc max với các điều kiện ràng buộc (16), (17), (18).

$$\text{Minimize } f(\vec{x}), \vec{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \in R^n \tag{15}$$

$$l_i \leq x_i \leq u_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{16}$$

Hàm ràng buộc

$$g_j(\vec{x}) \leq 0 \text{ với } j = 1, 2, \dots, q \tag{17}$$

$$h_j(\vec{x}) = 0 \text{ với } j = q + 1, \dots, m \tag{18}$$

Hàm mục tiêu $f(\vec{x})$ được xác định trên một không gian tìm kiếm, S được định nghĩa là không gian n chiều trong R^n

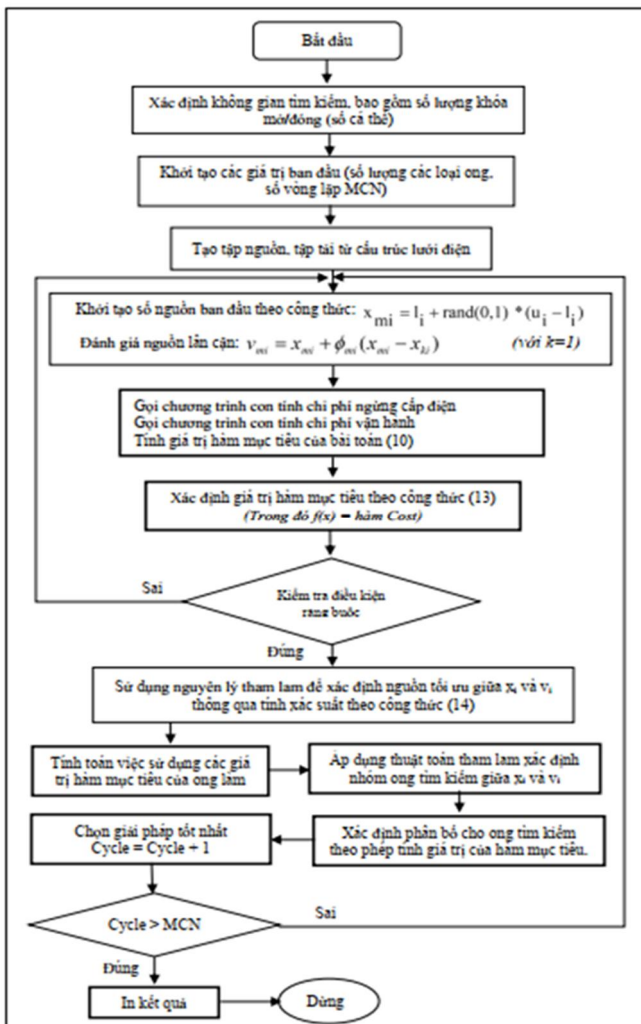
($S \subseteq R^n$) Miền của các biến được xác định bởi giới hạn dưới và trên của chúng (16).

Các bước của thuật toán ABC mô tả code [13]:

- 1: Inialization
- 2: Evaluation
- 3: cycle = 1
- 4: **repeat**
- 5: Employed Bees Phase
- 6: Calculate Probabilities for Onlookers
- 7: Onlooker Bees Phase
- 8: Scout Bees Phase
- 9: Memorize the best solution achieved so far
- 10: cycle = cycle + 1
- 11: **until** cycle = Maximum Cycle Number

3.2. Đề xuất giải thuật ABC cho bài toán tái cấu trúc lưới điện

Thuật toán ABC áp dụng cho bài toán tái cấu trúc lưới điện với hàm mục tiêu giảm chi phí vận hành và chi phí mất điện được trình bày trong hình 6.



Hình 6. Thuật toán tái cấu trúc LĐPP sử dụng ABC

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG

Bài toán tái cấu trúc giảm tổn thất công suất dựa trên áp dụng thuật toán ABC được kiểm tra trên LĐPP 33 nút. Chương trình tính toán được xây dựng dưới dạng "file.m" và chạy từ "Command Window" của phần mềm MATLAB trên máy tính có cấu trúc Intel Core i7 TM 7500 CPU @ 2.70 GHz, 1 CPU, Motherboard Aspire 4740, 8 GB DDR3 RAM, Hard Drive ST9250320AS (1TB), Windows 10 (64-bit).

Xét các trường hợp chi phí vận hành và ngừng cung cấp điện của lưới điện của một ngày mùa nắng và một ngày mùa mưa. Giả sử lưới điện vận hành trong mùa nắng thì cường độ sự cố và thời gian sửa chữa trên các tuyến dây bằng nhau và ngược lại lưới điện vận hành trong mùa mưa thì cường độ sự cố trên các tuyến dây là khác nhau, thời gian sửa chữa cũng khác nhau. Cục tiểu chi phí vận hành và chi phí ngừng điện được tính theo hàm mục tiêu (10). Lưới điện có đơn giá bán điện lúc vận hành bình thường là $C_0 = 0,1\$$ và đơn giá đền bù khi ngừng cung cấp điện là $C_1 = 0,5\$$. Để kiểm tra tính chính xác của giải thuật tối ưu trong trường ABC, vận hành lưới điện có ba trường hợp

Trường hợp 1: Vận hành lưới điện sao cho có chi phí vận hành lưới điện là thấp nhất sử dụng giải thuật ABC không xét đến chi phí ngừng cung cấp điện. Hay là bài toán tính chi phí vận hành là bé nhất. Hàm mục tiêu của bài toán lúc này là:

$$COST = \min \left\{ \left[C_0 \sum_{j=1}^{24} \Delta P_j t_j \right] \cdot 180 + 0 \cdot C_1 \sum_{i=1}^n P_i \lambda_{sci} T_{sci} \right\} \quad (19)$$

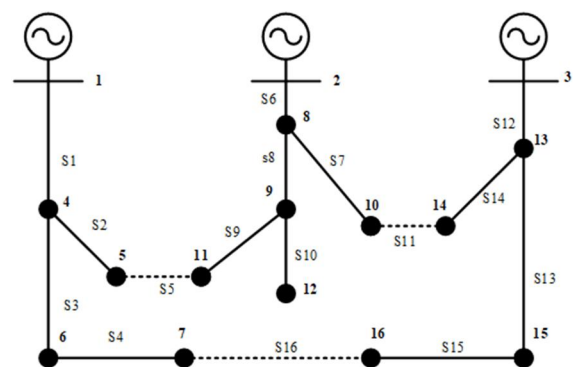
Chi phí vận hành của lưới điện là:

$$COST = \min \left\{ \left[C_0 \sum_{j=1}^{24} \Delta P_j t_j \right] \cdot 180 \right\} \quad (20)$$

Trường hợp 2: Lưới điện vận hành trong mùa nắng có cường độ sự cố trên các tuyến dây là bằng nhau và có cùng thời gian sửa chữa hay hàm mục tiêu có trọng số ưu tiên của hàm mục tiêu là $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

Trường hợp 3: Lưới điện vận hành trong mùa mưa có cường độ sự cố trên các tuyến dây là khác nhau và có cùng thời gian sửa chữa hay hàm mục tiêu có trọng số ưu tiên của hàm mục tiêu là $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

Mạng điện 3 nguồn của IEEE gồm 13 nút như hình 7.



Hình 7. Lưới điện IEEE có 3 nguồn có 16 nút

Mạng 3 nguồn tiêu chuẩn [9], được dùng để kiểm tra hai giải thuật, gồm có 3 thanh cái đầu nguồn, 13 nút phụ tải, điện áp 22,8kV, tổng công suất phụ tải là 28,7MW, các khóa mở ban đầu là S5, S11, S16 như hình 7 và đồ thị phụ tải của lưới điện được trình bày trong bảng 1 có 8 nấc thời gian trong một ngày và thời gian $t_j = 3$.

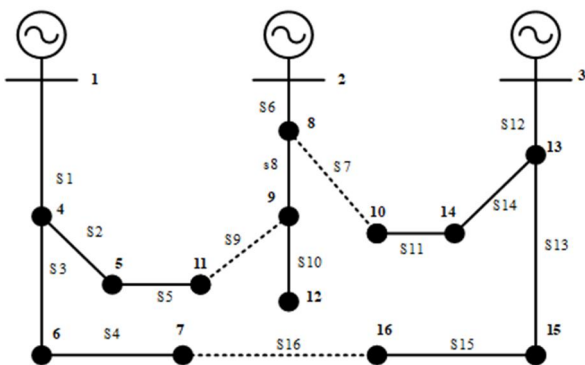
Bảng 1. Hệ số phụ tải tại các nút trong một ngày.

Nút	Đồ thị phụ tải trong một ngày							
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0,5
4	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
5	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
6	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
7	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
8	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
9	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
10	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
11	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
12	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
13	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
14	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
15	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5
16	0,6	0,8	1	1,1	1	1	0,6	0,5

Ta xét lưới điện trong 3 trường hợp sau:

Trường hợp 1: Vận hành lưới điện sao cho có chi phí vận hành lưới điện sử dụng giải thuật ABC không xét đến chi phí ngừng cung cấp điện theo hàm mục tiêu 16

Kết quả tính toán sau 20 vòng lặp và số vật thể ban đầu $n = 10$ cho biết được cực tiểu chi phí vận hành và ngừng cung cấp điện là $Cost = 148.350\$$ và khóa mở lúc này là S9, S7, S16 và $\Delta A = 1.483.500kWh$ và cấu hình lưới điện sau khi thực hiện tái cấu trúc lưới được thể hiện như hình 8.

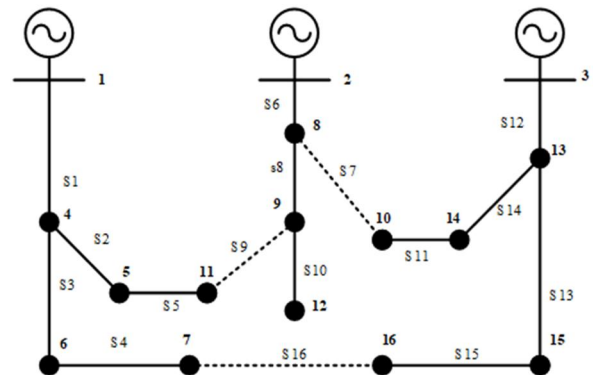


Hình 8. Cấu hình lưới điện sau khi tái cấu trúc trường hợp 1

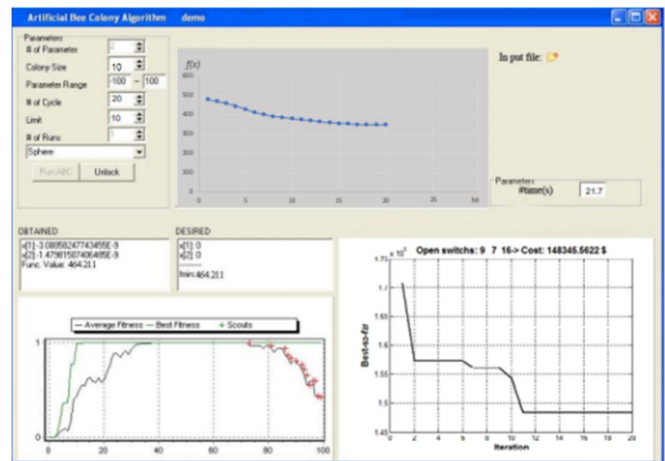
Trường hợp 2: Lưới điện vận hành trong mùa nắng nên ta giả thiết cường độ sự cố xảy ra trên các tuyến dây là bằng

nhau $\lambda_{sc} = 0,1$ (lần/mùa) với thời gian sửa chữa như nhau ($t_{sc} = 5$ giờ) và mức độ quan trọng các phụ tải là như nhau.

Với số vật thể ban đầu bằng 10, kết quả kiểm tra giải thuật ABC trong bài toán tái cấu trúc lưới điện sau 20 vòng lặp cho biết được cực tiểu chi phí vận hành và ngừng cung cấp điện cho khách hàng $Cost = 346.680\$$ và khóa mở S9, S7, S16 và $\Delta A = 1.483.500kWh$. Cấu hình lưới điện sau khi thực hiện tái cấu trúc lưới thể hiện ở hình 9 và độ hội tụ của hàm mục tiêu bài toán thể hiện hình 10.



Hình 9. Cấu hình lưới điện sau khi tái cấu trúc trường hợp 2



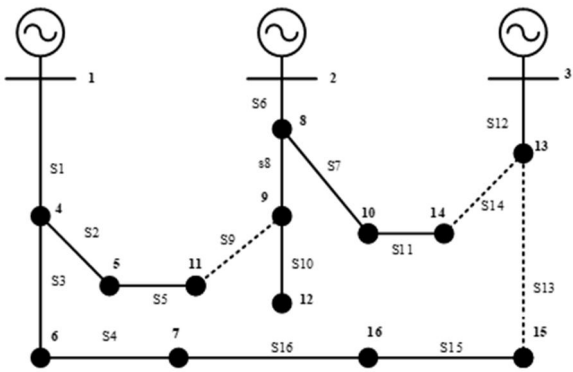
Hình 10. Độ hội tụ và giá trị của hàm mục tiêu trường hợp 2

Trường hợp 3: Lưới điện vận hành trong mùa mưa nên có thời gian ngừng điện trên các tuyến dây khác nhau, thể hiện ở bảng 2. Các tuyến còn lại có thời gian mất điện bằng 0.

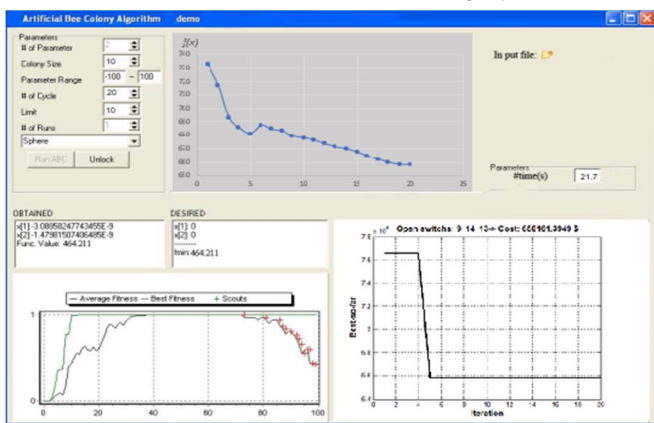
Bảng 2. Thời gian ngừng điện trên các tuyến dây trường hợp 3

Nhánh	Thời gian ngừng cấp điện (giờ)	Nhánh	Thời gian ngừng cấp điện (giờ)
1-4	0,5	8-9	0,5
2-8	0,5	9-11	0,5
3-13	20	9-12	0,5
4-5	0,5	8-10	0,5
4-6	0,5	10-14	20
5-11	0,5	13-14	20
6-7	0,5	13-15	0,5
7-16	0,5	15-16	0,5

Kết quả tính toán sau 20 vòng lặp và số vật thể ban đầu $n = 10$ cho biết được cực tiểu chi phí vận hành và ngừng cung cấp điện là $Cost = 658.160\$$ và khóa mở S9 S14 S13 và $\Delta A = 1.856.000kWh$. Cấu hình lưới điện sau khi thực hiện tái cấu trúc lưới thể hiện ở hình 11 và độ hội tụ của hàm mục tiêu bài toán thể hiện hình 12.



Hình 11. Cấu hình lưới điện sau khi tái cấu trúc trường hợp 3



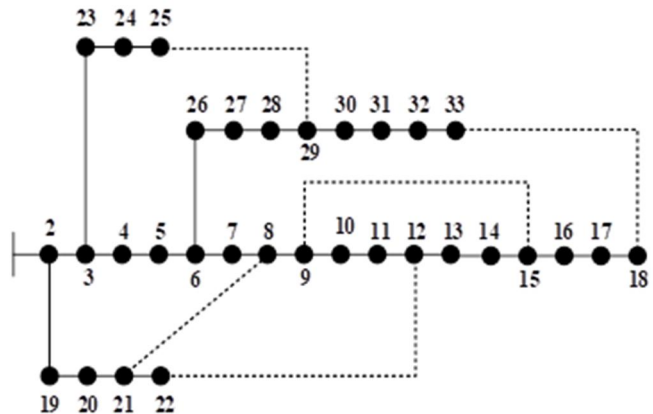
Hình 12. Độ hội tụ và giá trị của hàm mục tiêu trường hợp 3

Bảng 3. So sánh kết quả trước và sau khi tái cấu trúc lưới điện

	Chi phí theo hàm mục tiêu (\$/mùa)	Khóa mở	Tổn thất điện năng 1 mùa (kWh)
Ban đầu	TH1: 162.930 TH2: 357.960 TH3: 1.143.000	S5 S11 S16	1.629.300
Trường hợp 1	148.350	S9 S7 S16	1.483.500
Trường hợp 2	346.680	S9 S7 S16	1.483.500
Trường hợp 3	658.160	S9 S14 S13	1.856.000

Tổng tổn thất điện năng ban đầu 1.629.300kWh với khóa mở ban đầu là S5, S11, S16. Sau khi tái cấu trúc lưới điện thì tính được cực tiểu chi phí vận hành và chi phí ngừng cung cấp điện thì lưới điện vận hành trong trường hợp khác nhau. Nhận thấy lượng tổn thất điện năng trên lưới giảm đi 8,9% so với lượng tổn thất điện năng ban đầu. Riêng trong trường hợp 2 thì lượng tổn thất điện năng không giảm mà lại tăng lên nhiều (-13,9%) vì lúc này lưới điện có chi phí đền bù khi ngừng cung cấp điện lớn nên phải chấp nhận lượng tổn thất điện năng lớn để giảm chi phí cho hàm mục tiêu của bài toán. Tương tự kiểm tra trên

lưới mẫu IEEE có thông số: Lưới điện 33 nút 1 nguồn (hình 13), thông số được thể hiện trong [9]. Giả thiết rằng thời gian sự cố trên tất cả các tuyến dây bằng nhau và bằng 1 giờ/năm. Cấu hình ban đầu với tổng công suất phụ tải là 3,72MW, có các khóa mở là S33, S34, S35, S36, S37 tương ứng và tổn thất điện năng ban đầu $\Delta A = 900.320kWh$.



Hình 13. Lưới phân phối mẫu IEEE - 33 nút

Tương tự ta cũng xét lưới điện vận hành trong 3 trường hợp và cho kết quả như trong bảng 4.

Bảng 4. So sánh kết quả trước và sau khi tái cấu trúc lưới điện

	Chi phí theo hàm mục tiêu (\$/mùa)	Khóa mở	Tổn thất điện năng 1 mùa (kWh)
Ban đầu	TH1: 90.032 TH2: 306.190 TH3: 354.750	S33,S34,S35,S36,S37	900.320
Trường hợp 1	60.007	S7,S37,S9,S14,S32	600.070
Trường hợp 2	228.740	S7, S28,S10,S14,S32	607.770
Trường hợp 3	310.390	S33,S28,S10,S14,S36	654.290

Tổng tổn thất điện năng lưới điện ban đầu là 900.320kWh ứng với các khóa mở là S33, S34, S35, S36, S37. Sau khi tái cấu trúc lưới điện thì tính được cực tiểu chi phí vận hành và chi phí ngừng cung cấp điện. Nhận thấy lượng tổn thất điện năng trên lưới giảm đi 33,34% và 32,49% ứng với trường hợp 1 và 3 so với lượng tổn thất ban đầu. Riêng trong trường hợp 2 thì lượng tổn thất công suất có lớn hơn trong trường hợp 1 và 3 là vì lúc này lưới điện có chi phí đền bù khi ngừng cung cấp điện lớn nên phải chấp nhận lượng tổn thất điện năng lớn để giảm chi phí cho hàm mục tiêu của bài toán.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, thuật toán ABC đã được áp dụng thành công để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP. Phương pháp đề xuất đã được kiểm tra trên hệ thống 13 và 33 nút được xét trong 3 trường hợp với tần suất mất điện khác nhau để đánh giá ảnh hưởng đến hàm chi phí. Kết quả tính toán cho thấy chất lượng giải pháp thu được đưa ra được phương án tái cấu trúc tối ưu đảm bảo chi phí vận hành là bé nhất. Đây là bài toán tái cấu trúc lưới điện với mục tiêu xét đến ảnh

hưởng của cung cấp điện trong quá trình vận hành lưới điện. Vì vậy đây là công cụ tiềm năng và hiệu quả để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP có thể áp dụng trong vận hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. Gopiya Naik, D. K. Khatod, and M. P. Sharma, 2013. *Optimal allocation of combined DG and capacitor for real power loss minimization in distribution networks*. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 53, pp. 967–973.
- [2]. A. Merlin and H. Back, 1975. *Search for a minimal loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system*. Proceeding in 5th power system computation conf (PSCC), Cambridge, UK, vol. 1, pp. 1–18.
- [3]. S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, 1988. *Distribution feeder reconfiguration for loss reduction*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 3, Issue 3.
- [4]. D. Shirmohammadi and H. W. Hong, 1989. *Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction*. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498.
- [5]. P. Subburaj, K. Ramar, L. Ganesan, and P. Venkatesh, 2006. *Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction using Genetic Algorithm*. Journal of Electrical Systems, vol. 2, no. 4, pp. 198–207.
- [6]. K. K. Kumar, N. Venkata, and S. Kamakshaiyah, 2012. *FDR particle swarm algorithm for network reconfiguration of distribution systems*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 36, no. 2, pp. 174–181.
- [7]. T. M. Khalil and A. V Gorpinich, 2012. *Reconfiguration for Loss Reduction of Distribution Systems Using Selective Particle Swarm Optimization*. International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, vol. 3, no. 6, pp. 16–21.
- [8]. A. Y. Abdelaziz, S. F. Mekhamer, F. M. Mohammed, and M. a L. Badr, 2009. *A Modified Particle Swarm Technique for Distribution Systems Reconfiguration*. The online journal on electronics and electrical engineering (OJEEE), vol. 1, no. 1, pp. 121–129.
- [9]. A. Mohamed Imran and M. Kowsalya, 2014. *A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement using Fireworks Algorithm*. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 62, pp. 312–322.
- [10]. R. S. Rao, S. Venkata, L. Narasimham, M. R. Raju, and a S. Rao, 2011. *Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm*. IEEE Transaction on Power System, vol. 26, no. 3, pp. 1080–1088.
- [11]. A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohamed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, 2010. *Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm*. Electric Power Systems Research, vol. 80, no. 8, pp. 943–953.
- [12]. S. H. Mirhoseini, S. M. Hosseini, M. Ghanbari, and M. Ahmadi, 2014. *A new improved adaptive imperialist competitive algorithm to solve the reconfiguration problem of distribution systems for loss reduction and voltage profile improvement*. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 55, pp. 128–143.
- [13]. Karaboga D., Basturk B., 2007. *Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization Problems*. LNCS: Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing, Vol: 4529/2007, pp: 789–798, SpringerVerlag, IFSA 2007.

[14]. Nguyen Tung Linh, Nguyen Quynh Anh 2010. *Application artificial bee colony algorithm (ABC) for reconfiguring distribution network*. 2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation (IEEE), pp 102–106, DOI 10.1109/ICCMS.2010.306.

[15]. Nguyen Tung Linh, Dong D.X, 2013. *Optimal Location and Size of Distributed Generation in Distribution System by Artificial Bees Colony Algorithm*. International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 3, No. 1, ISSN: 2010 – 3719 (pp 63–67) DOI:10.7763/IJEE.2013.V3.267.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Tung Linh¹, Truong Viet Anh², Nguyen Ngoc Quy³

¹Electric Power University

²Ho Chi Minh City University of Technology and Education

³Hanoi University of Industry