TÁI CẤU HÌNH LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI GIẢM TỔN THẤT CÔNG SUẤT SỬ DỤNG THUẬT TOÁN RUNNER ROOT

A METHOD TO RECONFIGURE DISTRIBUTION NETWORK FOR MINIMIZING POWER LOSS USING RUNNER ROOT ALGORITHM

Nguyễn Tùng Linh², Nguyễn Thanh Thuận¹

¹Trường Đại học Điện lực, ²Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh Ngày nhận bài: 29/10/2019, Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2019, Phản biện: TS. Lê Tiên Phong

Tóm tắt:

Bài báo trình bày phương pháp tái cấu trúc lưới điện phân phối (LĐPP) sử dụng thuật toán tối ưu Runner Root Algorithm (RRA). Hàm mục tiêu của bài toán là giảm tổn thất công suất tác dụng trên LĐPP. RRA là thuật toán tối ưu mới được phát triển lấy ý tưởng từ sự nhân giống của một số loài thực vật có thân bò lan vốn sinh sản qua các đốt thân và phát triển rễ tại các đốt thân để hút nước và chất khoáng. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm tra trên LĐPP 33 nút. Kết quả được so sánh với giải thuật di truyền liên tục (CGA), cuckoo search (CSA) và một số nghiên cứu đã thực hiện cho thấy RRA là phương pháp hiệu quả để giải bài toán tái cấu trúc.

Từ khóa:

Lưới điện phân phối, tổn thất công suất, thuật toán tối ưu runner root.

Abstract:

This paper presents a method to reconfigure distribution networks using the runner root algorithm (RRA). The objective function is designed to reduce active power loss in the distribution network. RRA is a newly developed optimal algorithm inspired by the propagation of a number of plant species that have a cow stalk that spawns through the stem segments and grows roots at the stem segments to absorb water and minerals. The effectiveness of the proposed method is tested on the 33-node system. The compared results with continuous genetic algorithm (CGA), cuckoo search (CSA) and other methods in the literature show that RRA is an effective method to solve the problems related to network reconfiguration.

Keywords:

Distribution network, power loss, runner root algorithm.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Vận hành hở lưới điện phân phối (LĐPP) có nhiều ưu điểm so với vận hành kín như là 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]. Vì vậy, giảm tổn thất công suất trên LĐPP là một trong những nhiệm vụ quan trọng trong vận hành LĐPP. Trong đó, tái cấu trúc LĐPP là một trong những biện pháp hiệu quả để giảm tổn thất công suất do nó không yêu cầu chi phí đầu tư trang thiết bị mà nó được thực hiện thông qua việc thay đổi trạng thái các khóa điện trên LĐPP.

Bài toán tái cấu trúc LĐPP được đề xuất lần đầu vào năm 1975 bởi Merlin và Back [2]. Trong nghiên cứu này, kỹ thuật tối ưu nhánh và biên được sử dung để xác đinh cấu trúc lưới có tổn thất bé nhất. Ban đầu tất cả các khóa điện được đóng lai để tao thành lưới điện kín, sau đó các khóa điện lần lượt được mở để khôi phục lại cấu trúc hình tia. 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. Ý tưởng của phương pháp là trong một vòng kín, một khóa điện đang mở sẽ được thay thế bằng một khóa đóng để giảm tổn thất công suất. Khóa được chon là khóa có mức giảm tổn thất công suất lớn nhất. Shirmohammadi và Hong [4] đề xuất phương pháp tái cấu trúc giảm tổn thất công suất dựa trên phương pháp của Merlin và Back. Trong phương pháp này, trên mô hình mạng thuần trở, ban đầu tất cả các khóa điên được đóng lại sau đó lần lượt các khóa điên có dòng điên bé nhất được mở cho đến khi lưới điên trở thành hình tia. Những phương pháp trên có đặc điểm chung là dựa trên các tiêu chuẩn kỹ thuật và không sử dung bất kỳ thuật toán tối ưu nào nhưng cố gắng tìm ra một giải pháp tốt bằng các quy trình kỹ thuật. Sau hơn ba thập niên thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu cùng với sư phát triển

lấy ý tưởng từ sự nhân giống của một số

mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật máy tính, cho đến nay nhiều phương pháp heuristic tổng quát đã được áp dụng để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP và đã đạt được nhiều kết quả như giải thuật di truyền (Genetic Algorithm - GA) [5]-[7], thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) [8]-[10]. Ngoài ra, trong những năm gần đây một số thuật toán tối ưu tổng quát mới được phát triển cũng đã được áp dụng thành công khi giải bài toán tái cấu trúc như thuật toán pháo hoa (Fireworks Algorithm - FWA) [11], thuật toán tìm kiếm Tabu cải tiến (Improved Tabu Search - ITS hav Modified Tabu Search - MTS) [12], [13], thuật toán tìm kiếm hài hòa (Harmony Search Algorithm - HSA) [12], thuật toán cạnh tranh đế quốc cải tiến (Improved Adaptive Competitive Imperialist Algorithm - IAICA) [14]. 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 hiêu quả trong viêc xử lý các bài toán tối ưu có ràng buộc [15]. 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, bài toán ngăn ngừa sự hội tụ sớm vào cực tri đia phương của các thuật toán heuristic tổng quát thu hút được nhiều sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu [15].

Thuật toán RRA là một thuật toán

heuristic tổng quát mới được phát triển

loài thực vật có thân bò lan. Trong tự nhiên, thực vật có thân bò lan sinh sản qua các đốt thân và phát triển rễ tại các đốt thân để hút nước và chất khoáng [16]. RRA hoạt động dựa trên hai cơ chế riêng rẽ phục vụ cho việc khai phá và khai thác. Để tìm kiếm khai phá, RRA được trang bị hai công cụ bao gồm các bước nhảy ngẫu nhiên của cây con so với cây mẹ và cơ chế khởi động lại thuật toán. Công cụ đầu tiên giúp RRA di chuyển đến các điểm khác nhau trong không gian tìm kiếm, công cụ thứ hai giúp RRA tăng cơ hội tìm kiếm được điểm tối ưu toàn cục. Để thực hiện tìm kiếm khai thác, RRA cũng được trang bị hai công cụ bao gồm cơ chế phát triển của rễ lớn và rễ nhỏ và cơ chế chon lọc các cá thể ưu tú. Công cụ đầu tiên giúp RRA tìm kiếm không gian xung quanh giải pháp tối ưu nhất, trong khi đó công cụ thứ hai đảm bảo rằng giải pháp tốt nhất của thế hê này được truyền qua thế hệ sau. Trong [16], RRA đã cho thấy những đặc điểm vượt trội so với PSO, Differential Evolution (DE) và thuật toán đàn ong nhân tạo (Artificial Bee Colony -ABC). Bài báo này RRA được đề xuất giải bài toán tái cấu trúc giảm tổn thất công suất trên LĐPP. Hiệu quả của RRA cho bài toán tái cấu trúc được kiểm tra trên LĐPP 33 nút. Kết quả thu được từ RRA được so sánh với các phương pháp sử dụng giải thuật di truyền với biến liên tuc (Continuous Genetic Algorithm -CGA), giải thuật cuckoo search (cuckoo search algorithm - CSA) và các nghiên cứu đã thực hiên.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

Tổn thất công suất (ΔP) của cấu trúc lưới

 X^{th} được xác định bằng tổng tổn thất công suất trên các nhánh:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \times \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}\right) \tag{1}$$

Trong đó, N_{br} là tổng số nhánh trên lưới phân phối. R_i là tổng trở của nhánh thứ ith. P_i và Q_i lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng trên nhánh i^{th} . V_i là điện áp cuối nhánh i^{th} .

Quá trình tái cấu trúc phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc:

• Giới hạn điện áp các nút và dòng điện trên các nhánh: Trong suốt quá trình thực hiện tái cấu trúc, các ràng buộc về vận hành phải được đảm bảo:

$$V_{min,cp} \le V_j \le V_{max,cp} \tag{2}$$

$$0 \le I_i \le I_{max,cp,i} \tag{3}$$

Trong đó, V_j và I_i là điện áp tại nút j^{th} và dòng điện trên nhánh i^{th} .

• Cấu trúc lưới hình tia của LĐPP: Do LĐPP luôn được vận hành hình tia, nên đây được xem như một trong những ràng buộc đẳng thức của bài toán. Trong ràng buộc này, tất cả các nút tải phải được cấp điện và cấu trúc vận hành hình tia phải được duy trì.

3. TÁI CẦU TRÚC LĐPP GIẢM TỔN THẤT CÔNG SUẤT SỬ DỤNG RRA

Bước 1: Lựa chọn thông số

Tương tự như các thuật toán tối ưu khác, một số thông số điều khiển cần được chọn như quần thể cây mẹ (N), số biến điều khiển hay các khóa điện mở (dim), số vòng lặp lớn nhất (*iter_{max}*). Ngoài ra, RRA cần có một số thông số như độ dài của thân (d_{ru}), độ dài của rễ (d_{ro}), số vòng lặp để khởi động lại giải thuật (*Stall_{max}*), sự thay đổi tương đối của giá trị hàm thích nghi trong hai vòng lặp liên tiếp (*tol*).

Bước 2: Khởi tạo ngẫu nhiên các cây mẹ

Trong quá trình tái cấu trúc LĐPP sử dụng RRA, mỗi cấu trúc hình tia được xem như một cây mẹ (X_{mo}). Mỗi cây mẹ thể hiện một vector giải pháp của các biến được cho như sau:

$$X_{mo} = [X_1, X_2, \dots, X_{dim}]$$
(4)

Trong đó, $X_1, X_2, ..., X_{dim}$ là các khóa điện được mã hóa bởi thứ tự của chúng trong các vòng cơ sở 1th, 2th,..., và vòng dim^{th} . Giá trị của Xi là một số nguyên nằm trong khoảng từ một đến kích thước của vector vòng cơ sở ith.

Vì vậy, bắt đầu giải thuật quần thể cây mẹ được khởi tạo ngẫu nhiên như sau:

$$X_{mo,k} = fr[X_{l,d} + r.(X_{h,d} - X_{l,d})]$$
 (5)

Với $X_{l,d} = 1$ và $X_{h,d}$ kích thước của vector vòng cơ sở d^{th} ; *r* là số ngẫu nhiên trong khoảng [0, 1]; $k = 1 \div N$; $d = 1 \div dim$. *fr* là hàm làm tròn số về số nguyên gần nhất.

Bước 3: Tạo ra các cây con

Tại mỗi vòng lặp, ngoại trừ cây mẹ đầu tiên trong quần thể mỗi cây mẹ khác sinh ra ngẫu nhiên một cây con (X_{da}). Cây mẹ đầu tiên trong quần thể được thay thế bởi cây con tốt nhất của vòng lặp trước đó.

$$X_{da,k}(i) = \begin{cases} X_{da,best}(i-1) , k = 1 \\ fr[X_{mo,k}(i) + d_{ru}.r], k = 2, ..., N \end{cases}$$
(6)

Từ quần thể cây con, các điều kiện ràng buộc được kiểm tra và giá trị hàm thích nghi của mỗi cây được tính và cây con có hàm thích nghi tốt nhất tại vòng lặp hiện tại được tìm thấy và được gọi là ($X_{da,best}$ (*i*)).

Bước 4: Tìm kiếm cục bộ với bước lớn và nhỏ

Mục đích của bước này là sinh ra những cây con mới xung quanh cây tốt nhất và cập nhật cây tốt nhất. Trong bước này, hai thủ tục tìm kiếm cục bộ được thực hiện, thủ tục thứ nhất tạo ra các con với khoảng cách lớn từ cây tốt nhất đến các cây con mới được thực hiện trước và thủ tục thứ hai tạo ra các con với khoảng cách nhỏ từ cây tốt nhất đến các cây con mới được thực hiện sau. Tuy nhiên, hai thủ tục này không được áp dụng cho tất cả các vòng lặp mà nó phụ thuộc vào sự so sánh giữa giá trị *tol* và chỉ số cải thiện tương đối *RI* được tính toán như sau:

$$RI = \left| \frac{f(X_{da,best}(i-1)) - f(X_{da,best}(i))}{f(X_{da,best}(i-1))} \right|$$
(7)

Trong đó, $f(X_{da,best}(i-1))$ và $f(X_{da,best}(i))$ lần lượt là giá trị thích nghi của cây con tốt nhất của vòng lặp trước và vòng lặp hiện tại.

Khi *RI* lớn hơn *tol*, quá trình tính toán sẽ di chuyển xuống bước 5 để tiếp tục quá trình tìm kiếm toàn cục. Ngược lại, hai thủ tục tìm kiếm cục bộ sẽ lần lượt được thực hiện để cập nhật cây con tốt nhất như sau:

Tìm kiếm cục bộ với bước lớn: Thủ tục

này nhằm tạo ra dim cây mới bằng cách sửa lần lượt từng phần tử của cây con tốt nhất hiện hữu như sau:

$$X_{pe,d} = fr[vec\{1, ..., 1 + d_{ru}. r_d, 1, ..., 1\}. X_{da,best}(i)]$$
(8)

Với $vec\{1, ..., 1 + d_{ru}, r_d, 1, ..., 1\}$

là vector với tất cả các phần tử bằng một ngoại trừ phần tử d_{th} được cho bằng $1 + d_{ru} \cdot r_d$ với r_d là số ngẫu nhiên trong khoảng [0,1].

Từ dim cây con mới được tạo ra, giá trị hàm thích nghi của mỗi cây được tính toán. Cuối cùng, cây tốt nhất ($X_{da,best}$) được cập nhật lại nếu trong dim cây con mới có cây có giá trị hàm thích nghi tốt hơn cây con tốt nhất hiện hữu.

Tìm kiếm cục bộ với bước nhỏ: Tương tự như thủ tục tìm kiếm cục bộ với bước lớn, trong bước này dim cây con mới cũng sẽ được tạo ra như sau:

$$X_{pe,d} = fr[vec\{1, ..., 1 + d_{ro}, r_d, 1, ..., 1\}. X_{da, best}(i)]$$
(9)

Lưu ý rằng d_{ru} trong biểu thức (8) được thay thế bằng d_{ro} trong (9). Trong đó d_{ro} nhỏ hơn nhiều so với d_{ru} .

Tương tự, từ dim cây con mới được tạo ra, giá trị hàm thích nghi của mỗi cây được tính toán. Cuối cùng, cây tốt nhất $(X_{da,best})$ được cập nhật lại một lần nữa.

Bước 5: Tạo ra các cây mẹ cho thế hệ sau

Tại giai đoạn cuối của mỗi vòng lặp, quần thể cây mẹ sử dụng cho thế hệ tiếp theo được chọn giữa các cây con sinh ra ở bước 3 và cây con tốt nhất sử dụng phương pháp bánh xe roulette.

Sự thích nghi của các cây con được tính toán như sau:

$$f\left(X_{da}^{k}(i)\right) = \frac{1}{a + f\left(X_{da}^{k}(i)\right) - f\left(X_{da,best}^{k}(i)\right)} \quad (10)$$

Trong đó a là một hằng số dương nhỏ.

Xác suất một cây con k^{th} được chọn cho thế hệ sau được xác định bằng biểu thức (11). Khi đó, phương pháp bánh xe roulette được sử dụng để chọn các cây mẹ từ các cây con trên.

$$p_k = \frac{f\left(X_{da}^k(i)\right)}{\sum_{j=1}^{N} f\left(X_{da}^j(i)\right)} \tag{11}$$

Bước 6: Thoát khỏi giải pháp cực trị địa phương

Để tránh một giải pháp cực trị địa phương mà thuật toán có thể bị bẫy vào, một biến đếm sẽ được tăng một đơn vị nếu sự cải thiện của hàm thích nghi của cây tốt nhất giữa hai vòng lặp liên tiếp nhỏ hơn *tol*, ngược lại biến đếm này sẽ được đặt bằng không. Nếu giá trị của biến đếm bằng *Stall_{max}*, thuật toán sẽ được khởi động lại bằng cách khởi tạo ngẫu nhiên quần thể cây mẹ tương tự như ở bước 2 ngược lại thuật toán sẽ di chuyển đến bước 3.

Bước 7: Điều kiện dừng giải thuật

Quá trình tạo ra cây con từ cây mẹ và quá trình cây con trở thành cây cây mẹ lần lượt được thực hiện cho đến khi số vòng lặp (*iter*) đạt đến số vòng lặp lớn nhất (*iter_{max}*). Sơ đồ các bước thực hiện của phương pháp tái cấu trúc LĐPP sử dụng thuật toán RRA được trình bày ở hình 1.



Hình 1. Sơ đồ các bước tái cấu trúc LĐPP sử dụng RRA

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Bài toán tái cấu trúc giảm tổn thất công suất dựa trên RRA 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 i3 M 330 @ 2.13GHz, 1 CPU, 2 cores per CPU, Motherboard Aspire 4740, 2GB DDR3 RAM, Hard Drive ST9250320AS (250GB), Windows 7 SP1 (32-bit). Thông số của RRA sử dụng tính toán là số cây mẹ N = 20; vòng lặp lớn nhất $iter_{max} = 150$; sự thay đổi tương đối giá trị hàm thích nghi tốt nhất trong hai vòng lặp tol = 0.01; số vòng lặp để khởi động lại thuật toán $Stall_{max} = 50$. Do bởi số lượng khóa mở ban đầu trên lưới 33 là 5 nên kích thước của vector giải pháp của hệ thống được chọn là dim = 5.

LĐPP 33 nút với 37 nhánh, 32 khóa điện thường đóng và 5 khóa điện thường mở được sử dụng để kiểm tra phương pháp đề nghị. Thông số đường dây và phụ tải của hệ thống được sử dụng trong [17] và sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được mô tả như hình 2. Ngoài ra, tổn thất công suất ban đầu, điện áp nút thấp nhất và dòng điện định mức của các nhánh lần lượt là 202.69 kW, 0.9131 p.u và 255 A.



Hình 2. LĐPP IEEE 33 nút

Ngoài ra, để đảm bảo sự công bằng trong so sánh, hai phương pháp tái cấu trúc sử dụng thuật toán di truyền với các biến liên tục CGA [18] và thuật toán tìm kiểm CSA [19] được thực hiện trên cùng một máy tính. CGA dựa trên cơ chế chọn lọc tự nhiên sử dụng biến số thực là một thuật toán heuristic tổng quát nổi tiếng và nó phù hợp với bài toán mà các biến điều khiển là liên tục. CSA là thuật toán mới được phát triển lấy ý tưởng từ đặc điểm sinh sản ký sinh của một số loài chim tu hú. Cả hai thuật toán đã được áp dụng thành công vào các bài toán tái cấu trúc, trong đó CGA đã được sử dụng trong các nghiên cứu [20], [21], [22], [23] và CSA cũng đã chứng minh được khả năng của mình trong các nghiên cứu [24], [25]. Các thông số điều khiển của CGA và CSA được cài đặt trong phạm vi cho phép và giá tri tối ưu nhất được lưa chon qua nhiều lần thực hiện. Kết quả, tỉ lệ chọn loc tư nhiên và tỉ lê đột biến của CGA lần

lượt được xác định là 0.5 và 0.2 trong khi đối với CSA, xác suất phát hiện trứng lạ trong tổ của chim chủ là 0.2. Các thông số khác của hai thuật toán như kích thước quần thể, kích thước vector biến điều khiển và số vòng lặp lớn nhất được chọn tương tự như RRA.

Hiệu quả của phương pháp đề xuất được trình bày trong bảng 1. Tổn thất công suất trên hệ thống đã giảm từ 202.69 kW trong cấu trúc ban đầu xuống 139.55 kW trong cấu trúc tối ưu. Điện áp nút thấp nhất cũng được cải thiện từ 0.9131 p.u. đến 0.9378 p.u. Bảng 1 cũng cho thấy, kết quả thực hiện bằng RRA bằng với kết quả thực hiện từ các phương pháp HBB-BC [26], MOIWO [27], HSA [28] và PSO [29] nhưng tốt hơn kết quả thực hiện bằng các phương pháp ACO [30] và FWA [11]'.

Phương pháp	Khóa mở	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ		Thời gian
		Max	Min	Mean	STD	Mean	STD	(s)
RRA	7, 14, 9, 32, 37	139.55	139.55	139.55	8.6e-14	38.10	21.34	48.17
CGA	7, 14, 9, 32, 37	146.19	139.55	139.78	1.2121	54.63	29.86	39.26
CSA	7, 14, 9, 32, 37	140.28	139.55	139.58	0.1328	83.63	34.25	72.58

Bảng 1. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LĐPP 33 nút

Điện áp các nút sau khi thực hiện tái cấu trúc được cho ở hình 3. Hình vẽ cho thấy điện áp tất cả các nút đã được cải thiện đáng kể sau khi tái cấu trúc. Hệ số mang tải trên các nhánh trên LĐPP 33 nút được ở hình 4 cho thấy không có nhánh nào vi phạm ràng buộc về dòng điện.



Hình 3. Biên độ điện áp trước và sau tái cấu trúc trên LĐPP 33 nút

Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng - trường đại học điện lực (ISSN: 1859 – 4557)



Hình 4. Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau tái cấu trúc trên LĐPP 33 nút

Để so sánh RRA với CGA và CSA, bài toán tái cấu trúc được chạy 50 lần độc lập. Giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình và độ lệch chuẩn của hàm thích nghi cũng như vòng lặp hội tụ được so sánh ở bảng 2. Từ bảng 2 cho thấy, kết quả thực hiện bằng phương pháp đề xuất tốt hơn hai phương pháp so sánh ở giá trị vòng lặp hội tụ. Mặc dù cả ba phương pháp đều tìm được giá trị hàm thích nghi nhỏ nhất và giá trị trung bình của hàm thích nghi của ba phương pháp dầu trụ trung bình của RRA là 38.1, trong khi đó đối với CGA và CSA lần lượt là 54.63 và 83.63.



Hình 5. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 33 nút trong sau 50 lần chạy

Về thời gian tính toán, RRA mất 48.17 s để giải bài toán, chậm hơn CGA 8.91 s và nhanh hơn CSA 24.41 s. Mặc dù mất nhiều thời gian tính toán hơn so với CGA, nhưng rõ ràng thời gian tính toán trên được tính cho 150 vòng lặp trong khi đó RRA hội tụ sau 39 vòng lặp nhưng CGA hội tụ sau 55 vòng lặp. Đặc tính hội tụ trung bình và nhỏ nhất của RRA, CGA và CSA trên hệ thống 33 nút được cho trong hình 5 cho thấy đường đặc tính trung bình của RRA luôn thấp hơn CGA và CSA.

		•						
Phương pháp	Khóa mở	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ		Thời gian
		Max.	Min.	Mean	STD	Mean	STD	(s)
RRA	7, 14, 9, 32, 37	139.55	139.55	139.55	8.6e-14	38.10	21.34	48.17
CGA	7, 14, 9, 32, 37	146.19	139.55	139.78	1.2121	54.63	29.86	39.26
CSA	7, 14, 9, 32, 37	140.28	139.55	139.58	0.1328	83.63	34.25	72.58

Bảng 2. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LĐPP 33 nút

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, thuật toán RRA đã được áp dụng thành công để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP. Hàm mục tiêu của bài toán là giảm tổn thất công suất tác dụng. Phương pháp đề xuất đã được kiểm tra trên hệ thống 33 nút. Kết quả tính toán cho thấy chất lượng giải pháp thu được có chất lượng tốt hơn so với thuật toán CGA và CSA với giá trị lớn nhất, trung bình và độ lệch chuẩn của hàm thích nghi trong 50 lần chạy độc lập bé hơn so với CGA và CSA. Ngoài ra, phương pháp RRA có khả năng tìm được cấu trúc vận hành LĐPP với số vòng lặp nhỏ hơn nhiều so với phương pháp CGA và CSA. Vì vậy đây là công cụ tiềm năng và hiệu quả để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Gopiya Naik, D.K. Khatod, and M.P. Sharma, "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, 2013.
- [2] A. Merlin and H. Back, "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, 1975.
- [3] S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin, and S.S.H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, 1988.
- [4] D. Shirmohammadi and H.W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498, 1989.
- [5] J.Z. Zhu, "Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 62, no. 1, pp. 37–42, 2002.
- [6] R.T. Ganesh Vulasala, Sivanagaraju Sirigiri, "Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Unbalanced Distribution System Using Genetic Algorithm," *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 12, pp. 754–762, 2009.
- [7] P. Subburaj, K. Ramar, L. Ganesan, and P. Venkatesh, "Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction using Genetic Algorithm," *Journal of Electrical Systems*, vol. 2, no. 4, pp. 198–207, 2006.
- [8] K.K. Kumar, N. Venkata, and S. Kamakshaiah, "FDR particle swarm algorithm for network reconfiguration of distribution systems," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 36, no. 2, pp. 174–181, 2012.
- [9] T.M. Khalil and A.V. Gorpinich, "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, 2012.
- [10] A.Y. Abdelaziz, S.F. Mekhamer, F.M. Mohammed, and M. a L. Badr, "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, 2009.
- [11] A. Mohamed Imran and M. Kowsalya, "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, 2014.
- [12] R.S. Rao, S. Venkata, L. Narasimham, M.R. Raju, and a S. Rao, "Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm," *IEEE Transaction on Power System*, vol. 26, no. 3, pp. 1080–1088, 2011.

Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng - trường đại học điện lực (ISSN: 1859 – 4557)

- [13] A.Y. Abdelaziz, F.M. Mohamed, S.F. Mekhamer, and M.A.L. Badr, "Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 8, pp. 943–953, 2010.
- [14] S.. Mirhoseini, S.M. Hosseini, M. Ghanbari, and M. Ahmadi, "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, 2014.
- [15] A.R. Jordehi, "Optimisation of electric distribution systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 1088–1100, 2015.
- [16] F. Merrikh-Bayat, "The runner-root algorithm: A metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature," *Applied Soft Computing*, vol. 33, pp. 292–303, 2015.
- [17] M.E. Baran and F.F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2. pp. 1401–1407, 1989.
- [18] R.L. Haupt and S.E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, Second. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [19] X.S. Yang and S. Deb, "Cuckoo search via Lévy flights," in 2009 World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, NABIC 2009 - Proceedings, 2009, pp. 210–214.
- [20] J. Mendoza, R. López, D. Morales, E. López, P. Dessante, and R. Moraga, "Minimal loss reconfiguration using genetic algorithms with restricted population and addressed operators: Real application," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 948–954, 2006.
- [21] N. Gupta, a. Swarnkar, K.R. Niazi, and R.C. Bansal, "Multi-objective reconfiguration of distribution systems using adaptive genetic algorithm in fuzzy framework," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 4, no. 12, p. 1288, 2010.
- [22] N. Gupta, A. Swarnkar, and K.R. Niazi, "Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, pp. 664–671, 2014.
- [23] J.C. Cebrian and N. Kagan, "Reconfiguration of distribution networks to minimize loss and disruption costs using genetic algorithms," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 1, pp. 53–62, 2010.
- [24] T.T. Nguyen and A.V. Truong, "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 68, pp. 233–242, 2015.
- [25] T.T. Nguyen, A.V. Truong, and T.A. Phung, "A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 78, pp. 801–815, 2016.
- [26] M. Sedighizadeh, S. Ahmadi, and M. Sarvi, "An Efficient Hybrid Big Bang–Big Crunch Algorithm for Multi-objective Reconfiguration of Balanced and Unbalanced Distribution Systems in Fuzzy Framework," *Electric Power Components and Systems*, vol. 41, no. 1, pp. 75–99, 2013.
- [27] D. Sudha Rani, N. Subrahmanyam, and M. Sydulu, "Multi-Objective Invasive Weed Optimization An application to optimal network reconfiguration in radial distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 73, pp. 932–942, 2015.

- [28] R.S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S.V.L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 317–325, 2013.
- [29] A.Y. Abdelaziz, F.M. Mohammed, S.F. Mekhamer, and M.A.L. Badr, "Distribution Systems Reconfiguration using a modified particle swarm optimization algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 79, pp. 1521–1530, 2009.
- [30] Y.K. Wu, C.Y. Lee, L.C. Liu, and S.H. Tsai, "Study of reconfiguration for the distribution system with distributed generators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, pp. 1678–1685, 2010.
- [31] H.D. Dehnavi and S. Esmaeili, "A new multiobjective fuzzy shuffled frog-leaping algorithm for optimal reconfiguration of radial distribution systems in the presence of reactive power compensators," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 21, no. 3, pp. 864–881, 2013.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Thanh Thuận tốt nghiệp đại học năm 2008; nhận bằng Thạc sĩ năm 2012; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2018 tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới điện phân phối, lưới điện truyền tải, năng lượng tái tạo.



Tác giả Nguyễn Tùng Linh tốt nghiệp đai học ngành hệ thống điện năm 2005, nhận bằng Thạc sĩ năm 2010 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; bảo vệ luận án Tiến sĩ ngành kỹ thuật điều khiển tự động hóa năm 2018 tại Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện, ứng dụng AI cho hệ thống điện, lưới điện phân phối, tự động hóa hệ thống điện, lưới điện phân phối.

Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng - trường đại học điện lực (ISSN: 1859 – 4557)