

Ứng dụng thuật toán tìm kiếm nhóm tính toán phân bố công suất tối ưu trong hệ thống điện

Trương Hoàng Bảo Huy, Võ Ngọc Điều *

Tóm tắt—Vận hành kinh tế của hệ thống máy phát điện là một trong những vấn đề phổ biến trong hệ thống năng lượng. Trong bài báo này, một thuật toán mới được đề xuất đó là thuật toán tìm kiếm nhóm (Search group algorithm - SGA) để giải quyết các bài toán phân bố công suất tối ưu (Optimal power flow - OPF). Thuật toán này được thử nghiệm trên hệ thống IEEE 30 nút và IEEE 118 nút. Các trường hợp đó bao gồm hàm chi phí nhiên liệu máy phát cơ bản, hàm chi phí đa nhiên liệu, hàm chi phí có xét điểm van công suất. Kết quả mô phỏng được so sánh với một số thuật toán tối ưu nổi tiếng để nhấn mạnh sự hiệu quả của thuật toán SGA trong việc giải quyết các bài toán OPF khác nhau với các hàm mục tiêu phức tạp.

Từ khóa—Phân bố công suất tối ưu, phương pháp tìm kiếm nhóm, hiệu ứng điểm van, đa nhiên liệu.

1 GIỚI THIỆU

Có ba vấn đề thường được đề cập trong tài liệu hệ thống điện: dòng chảy công suất, điều độ kinh tế, và phân bố công suất tối ưu. Điều độ kinh tế (Economic dispatch - ED), áp dụng một số công thức để xác định chi phí điều độ máy phát thấp nhất để thỏa mãn các yêu cầu tổng phụ tải, tuy nhiên các công thức được đơn giản hóa hoặc thậm chí bỏ qua các ràng buộc dòng điện. Phân bố công suất tối ưu (Optimal power flow - OPF) ban đầu đã được đề xuất của học giả người Pháp Carpentier

năm 1962 [1]. Kể từ đó, OPF trở thành một trong những hàm mục tiêu quan trọng trong hoạt động, sản xuất, kiểm soát và giám sát năng lượng trong hệ thống năng lượng điện hiện đại [1,2].

Mục đích của bài toán OPF nhằm tìm một điểm vận hành ở trạng thái xác lập của các máy phát điện trong hệ thống sao cho cực tiểu tổng chi phí vận hành đồng thời thỏa mãn các cân bằng công suất và các ràng buộc hệ thống như công suất thực và công suất phản kháng của máy phát, điện áp nút, máy biến áp, hệ thống tụ bù và giới hạn đường dây truyền tải. Thông thường, các kỹ thuật lập trình toán học có thể giải quyết bài toán này. Tuy nhiên, ngày nay do có sự kết hợp các thiết bị FACTS trong hệ thống, điểm van công suất hay máy phát sử dụng đa nhiên liệu đã làm cho bài toán OPF trở nên phức tạp hơn và các kỹ thuật lập trình toán học không phải là giải pháp tốt nhất [3]. Vì vậy mà bài toán OPF đã được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới và luôn cần có một thuật toán mạnh mẽ và hiệu quả hơn để giải quyết các vấn đề phức tạp đó.

Bài toán OPF đã được giải quyết bởi rất nhiều phương pháp truyền thống trước đây. Chẳng hạn như phương pháp lập trình tuyến tính (1979), phương pháp Newton (1992), phương pháp điểm nội (1998) và lập trình động (2001). Frank và cộng sự [4] đã trình bày một khảo sát toàn diện về ứng dụng của các phương pháp truyền thống để giải quyết bài toán OPF. Nhìn chung, các phương pháp cổ điển các thể tìm được lời giải tối ưu nhưng vẫn còn nhiều hạn chế đối với các bài toán có không gian tìm kiếm lớn. Một số hạn chế như không đảm bảo việc tìm kiếm tối ưu toàn cục, tính toán các bài toán phức tạp với thời gian dài và không phù hợp khi có các biến rời rạc [4].

Ngày nhận bản thảo: 31-5 -2017, ngày chấp nhận đăng: 28 -10-2017

Trương Hoàng Bảo Huy, Võ Ngọc Điều - Khoa Điện-Điện tử, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM.

E-mail: vndieu@hcmut.edu.vn

Trong vài thập kỷ qua, nhiều phương pháp tìm kiếm Metaheuristic đã được phát triển mạnh mẽ và đã cho thấy khả năng giải quyết được các bài toán phức tạp. Một số thuật toán Meta-heuristics gần đây cho bài toán OPF như: Particle Swarm Optimization (PSO) [3], Backtracking Search Algorithm (BSA) [5], Differential Evolution (DE) [6], Genetic Algorithm (GA) [7], Artificial Bee Colony (ABC) [8] và Biogeographic Based Optimization (BBO) [9]. Tuy nhiên do sự biến thiên của các hàm mục tiêu khi giải quyết các bài toán OPF, không có thuật toán nào là tốt nhất trong việc giải quyết tất cả các vấn đề của bài toán OPF. Vì vậy, luôn luôn có nhu cầu cho một thuật toán mới mà hiệu quả có thể giải quyết được phần lớn các vấn đề mà bài toán OPF đặt ra.

Trong bài báo này sẽ giới thiệu một thuật toán Metaheuristic mới, đó là thuật toán Search Group Algorithm được đề xuất ứng dụng vào bài toán phân bố công suất tối ưu. Mục tiêu chính của thuật toán này là cân bằng giữa quá trình tìm kiếm và khai thác miền tìm kiếm. Hiệu quả của SGA được chứng minh thông qua các thử nghiệm trên hệ thống IEEE 30 nút và IEEE 118 nút. Trong đó hệ thống IEEE 30 nút được thử nghiệm trên các hàm mục tiêu khác nhau bao gồm hàm bậc hai, hiệu ứng điểm van công suất và đa nhiên liệu.

2 BÀI TOÁN OPF

Trong bài toán OPF, các biến được xác định bao gồm các biến điều khiển và biến trạng thái. Các biến điều khiển bao gồm công suất thực tại các nút máy phát trừ máy phát nút chuẩn, điện áp tại các nút máy phát, tỷ số máy biến áp, và công suất phản kháng tại các bộ tụ bù. Các biến trạng thái bao gồm công suất thực tại máy phát nút chuẩn, điện áp tại các nút tải, công suất phản kháng của các máy phát, và dòng công suất trên các đường dây truyền tải. Ngoài ra, bài toán OPF còn bao gồm các ràng buộc đẳng thức là các phương trình dòng công suất và các ràng buộc bất đẳng thức là giới hạn của các biến điều khiển và biến trạng thái [3]. Bài toán OPF tổng quát được hình thành như một phương trình tối ưu như sau:

$$\text{Min } f(x, u) \quad (1)$$

Phụ thuộc các giới hạn:

$$g(x, u) = 0 \quad (2)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (3)$$

Trong đó, u là tập hợp các biến điều khiển (biến độc lập), x là tập hợp các biến trạng thái (biến phụ thuộc), $f(x, u)$ là hàm mục tiêu cần tối ưu hóa, $g(x, u)$ là thiết lập các giới hạn đẳng thức, $h(x, u)$ là thiết lập các giới hạn bất đẳng thức.

Bài toán OPF được mô tả chi tiết như sau:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{N_g} F_i(P_{gi}) \quad (4)$$

Trong đó hàm chi phí nhiên liệu $F_i(P_{gi})$ của máy phát i có thể là một trong các dạng sau đây:

- **Hàm chi phí bậc hai:** Chi phí nhiên liệu của mỗi nhà máy nhiệt điện được biểu diễn bằng một hàm bậc hai theo công suất thực phát ra:

$$F_i(P_{gi}) = a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (5)$$

trong đó a_i, b_i, c_i là các hệ số chi phí nhiên liệu máy phát thứ i .

- **Hiệu ứng điểm van:** Hiệu ứng điểm van trong nòng hơi nhà máy nhiệt điện được mô tả bằng một biểu thức hàm sin cộng thêm vào hàm bậc hai:

$$F_i(P_{gi}) = a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + \left| e_i \times \sin \left(f_i \times (P_{gi, \min} - P_{gi}) \right) \right| \quad (6)$$

trong đó e_i, f_i là các hệ số đặc trưng cho điểm van công suất.

- **Đa nhiên liệu:** Một máy phát có thể sử dụng nhiều loại nhiên liệu khác nhau như than đá, khí gas hoặc dầu hỏa và được mô tả bằng một hệ gồm nhiều hàm chi phí bậc hai tương ứng các trường hợp là giới hạn hiện thời của công suất thực:

$$F_i(P_{gi}) = a_{ik} + b_{ik} P_{gi} + c_{ik} P_{gi}^2 \quad (7)$$

$$\text{với } P_{gik}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gik}^{\max}$$

trong đó a_{ik}, b_{ik}, c_{ik} là hệ số chi phí nhiên liệu của máy phát thứ i với nhiên liệu k .

Biến điều khiển u và biến trạng thái x của bài toán OPF được xác định như sau.

Biến điều khiển

Tập hợp các biến có thể điều chỉnh để đáp ứng phương trình dòng công suất tải. Tập hợp các biến điều khiển trong bài toán OPF:

- Công suất thực của máy phát ngoại trừ nút chuẩn P_{gi}

- Điện áp tại máy phát V_{gi}

- Nấc phân áp của máy biến áp T_k

- Công suất phản kháng tại các tụ bù Q_{ci}

Vector của các biến điều khiển là:

$$u = \left[P_{g2}, \dots, P_{gN_g}, V_{g1}, \dots, V_{gN_g}, T_1, \dots, T_{N_t}, Q_{c1}, \dots, Q_{cN_c} \right]^T \quad (8)$$

Biến trạng thái

Tập hợp các biến mô tả trạng thái đặc trưng của hệ thống. Tập hợp các biến trạng thái trong bài toán OPF:

- Công suất thực phát ra của máy phát tại nút chuẩn P_{gi}

- Công suất phản kháng của máy phát Q_{gi}

- Điện áp tại nút tải V_{ti}

- Dòng công suất biểu kiến qua đường dây truyền tải S_l

Vector của các biến trạng thái là:

$$x = \left[P_{g1}, Q_{g1}, \dots, Q_{gN_g}, V_{t1}, \dots, V_{tN_d}, S_{l1}, \dots, S_{lN_l} \right]^T \quad (9)$$

Các giới hạn của bài toán OPF có thể được phân loại thành giới hạn đẳng thức và giới hạn bất đẳng thức.

- **Giới hạn đẳng thức:** Giới hạn công suất thực và kháng:

$$P_{gi} - P_{di} = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j \left[G_{ij} \cos(\theta_{ij}) + B_{ij} \sin(\theta_{ij}) \right] \quad (10)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j \left[G_{ij} \sin(\theta_{ij}) + B_{ij} \cos(\theta_{ij}) \right] \quad (11)$$

trong đó N_b là số nút, $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$, G_{ij} và B_{ij} là phần tử ma trận tổng dẫn $(Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij})$ tương ứng là điện dẫn và dung dẫn tại nút i và j .

- **Giới hạn bất đẳng thức:**

Giới hạn nút máy phát: Công suất thực và công suất phản kháng và điện áp tại nút máy phát phải nằm trong giới hạn:

$$P_{gi,min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,max}; \quad i = 1, \dots, N_g \quad (12)$$

$$Q_{gi,min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,max}; \quad i = 1, \dots, N_g \quad (13)$$

$$V_{gi,min} \leq V_{gi} \leq V_{gi,max}; \quad i = 1, \dots, N_g \quad (14)$$

trong đó N_g là số nút máy phát.

Giới hạn hệ thống tụ bù: Công suất phản kháng phát ra của các tụ bù phải nằm trong giới hạn:

$$Q_{ci,min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci,max}; \quad i = 1, \dots, N_c \quad (15)$$

trong đó N_c là số tụ bù.

Giới hạn máy biến áp: Bộ điều áp tại mỗi máy biến áp cũng phải nằm trong giới hạn:

$$T_{k,min} \leq T_k \leq T_{k,max}; \quad i = 1, \dots, N_t \quad (16)$$

trong đó N_t là số máy biến áp.

Giới hạn an ninh: Điện áp tại mỗi nút phụ tải và dòng công suất qua đường dây truyền tải không được vượt quá giới hạn:

$$V_{li,min} \leq V_{li} \leq V_{li,max}; \quad i = 1, \dots, N_d \quad (17)$$

$$S_l \leq S_{l,max}; \quad i = 1, \dots, N_l \quad (18)$$

trong đó, N_d là số nút phụ tải, S_l là trào lưu công suất cực đại giữa nút i và nút j được xác định theo công thức:

$$S_l = \max \left\{ |S_{ij}|, |S_{ji}| \right\} \quad (19)$$

Các ràng buộc bất cân bằng của các biến phụ thuộc như độ lớn điện áp nút phụ tải, công suất thực và công suất phản kháng của nút máy phát, dòng công suất biểu kiến qua đường dây có thể đưa vào hàm mục tiêu như một hàm phạt bậc hai. Biểu thức toán học của hàm phạt được thể hiện như sau:

$$\begin{aligned}
Penalty &= K_p \sum_{i=1}^{N_g} (P_{gi} - P_{gi}^{lim})^2 \\
&+ K_p \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{gi} - Q_{gi}^{lim})^2 + K_v \sum_{i=1}^{N_d} (V_{li} - V_{li}^{lim})^2 \quad (20) \\
&+ K_s \sum_{i=1}^{N_l} (S_l - S_l^{lim})^2
\end{aligned}$$

trong đó K_p, K_q, K_v, K_s là các hệ số phạt ràng buộc tương ứng cho công suất thực và công suất kháng máy phát, điện áp tại các nút tải, và giới hạn truyền tải đường dây.

x^{lim} là giới hạn của các biến trạng thái x được xác định như sau:

$$x^{lim} = \begin{cases} x^{max}; & x > x^{max} \\ x^{min}; & x < x^{min} \end{cases} \quad (21)$$

3 ÁP DỤNG THUẬT TOÁN TÌM KIẾM NHÓM

Thuật toán tìm kiếm nhóm (SGA) là một thuật toán nhằm mục đích có một sự cân bằng tốt giữa việc tìm kiếm và khai thác miền thiết kế. Cả hai thành phần này rất quan trọng để có được một kết quả tối ưu toàn cục. Ý tưởng cơ bản là trong các lần lặp lại đầu tiên của quá trình tối ưu hóa các SGA cố gắng tìm kiếm các khu vực triển vọng trên các miền xác định (tìm kiếm), và qua các lần lặp, SGA tinh lọc các thiết kế tốt nhất trong mỗi khu vực có triển vọng (khai thác). Quá trình tối ưu gồm hai giai đoạn: toàn cục và cục bộ. Chi tiết của SGA có thể tìm trong Gonçalves et al [10].

Để giải quyết bài toán OPF, vị trí mỗi phần tử đại diện cho biến điều khiển được xác định như sau:

$$x_d = \left\{ \begin{array}{l} P_{g1d}, \dots, P_{gN_g d}, \quad V_{g1d}, \dots, V_{gN_g d}, \\ T_{1d}, \dots, T_{N_l d}, \quad Q_{c1d}, \dots, Q_{cN_c d} \end{array} \right\} \quad (22)$$

Với $d = 1, \dots, n_{pop}$

Trong đó x_d là vị trí của phần tử d và n_{pop} là số phần tử của tập hợp.

Hàm mục tiêu cần tối ưu trong được xây dựng dựa trên cơ sở hàm chi phí nhiên liệu máy phát và hàm phạt của các biến phụ thuộc, bao gồm công suất thực phát ra tại máy phát nút chuẩn, công suất phản kháng phát ra tại các nút máy phát, điện áp tại các nút tải, và dòng công suất biểu kiến trên các

đường dây tải điện. Hàm mục tiêu được xác định như sau:

$$FF = \sum_{i=1}^{N_g} F_i(P_{gi}) + Penalty \quad (23)$$

Tổng quát các bước của thuật toán SGA để giải quyết bài toán OPF:

Bước 1: Khởi tạo các tham số của thuật toán: $k=0, it^{max}, it^{global}, \alpha^k, b, n_{pop}, n_g, n_{mut}, t, \epsilon, \nu$ và các hệ số hàm phạt K_p, K_q, K_v, K_s .

Bước 2: Khởi tạo các giới hạn trên và giới hạn dưới của các biến điều khiển bao gồm: công suất thực tại nút máy phát trừ nút chuẩn, điện áp nút máy phát, công suất phản kháng phát ra của tụ bù và nấc phân áp của máy biến áp.

Bước 3: Tạo tập hợp ngẫu nhiên ban đầu P gồm n_{pop} cá thể bằng hàm rand.

Bước 4: Áp dụng Newton-Raphson tính phân bố công suất cho n_{pop} cá thể. Tính giá trị hàm mục tiêu cho từng cá thể. Xếp hạng các cá thể theo giá trị hàm mục tiêu tính được.

Bước 5: Tạo nhóm tìm kiếm ban đầu R^k chọn n_g cá thể từ tập hợp ban đầu bằng cách sử dụng một lựa chọn “giải đấu”.

Bước 6: Thay thế n_{mut} cá thể bởi các phần tử mới được tạo ra.

Bước 7: Tạo các “gia đình” F_i .

Bước 8: Chọn nhóm tìm kiếm mới theo nguyên tắc:

- Nếu $k < it^{global}$: giai đoạn toàn cục, nhóm tìm kiếm R^{k+1} được hình thành bởi các phần tử tốt nhất của mỗi gia đình;
- Nếu không: giai đoạn cục bộ, nhóm tìm kiếm R^{k+1} được hình thành bởi n_g cá thể tốt nhất của tập hợp.

Bước 9: Cập nhật α^{k+1} theo Phương trình (3.4);

Bước 10: Cập nhật $k=k+1$, nếu $k \geq it^{max}$, đi đến bước 9, nếu không quay lại Bước 6;

Bước 11: Kết quả: $x^* = R_l$ (hàng đầu tiên của nhóm tìm kiếm).

4 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG.

Trong nghiên cứu này, thuật toán SGA được áp dụng trên 2 hệ thống kiểm tra đó là hệ thống IEEE 30 nút và hệ thống IEEE 118 nút.

4.1 Hệ thống IEEE 30 nút

Hệ thống IEEE 30 nút với 6 máy phát, 24 nút phụ tải, và 41 đường dây. Các máy phát được đặt ở các nút 1, 2, 5, 8, 11 và 13 và 4 máy biến áp được đặt ở nút 11, 12, 15 và 36. Hệ thống có 9 tụ bù đặt ở nút 10, 12, 15, 17, 20, 21, 23, 24 và 29. Dữ liệu chi tiết được lấy từ Matpower 5.1 [11]. Hệ thống tổng công suất phát là 435.0 MW và có 24 biến điều khiển. Các hệ số chi phí nhiên liệu được sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ [3].

Để đánh giá hiệu quả của thuật toán SGA, với mỗi trường hợp, 30 lần chạy độc lập được tiến hành, kết quả thu được bao gồm giá trị nhỏ nhất, giá trị trung bình, giá trị lớn nhất và độ lệch chuẩn được so sánh với các kết quả của các thuật toán khác bao gồm Backtracking Search Optimization (BSA), Particle Swarm Optimization (PSO), Differential Evolution (DE), Artificial Bee Colony (ABC). Kết quả chi tiết của từng thuật toán lấy từ [5].

Trường hợp 1: Hàm mục tiêu tối ưu chi phí nhiên liệu bậc 2

Bảng 1. So sánh kết quả tốt nhất của trường hợp 1 hệ thống 30 nút giữa các thuật toán.

Thuật toán	Giá trị nhỏ nhất (\$/h)	Giá trị trung bình (\$/h)	Giá trị lớn nhất (\$/h)	Độ lệch chuẩn (\$/h)
SGA [10]	798,9559	799,0202	799,1636	0,0385
BSA [5]	799,0760	799,2721	799,6240	0,1357
DE [6]	799,0376	799,3047	801,5552	0,6624
PSO [3]	800,9310	-	-	-
GA [7]	800,1636	802,6876	806,2791	1,7071
ABC [8]	799,0541	799,6945	802,6327	0,8145
BBO [9]	799,1267	801,1927	803,1429	1,0251

Trường hợp đầu tiên nghiên cứu là trường hợp cơ bản, trong đó bao gồm việc tối ưu chi phí nhiên liệu máy phát được thể hiện bằng hàm bậc hai. Do đó, hàm mục tiêu của trường hợp này là:

$$FF = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2) + Penalty \quad (24)$$

Chi phí nhiên liệu máy phát tối ưu thu được là 798,9559 (\$/h). Kết quả tốt nhất tìm được từ SGA được so sánh với các thuật toán khác được thể hiện Bảng 1.

Trường hợp 2: Hàm mục tiêu tối ưu chi phí nhiên liệu có điểm van công suất

Trường hợp này tương tự trường hợp 1, tuy nhiên thay vì hàm chi phí nhiên liệu bậc 2, trường hợp này có xét hiệu ứng điểm van công suất. Hàm mục tiêu được xác định như sau:

$$FF = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2) + Penalty \quad (25)$$

Bảng 2. So sánh kết quả tốt nhất trường hợp 2 hệ thống 30 nút giữa các thuật toán

Thuật toán	Giá trị nhỏ nhất (\$/h)	Giá trị trung bình (\$/h)	Giá trị lớn nhất (\$/h)	Độ lệch chuẩn (\$/h)
SGA [10]	830,5623	830,7962	831,0475	0,1049
BSA [5]	830,7779	832,0811	834,3303	0,8474
DE [6]	830,4425	831,4997	842,7195	3,0912
PSO [3]	837,5082	-	-	-
GA [7]	834,2424	840,9013	854,9337	4,5089
ABC [8]	831,5783	834,4691	839,0831	1,9432
BBO [9]	831,4581	835,8153	842,5715	2,6118

Chi phí nhiên liệu máy phát trong trường hợp này đã tăng lên từ 798,9559 (\$/h) đến 830,5623 (\$/h) so với trường hợp cơ bản. Kết quả tốt nhất tìm được từ SGA được so sánh với các thuật toán khác được thể hiện Bảng 2.

Trường hợp 3: Hàm mục tiêu tối ưu chi phí đa nhiên liệu

Trường hợp này tương tự trường hợp 1, tuy nhiên trường hợp này có chi phí đa nhiên liệu, hàm chi phí bậc hai trong trường hợp 1 được thay bằng hàm bậc hai từng phần do có xét lựa chọn đa nhiên liệu. Chi phí nhiên liệu máy phát tối ưu thu được là 647,7181 (\$/h). Kết quả tốt nhất tìm được từ SGA được so sánh với các thuật toán khác được thể hiện Bảng 3.

Bảng 3. So sánh kết quả tốt nhất trường hợp 3 hệ thống 30 nút giữa các thuật toán

Thuật toán	Giá trị nhỏ nhất (\$/h)	Giá trị trung bình (\$/h)	Giá trị lớn nhất (\$/h)	Độ lệch chuẩn (\$/h)
SGA [10]	647,7181	648,3794	649,5226	0,3935
BSA [5]	646,1504	647,5781	649,0638	0,6668
DE [6]	645,3627	646,7220	650,7419	1,0607
PSO [3]	647,2879	681,7314	839,6854	62,5562
GA [7]	649,9246	658,2511	671,9717	5,9728
ABC [8]	648,5069	652,1451	657,9807	2,6969
BBO [9]	647,1179	651,0801	656,9323	2,5840

4.2 Hệ thống IEEE 118 nút

Một hệ thống quy mô lớn được nghiên cứu trong luận văn đó là hệ thống IEEE 118 nút. Hệ thống IEEE 118 nút có tổng công suất phát là 9966,2 MW và dữ liệu chi tiết được lấy từ Matpower 5.1 [11].

Hệ thống IEEE 118 nút bao gồm 54 nút máy phát, 64 nút phụ tải và 186 đường dây truyền tải. Ngoài ra, hệ thống còn có 9 máy biến áp được đặt ở đường dây số 8, 32, 36, 51, 93, 95, 102, 107 và 127 và 14 tụ bù được đặt ở nút số 5, 34, 37, 44, 45, 46, 48, 74, 79, 82, 105, 107 và 110. Hệ thống bao gồm 131 biến điều khiển.

Chi phí tối thiểu thu được 133594,9342 (\$/h). Kết quả tốt nhất tìm được từ SGA được so sánh với các thuật toán khác được thể hiện Bảng 4.

Bảng 4. So sánh kết quả tốt nhất cho hệ thống 118 nút giữa các thuật toán

Thuật toán	Giá trị nhỏ nhất (\$/h)	Giá trị trung bình (\$/h)	Giá trị lớn nhất (\$/h)	Độ lệch chuẩn (\$/h)
SGA [10]	133594,934	136482,322	140932,3688	1666,8682
BSA [5]	135333,474	135511,545	135689,127	93,1975
PSO [3]	139604,132	152204,260	170022,972	6344,7031
ABC [8]	135304,358	135567,269	135973,615	151,6905
BBO [9]	135263,728	135684,113	136611,273	335,0166

4.3 Đánh giá hiệu quả của SGA

Trong các trường hợp của hệ thống IEEE 30 nút, SGA luôn cho kết quả nhỏ hơn các thuật toán khác với độ lệch chuẩn nhỏ, giá trị hàm phạt bằng 0 trong mọi trường hợp.

Với hệ thống quy mô lớn IEEE 118 nút, SGA vẫn cho kết quả nhỏ hơn so với các thuật toán phổ biến khác, tuy nhiên giá trị độ lệch chuẩn còn cao.

5 KẾT LUẬN.

Trong bài báo này, một thuật toán mới được đề xuất để giải quyết bài toán OPF, đó là Search Group Algorithm. SGA đã được nghiên cứu trên hệ thống IEEE 30 nút và IEEE 118 nút với các hàm mục tiêu. Nghiên cứu cho thấy SGA là một thuật toán rất mạnh và hiệu quả để giải quyết các bài toán OPF, SGA có đặc tính hội tụ tốt và có thể đạt kết quả tối ưu hơn so với các thuật toán khác. Vì vậy, thuật toán SGA có thể được phát triển và ứng dụng để giải quyết các bài toán OPF và các bài tối ưu khác trong hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cain M, O'neill R, Castillo A. "History of optimal power flow and formulations". *FERC Staff Tech Pap*; 2012. p. 1–36.
- [2]. Surender Reddy S, Bijwe PR, Abhyankar aR. "Faster evolutionary algorithm based optimal power flow using incremental variables". *Int J Electr Power Energy Syst* 2014;54:198–210.
- [3]. Vo, D.N., Schegner, P. "An Improved Particle Swarm Optimization for Optimal Power Flow". In *Meta-Heuristics Optimization Algorithms in Engineering, Business, Economics, and Finance*, vol. 1, 2013, pp.1-40.
- [4]. Frank S, Steponavice I. Optimal power flow?: a bibliographic survey I. Formulations and deterministic methods; 2012. p. 221-58.
- [5]. A.E. Chaib, H.R.E.H. Bouchekara, R. Mehasni, M.A. Abido, "Optimal power flow with emission and non-smooth cost functions using Backtracking Search optimization algorithm". *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 81, pp 64-77, 2016.
- [6]. Cai, H. R., Chung, C. Y., & Wong, K. P. (2008). Application of differential evolution algorithm for transient stability constrained optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23(2), 719-728. doi: 10.1109/TPWRS.2008.919241.
- [7]. Goldberg DE. "Genetic Algorithms in search optimization and machine learning". Reading (MA): Addison-Wesley; 1989.
- [8]. Khorsandi a, Hosseinian SH, Ghazanfari a. Modified artificial bee colony algorithm based on fuzzy multi-

- objective technique for optimal power flow problem. *Electr Power Syst Res* 2013;95:206–13.
- [9]. Simon D (2008) Biogeography-based optimization. *IEEE Trans Evol Comput* 12(6):702–713.
- [10]. M. S. Gonçalves, R. H. Lopez, L. F. F. Miguel, “Search group algorithm: A new meta-heuristic method for the optimization of truss structures,” *Comput. Struct.*, vol. 153, pp. 165–184, 2015.
- [11]. Ray D. Zimmerman CEM-S& D (David) G.MATPOWER. <<http://www.pserc.cornell.edu/matpower/#docsn.d>>.

là giảng viên tại trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM. Hướng nghiên cứu là tối ưu hóa trong hệ thống điện, phân tích hệ thống điện, năng lượng tái tạo tích hợp trong hệ thống điện và thị trường điện.

Trương Hoàng Bảo Huy là sinh viên trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM. Hướng nghiên cứu là tối ưu hóa trong hệ thống điện.

Võ Ngọc Điều tốt nghiệp đại học ngành Hệ thống điện trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 1995, Thạc sĩ ngành Hệ thống điện trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2000 và Tiến sĩ Quản lý Hệ thống điện Học viện Công nghệ Châu Á năm 2007. Hiện nay Võ Ngọc Điều

A search group algorithm for optimal power flow in power systems

Truong Hoang Bao Huy, Vo Ngoc Dieu
Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM
Corresponding author: vndieu@hcmut.edu.vn

Receive: 07-3-2017, Accepted: 20-11-2017

Abstract—Economic operation of the electric energy generating system is one of the common problems in power system. This paper presents a new metaheuristic optimization method, the Search Group Algorithm (SGA) for solving optimal power flow (OPF) problem. The proposed method is tested for 11 different cases on the IEEE 30-bus and IEEE-118 bus systems, in which the IEEE 30-bus system is tested with different objective functions including quadratic function, valve point effects and multiple fuels. The obtained results are compared with some well-known optimization algorithms to emphasize the effectiveness of the SGA method for solving different OPF problems with complicated functions.

Index Terms—Optimal Power Flow, OPF, Search Group Algorithm, SGA.