

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU HÓA PHẦN TỬ BẦY ĐÀN VỚI HỆ SỐ GIỚI HẠN CHO BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT PHẦN KHÁNG

Võ Ngọc Điều⁽¹⁾, Lê Anh Dũng⁽¹⁾, Vũ Phan Tú⁽²⁾

(1) Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(2) ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 11 tháng 04 năm 2013, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 11 tháng 06 năm 2016)

TÓM TẮT: Bài báo này đề xuất cách áp dụng phương pháp tối ưu hóa phần tử bầy đàn với hệ số giới hạn (PSO-CF) nhằm giải quyết vấn đề tối ưu hóa công suất phần kháng (ORPD). Mục đích của PSO-CF sử dụng tối ưu hóa phần tử bầy đàn trên cơ sở hệ số giới hạn để giải quyết những mục đích khác của vấn đề như: tối thiểu tổn thất công suất thật, cải tiến hiện trạng điện áp, nâng cao ổn định điện áp và có thể quản lý được các ràng buộc về giới hạn công suất phần kháng của máy phát, bộ tụ bù ứng động, giới hạn điện áp nút, giới hạn điều áp của máy biến áp và giới hạn về công suất truyền tải trên đường dây. Phương pháp cũng được thử nghiệm trên hệ thống 30 nút và 118 nút của tạp chí khoa học IEEE để so sánh kết quả tìm nghiệm theo phương pháp PSO trước đây trên thế giới. Kết quả so sánh cho thấy rằng tổng tổn thất công suất, độ lệch áp, chỉ số ổn định điện áp thấp hơn so với các kết quả trước đây. Vì vậy, PSO-CF có thể áp dụng để giải quyết vấn đề tối ưu hóa điều độ công suất phần kháng trong hệ thống điện (ORPD).

Từ khóa: Điều độ tối ưu công suất kháng, tối ưu hóa bầy đàn, hệ số giới hạn, sự lệch điện áp, chỉ số ổn định điện áp.

THUẬT NGỮ

G_{ij}, B_{ij} Điện dẫn và điện cảm giữa nút i và nút j . Tương ứng

g_l Điện dẫn của nhánh l đầu nối vào giữa nút i và nút j .

L_i Chỉ số ổn định điện áp ở nút i .

N_b Số nút.

N_d Số nút tải.

N_g Số đơn vị mất phát.

N_l Số đường dây truyền tải.

N_t Số máy biến áp có bộ điều áp.

P_{di}, Q_{di} Yêu cầu công suất thực và công suất phản kháng tại nút tải thứ i tương ứng.

P_{gi}, Q_{gi} Công suất thực và phản kháng đầu ra của máy phát thứ i tương ứng.

Q_{ci} Bù công suất phản kháng tại nút thứ i .

S_l Công suất biểu kiến trên đường dây l đầu nối vào giữa nút i và nút j .

T_k Nấc điều chỉnh của máy biến áp ở nhánh thứ k .

V_{gi} Điện áp của máy phát ở nút thứ i .

V_{gi}, V_{li} Biên độ điện áp của máy phát nút thứ i và tải nút thứ i .

V_i, θ_i Biên độ điện áp và góc điện áp ở nút thứ i .

1. GIỚI THIỆU

ORPD nhằm xác định các biến điều khiển như biên độ điện áp máy phát, dung lượng VAR bộ tụ bù ứng động, nấc điều chỉnh máy biến áp vì thế hàm mục tiêu của vấn đề là cực tiểu và phải đáp ứng các đơn vị ràng buộc của hệ thống (Nanda, Hari & Kothari, 1992). Trong vấn đề ORPD, mục tiêu có thể là tổng tổn thất công suất, độ lệch điện áp ở nút tải để cải thiện hiện trạng điện áp (Vlachogiannis, & Lee, 2006), hay là chỉ số ổn định điện áp nhằm nâng cao ổn định điện áp (Devaraj & Preetha Roselyn, 2010). Vấn đề tối ưu ORPD thì rất phức tạp và qui mô lớn với các hàm và ràng buộc không tuyến tính. Trong vận hành hệ thống điện, vai trò chính của ORPD là đảm bảo điện áp tại nút tải bên cạnh những giới hạn của chính nó nhằm cung cấp điện năng cho khách hàng với chất lượng cao nhất. Vấn đề này đã được giải quyết bởi nhiều kỹ thuật khác nhau từ phương pháp thông thường tới các phương pháp thông minh nhân tạo. Một vài các phương pháp thông thường đã được áp dụng để giải bài toán về tuyến tính hóa (LP) (Kirschen & Van Meeteren, 1988), kết hợp số nguyên (MIP) (Aoki, Fan & Nishikori, 1988), nội điểm (IPM) (Granville, 1994), động học (DP) (Lu & Hsu, 1995), bình phương (QP) (Grudin, 1998). Những phương pháp này là cơ sở để tuyến tính hóa thành công và sử dụng độ dốc như là hướng tìm nghiệm. Các phương pháp tối ưu hóa thông thường có thể đối phó đúng với bài toán tối ưu hóa xác định hàm mục tiêu bậc hai

và các ràng buộc khác. Tuy nhiên nhiên chúng có thể bị sai lệch tại cực tiểu địa phương của vấn đề ORPD với nghiệm đa cực tiểu (Lai & Ma, 1997). Gần đây, phương pháp siêu tiệm cận trở nên phổ biến để giải quyết vấn đề ORPD và tiếp tục có khả năng giải bài toán tối ưu phức tạp hơn. Phương pháp siêu tiệm cận áp dụng giải quyết vấn đề chương trình tiến hóa (EP) (Lai & Ma, 1997), thuật toán gen (AG) (Devaraj & Preetha Roselyn, 2010), thuật toán tối ưu hóa cô lập phần tử kiến (ACOA) (Abou El-Ela, Kinawy, El-Schiemy & Mouwafi, 2011) (Abou El Ela, Abido & Spea, 2011), tiến hóa khác (DE), thuật toán hài hòa (HS) (Khazali & Kalantar, in press)... Các phương pháp này có thể ưu điểm hơn để giải bài toán tối ưu hóa cho ORPD so với các phương pháp khác, nhưng thời gian tìm nghiệm vẫn còn chậm. Bên cạnh phương pháp siêu tiệm cận, phương pháp PSO được sử dụng phổ biến nhất để giải quyết vấn đề ORPD bao gồm nhiều biến đổi như PSO cơ sở đa quản lý (Zhao, Guo & Cao, 2005), PSO nâng cao (Vlachogiannis & Lee, 2006), PSO song song (Li *et al.*, 2009), PSO học và hiểu (Mahadevan & Kannan, 2010)... Phương pháp PSO đã được cải tiến tổng quát hơn để tăng khả năng tìm nghiệm, thời gian giải quyết bài toán nhanh hơn phương pháp siêu tiệm cận, cũng như kết quả tìm được chất lượng hơn. Hơn nữa, phương pháp đơn hình, phương pháp lai tạp đã có nhiều cải tiến bổ sung để giải bài toán tối ưu như lai tạp GA (Urdaneta *et al.*, 1999), lai tạp EP (Yan, Lu & Yu, 2004), lai tạp PSO (Esmine, Lambert-Torres & Zambroni de Souza, 2005)... đều có ưu điểm hơn so với phương pháp đơn hình.

Phương pháp lai tạp thường có hướng giải quyết chất lượng hơn so với phương pháp đơn hình nhưng thời gian tính toán tương đối dài.

Trong bài báo này, phương pháp PSO-CF nhằm mục đích giải quyết vấn đề về ORPD. Mục đích của PSO-CF là tối ưu hóa phân tử bày đàn với hệ số giới hạn đáp ứng các yêu cầu khác nhau như: tối thiểu tổn thất công suất phản kháng, cải thiện điện áp làm việc, nâng cao ổn định điện áp khi có ràng buộc về giới hạn công suất phản kháng của máy phát, tích hợp hệ thống tự bù ứng động, giới hạn điện áp nút, giới hạn bộ điều áp của máy biến áp, và giới hạn truyền tải trên đường dây. Kết quả tính toán được thử nghiệm trên hệ thống 30 nút và 118 nút của tạp chí khoa học IEEE cho kết quả và so sánh kết quả các phương pháp PSO và các phương pháp khác trước đây.

Các phần còn lại của bài báo gồm các phần sau. Phần 2 thiết lập công thức cho bài toán ORPD. Bổ sung PSO-CF được trình bày ở phần 3. Thử nghiệm và kết quả tính toán tại phần 4. Phần cuối là kết luận.

2. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mục đích của bài toán ORPD là tìm cực tiểu giá trị hàm mục tiêu thỏa các điều kiện ràng buộc cân bằng và bất cân bằng. Công thức toán học như sau:

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

Hàm mục tiêu $F(x, u)$ có thể diễn tả bởi một trong các hình thức sau:

Công suất thực:

$$F(x, u) = P_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{N_l} g_l \left[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j) \right] \quad (2)$$

Sai lệch điện áp ở nút tải nhằm cải thiện điện áp (Vlachogiannis, & Lee, 2006)

$$F(x, u) = VD = \sum_{i=1}^{N_d} |V_i - V_i^{sp}| \quad (3)$$

Với: V_i^{sp} là giá trị điện áp tham khảo tiêu chuẩn tại nút thứ i , Thường chọn giá trị 1.0 p.

Chỉ số ổn định điện áp nhằm nâng cao độ tin tưởng điện áp (Kessel & Glavitsch, 1986; Devaraj & Preetha Roselyn, 2010):

$$F(x, u) = L_{\text{max}} = \max \{L_i\}; \quad i = 1, \dots, N_d \quad (4)$$

Vector của các biến phụ thuộc là:

$$x = [Q_{g1}, \dots, Q_{gN_g}, V_{l1}, \dots, V_{lN_d}, S_1, \dots, S_{N_l}]^T \quad (5)$$

Vector của các biến điều khiển là:

$$u = [V_{g1}, \dots, V_{gN_g}, T_1, \dots, T_{N_t}, Q_{c1}, \dots, Q_{cN_c}]^T \quad (6)$$

Ràng buộc cân bằng và bất cân bằng là:

Cân bằng công suất thực và công suất phản kháng tại mỗi nút:

$$P_{gi} - P_{di} = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] \quad (7)$$

$$i = 1, \dots, N_b$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (8)$$

$$i = 1, \dots, N_b$$

Giới hạn điện áp và công suất phản kháng tại nút máy phát là:

$$V_{gi,\min} \leq V_{gi} \leq V_{gi,\max}; i = 1, \dots, N_g \quad (9)$$

$$Q_{gi,\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,\max}; i = 1, \dots, N_g \quad (10)$$

Giới hạn hệ thống tụ bù

$$Q_{ci,\min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci,\max}; i = 1, \dots, N_c \quad (11)$$

Ràng buộc bộ điều áp:

$$T_{k,\min} \leq T_k \leq T_{k,\max}; k = 1, \dots, N_t \quad (12)$$

Ràng buộc an ninh về điện áp tại nút tải và truyền tải trên đường dây:

$$V_{li,\min} \leq V_{li} \leq V_{li,\max}; i = 1, \dots, N_d \quad (13)$$

$$S_l \leq S_{l,\max}; l = 1, \dots, N_l \quad (14)$$

Với: S_l là trào lưu công suất cực đại giữa nút i và nút j xác định theo công thức:

$$S_l = \max \{ |S_{ij}|, |S_{ji}| \} \quad (15)$$

3. TỐI ƯU HÓA PHẦN TỬ BẦY ĐÀN VỚI HỆ SỐ GIỚI HẠN (PSO-CF)

3.1. Tối ưu hóa phần tử bầy đàn

PSO là giải pháp tính nghiệm tối ưu phổ biến, kỹ thuật tính dựa vào hành vi xã hội các phần tử của bầy chim hoặc cá. Từ khám phá đầu tiên vào năm 1995 (Kennedy & Eberhart, 1995), PSO đã trở thành phương pháp tính hiệu quả trong vấn đề tối ưu hóa với khả năng tìm nghiệm tối ưu. Trong PSO thông thường, phần tử bầy đàn di chuyển trong không gian nhằm tìm nghiệm tối ưu toàn thể. Sự di chuyển của

phần tử bầy đàn trong xã hội của chúng được xác định bằng địa điểm và vận tốc. Trong khi di chuyển, vận tốc của mỗi phần tử thay đổi theo thời gian và tại mỗi vị trí khác nhau sẽ được cập nhật. Xét bài toán gồm có n chiều di chuyển, vec-tơ vị trí và vận tốc của mỗi phần tử là: $x_d = [x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}]$ và $v_d = [v_{1d}, v_{2d}, \dots, v_{nd}]$, với $d = 1, \dots, NP$ và NP là số lượng phần tử. Vị trí tốt nhất đầu tiên của phần tử d được xác định trên cơ sở giá trị của hàm khả dụng là: $pbest_d = [p_{1d}, p_{2d}, \dots, p_{nd}]$ và phần tử tốt nhất trong tất cả các phần tử được gọi là $gbest$. Vận tốc và vị trí của mỗi phần tử trong bước lập kế tiếp ($k+1$) với giá trị hàm khả dụng được tính như sau:

$$v_{id}^{(k+1)} = w^{(k+1)} \times v_{id}^{(k)} + c_1 \times rand_1 \times (pbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_i^{(k)} - x_{id}^{(k)}) \quad (16)$$

$$x_{id}^{(k+1)} = x_{id}^{(k)} + v_{id}^{(k+1)} \quad (17)$$

Với: hằng số c_1 và c_2 là hệ số nhận thức và hệ số xã hội, $rand_1$ và $rand_2$ là giá trị ngẫu nhiên từ $[0, 1]$

2. Bổ sung hệ số giới hạn

Vị trí và vận tốc của mỗi phần tử có giới hạn chính nó. Xét giới hạn vị trí, giới hạn dưới và giới hạn trên được hình thành từ giới hạn các biến số của vị trí mỗi phần tử. Gần đây, chất lượng tìm nghiệm của PSO phụ thuộc vào hệ số độ nhạy, hệ số nhận thức và giới hạn vận tốc của mỗi phần tử. Vì vậy, kiểm soát sự khám phá và năng lực khám phá của thuật toán PSO chính là các hệ số nhận thức và xã hội hay phạm vi vận tốc trong giới hạn $[-v_{id,\max}, v_{id,\max}]$. Phương pháp PSO với hệ số giới hạn (PSO-CF)

(Clerc & Kennedy, 2002) được bổ sung. Tác giả khẳng định rằng hệ số giới hạn có thể cần thiết để đảm bảo độ hội tụ ổn định cho phương pháp PSO. Điều chỉnh vận tốc cho phần tử với hệ số giới hạn được biểu diễn như sau:

$$v_{id}^{(k+1)} = C \times \left[v_{id}^{(k)} + c_1 \times rand_1 \times (pbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_i^{(k)} - x_{id}^{(k)}) \right] \quad (18)$$

$$C = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}; \text{ where } \varphi = c_1 + c_2, \varphi > 4 \quad (19)$$

Trong phương pháp PSO-CF, hệ số φ ảnh hưởng tới đặc tính hội tụ của hệ thống và phải lớn hơn 4.0 để đảm bảo ổn định. Tuy nhiên, nếu giá trị φ tăng, giới hạn C giảm sẽ làm đa dạng hóa hướng nghiệm và đáp ứng sẽ chậm hơn. Thông thường chọn giá trị φ là 4.1 ($c_1 = c_2 = 2.05$). Khi hệ số giới hạn được bổ sung vào phương pháp PSO, độ hội tụ nghiệm được đảm bảo trên lý thuyết toán học. Kết quả, PSO-CF có thể tìm nghiệm tốt hơn phương pháp PSO thông thường.

3. PSO-CF với vấn đề ORPD

Theo cải tiến PSO-CF, vị trí mỗi phần tử với các biến điều khiển được định nghĩa như sau:

$$x_d = [V_{g1d}, \dots, V_{gN_g d}, T_{1d}, \dots, T_{N_d}, Q_{c1d}, \dots, Q_{cN_c d}]^T \quad d=1, \dots, NP \quad (20)$$

Giới hạn trên và dưới cho vận tốc của mỗi phần tử được xác định trên cơ sở chặn trên và dưới của vị trí:

$$v_{d,max} = R \times (x_{d,max} - x_{d,min}) \quad (21)$$

$$v_{d,min} = -v_{d,max} \quad (22)$$

Với: R là hệ số giới hạn của vận tốc mỗi phần tử.

Vận tốc và vị trí của mỗi phần tử được tạo với giới hạn của chính nó cho bởi công thức:

$$x_d^{(0)} = x_{d,min} + rand_3 \times (x_{d,max} - x_{d,min}) \quad (23)$$

$$v_d^{(0)} = v_{d,min} + rand_4 \times (v_{d,max} - v_{d,min}) \quad (24)$$

Với: $rand_3$ và $rand_4$ là giá trị ngẫu nhiên từ [0, 1].

Trong suốt quá trình lặp, vị trí và vận tốc của các phần tử luôn điều chỉnh trong giới hạn của nó, sau mỗi vòng lặp vận tốc và vị trí được tính như sau:

$$v_d^{new} = \min \{v_{d,max}, \max \{v_{d,min}, v_d\}\} \quad (25)$$

$$x_d^{new} = \min \{x_{d,max}, \max \{x_{d,min}, x_d\}\} \quad (26)$$

Hàm khả dụng phải cực tiểu trên cơ sở hàm mục tiêu và các biến phụ thuộc bao gồm công suất phản kháng máy phát, điện áp tại nút tải, công suất truyền tải trên đường dây. Hàm khả dụng được định nghĩa như sau:

$$FT = F(u, x) + K_q \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{gi} - Q_{gi}^{lim})^2 + K_v \sum_{i=1}^{N_d} (V_{li} - V_{li}^{lim})^2 + K_s \sum_{l=1}^{N_l} (S_l - S_{l,max})^2 \quad (27)$$

Với K_q , K_v , và K_s là các hệ số phạt của công suất phản kháng máy phát, điện áp tại nút tải, công suất truyền tải trên đường dây tương ứng.

Giới hạn của các biến phụ thuộc trong công thức (25) được xác định trên giá trị của chính nó:

$$x^{\text{lim}} = \begin{cases} x_{\text{max}} & \text{if } x > x_{\text{max}} \\ x_{\text{min}} & \text{if } x < x_{\text{min}} \end{cases} \quad (28)$$

Với: x và x^{lim} là giá trị và giới hạn của các thông số Q_{gi} , V_{li} , or $S_{l,max}$.

Toàn bộ quá trình PSO-CF được tính theo các bước như sau:

Bước 1: Chọn các thông số điều khiển PSO-CF bao gồm số lượng phần tử bầy đàn NP , tổng số vòng lặp IT_{max} , hệ số nhận thức và hệ số xã hội c_1 và c_2 , hệ số giới hạn cho cực đại vận tốc R , và hệ số phạt cho các ràng buộc.

Bước 2: Chạy NP phần tử bầy đàn với các biến kiểm soát trong giới hạn của nó bao gồm vị trí ban đầu x_{id} , vec-tơ các biến kiểm soát trong công thức (5), vận tốc v_{id} trong (23) và (24), với $i = 1, \dots, N_g + N_l + N_c$ và $d = 1, \dots, NP$.

Bước 3: Với mỗi phần tử, tính giá trị của các biến phụ thuộc trên cơ sở trào lưu công suất sử dụng dụng cụ Matpower và tính hàm khả dụng F_{pbestd} trong (27). Xác định giá trị toàn thể của hàm khả dụng $F_{gbest} = \min(F_{pbestd})$.

Bước 4: Đặt $pbest_{id}$ tới x_{id} cho mỗi phần tử, và $gbest_i$ tới vị trí của mỗi phần tử tương ứng F_{pbestd} . Đặt số vòng lặp $k = 1$.

Bước 5: Tính vận tốc mới $v^{(k)}_{id}$ và cập nhật vị trí $x^{(k)}_{id}$ cho mỗi phần tử sử dụng (18) và (17) tương ứng. Chú ý rằng vận tốc và vị trí của phần tử sẽ bị giới hạn trong cận trên và cận dưới của nó được cho trong (25) và (26).

Bước 6: Tính trào lưu công suất sử dụng dụng cụ Matpower trên cơ sở giá trị vị trí mới của mỗi phần tử.

Bước 7: Đánh giá hàm khả dụng FT_d trong (27) cho mỗi phần tử với vị trí mới. So sánh FT_d với $F^{(k-1)}_{pbestd}$ đến khi có được giá trị hàm khả dụng tốt nhất tới vòng lặp hiện tại $F^{(k)}_{pbestd}$.

Bước 8: Chọn lại giá trị vị trí $pbest^{(k)}_{id}$ tương ứng với $F^{(k)}_{pbestd}$ cho mỗi phần tử và xác định giá trị toàn thể mới của hàm khả dụng $F^{(k)}_{pbestd}$ tương ứng với vị trí $gbest^{(k)}_i$.

Bước 9: Nếu $k < IT_{max}$, $k = k + 1$ trở lại bước 5, Ngược lại thì dừng tiến trình.

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

PSO-CF được thử nghiệm trên hệ thống 30 nút và 118 của tạp chí IEEE với các mục tiêu khác nhau bao gồm tổn thất công suất phản kháng, độ lệch điện áp, và chỉ số ổn định điện áp. Dữ liệu của hệ thống có thể tìm trong (Dabbagchi & Christie, 1993; Zimmerman, Murillo-Sánchez & Thomas, 2009). Đặc điểm và dữ liệu thử nghiệm cho trong bảng 1 và 2.

Trong bài báo này, trào lưu công suất của hệ thống được tính theo bộ dụng cụ Matpower (Zimmerman, Murillo-Sánchez & Thomas, 2009). Ba thông số biến đổi của PSO là trọng lượng của vòng lặp biến đổi thời gian (PSO-TVIW) (Shi & Eberhart, 1998), hệ số gia tốc biến đổi thời gian (PSO-TVAC), hệ số gia sử tự tổ chức bầy đàn với gia tốc biến đổi thời gian (HPSO-TVAC) (Ratnaweera, Halgamuge & Watson, 2004). Thuật toán của phương pháp PSO được mã hóa và chạy trong phần mềm Matlab với máy tính tốc độ 2.1 GHz, 2GB RAM. Các thông số của hệ thống thử nghiệm

cho trong bảng 3. Tổng số vòng lặp cho PSO được cài đặt là 200. Mỗi trường hợp thử nghiệm, PSO được chạy độc lập 50 lần.

Bảng 1. Đặc tính hệ thống thử nghiệm

Hệ thống	Số nhánh rẽ	Số nút máy phát	Số máy biến áp	Số bộ tụ bù	Số biến điều khiển
IEEE 30 bus	41	6	4	9	19
IEEE 118 bus	186	54	9	14	77

Bảng 2. Cơ sở thử nghiệm

Hệ thống	ΣP_{di}	ΣQ_{di}	P_{loss}	Q_{loss}	ΣP_{gi}	ΣQ_{gi}
IEEE 30 bus	283.4	126.2	5.273	23.14	288.67	89.09
IEEE 118 bus	4242	1438	132.863	783.79	4374.86	795.68

Bảng 3. Thông số các phương pháp PSO

Phương pháp	PSO-TVIV	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
w_{max}	0.9	-	-	-
w_{min}	0.4	-	-	-
c_{1}, c_{2}	2	-	-	2.05
c_{1i}, c_{2f}	-	2.5	2.5	-
c_{1f}, c_{2i}	-	0.2	0.2	-
R	0.15	0.15	0.15	0.15

4.1. Hệ thống thử nghiệm IEEE 30 nút

Trong hệ thống thử nghiệm, các máy phát đặt tại các nút 1, 2, 5, 8, 11, và 13, các máy biến áp đặt trên các đường dây 6-9, 6-10, 4-12,

và 27-28. Các bộ tụ bù ứng động lắp tại các nút 10, 12, 15, 17, 20, 21, 23, 24, và 29 với dung lượng từ 0 tới 5 MVAR tương ứng. Giới hạn các biến điều khiển cho trong (Abou El Ela, Abido & Spea, 2011), công suất phản kháng máy phát cho trong (Lee, Park & Ortiz, 1985), và công suất truyền tải trên đường dây cho trong (Alsac & Stott, 1974). Số các phần tử của phương pháp PSO được cài đặt tới 10.

Bảng 4. Kết quả tính theo PSO của hệ thống IEEE 30 nút với yêu cầu tổn thất công suất

Phương pháp	PSO-TVIV	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
Min P_{loss} (MW)	4.5129	4.5356	4.5283	4.5128
Avg. P_{loss} (MW)	4.5742	4.5912	4.5581	4.6313
Max P_{loss} (MW)	5.8204	4.9439	4.6112	5.7633
Std. dev. P_{loss} (MW)	0.1907	0.0592	0.0188	0.2678
VD	2.0540	1.9854	1.9315	2.0567
L_{max}	0.1255	0.1257	0.1269	0.1254
Avg. CPU time (s)	10.98	10.85	10.38	10.65

Bảng 5. Kết quả tính theo PSO của hệ thống IEEE 30 nút với yêu cầu độ lệch điện áp

Phương pháp	PSO-TVIV	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
Min VD	0.0922	0.1210	0.1136	0.0890
Avg. VD	0.1481	0.1529	0.1340	0.1160
Max VD	0.5675	0.1871	0.1615	0.3644
Std. dev. VD	0.1112	0.0153	0.0103	0.0404
P_{loss} (MW)	5.8452	5.3829	5.7269	5.8258
L_{max}	0.1481	0.1485	0.1484	0.1485
Avg. CPU time (s)	9.97	9.88	9.59	9.89

Bảng 6. Kết quả tính theo PSO của hệ thống IEEE 30 nút với yêu cầu chỉ số ổn định điện áp

Phương pháp	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
Min L_{max}	0.1249	0.1248	0.1261	0.1247
Avg. L_{max}	0.1261	0.1262	0.1275	0.1265
Max L_{max}	0.1280	0.1293	0.1287	0.1281
Std. dev. L_{max}	0.0008	0.0009	0.0006	0.0008
P_{loss} (MW)	4.9186	4.8599	5.2558	5.0041
VD	1.9427	1.9174	1.6830	1.9429
Avg. CPU time (s)	13.42	13.39	13.05	13.39

Kết quả tìm được bằng việc sử dụng các phương pháp PSO cải tiến với các yêu cầu khác nhau bao gồm tổn thất công suất, độ lệch điện áp, cải thiện điện áp làm việc, và nâng cao chỉ số ổn định điện áp cho trong bảng 4, 5 và 6. Kết quả tốt nhất được cho trong phụ lục A1, A2, và A3.

Bảng 7. So sánh kết quả tốt nhất hệ thống 30 nút giữa các phương pháp

Phương pháp	Tổn thất công suất (MW)	Độ lệch điện áp (VD)	Chỉ số ổn định ($L_{i,max}$)
DE	4.5550	0.0911	0.1246
CLPSO	4.5615	-	-
PSO-TVIW	4.5129	0.0922	0.1249
PSO-TVAC	4.5356	0.1210	0.1248
HPSO-TVAC	4.5283	0.1136	0.1261
PSO-CF	4.5128	0.0890	0.1247

Kết quả tốt nhất tìm được từ PSO-CF được so sánh với các phương pháp khác như DE (Abou El Ela, Abido & Spea, 2011), CLPSO

(Mahadevan & Kannan, 2010), và các phương pháp PSO biến đổi khác cho trong bảng 7. Với mục tiêu là tổng tổn thất công suất và độ lệch điện áp, kết quả từ PSO-CF là nhỏ hơn các phương pháp khác, nếu mục tiêu là chỉ số ổn định điện áp thì PSO-CF cho kết quả gần giống các phương pháp khác nhưng tốt hơn phương pháp HPSO-TVAC. Xét yếu tố thời gian tìm nghiệm, CLPSO trung bình là 138 giây chậm hơn rất nhiều so với PSO-CF. Phương pháp DE không có báo cáo thời gian tìm nghiệm.

2. Hệ thống thử nghiệm IEEE 118 nút

Trong hệ thống này, giới hạn trên dưới của tụ bù ứng động, và giới hạn trên dưới của các biến điều khiển được cho trong (Mahadevan & Kannan, 2010). Số phần tử được cài đặt là 40.

Bảng 8. Kết quả tính theo PSO của hệ thống IEEE 118 nút với yêu cầu tổn thất công suất

Phương pháp	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
Min P_{loss} (MW)	116.6500	124.3335	116.2026	115.6469
Avg. P_{loss} (MW)	117.9076	129.7494	117.3553	116.9863
Max P_{loss} (MW)	120.8162	134.1254	118.1390	119.8378
Std. dev. P_{loss} (MW)	0.7919	2.1560	0.4696	0.8655
VD	2.0719	1.4332	1.8587	2.1306
L_{max}	0.0644	0.0679	0.0650	0.0647
Avg. CPU time (s)	91.72	85.32	85.25	91.86

Bảng 9. Kết quả tính theo PSO của hệ thống IEEE 118 nút với yêu cầu độ lệch điện áp

Phương pháp	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
Min VD	0.1935	0.3921	0.2074	0.1801
Avg. VD	0.2291	0.4724	0.2498	0.2143
Max VD	0.2809	0.5407	0.3012	0.3384
Std. dev. VD	0.0206	0.0316	0.0215	0.0286
P_{loss} (MW)	176.4582	179.7952	146.8104	164.9722
L_{max}	0.0672	0.0667	0.0670	0.0669
Avg. CPU time (s)	78.49	78.70	74.90	78.13

Bảng 10. Kết quả tính theo PSO của hệ thống IEEE 118 nút với yêu cầu chỉ số ổn định điện áp

Phương pháp	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
Min L_{max}	0.0606	0.0607	0.0607	0.0606
Avg. L_{max}	0.0607	0.0609	0.0608	0.0607
Max L_{max}	0.0612	0.0613	0.0612	0.0610
Std. dev. L_{max}	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
P_{loss} (MW)	183.8687	184.5627	155.3915	203.7265
VD	1.3814	1.2103	1.34401	1.5400
Avg. CPU time (s)	119.66	119.22	119.16	119.86

Bảng 11. So sánh kết quả tốt nhất hệ thống 118 nút giữa các phương pháp

Phương pháp	Tổn thất công suất (MW)	Độ lệch điện áp (VD)	Chỉ số ổn định ($L_{i,max}$)
CLPSO	130.96	-	-
PSO-TVIW	116.65	0.1935	0.0606

PSO-TVAC	124.33	0.3921	0.0607
HPSO-TVAC	116.20	0.2074	0.0607
PSO-CF	115.65	0.1801	0.0606

Kết quả tìm được tương đương trường hợp hệ thống thử nghiệm 30 nút và được cho trong bảng 8,9 và 10. So sánh các kết quả tốt nhất tìm được được cho trong bảng 11. Với mục tiêu là tổng tổn thất công suất, kết quả từ PSO-CF là nhỏ hơn CLPSO và các phương pháp PSO biến đổi. Xét về mục tiêu độ lệch điện áp, PSO-CF tìm được kết quả tốt hơn các phương pháp PSO biến đổi khác. Nếu mục tiêu là chỉ số ổn định điện áp, kết quả của PSO-CF gần giống các phương pháp PSO khác. Về thời gian tìm nghiệm, PSO-CF nhanh hơn rất nhiều so với CLPSO với thời gian trung bình tìm nghiệm là 1472 giây.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, PSO-CF là phương pháp hiệu quả và bổ sung tích cực để giải quyết vấn đề ORPD. PSO-CF được cải tiến đơn giản từ các phương pháp PSO thông thường và đảm bảo độ hội tụ nghiệm trên cơ sở lý thuyết toán học. PSO-CF đã được thử nghiệm trên hệ thống IEEE 30 nút và 118 nút với các yêu cầu khác nhau bao gồm tổn thất công suất, độ lệch điện áp, chỉ số ổn định điện áp. Kết quả thử nghiệm chứng minh rằng PSO-CF tìm ra kết quả tổn thất công suất, độ lệch điện áp, và chỉ số ổn định điện áp nhỏ hơn các phương pháp PSO khác. Vì vậy, PSO-CF là phương pháp hữu dụng và hiệu quả để giải quyết vấn đề ORPD trong hệ thống điện.

6. PHỤ LỤC

Các giải pháp tốt nhất của phương pháp PSO với các yêu cầu khác nhau thử nghiệm trên hệ thống IEEE 30 nút được cho trong bảng A1, A2, và A3.

Bảng A1. Các giải pháp tốt nhất của hệ thống IEEE 30 nút với yêu cầu tổn thất công suất

Biến điều khiển	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
V_{g1}	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000
V_{g2}	1.0943	1.0957	1.0941	1.0944
V_{g5}	1.0748	1.0775	1.0745	1.0749
V_{g8}	1.0766	1.0792	1.0762	1.0767
V_{g11}	1.1000	1.1000	1.0996	1.1000
V_{g13}	1.1000	1.0970	1.1000	1.1000
T_{6-9}	1.0450	1.0199	1.0020	1.0435
T_{6-10}	0.9000	0.9401	0.9498	0.9000
T_{4-12}	0.9794	0.9764	0.9830	0.9794
T_{27-28}	0.9652	0.9643	0.9707	0.9647
Q_{c10}	5.0000	4.5982	2.3238	5.0000
Q_{c12}	4.9952	2.8184	2.8418	5.0000
Q_{c15}	5.0000	2.3724	3.6965	5.0000
Q_{c17}	5.0000	3.6676	4.9993	5.0000
Q_{c20}	4.0765	4.3809	3.1123	4.0041
Q_{c21}	5.0000	4.9146	4.9985	5.0000
Q_{c23}	2.5071	3.6527	3.5215	2.3834
Q_{c24}	5.0000	5.0000	4.9987	5.0000
Q_{c29}	2.2284	2.1226	2.3743	2.2176

Bảng A2. Các giải pháp tốt nhất của hệ thống IEEE 30 nút với yêu cầu độ lệch điện áp

Biến điều khiển	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
V_{g1}	1.0090	1.0282	1.0117	1.0080

V_{g2}	1.0036	1.0256	1.0083	1.0030
V_{g5}	1.0184	1.0077	1.0169	1.0159
V_{g8}	1.0079	1.0014	1.0071	1.0078
V_{g11}	1.0240	1.0021	1.0707	1.0558
V_{g13}	1.0220	1.0046	1.0060	1.0059
T_{6-9}	1.0387	1.0125	1.0564	1.0780
T_{6-10}	0.9000	0.9118	0.9076	0.9000
T_{4-12}	0.9964	0.9617	0.9545	0.9799
T_{27-28}	0.9596	0.9663	0.9695	0.9654
Q_{c10}	3.1805	5.0000	1.5543	5.0000
Q_{c12}	0.0000	1.5065	1.4242	5.0000
Q_{c15}	4.9903	3.9931	2.5205	4.7892
Q_{c17}	1.5245	3.7785	1.6400	0.0000
Q_{c20}	5.0000	3.2593	5.0000	5.0000
Q_{c21}	5.0000	4.1425	1.8539	4.9069
Q_{c23}	5.0000	4.9820	3.3035	5.0000
Q_{c24}	4.1862	4.5450	4.5941	5.0000
Q_{c29}	1.6848	4.1272	3.5062	2.1107

Bảng A3. Các giải pháp tốt nhất của hệ thống IEEE 30 nút với yêu cầu chỉ số ổn định điện áp

Biến điều khiển	PSO-TVIW	PSO-TVAC	HPSO-TVAC	PSO-CF
V_{g1}	1.1000	1.1000	1.0979	1.1000
V_{g2}	1.0911	1.0934	1.0997	1.1000
V_{g5}	1.0440	1.0969	1.0500	1.1000
V_{g8}	1.0734	1.0970	1.0663	1.0766
V_{g11}	1.1000	1.1000	1.0561	1.1000
V_{g13}	1.1000	1.1000	1.0886	1.0834
T_{6-9}	0.9701	1.0935	0.9939	1.0040
T_{6-10}	0.9000	0.9000	1.0150	0.9000
T_{4-12}	0.9451	0.9579	0.9121	0.9182
T_{27-28}	0.9425	0.9651	0.9406	0.9414
Q_{c10}	3.7186	3.1409	3.7685	3.4792

Q_{c12}	2.2318	3.0186	4.6323	0.0000
Q_{c15}	0.5772	1.4347	2.6542	2.5747
Q_{c17}	0.0000	3.8498	2.6897	0.0061
Q_{c20}	2.3728	0.0000	2.8806	2.3822

Q_{c21}	2.6790	5.0000	2.1071	2.5272
Q_{c23}	0.1350	0.0000	3.1044	1.1154
Q_{c24}	1.2181	2.1733	2.1797	0.0000
Q_{c29}	1.3609	2.2708	3.5843	0.0000

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION WITH CONSTRICTION FACTOR FOR OPTIMAL REACTIVE POWER DISPATCH

Vo Ngoc Dieu⁽¹⁾, Le Anh Dung⁽¹⁾, Vu Phan Tu⁽²⁾

(1) University of Technology, VNU-HCM

(2) VNU-HCM

ABSTRACT: *This paper proposes a simple particle swarm optimization with constriction factor (PSO-CF) method for solving optimal reactive power dispatch (ORPD) problem. The proposed PSO-CF is the conventional particle swarm optimization based on constriction factor which can deal with different objectives of the problem such as minimizing the real power losses, improving the voltage profile, and enhancing the voltage stability and properly handle various constraints for reactive power limits of generators and switchable capacitor banks, bus voltage limits, tap changer limits for transformers, and transmission line limits. The proposed method has been tested on the IEEE 30-bus and IEEE 118-bus systems and the obtained results are compared to those from other PSO variants and other methods in the literature. The result comparison has shown that the proposed method can obtain total power loss, voltage deviation or voltage stability index less than the others for the considered cases. Therefore, the proposed PSO-CF can be favorable solving the ORPD problem*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- | | |
|---|--|
| <p>[1]. Abou El Ela, A.A., Abido, M.A. & Spea, S.R., Differential evolution algorithm for optimal reactive power dispatch, <i>Electric Power Systems Research</i>, 81(2), 458-464 (2011).</p> <p>[2]. About El-Ela, A., Kinawy, A., El-Sehiemy, R., Mouwafi, M., Optimal reactive power dispatch using ant colony</p> | <p>optimization algorithm, <i>Electrical Engineering (Archiv fur Elektrotechnik)</i>, 1-14 (2011). .</p> <p>[3]. Alsac, O.& Stott, B., Optimal load flow with steady-state security, <i>IEEE Trans. Power Apparatus and Systems</i>, 93, 745-751 (1974).</p> <p>[4]. Aoki, K., Fan, M. & Nishikori, A., Optimal VAR planning by approximation method</p> |
|---|--|

- for recursive mixed integer linear programming, *IEEE Trans. Power Systems*, 3(4), 1741-1747 (1988)..
- [5]. Clerc, M. & Kennedy, J., The particle swarm - Explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space, *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, 6(1), 58-73 (2002).
- [6]. Dabbaghi, I. & Christie, R., Power systems test case archive, University of Washington (1993).
- [7]. Devaraj, D. & Preetha Roselyn, J., Genetic algorithm based reactive power dispatch for voltage stability improvement, *Electrical Power and Energy Systems*, 32(10), 1151-1156 (2010).
- [8]. Esmín, A. A. A., Lambert-Torres, G. & Zambroni de Souza, A. C., A hybrid particle swarm optimization applied to loss power minimization, *IEEE Trans. Power Systems*, 2(2), 859-866 (2005)..
- [9]. Granville, S., Optimal reactive power dispatch through interior point methods, *IEEE Trans. Power Systems*, 9(1), 136-146 (1994)..
- [10]. Grudinín, N., Reactive power optimization using successive quadratic programming method, *IEEE Trans. Power Systems*, 13(4), 1219-1225 (1998)..
- [11]. Kennedy, J. , Eberhart, R., Particle swarm optimization, *Proc. IEEE Conf. Neural Networks (ICNN'95)*, Perth, Australia, IV, 1942-1948 (1995)..
- [12]. Kessel, P., Glavitsch, H., Estimating the voltage stability of power systems, *IEEE Trans Power Systems*, 1(3), 346-54 (1986).
- [13]. Khazali, A. H., Kalantar, M., Optimal reactive power dispatch based on harmony search algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*.
- [14]. Kirschen, D. S., Van Meeteren, H. P., MW/voltage control in a linear programming based optimal power flow, *IEEE Trans. Power Systems*, 3(2), 481-489 (1988)..
- [15]. Lai, L. L. & Ma, J. T., Application of evolutionary programming to reactive power planning, Comparison with nonlinear programming approach. *IEEE Trans. Power Systems*, 12(1), 198-206 (1997).
- [16]. Lee, K.Y, Park, Y.M., Ortiz, J.L., A united approach to optimal real and reactive power dispatch, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, PAS-104(5), 1147-1153 (1985).
- [17]. Li, Y., Cao, Y., Liu, Z., Liu, Y. & Jiang, Q., Dynamic optimal reactive power dispatch based on parallel particle swarm optimization algorithm, *Computers and Mathematics with Applications*, 57(11-12) 1835-1842 (2009).
- [18]. Lim, S.Y, Montakhab, M. & Nouri, H., A constriction factor based particle swarm optimization for economic dispatch, *The 2009 European Simulation and Modelling Conference (ESM'2009)*, Leicester, United Kingdom (2009).

- [19]. Lu, F.C., Hsu, Y. Y., Reactive power/voltage control in a distribution substation using dynamic programming, *IEE Proc. Gen. Transm. Distrib.*, 142 (6), 639–645 (1995)..
- [20]. Mahadevan, K. & Kannan, P.S., Comprehensive learning particle swarm optimization for reactive power dispatch, *Applied Soft Computing*, 10(2), 641-652 (2010)..
- [21]. Nanda, J., Hari, L. & Kothari, M. L., Challenging algorithm for optimal reactive power dispatch through classical coordination equations, *IEE Proceedings - C*, 139 (2), 93-101 (1992)..
- [22]. Ratnaweera, A., Halgamuge, S K., Watson, H. C., Self organizing hierarchical particle swarm optimizer with time-varying acceleration coefficients, *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, 8(3), 240-255 (2004).
- [23]. Shi, Y. & Eberhart, R., A modified particle swarm optimizer, *Proc. The 1998 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Piscataway, NJ, IEEE Press, 69-73 (1998)
- [24]. Urdaneta, A. J., Gomez, J. F., Sorrentino, E., Flores, L. & Diaz, R., A hybrid genetic algorithm for optimal reactive power planning based upon successive linear programming, *IEEE Trans. Power Systems*, 14 (4), 1292-1298 (1999)..
- [25]. Vlachogiannis, J. G., Lee, K. Y., A Comparative study on particle swarm optimization for optimal steady-state performance of power systems, *IEEE Trans. Power Systems*, 21(4), 1718-1728 (2006).
- [26]. Yan, W., Lu, S., Yu, D. C., A novel optimal reactive power dispatch method based on an improved hybrid evolutionary programming technique, *IEEE Trans. Power Systems*, 19(2), 913 (2004).
- [27]. Zhao, B., Guo, C. X., Cao, Y. J., A multiagent-based particle swarm optimization approach for optimal reactive power dispatch, *IEEE Trans. Power Systems*, 20(2), 1070-1078 (2005)..
- [28]. Zimmerman, R.D., Murillo-Sánchez, C.E., Thomas, R.J., Matpower's extensible optimal power flow architecture, *Proc. Power and Energy Society General Meeting, IEEE*, 1-7 (2009).