

Áp dụng thuật toán PSO cải tiến phân bố tối ưu công suất phản kháng và áp dụng cho lưới điện 110 kV Miền Nam

Lê Anh Dũng, Võ Ngọc Điều*, Ngô Quốc Hưng

Tóm tắt—Bài báo trình bày ứng dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn cải tiến (Improved particle swarm optimization - IPSO) để tối ưu phân bố công suất phản kháng trong hệ thống điện và áp dụng cho lưới điện 110kV Miền Nam. Thuật toán IPSO là cải tiến của tối ưu hóa bầy đàn (Particle Swarm Optimization – PSO) với việc tích hợp đạo hàm giả để tăng khả năng tìm kiếm của phương pháp PSO và có thể áp dụng cho các hệ thống lớn. Thuật toán IPSO đã được áp dụng tính toán cho hệ thống chuẩn IEEE 30 nút và kết quả tính cho thấy thuật toán IPSO hiệu quả cho bài toán này qua so sánh kết quả tính toán với các phương pháp khác. Từ kết quả đạt được, thuật toán IPSO đã được áp dụng tính toán tối ưu phân bố công suất phản kháng cho lưới điện 110 kV Miền Nam và kết quả được kiểm chứng với kết quả từ chương trình PSS/E. Các kết quả đạt được cho thấy rằng thuật toán IPSO rất hiệu quả cho tính toán phân bố tối ưu công suất phản kháng cho các hệ thống lớn trong thực tiễn.

Từ khóa—PSO cải tiến, đạo hàm giả, tối ưu phân bố công suất phản kháng, hệ thống lưới điện 110kV Miền Nam.

1 GIỚI THIỆU

Trên thế giới ngày nay nhu cầu năng lượng đang là vấn đề thời sự cho sự phát triển của nền kinh tế và sự gia tăng dân số toàn cầu, trong đó năng lượng điện đóng vai trò then chốt mà đặc biệt là các nước đang phát triển như Việt Nam. Từ đó,

hệ thống điện cũng liên tục mở rộng, phát triển cả về nguồn và các đường dây truyền tải.

Theo số liệu Tổng công ty Điện lực Miền Nam (EVN SPC) [1] cung cấp, tính đến cuối năm 2016 lưới điện 110 kV của EVN SPC được cung cấp từ 45 trạm biến áp 220/110 kV do các Công ty Truyền tải điện 3 và 4 và các nhà máy điện quản lý, gồm 80 máy biến áp (MBA) với tổng dung lượng 15,330 MVA kể cả trạm biến áp (TBA) 500kV và các nhà máy điện. Hệ thống này nhằm để đảm bảo cung cấp điện cho khách hàng trên địa bàn cũng như phục vụ phát triển kinh tế xã hội nhằm để đạt các chỉ tiêu có liên quan. Sản lượng điện nhận trong năm 2016 của EVN SPC đạt 57 tỷ 855 triệu kWh với sản lượng bình quân ngày là 158,07 triệu kWh/ngày. Công suất đặt năm 2016 đạt 8,698 MW với hệ số sử dụng chỉ khoảng 61% nên cần thực hiện bù công suất phản kháng với dung lượng tụ bù vận hành trên lưới 110kV đến 12/2016 là 130 MVar, trong khi dung lượng tụ bù vận hành tại thanh cái 22 kV các trạm 110kV là 1.467,7 MVar. Dung lượng tụ bù trên lưới trung thế đến 12/2016 là 1.799,5 MVar và trên lưới hạ thế là 935,6 MVar.

Vì vậy, bài toán phân bố công suất tối ưu nhằm để nâng cao khả năng tận dụng hệ thống điện hiện có, trong đó công suất phản kháng ngày càng được quan tâm, nhất là đối với ngành công nghiệp thép. Đây là bài toán mà ngành Điện lực cũng phải tìm cách giải quyết từ rất lâu. Đã có nhiều thuật toán cổ điển và trí tuệ nhân tạo được áp dụng để giải bài toán này như Differential Evolution (DE) [2], Ant Colony Optimization (ACO) [3], Genetic Algorithm (GA) [4], Tabu Search (TS) [5], Trong sự phát triển của trí tuệ nhân tạo các năm gần đây trong lĩnh vực công nghệ thông tin xuất hiện thuật toán bầy đàn (Particle Swarm Optimization – PSO) [6] đầu tiên, sau đó thuật toán này được áp dụng vào các

Ngày nhận bản thảo: 05-6-2017, ngày chấp nhận đăng: 20-11-2017

Lê Anh Dũng, Võ Ngọc Điều, Ngô Quốc Hưng - Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

*vndieu@hcmut.edu.vn

ngành kỹ thuật khác, đặc biệt là gần đây nhất các phiên bản cải tiến của nó được áp dụng vào các bài toán cải tiến. Đây là thuật toán có nhiều ưu điểm và đã được ứng dụng rộng rãi vào trong rất nhiều lĩnh vực và một trong những lĩnh vực ứng dụng của PSO cải tiến là lĩnh vực hệ thống điện. Một số nhà khoa học trên thế giới đã triển khai đưa thuật toán PSO cải tiến (IPSO) [7] vào ứng dụng tính toán tối ưu trong hệ thống điện và đã cho ra những kết quả tốt hơn những giải thuật khác và chương trình chạy nhanh hơn.

Điều phối tối ưu công suất phản kháng (Optimal Reactive Power Dispatch – ORPD) [8] là để xác định những biến số điều khiển như điện áp tại các nút máy phát, dung lượng tụ bù và vị trí bộ điều chỉnh điện áp máy biến áp để bảo đảm hàm mục tiêu của bài toán đạt cực tiểu trong khi thỏa mãn các điều kiện ràng buộc của máy phát và hệ thống. Trong bài toán ORPD, hàm mục tiêu có thể là tổng tổn thất công suất, sự chênh lệch điện áp tại nút tải cho việc cải thiện biến dạng điện áp hoặc hệ số ổn định điện áp để nâng cao độ ổn định điện áp [9]. ORPD là một bài toán tối ưu phức tạp với phạm vi lớn cùng với hàm mục tiêu phi tuyến và những điều kiện ràng buộc phức tạp. Trong vận hành hệ thống điện vai trò chính của ORPD là duy trì điện áp nút tải trong giới hạn của nó để cung cấp những dịch vụ chất lượng cao đến khách hàng.

2 THÀNH LẬP BÀI TOÁN ORPD

Mục tiêu của bài toán ORPD là xác định mức điện áp tại các nút máy phát, nấc điều chỉnh điện áp máy biến áp và giá trị các tụ bù sao cho cực tiểu hóa tổn thất công suất thực hoặc cải thiện điện áp các nút thỏa mãn các ràng buộc gồm cân bằng công suất tại các nút, giới hạn công suất kháng máy phát, giới hạn nấc điều áp máy biến áp, giới hạn điện áp nút và giới hạn công suất truyền trên nhánh. Các hàm mục tiêu của bài toán ORPD như sau:

- *Giảm tổn hao truyền tải*

Tổn thất công suất thực trên đường dây truyền tải và được biểu diễn như sau:

$$F(x, u) = F_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{N_L} g_{i,j} [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (1)$$

- *Cải thiện độ lệch áp*

Điện áp của nút tải là một trong những vấn đề an ninh và các chỉ số chất lượng của hệ thống điện

quan trọng nhất, do đó độ lệch điện áp tại các nút có thể là hàm mục tiêu như sau:

$$F(x, u) = VD = \sum_{i=1}^{N_b} |V_i - V_{\text{ref}}| \quad (2)$$

• **Điều kiện ràng buộc**

- *Điều kiện ràng buộc đẳng thức*

Phương trình phân bố công suất tại mỗi nút phải thỏa mãn:

$$P_{gi} - P_{di} - \sum_{j=1}^{N_b} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) = 0; \quad i = 1, \dots, N_b \quad (3)$$

$$Q_{gi} + Q_{ci} - Q_{di} - \sum_{j=1}^{N_b} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) = 0; \quad i = 1, \dots, N_b \quad (4)$$

- *Điều kiện ràng buộc bất đẳng thức*

Giới hạn công suất của máy phát: Công suất phản kháng và điện áp của máy phát phải nằm trong giới hạn dưới và giới hạn trên của máy phát như sau:

$$Q_{gi, \min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi, \max}; \quad i = 1, \dots, N_g \quad (5)$$

$$V_{gi, \min} \leq V_{gi} \leq V_{gi, \max}; \quad i = 1, \dots, N_g \quad (6)$$

Giới hạn công suất dây tụ bù: Công suất phản kháng được thực hiện bởi khóa chuyển đóng cắt thì công suất đầu ra của dây tụ phải nằm trong giới hạn dưới và giới hạn trên.

$$Q_{ci, \min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci, \max}; \quad i = 1, \dots, N_c \quad (7)$$

Ràng buộc về an ninh: Điện áp tại mỗi nút tải và dòng công suất trên đường dây truyền tải không được vượt quá giới hạn dưới và giới hạn trên.

$$V_{li, \min} \leq V_{li} \leq V_{li, \max}; \quad i = 1, \dots, N_d \quad (8)$$

$$S_l \leq S_{l, \max}; \quad l = 1, \dots, N_l \quad (9)$$

$$S_l = \max\{|S_{ij}|, |S_{ji}|\} \quad (10)$$

3 THUẬT TOÁN PSO CẢI TIẾN.

Thuật toán Tối ưu hóa bầy đàn (PSO) với đạo hàm giả [7] được phát triển dựa trên cơ sở thuật toán PSO. Thuật toán này cũng là một dạng PSO nhưng dùng đạo hàm giả để làm tăng hệ số giới hạn nhằm tăng nhanh quá trình hội tụ. Mục đích của đạo hàm giả là hướng các phần tử di chuyển đến điểm tốt hơn để chúng có thể nhanh chóng đạt đến điểm tối ưu.

Trong thuật toán PSO với hệ số giới hạn [9], vận tốc của các phần tử được xác định như sau:

$$v_{id}^{(k+1)} = \chi \times \left[v_{id}^{(k)} + c_1 \times rand_1 \times (pbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) \right] \quad (11)$$

$$\chi = \frac{2}{\left| 2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi} \right|}, \quad \varphi = c_1 + c_2, \quad \varphi > 4 \quad (12)$$

Trong trường hợp này, hệ số φ ảnh hưởng đến độ hội tụ của hệ thống và phải lớn hơn 4 mới đảm bảo ổn định. Tuy nhiên, giá trị φ tăng thì hệ số giới hạn χ giảm tạo ra sự đa dạng và dẫn đến chậm đưa đến kết quả. Giá trị cơ bản của φ thường là 4,1, $c_1 = c_2 = 2,05$.

Để thực hiện đạo hàm giả trong PSO, hai điểm được xét đến tương ứng là x_k và x_l trong khoảng không gian tìm kiếm của đạo hàm giả tại vị trí phần tử ở lần lặp thứ k và $k+1$ là $x^{(k)}$ và $x^{(k+1)}$. Do đó, vị trí cập nhật mới của phần tử được viết lại như sau:

$$x_{id}^{(k+1)} = \begin{cases} x_{id}^{(k)} + \delta(x_{id}^{(k+1)} - x_{id}^{(k)}) & \text{if } g_p(x_{id}^{(k+1)}) \neq 0 \\ x_{id}^{(k)} + v_{id}^{(k+1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

Theo biểu thức (13), nếu đạo hàm giả khác 0, phần tử sẽ di chuyển đúng chiều và tiến nhanh đến điểm tối ưu trong không gian tìm kiếm nhờ tăng tốc độ của phần tử, ngược lại vị trí của phần tử sẽ được cập nhật lại. Thật ra, phương pháp PSO cải tiến cũng giống như phương pháp PSO cổ điển nhưng nhờ đạo hàm giả nên các phần tử di chuyển đúng chiều, và tăng tốc độ làm chúng có thể tiến nhanh đến lời giải tối ưu. Vì vậy, PSO cải tiến có hiệu quả tốt hơn so với phương pháp PSO thông thường trong giải quyết bài toán tối ưu.

4 ÁP DỤNG THUẬT TOÁN PSO CẢI TIẾN VÀO BÀI TOÁN ORPD.

Để áp dụng thuật toán IPSO để giải bài toán ORPD, mỗi vị trí cá thể thể hiện các biến điều khiển được xác định như sau:

$$X_{id} = [V_{G_1}, \dots, V_{G_{NG}}, T_1, \dots, T_{Nt}, Q_{C_1}, \dots, Q_{C_{NC}}]^T \quad (14)$$

$$d = 1, \dots, NP$$

trong đó X_d là vị trí cá thể d và NP là số cá thể.

Giá trị của X_{id} , V_{id} được khởi động như sau:

$$X_{id}^{(0)} = X_{id}^{\min} + rand \times (X_{id}^{\max} - X_{id}^{\min}) \quad (15)$$

$$V_{id}^{(0)} = V_{id}^{\min} + rand \times (V_{id}^{\max} - V_{id}^{\min}) \quad (16)$$

với $rand$ là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng $[0,1]$, X_{id}^{\max} , X_{id}^{\min} là giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất của véc-tơ biến trong (14), V_{id}^{\max} , V_{id}^{\min} là giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất của véc-tơ vận tốc cá thể và được xác định bởi:

$$V_{id}^{\max} = R \times (X_{id}^{\max} - X_{id}^{\min}) \quad (17)$$

$$V_{id}^{\min} = -V_{id}^{\max} \quad (18)$$

với R là hệ số giảm tốc cá thể và thường được chọn trong khoảng $[0,1; 0,25]$.

Trong suốt quá trình lặp, vị trí và vận tốc của các cá thể luôn được điều chỉnh trong giới hạn sau khi được tính toán trong mỗi vòng lặp như sau:

$$X_{id}^{new} = \min\{X_{id}^{\max}, \max\{X_{id}^{\min}, X_{id}\}\} \quad (19)$$

$$V_{id}^{new} = \min\{V_{id}^{\max}, \max\{V_{id}^{\min}, V_{id}\}\} \quad (20)$$

Hàm mục tiêu cần được cực tiểu trong IPSO dựa trên hàm mục tiêu của bài toán và các biến phụ thuộc bao gồm công suất phát thực tại nút cân bằng, công suất phản kháng tại nút máy phát, điện áp tại nút tải, công suất biểu kiến của đường dây truyền tải, hàm mục tiêu được tích hợp trong hàm đánh giá như sau:

$$FT = f(x, u) + K_q \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{gi} - Q_{gi}^{lim})^2 + K_v \sum_{i=1}^{N_d} (V_{gi} - V_{li}^{lim})^2 + K_s \sum_{i=1}^{N_l} (S_{li} - Q_{li}^{\max})^2 \quad (21)$$

trong đó K_q , K_v và K_s lần lượt là hệ số phạt của công suất phản kháng máy phát, điện áp tải và công suất đường dây truyền tải.

Giới hạn của các biến phụ thuộc trong (21) được xác định như sau:

$$x^{lim} = \begin{cases} x_{\max} & \text{if } x > x_{\max} \\ x_{\min} & \text{if } x < x_{\min} \\ x & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22)$$

với x và x^{lim} là các giá trị tính toán và giới hạn của Q_{gi} , V_{li} , S_{li} .

Các bước áp dụng thuật toán IPSO giải bài toán ORPD như sau:

Bước 1: Chọn các thông số điều khiển cho IPSO bao gồm số cá thể NP , số vòng lặp lớn nhất $ITmax$, hệ số thành phần nhận thức và thành phần xã hội c_1 , c_2 ; hệ số giới hạn vận tốc lớn nhất R , các hệ số phạt K_q , K_v , và K_s cho các ràng buộc.

Bước 2: Khởi động các biến điều khiển trong giới hạn xác định bao gồm vị trí, vận tốc ban đầu của các cá thể $x_{id}^{(0)}$, $v_{id}^{(0)}$ theo (14), (15), (16).

Bước 3: Đối với mỗi cá thể, tính toán giá trị của các biến phụ thuộc dựa trên phân bố công suất và ước lượng hàm đánh giá $Fpbestd$ trong (21). Xác định giá trị tốt nhất toàn cục của hàm đánh giá $Fgbest = \min(Fpbestd)$.

Bước 4: Đặt $pbestd$ cho vị trí khởi tạo ban đầu $x_{id}^{(0)}$ cho mỗi cá thể và $gbest$ cho vị trí mỗi cá thể tương ứng với hàm $Fpbestd$.

Bước 5: Khởi tạo đạo hàm giá kết hợp với các phần tử đến vị trí 0. Đặt bộ đếm $k = 1$.

Bước 6: Tính toán vận tốc mới $v_{id}^{(k)}$ và cập nhật vị trí $x_{id}^{(k)}$ cho mỗi phần cá thể theo (11) và (13). Chú ý rằng quan vị trí và vận tốc của các cá thể được giới hạn theo (19) và (20)

Bước 7: Phân bố lại dòng công suất dựa trên vị trí mới của mỗi cá thể.

Bước 8: Ước lượng hàm đánh giá FT_d theo (21) cho mỗi cá thể với vị trí mới. So sánh FT_d và $F^{(k-1)}pbestd$ để đạt được hàm đánh giá tốt nhất tại vòng lặp hiện hữu $F^{(k)}pbestd$.

Bước 9: Chọn ra vị trí $pbest^{(k)}_d$ tương ứng với $F^{(k)}pbestd$ cho mỗi phần tử và ước lượng hàm đánh giá $F^{(k)}pbestd$ mới tốt nhất toàn cục và tương ứng với $gbest^{(k)}_i$.

Bước 10: Tính toán đạo hàm giá cho mỗi cá thể dựa trên hai vị trí tương ứng $x^{(k)}_{id}$ và $x^{(k-1)}_{id}$.

Bước 11: Nếu $k < ITmax$, tăng số vòng lặp $k = k + 1$ và trở lại Bước 6. Ngược lại, dừng thuật toán.

5 KẾT QUẢ TÍNH TOÁN.

5.1 Hệ thống điện chuẩn IEEE-30 nút

Thuật toán được áp dụng tính toán trên mạng điện chuẩn IEEE 30 nút [11] gồm 6 nút máy phát, 24 nút tải và 41 nhánh. Các máy phát được nối vào các nút 1, 2, 5, 8, 11 và 13 với 4 máy biến áp nằm ở các nhánh 6-9, 6-10, 4-12 và 27-28. Hệ thống có các dây tụ nằm ở các nút 10, 12, 15, 17, 20, 21, 23, 24, và 29. Số biến kiểm soát của hệ thống là 19 bao gồm điện áp ở 6 nút máy phát, chỉnh nấc của 4 máy biến áp và công suất phản kháng ở 9 dây tụ.

Thông số cài đặt của thuật toán IPSO cho hệ thống này gồm $NP = 10$, $ITmax = 200$, các hệ số $c_1 = c_2 = 2,05$, $R = 0,15$ và $K_q = K_v = K_s = 10^6$.

5.1.1 Hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất

Kết quả tính toán từ phương pháp IPSO cho hệ thống IEEE 30 nút với hàm mục tiêu là giảm tổn thất công suất được so sánh với kết quả từ các phương pháp khác như trong Bảng 1.

Bảng 1. So sánh kết quả cho mạng IEEE-30 nút với mục tiêu giảm tổn thất

Phương pháp	CPSO [8]	PSO-TVIW [8]	PSO-TVAC [8]	HPSO-TVAC [8]	ABC [10]	IPSO
Min Ploss (MW)	4,5987	4,5952	4,6003	4,7232	4,5194	4,5952
Avg. Ploss (MW)	4,6441	4,6746	4,6233	5,0659	4,8892	4,6261
Max Ploss (MW)	5,0842	5,8956	4,8749	5,9194	5,3815	5,6249
Std. dev. Ploss (MW)	0,0980	0,2432	0,0405	0,1943	0,1885	0,1482
VD	1,9030	1,9823	1,8920	1,4613	2,0317	1,9896
Lmax	0,1263	0,1257	0,1275	0,1331	0,1263	0,1257
Avg. CPU time (s)	11,0200	11,1100	10,9300	10,3300	4,4770	13,7110

Từ kết quả trên thấy rằng thuật toán IPSO cho kết quả tốt hơn thuật toán PSO và ABC. Giá trị cực tiểu tổn thất công suất thực khi áp dụng thuật toán IPSO là 4,5987 MW thấp hơn so với tổn thất công suất từ thuật toán CPSO là 4,5987 MW. Độ lệch chuẩn của thuật toán IPSO là 0,1482 cũng thấp hơn so với thuật toán ABC là 0,1885, PSO-TVIW là 0,2432, và HPSO-TVAC là 0,1943. Thời gian tìm kết quả tối ưu của thuật toán IPSO là 13,7110 giây cũng nhanh hơn so với ABC là 14,4770 giây. Tuy nhiên, việc so sánh này chưa chính xác vì khác phần cứng. Ngoài ra, các chỉ tiêu tổng độ lệch điện áp ($VD = 1,9896$) và chỉ số ổn định điện áp ($L_{max} = 0,1257$) cũng cho kết quả thấp hơn các thuật toán còn lại.

5.1.2 Hàm mục tiêu cực tiểu độ lệch điện áp ở nút tải

Kết quả tính toán từ phương pháp IPSO cho hệ thống IEEE 30 nút với hàm mục tiêu là tổng độ lệch điện áp nút tải được so sánh với kết quả từ các phương pháp khác như trong Bảng 2.

Từ kết quả tính toán thấy rằng thuật toán IPSO cho kết quả tốt hơn thuật toán PSO, ABC (Artificial Bee Colony – Bầy ong nhân tạo). Độ lệch chuẩn điện áp khi áp dụng thuật toán IPSO là 0,0346 thấp

hơn so với độ lệch chuẩn của thuật toán ABC là 0,0718. Thời gian tính toán của thuật toán IPSO là 11,2610 giây trong khi của ABC là 11,747 giây. Ngoài ra, các chỉ tiêu chỉ số ổn định điện áp ($L_{imax} = 0,1469$) cũng cho kết quả thấp hơn các thuật toán còn lại.

Bảng 2. So sánh kết quả cho mạng IEEE-30 nút với mục tiêu giảm tổng độ lệch điện áp nút tải

Phương pháp	PSO-TVAC [8]	HPSO-TVAC [8]	ABC [10]	IPSO
Min VD	0,1210	0,1136	0,0992	0,1253
Avg. VD	0,1529	0,1340	0,1870	0,1377
Max VD	0,1871	0,1615	0,4394	0,3674
Std. dev. VD	0,0153	0,0103	0,0718	0,0346
Ploss (MW)	5,3829	5,7269	5,4582	5,8400
Lmax	0,1485	0,1484	0,1494	0,1469
Avg. CPU time (s)	9,8800	9,5900	11,7470	11,2610

5.1.3 Hàm mục tiêu cực tiểu chỉ số ổn định điện áp

Kết quả tính toán từ phương pháp IPSO cho hệ thống IEEE 30 nút với hàm mục tiêu là chỉ số ổn định điện áp được so sánh với kết quả từ các phương pháp khác như trong Bảng 3.

Bảng 3. So sánh kết quả cho mạng IEEE-30 nút với mục tiêu chỉ số ổn định điện áp

Phương pháp	PSO-TVAC [8]	HPSO-TVAC [8]	ABC [10]	IPSO
Min L_{max}	0,1248	0,1261	0,1247	0,1251
Avg. L_{max}	0,1262	0,1275	0,1296	0,1267
Max L_{max}	0,1293	0,1287	0,1545	0,1398
Std.dev. L_{max}	0,0009	0,0006	0,0049	0,0021
P_{loss} (MW)	4,8599	5,2558	4,7359	4,8752
VD	1,9174	1,683	2,1461	1,9749
Avg. CPU time (s)	13,3900	13,0500	15,7600	14,5760

Từ kết quả trên thấy rằng thuật toán IPSO cho kết quả tốt hơn thuật toán PSO, ABC. Độ lệch chuẩn ổn định điện áp khi áp dụng thuật toán IPSO là 0,0021 thấp hơn so với độ lệch chuẩn của thuật toán ABC

là 0,0049. Thời gian tính toán của thuật toán IPSO là 14,5760 giây cũng nhanh hơn so với ABC là 15,7600 giây. Ngoài ra, các chỉ tiêu tổng độ lệch điện áp ($VD = 1,9749$) cũng cho kết quả thấp hơn các thuật toán còn lại.

5.2 Hệ thống điện Miền Nam – Việt Nam

Hệ thống điện Miền Nam - Việt Nam có 1015 nút và hơn 1188 nhánh, 101 nguồn phát, 115 máy biến áp, dung lượng bù 151,8600 MVar.

Giới hạn trên và giới hạn dưới của điện áp là 1,1 pu và 0,93 pu. Giới hạn trên và giới hạn dưới của bộ điều chỉnh tải máy biến áp là 1,05 pu và 0,95 pu. Các tải điều chỉnh điện áp máy biến áp và đóng cắt dây tụ bù theo từng nấc tương ứng 0,01 pu và 0,1 MVar [11].

Thông số cài đặt của thuật toán IPSO bao gồm $NP = 400$, $Itmax = 300$. Các hệ số khác được chọn giống như cho trường hợp IEEE 30 nút. Thuật toán IPSO được chạy 15 lần để xác định các giá trị nhỏ nhất, trung bình, lớn nhất và độ lệch chuẩn.

Kết quả tính toán cho hệ thống điện Miền Nam dùng IPSO cho các hàm mục tiêu khác nhau gồm tổn thất công suất, tổng độ lệch điện áp nút tải và chỉ số ổn định điện áp được cho trong Bảng 4.

Các kết quả tính toán cho thấy thuật toán IPSO có khả năng tìm được lời giải tối ưu cho hệ thống lớn trong các trường hợp khác nhau.

Bảng 4. Kết quả tính toán cho hệ thống điện Miền Nam – Việt Nam

Giá trị	Hàm mục tiêu		
	P_{loss}	VD	L_{imax}
Mục tiêu nhỏ nhất	267,2518	8,7173	0,5702
Mục tiêu trung bình	280,0606	9,5494	0,5804
Mục tiêu lớn nhất	292,9474	10,1284	0,5901
Độ lệch chuẩn (MW)	7,4710	0,4055	0,0052
P_{loss} (MW)	-	441,7570	439,1380
VD	34,8776	-	29,2901
L_{imax}	0,6017	0,6697	-
Thời gian tính (s)	4008	4073	83849

Kết quả tính toán cho hàm mục tiêu giảm tổn thất được kiểm chứng bằng chương trình PSS/E như trong Bảng 5.

Bảng 5. Kiểm chứng kết quả tính tổn thất công suất cho hệ thống điện Miền Nam – Việt Nam

Phương pháp	IPSO	PSS/E
P_{loss} (MW)	267,2518	271,9000
ΔP_{loss} (MW)	4,6482	
Tổn thất điện năng giảm (GWh/năm)	27,8892	

Kết quả so sánh cho thấy rằng cực tiểu tổn thất công suất cho kết quả tốt hơn khi tính bằng PSS/E. Tổn thất điện năng trên lưới điện sẽ giảm khoảng 27,8892 (GWh/năm) với $T_{maxtb} = 6000$ h, tiết kiệm được chi phí vận hành cũng như chi phí lắp đặt thiết bị bù trên lưới.

5.3 Những đóng góp của nghiên cứu vào hệ thống điện Miền Nam - Việt Nam

5.3.1 Về mặt kinh tế

Giảm chi phí cho việc lắp đặt các thiết bị và các trạm bù công suất kháng tiêu thụ.

5.3.2 Về mặt kỹ thuật

- Giảm tổn thất công suất thực, điện áp và tăng khả năng truyền tải với công suất, điện áp tối ưu.
- Tối ưu công suất kháng truyền tải để nâng cao độ tin cậy, an toàn và ổn định trong cung cấp điện cho lưới điện 21 tỉnh thành phía Nam, khắc phục tình trạng quá tải cục bộ, đáp ứng tốt hơn yêu cầu cung cấp điện cho khách hàng sử dụng điện.
- Điều hòa được lượng công suất kháng tại nút cũng như tăng tính ổn định điện áp tại nút.
- Từ đó sẽ giảm chi phí lắp đặt các tụ bù, máy bù trên lưới đảm bảo vận hành hệ thống theo thông tư 15/2014/TT-BCT ban hành ngày 28/5/2014 của Bộ Công thương qui định về mua, bán công suất kháng.

6 KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp PSO cải tiến giải bài toán điều độ công suất phản kháng tối ưu trong hệ thống điện. Phương pháp PSO cải tiến có khả năng tìm kiếm lời giải tối ưu tốt hơn thuật toán PSO nguyên thủy. Do đó, phương pháp này phù hợp cho bài toán điều độ công suất kháng được xem xét là bài toán lớn với nhiều biến và đa cực trị. Phương pháp này đã được áp dụng tính toán cho hệ thống chuẩn IEEE 30 nút và hệ thống điện Miền Nam – Việt Nam cho các hàm mục tiêu khác nhau gồm giảm tổn thất thực, độ lệch điện áp nút tải và chỉ số

ổn định điện áp. Kết quả tính toán cho thấy khả năng linh hoạt, mạnh mẽ của phương pháp PSO cải tiến trong việc xác định lời giải tối ưu toàn cục và giải quyết bài toán điều độ tối ưu công suất kháng một cách dễ dàng so với các phương pháp khác. Thông qua kết quả đạt được, phương pháp PSO cải tiến đã thành công trong việc tìm kiếm hội tụ với tốc độ tương đối nhanh cũng như hiệu quả của phương pháp trong việc giải bài toán tối ưu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tổng công ty Điện lực miền Nam, Báo cáo kết quả thực hiện kế hoạch năm 2016 triển khai thực hiện kế hoạch năm 2017, 12/1/2017.
- [2] Varadarajan M. Optimal Power Flow Solution Using Differential Evolution. Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, Madras. November 2007.
- [3] Boumediene Allaoua and Abdellah Laoufi, Collective Intelligence for Optimal Power Flow Solution Using Ant Colony Optimization, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 13, 88-105 (2008).
- [4] Durairaj S., Kannan P.S., Devaraj D., Application of Genetic Algorithm to Optimal Reactive Power Dispatch including Voltage Stability Constraint, *Journal of Energy & Environment*, 4, 63-73(2005).
- [5] Abido M.A., Optimal Power Flow Using Tabu Search Algorithm, *Electric Power Components and Systems*, 30, 469-483(2002).
- [6] Kennedy J., Eberhart R., Particle Swarm Optimization, *Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, 1942-1948(1995).
- [7] Dieu Ngoc Vo, Peter Schegner, "An Improved Particle Swarm Optimization for Optimal Power Flow" in *Meta-Heuristics Optimization Algorithms in Engineering, Business, Economics, and Finance*, IGI 2013.
- [8] Vo Ngoc Dieu, Le Anh Dung, Nguyen Phuc Khai., Particle Swarm Optimization with constriction factor for Optimal Reactive Power Dispatch, *GMSARN International Journal*, 7, 31-40(2013).
- [9] Dieu Ngoc Vo, Dung Anh Le, Optimal Reactive Power Dispatch by Pseudo-Gradient Guided Particle Swarm Optimization, *The 10th International Power and Energy Conference (IPEC 2012)*, December 2012, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- [10] Trác Minh Đăng, Điều độ công suất phản kháng tối ưu sử dụng thuật toán artificial bee colony, Luận văn thạc sĩ khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc Gia TP. HCM, 2014.
- [11] Zimmerman R.D., Murillo-Sánchez C., MATPOWER User's Manual. [Online]. Available at: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>.

Lê Anh Dũng tốt nghiệp đại học trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM năm 1994 ngành Điện khí hóa cung cấp điện và tốt nghiệp Thạc sĩ Học viện Công nghệ Châu Á năm 2005 ngành Quản lý hệ thống điện. Hiện Lê Anh Dũng là nghiên cứu sinh tại trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM. Hướng nghiên cứu là điều độ tối ưu 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 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.

Ngô Quốc Hưng tốt nghiệp đại học ngành Kỹ thuật điện trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM năm 2010 và học Thạc sĩ tại trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM. Hướng nghiên cứu là đánh giá sóng hài do tác động của năng lượng tái tạo nối lưới.

Application of improved PSO algorithm to optimal reactive power dispatch and implementation to the 110 kV Southern Vietnam power system

Dung Anh Le, Vo Ngoc Dieu*, Ngo Quoc Hung

Ho Chi Minh city University of Technology, VNU-HCM

Corresponding author: vndieu@hcmut.edu.vn

Received: 05-6-2017; Accepted: 20-11-2017

Abstract—This paper presents an application of improved particle swarm optimization (IPSO) algorithm for solving the optimal reactive power dispatch (ORPD) problem in power systems and a case study for a practical 110kV power system of Southern Vietnam. The IPSO is an improvement of PSO with an integration of pseudo-gradient to enhance the search ability of PSO for application to large-scale systems. The proposed IPSO has been tested on the IEEE 30 bus system and the obtained results have indicated that the proposed method is effective for the ORPD problem via result comparisons with other methods. From the obtained results, the IPSO method has been also implemented to the ORPD problem for the 110 kV Southern Vietnam power system and the obtained result is verified by the PSS/E program. The obtained results have indicated that the IPSO method is very effective for solving the large-scale practical systems.

Index Terms—Improved PSO, pseudo-gradient, optimal reactive power dispatch, 110kV Southern Vietnam power system.