TỐI ƯU VỊ TRÍ LẮP ĐẶT THIẾT BỊ BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG TRÊN LƯỚI ĐIỆN SỬ DỤNG THUẬT TOÁN SĂN MỒI BIỂN (MPA)

OPTIMIZING THE PLACEMENT OF REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICES ON THE POWER GRID USING THE MARINE PREDATORS ALGORITHM (MPA)

KS. NGUYỄN MINH ĐẠT[1, a], TS. NGUYỄN PHÚC KHẢI[2, b]
[1] *Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long*
[2] *Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM*
Email: [a] nmdat97@gmail.com, [b] phuckhai@hcmut.edu.vn

Nhận bài (received): 07/3/2022; Phản biện (revised): 30/3/2022; Chấp nhận (accepted): 08/4/2022

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp tính toán tối ưu vị trí lắp đặt các thiết bị bù công suất phản kháng trên lưới điện sử dụng Thuật toán săn mồi biển (Marine Predators Algorithm – MPA). Bài báo xây dựng mô phỏng tính toán tối ưu vị trí lắp đặt các thiết bị bù công suất phản kháng trên lưới điện đến 57 nút bằng phần mềm Matlab/Simulink. Hàm mục tiêu của bài toán là dạng hàm đa mục với các mục tiêu về kỹ thuật như cực tiểu tổn thất công suất, cực tiểu độ lệch điện áp và mục tiêu về kinh tế là cực tiểu chi phí đầu tư thiết bị bù. Bài toán cũng xem xét các điều kiện vận hành phổ biến trên lưới điện hiện hữu như giới hạn điện áp tại các nút tải, giới hạn khả năng truyền tải của lưới điện. Các tác giả đã áp dụng Thuật toán săn mồi biển để giải quyết bài toán cho lưới điện tiêu chuẩn IEEE 30 nút, 57 nút và so sánh kết quả tính toán tối ưu với các phương pháp đã được công bố. Đối với lưới có quy mô vừa như lưới 30 nút, lưới 57 nút thì kết quả của thuật toán MPA ở cả hai lưới đều hiệu quả hơn, có giá trị trung bình hàm tối ưu nhỏ hơn, quá trình hội tụ nhanh hơn so với phương pháp MFO và MFO cải tiến. Điện áp tải luôn được đảm bảo trong giới hạn cho phép và gần giá trị đặt hơn. Các kết quả tính toán cho thấy phương pháp MPA có khả năng giải quyết bài toán cho lưới điện có quy mô lớn.

Từ khóa: Tối ưu vị trí, dung lượng bù, Thuật toán săn mồi biển (MPA), Metaheuristic.

ABSTRACT

This article presents a meta-heuristic method for optimizing the placement of reactive power compensation devices in the power grid using the Marine Predators Algorithm (MPA). The article makes a simulation to optimize the installation location of reactive power compensation devices on the power grids up to 57 buses using the Matlab software. The objective function of the problem is a multi-objective function with the technical objectives such as minimizing power loss, minimizing voltage deviation, and the economic objectives such as minimizing the investment cost of compensating equipment. The problem

also considers common operating conditions on the existing power grid, such as voltage limitations at load buses and transmission capacity limitations of the grid. The Marine Predators Algorithm is used to solve the problem for the standard IEEE 30-bus and 57-bus systems, and compare the optimal calculation results with published methods in the literature. With a medium-sized grid, such as the IEEE 30-bus and 57-bus systems, the results of the MPA algorithm in both grids are more efficient, have a smaller average value of the optimal function, and the faster convergence process compared to the improved Moth-flame Optimization and Moth-flame Optimization methods. The load voltage is always guaranteed to be within the allowable limit and closer to the set value. The calculation results show that the MPA method can resolve problems for large-scale power grids.

Keywords: *Optimal Placement, Compensation capacity, Marine Predators Algorithm (MPA), Metaheuristic.*

1. GIỚI THIỆU

Trong vận hành hệ thống lưới điện phân phối, vấn đề chất lượng điện áp và giải pháp để cực tiểu tổn thất công suất luôn được đặt lên hàng đầu [1]. Bù công suất phản kháng bằng tụ điện là giải pháp được sử dụng phổ biến trong lưới phân phối bởi chi phí đầu tư rẻ, công suất tiêu hao điện năng nhỏ, không bị hạn chế vị trí lắp đặt [2]. Tuy nhiên, nhiều công trình nghiên cứu về việc tính toán xác định vị trí tối ưu cho các thiết bị bù đã công bố như: Tối ưu vị trí tụ bù trong hệ thống phân phối sử dụng phần mềm ETAP [3]; Ứng dụng thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để tối ưu dung lượng và vị trí tụ bù trong hệ thống điện [4],… Tuy nhiên, các phương pháp này còn một số điểm hạn chế nhất định như: khối lượng tính toán lớn, phức tạp, mất nhiều thời gian, và giá trị tính toán thường bị rơi vào giá trị cực tiểu địa phương,…

Đáp ứng đầy đủ các điều kiện ràng buộc đảm bảo vận hành và hàm mục tiêu cực tiểu, nhằm giảm tổn thất công suất, cực tiểu độ lệch điện áp và mục tiêu về kinh tế là cực tiểu chi phí đầu tư thiết bị bù. Việc vận dụng phương pháp tính toán tối ưu vị trí lắp đặt các thiết bị bù công suất phản kháng trên lưới điện sử dụng Thuật toán săn mồi biển (MPA) sẽ giúp ích trong việc vận hành hệ thống lưới điện trong tương lai.

2. BÀI TOÁN TỐI ƯU VỊ TRÍ LẮP ĐẶT THIẾT BỊ BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG TRÊN LƯỚI ĐIỆN

2.1. Hàm mục tiêu

Vấn đề tối ưu vị trí đặt và kích thước của tụ bù được mô tả là một bài toán đa mục tiêu. Trong đó mục tiêu giảm tổn thất điện năng và sai lệch điện áp là các mục tiêu kỹ thuật và mục tiêu giá thành đầu tư là mục tiêu kinh tế.

2.2. Tổn hao công suất thực

- Tổng tổn hao công suất thực trong hệ thống điện được xác định theo công thức sau:

$$P_{loss} = \sum_{l=1}^{br} R_l I_l^2 = \sum_{i=1}^{b} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{b} [\cdots] \\ \cdots \left[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j) \right] Y_{ii} \cos \varphi_{ij}] \quad (2.1)$$

Trong đó N_{br} và N_b tương ứng là số lượng đường dây và số lượng nút, R_l là điện trở của đường dây thứ l, I_l là dòng điện chạy qua đường dây thứ l, V_i và δ_i tương ứng là biên độ và góc pha của nút thứ i, Y_{ij} và φ_{ij} tương ứng là biên độ và góc pha của tổng dẫn giữa nút thứ i và nút thứ j.

2.3. Độ lệch điện áp

Độ lệch điện áp là tổng tất cả các độ lệch điện áp của tất cả các nút trong hệ

thống điện so với các giá trị đặt. Xác định mục tiêu tổn thất điện áp bằng công thức dưới đây:

$$\Delta V_t = \sum_{i=1}^{b} \left(\frac{V_{ref,i} - V_i}{V_{ref,i}} \right)^2 \quad (2.2)$$

Trong đó $V_{ref,i}$ là giá trị điện áp đặt tại nút thứ i.

2.4. Chi phí đầu tư

Chi phí đầu tư của mỗi thiết bị SVC là một hàm bậc 2 của công suất phản kháng. Do đó tổng chi phí đầu tư được xác định như sau:

$$C_{svc} = \sum_{k=1}^{n} 0.0003 Q_k^2 - 0.3051 Q_k + 127.38 \quad (2.3)$$

Trong đó n là số lượng thiết bị bù SVC được lắp đặt, Q_k là công suất phản kháng được bơm vào lưới của thiết bị SVC thứ k.

2.5. Các điều kiện ràng buộc trong vận hành

Việc tối ưu hóa vị trí lắp đặt và công suất phản kháng của tụ bù cần thỏa mãn tất cả các điều kiện ràng buộc trong vận hành, như là các điều kiện ràng buộc về cân bằng công suất, giới hạn điện áp của nút và giới hạn công suất truyền tải của đường dây.

2.5.1. Các điều kiện ràng buộc về cân bằng công suất

Giống như các vấn đề khác trong vận hành hệ thống điện, việc cân bằng công suất phát và công suất tiêu thụ phải thỏa mãn tại mọi nút của hệ thống điện.

Hai phương trình sau là mô tả của sự cân bằng này:

$$P_{G,i} - P_{D,i} = V_i \sum_{i=1}^{b} \left[V_j \left[G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \right] \right] \quad (2.4)$$

$$Q_{G,i} - Q_{D,i} = V_i \sum_{i=1}^{b} \left[V_j \left[G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \right] \right] \quad (2.5)$$

Trong đó $P_{G,i}$ và $Q_{G,i}$ tương ứng là công suất thực và công suất phản kháng được tạo ra tại nút thứ i, $P_{D,i}$ và $Q_{D,i}$ tương ứng công suất thực và công suất phản kháng tiêu thụ tại nút thứ i, G_{ij} và B_{ij} tương ứng là phần thực và phần ảo của mỗi thành phần tổng dẫn Y_{ij} trong ma trận tổng dẫn.

2.5.2. Điều kiện giới hạn của máy phát

$$V_{Gi,\min} \le V_{Gi} \le V_{Gi,\max} \quad (2.6)$$

$$Q_{Gi,\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi,\max} \quad (2.7)$$

2.5.3. Giới hạn của các thiết bị SVC

Mỗi thiết bị SVC chỉ có thể làm việc trong một phạm vi công suất phản kháng nhất định:

$$Q_{i,\min} \le Q_i \le Q_{i,\max} \quad (2.8)$$

2.5.4. Giới hạn của máy biến áp có nhiều nấc phân áp

Giới hạn trên và dưới của việc cài đặt các nấc của máy biến áp thể hiện như sau:

$$V_{Ti,\min} \le V_{Ti} \le V_{Ti,\max} \quad (2.9)$$

2.5.5. Giới hạn điện áp tại các nút

Để giữ cho hệ thống điện hoạt động ổn định và đảm bảo chất lượng điện năng, điện áp tại các nút phải được duy trì xung quanh một giá trị định mức.

Trong điện áp các nút tải cần được quan tâm:

$$V_{i,\min} \le V_i \le V_{i,\max} \quad (2.10)$$

2.5.6. Giới hạn của đường dây truyền tải

Nhằm thỏa mãn các điều kiện giới hạn về nhiệt độ, tất cả các đường dây truyền tải trong hệ thống điện phải thỏa mãn điều kiện ràng buộc trên như sau:

$$|S_{li}| \le S_{li\max} \quad (2.11)$$

2.6. Hàm thực hiện và tối ưu hóa

2.6.1. Vector giải pháp

Mỗi một giải pháp cho bài toán là một

vector có 2n phần tử, trong đó n là số thiết bị SVC.

N phần tử đầu tiên chính là vị trí của các thiết bị SVC, mỗi phần tử là một số tự nhiên đại diện cho số thứ tự của nút mà tụ bụ kết nối vào.

Các phần tử còn lại là các giá trị công suất phản kháng tối ưu của thiết bị SVC được lắp đặt. Hình bên dưới sẽ mô tả cấu trúc của một vector vị trí:

$$\left\{ \underbrace{x_1, x_2, ...x_n}_{\text{Positions}}, \underbrace{Q_1, Q_2, ...Q_N}_{\text{Reactive powers}} \right\}$$

Với cấu trúc giải pháp như trên có thể dẫn đến việc kết quả có thể bị trùng lặp. Do đó để ngăn chặn trường hợp này ta sẽ xây dựng một điều kiện ràng buộc cho vị trí của các SVC như sau: $x_1 < x_2 < x_n$

2.6.2. Hàm tối ưu

Để mô tả ba mục tiêu khác nhau trong cũng một hàm toán học, chúng ta sẽ đánh giá từng mục tiêu theo cách so sánh với trường hợp cơ bản (trường hợp không có SVC) và kết nối chúng lại với nhau theo trọng số.

Với ý kiến cho rằng các hàm mục tiêu kỹ thuật thì quan trọng hơn các hàm mục tiêu kinh tế, các trọng số sẽ là $\alpha = 0.4, \beta = 0.4, \delta = 0.2$.

Để xử lí các điều kiện vận hành chúng ta sẽ sử dụng một số hệ số phạt để kết hợp với các hàm mục tiêu. Thành phần cờ cân bằng là một yếu tố trong đó nó sẽ có giá trị là 0 khi các điều kiện cân bằng công suất được thỏa mãn và ngược lại thì nó sẽ có giá trị là 1.

Đối với giới hạn điện áp nút chúng ta sẽ sử dụng một hàm giới hạn là $V^{lim}(x)$, được mô tả trong phương trình (2.9)

Đối với ràng buộc các vị trí thì chúng ta sử dụng một bộ đếm để tìm ra số lượng số lượng vị trí bị vi phạm.

Đối với tất cả các trường hợp được thử nghiệm thì tất cả các hệ số phạt đều được đặt là 10^6.

$$FF = \alpha \frac{P_{loss}}{P_{loss,base}} + \beta \frac{\Delta V}{\Delta V_{base}} + \eta \frac{C_{SVC}}{C_{\max}} + K_p.counter + \cdots$$

$$\cdots + K_p.balance_flag + K_p \sum_{i=1}^{b} \left[V_i - V_i^{\lim}(V_i) \right]^2 \quad (2.8)$$

$$V^{\lim}(x) = \begin{cases} x_{\max}, \ if \ x > x_{\max} \\ x, \quad if \ x_{\min} \le x \le x_{\max} \\ x_{\min}, \ if \ x < x_{\min} \end{cases} \quad (2.9)$$

Trong đó:

- P_{loss}: Tổn hao công suất tác dụng.
- ΔV : Chỉ số sai lệch điện áp.
- C_{SVC}: Tổng chi phí đầu tư SVC.
- $P_{loss,base}$, ΔV_{base} và C_{max} tương ứng là tổn hao công suất ở trường hợp cơ bản trong hệ thống, tổng sai lệch điện áp ở trường hợp cơ bản và chi phí đầu tư tụ bù cực đại.
- K_p: Hệ số phạt.

2.6.3. Giới hạn của vector giải pháp và khởi tạo giá trị đầu

Theo cấu trúc của các giải pháp thì vị trí của từng tụ bù SVC không thể vượt quá số lượng nút trong hệ thống, do đó xmax là tổng số nút trong hệ thống và xmin sẽ nhận giá trị 1.

Mặt khác công suất phản kháng được bơm vào lưới của thiết bị SVC không được vượt quá giá trị ràng buộc của nó trong phương trình (3.6).

UpB và LowB là vector giới hạn trên và giới hạn dưới và được biểu diễn như sau:

$$UpB = \{x_{\max}, ..., x_{\max}, Q_{\max}, ..., Q_{\max}\} \quad (3.10)$$

$$LowB = \{x_{\min}, ..., x_{\min}, Q_{\min}, ..., Q_{\min}\} \quad (3.11)$$

3. THUẬT TOÁN MARINE PREDATORS ALGORITHM (MPA)

Thuật toán săn mồi biển (Marine Predators Algorithm – MPA) là một thuật toán tối ưu hóa metaheuristic đơn giản và hiệu quả, lấy cảm hứng từ thiên nhiên tuân theo các quy tắc chi phối tự nhiên trong chiến lược kiếm ăn tối ưu và chính sách tỷ lệ chạm trán giữa động vật ăn thịt và con mồi trong các hệ sinh thái biển.

Dựa trên lý thuyết "sống sót của người khỏe nhất", những kẻ săn mồi phải chọn một chiến lược tối ưu để tối đa hóa tỷ lệ chạm trán với con mồi trong môi trường tự nhiên (Viswanathan và cộng sự, 1999). Những chiến lược tối ưu này đã được phát triển bởi hệ sinh thái và được chọn lọc một cách tự nhiên bởi những kẻ săn mồi để tồn tại.

➢ **Công thức MPA:**

Tương tự như các quá trình tối ưu hóa đa mục tiêu, MPA là một phương pháp dựa trên tập hợp, trong đó giải pháp ban đầu được phân phối đồng nhất trên không gian tìm kiếm như là thử nghiệm đầu tiên:

$$X_0 = X_{\min} + rand(X_{\max} - X_{\min})$$

Trong đó $X_{\min}$ và $X_{\max}$ là giới hạn dưới và giới hạn trên của các biến và rand là vectơ ngẫu nhiên đồng nhất trong phạm vi từ 0 đến 1.

Dựa trên lý thuyết "sống sót của người khỏe nhất", cho rằng những kẻ săn mồi giỏi nhất trong tự nhiên có tài kiếm ăn hơn. Do đó, gia trị tối ưu nhất được xem như một kẻ săn mồi giỏi nhất để xây dựng một ma trận được gọi là Elite. Các mảng của ma trận này giám sát việc tìm kiếm, giúp tìm kiếm dựa trên thông tin về vị trí của con mồi.

$$Elite = \begin{bmatrix} X_{1,1}^{I} & X_{1,2}^{I} & \cdots & X_{1,d}^{I} \\ X_{2,1}^{1} & X_{2,2}^{1} & \cdots & X_{2,d}^{I} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n,1}^{1} & X_{n,2}^{1} & \cdots & X_{n,d}^{1} \end{bmatrix}_{n \times d}$$

Trong đó $\overline{X^I}$ đại diện cho kẻ săn mồi (vectơ giá trị tối ưu), được sao chép n lần để tạo ra ma trận Elite. n là số lượng tác nhân tìm kiếm và d là số thứ nguyên.

Người ta lưu ý rằng cả kẻ săn mồi và con mồi đều được coi là những tác nhân tìm kiếm. Bởi vì vào thời điểm mà một kẻ săn mồi đang tìm kiếm con mồi của nó, thì con mồi đang tìm kiếm thức ăn của chính nó. Vào cuối mỗi vòng lặp, Elite sẽ được cập nhật nếu tìm được giá trị tốt hơn giá trị trước đó.

Một ma trận khác có cùng chiều với Elite được gọi là Prey, đại diện cho con mồi Quá trình khởi tạo ban đầu sẽ tạo ra kẻ săn mồi khỏe nhất, những kẻ săn mồi cập nhật vị trí của chúng dựa trên Prey để tạo ra ma trận Elite. Ma trận Prey có dạng như sau:

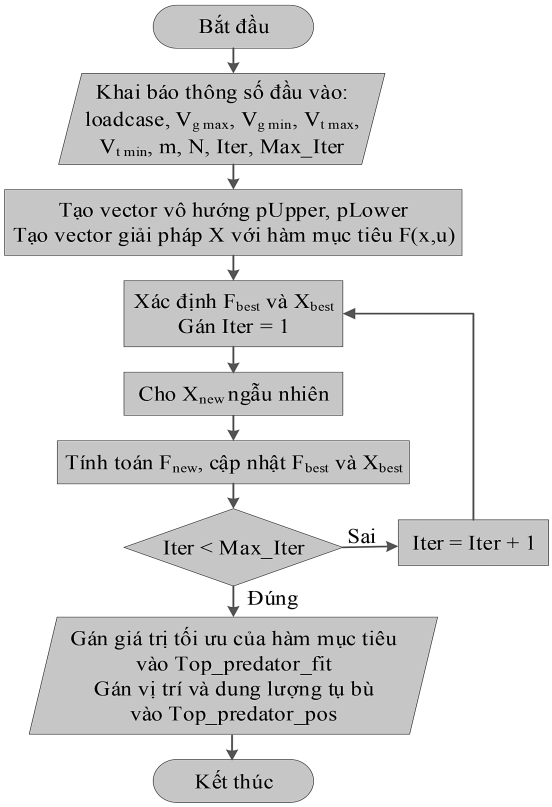
$$\Pr ey = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \cdots & X_{1,d} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \cdots & X_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \cdots & X_{n,d} \end{bmatrix}_{n \times d}$$

Trong đó $X_{i,j}$ trình bày chiều thứ j của con mồi thứ i. Cần lưu ý rằng toàn bộ quá trình tối ưu hóa chủ yếu và trực tiếp liên quan đến hai ma trận này.

Để khảo sát tính hiệu quả của phương pháp, chúng ta sẽ áp dụng Thuật toán săn mồi biển (Marine Predators Algorithm – MPA) để giải quyết bài toán quan trọng trong vận hành kinh tế hệ thống điện là: Tối ưu vị trí lắp đặt các thiết bị bù công suất phản kháng trên lưới điện

4. MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN TỐI ƯU VỊ TRÍ LẮP ĐẶT THIẾT BỊ BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG TRÊN LƯỚI ĐIỆN

Xây dựng mô phỏng tính toán tối ưu vị trí lắp đặt thiết bị bù công suất phản kháng trên lưới điện IEEE gồm IEEE 30 nút, 57 nút dùng Thuật toán MPA theo lưu đồ sau:



Hình 1. Lưu đồ giải thuật

Từ các giá trị tính toán thu được, ta so sánh tính hiệu quả của phương pháp MPA so với các phương pháp MFO [5], CSA [6], SOHPSOTVAC [7] và IHS[8]. Thực hiện tối thiểu 30 lần khảo sát đối với mỗi lưới để tổng hợp các kết quả thu được.

Sử dụng thuật toán Newton-Raphson với sự trợ giúp của phần mềm MATPOWER Toolbox [8] chạy trên phần mềm Matlab R2019a để tính toán phân bố công suất.

Các thông số cơ bản của mô phỏng được tóm tắt trong bảng sau:

Bảng 4.1. Thông số kiểm tra các lưới IEEE

	IEEE 30 nút	**IEEE 57 nút**
Số lượng bộ SVC	5	6
N	25	25
Số vòng lặp	200	500

4.1. Kết quả mô phỏng trên lưới điện IEEE 30 nút

Lưới điện chuẩn IEEE 30 nút gồm 6 máy phát, 41 đường dây truyền tải và máy biến áp cung cấp cho tải có công suất khoảng 189.2MW.

Điện áp giới hạn của nguồn phát, máy biến áp và phụ tải như sau:

$$0.95 \le V_{Gi} \le 1.1$$

$$0.90 \le V_{Ti} \le 1.1$$

$$0.95 \le V_{load\,i} \le 1.05$$

➢ **Kết quả trên lưới IEEE 30 nút của phương pháp MPA**

Bảng 4.2. Kết quả lưới IEEE 30 nút bằng phương pháp MPA

Lần	**FF**	**Lần**	**FF**
1	1.46462	**16**	1.45703
2	1.48356	**17**	1.48103
3	1.47713	**18**	1.48874
4	1.45696	**19**	1.47574

Lần	FF	Lần	FF
5	1.45696	**20**	1.46298
6	1.45553	**21**	1.45553
7	1.46962	**22**	1.47997
8	1.47064	**23**	1.46462
9	1.47064	**24**	1.46630
10	1.48324	**25**	1.47902
11	1.45696	**26**	1.47997
12	1.47064	**27**	1.47831
13	1.47861	**28**	1.47684
14	1.47680	**29**	1.47997
15	1.46462	**30**	1.47684

Bảng 4.3. Bảng so sánh phương pháp MPA và các phương pháp khác

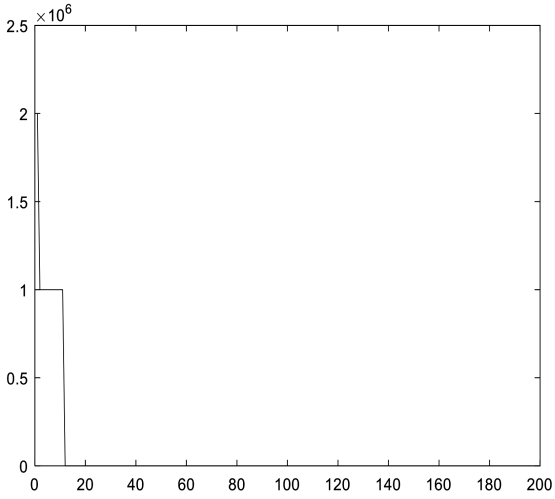
Phương pháp	Giá trị tốt nhất	Giá trị trung bình	Giá trị xấu nhất	Độ lệch chuẩn
MPA	1.4555	**1.4713**	**1.4887**	**0.0098**
MFO [5]	**1.4517**	1.4717	1.4997	0.0113
CSA [6]	1.4562	1.4801	1.5115	0.0112
SOHPSO -TVAC [7]	1.4783	1.5217	1.5217	0.0165
HIS [8]	1.4626	1.4764	1.5139	0.016

➢ **Nhận xét:**

- Đối với lưới có quy mô nhỏ như lưới 30 nút thì thuật toán MPA cho kết quả: giá trị tệ nhất, giá trị trung bình và độ lệch chuẩn tốt hơn so với các phương pháp MFO, CSA, SOHSPO-TVAC và HIS. Tuy nhiên MPA vẫn chưa có giá trị tốt nhất hiệu quả hơn MFO.

- Điện áp tải luôn được đảm bảo trong giới hạn cho phép và gần giá trị đặt hơn.

- Quá trình hội tụ của thuật toán được biểu diễn qua hình như sau:



Hình 2. Kết quả hội tụ của phương pháp MPA trên lưới IEEE 30 nút

- Phương pháp MPA với lưới IEEE 30 nút có thời gian hội tụ nhanh (sau 13 vòng lặp) so với các phương pháp khác, thu được giá tốt nhất là 1.4555, giá trị xấu nhất là 1.4887, giá trị trung bình là 1.4713 và có độ lệch chuẩn là 0.098.

- Vị trí lắp đặt tụ bù và dung lượng bù tương ứng với từng vị trí khi kết quả cho giá trị tốt nhất đối với lưới IEEE 30 nút đang khảo sát

Trường hợp 1		Trường hợp 2	
Vị trí bù	**Dung lượng bù (MVAr)**	**Vị trí bù**	**Dung lượng bù (MVAr)**
8	46.8046	2	50.0000
12	29.1515	8	46.8046
19	11.8720	12	29.1515
23	50.0000	19	11.8720
30	7.1453	30	7.1453

4.2. Kết quả mô phỏng trên lưới điện IEEE 57 nút

Đây là lưới điện chuẩn có quy mô lớn hơn, lưới điện chuẩn IEEE 57 nút gồm 7 máy phát, 57 nút và 80 đường dây truyền tải và máy biến áp

Điện áp giới hạn của nguồn phát, máy biến áp và phụ tải như sau:

$$0.95 \le V_{Gi} \le 1.1$$
$$0.90 \le V_{Ti} \le 1.1$$
$$0.95 \le V_{load\ i} \le 1.05$$

➢ **Kết quả trên lưới IEEE 57 nút của phương pháp MPA**

Bảng 4.4. Kết quả trên lưới IEEE 57 nút của phương pháp MPA

Lần	FF	Lần	FF
1	1.92047	**16**	1.88937
2	1.96075	**17**	1.91281
3	1.90828	**18**	1.96038
4	1.93181	**19**	1.92940
5	1.91875	**20**	1.92544
6	1.89323	**21**	1.92948
7	1.93064	**22**	1.93327
8	1.95356	**23**	1.92865
9	1.89051	**24**	1.91832
10	1.95107	**25**	1.87818
11	1.93041	**26**	1.91391
12	1.91009	**27**	1.90019
13	1.93646	**28**	1.92466
14	1.95622	**29**	1.95746
15	1.92145	**30**	1.90701

Bảng 4.5. So sánh phương pháp MPA so với MFO và MFO cải tiến trên lưới 57 nút

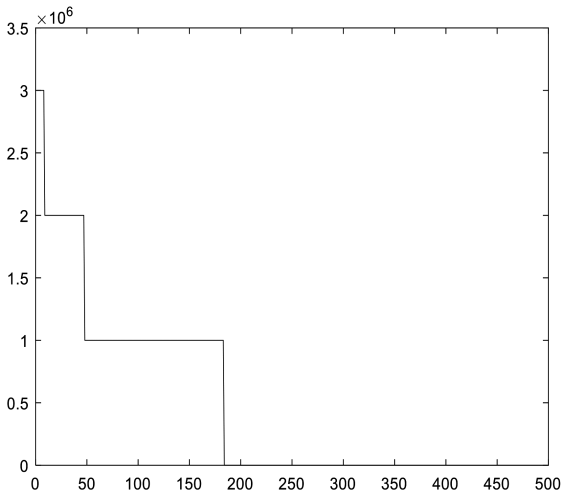
Phương pháp	Giá trị tốt nhất	Giá trị trung bình	Giá trị xấu nhất	Độ lệch chuẩn
MPA	**1.8782**	**1.9241**	**1.9607**	**0.0219**
MFO	1.8963	1.9491	2.0351	0.0433
MFO cải tiến	1.8896	1.9483	2.0697	0.0463

➢ **Nhận xét:**

- Đối với lưới có quy mô vừa như lưới 57 nút thì thuật toán MPA cho tất cả các kết quả: giá trị tốt nhất, giá trị tệ nhất, giá trị trung bình và độ lệch chuẩn đều vượt trội hơn so với phương pháp MFO và MFO cải tiến.

- Điện áp tải các trường hợp đều được giữ ổn định và có độ dao động nhỏ, trong đó khắc phục được một số điểm thấp áp trong hệ thống.

- Quá trình hội tụ của thuật toán được biểu diễn qua hình như sau:



Hình 3. Kết quả hội tụ của phương pháp MPA trên lưới IEEE 30 nút

- Phương pháp MPA với lưới IEEE 57 nút có có thời gian hội tụ trễ (sau 180 vòng lặp), tuy nhiên vẫn vượt trội so với các phương pháp khác, thu được giá tốt nhất là 1.8782, giá trị xấu nhất là 1.9607, giá trị trung bình là 1.9241 và có độ lệch chuẩn là 0.0219.

- Vị trí lắp đặt tụ bù và dung lượng bù tương ứng với từng vị trí khi kết quả cho giá trị tốt nhất đối với lưới IEEE 57 nút đang khảo sát

Vị trí bù	Dung lượng bù (MVAr)
4	50.0000
7	50.0000
8	50.0000
34	25.0563
47	-41.7050

5. KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ

Thông qua các kết quả thu được của phương pháp MPA, chúng ta có thể rút ra được các kết luận sau đây:

- Phương pháp MPA là một thuật toán đơn giản, hiệu quả cao, là công cụ đắc lực hỗ trợ cho các bài toán kỹ thuật phức tạp, trong đó nổi bật là các bài toán tối ưu kinh tế và giảm tổn thất điện năng.

- Đối với lưới có quy mô vừa như lưới 30 nút, lưới 57 nút, phương pháp MPA cho kết quả thì kết quả tốt hơn, có giá trị trung bình hàm tối ưu nhỏ hơn, quá trình hội tụ nhanh hơn so với phương pháp MFO và MFO cải tiến.

- Các kết quả tính toán cho thấy phương pháp MPA có khả năng giải quyết bài toán cho lưới điện có quy mô lớn hơn, phức tạp hơn như lưới IEEE 118 nút và lưới IEEE 300 nút, trong khi hầu hết các thuật toán còn lại không thể xử lí được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Văn Minh, Bạch Quốc Khánh (2018)*"Sử dụng thuật toán di truyền chọn vị trí tụ bù trong lưới phân phối có sóng hài nhằm giảm tổn thất điện năng và cải thiện tổng biến dạng sóng hài (THD)"* Tạp chí Điện tử, Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng tại: 1(122).2018; Trang: 33-37

[2] Arsalan Najaf, Ali Masoudian, Behnam Mohammadi-Ivatloo (01/2020) *"Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distribution Networks"*

[3] M. J. Tahir, Badri. A. Bakar, M. Alam, M. S. Mazlihum (08/2019) "*Optimal capacitor placement in a distribution system using ETAP software*" Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science Vol. 15, No. 2, Pages 650-660. ISSN: 2502-4752. DOI: 10.11591

[4] Trương Đình Nhơn, Lê Đặng Minh Trường (2017) "*Ứng dụng thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để tối ưu dung lượng và vị trí tụ bù trong hệ thống điện"* Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, số 11(120). 2017, quyển 2, ISSN 1859 – 1531

[5] Lam Buu Qui anh Khai Phuc Nguyen (2022) *"Improved Moth-Flame Optimization for Optimal Reactive Power Dispatch in Large-Scale Systems"* Greater Mekong Subregion Academic and Research Network International Journal Vol 16, Page 152-164

[6] Nguyen, K. P., Fujita, G., & Dieu, V. N. (2015, May). Optimal placement and sizing of Static Var Compensator using Cuckoo search algorithm. In 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (pp. 267-274). IEEE.

[7] Ratnaweera, A., Halgamuge, S. K., & Watson, H. C. (2004). Self-organizing hierarchical particle swarm optimizer with time-varying acceleration coefficients. IEEE Transactions on evolutionary computation, 8(3), 240-255.

[8] Mahdavi, M., Fesanghary, M., & Damangir, E. (2007). An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. Applied mathematics and computation, 188(2), 1567-1579.

[9] Afshin Faramarzi, Mohammad Heidarinejad, Seyedali Mirjalili, Amir H. Gandomic (2020) "*Marine Predators Algorithm: A Nature-inspired Metaheuristic",* Article in Expert Systems with Applications, DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113377

Thông tin phản biện: TS. Nguyễn Xuân Vinh; TS. Nguyễn Văn Minh