

ĐỀ XUẤT GIẢI THUẬT LAI SPD - PSO CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU PHÂN BỐ TẢI KHÔNG CÂN BẰNG BA PHA TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

A NEW APPROACH TO HYBRID SPD - PSO ALGORITHM FOR OPTIMAL CONTROL PROBLEM OF THREE-PHASE UNBALANCED LOAD DISTRIBUTION ON DISTRIBUTED POWER NETWORKS

Nguyễn Việt Phú^{1,2}, Nguyễn Ngọc Khoát^{1,*},
Nguyễn Tùng Linh¹, Phạm Vũ Long^{1,3}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.243>

TÓM TẮT

Giảm tổn thất bằng cách sử dụng phương pháp cân bằng tải pha (PLBM) trên lưới điện phân phối là một yêu cầu bắt buộc của các công ty điện lực. Mục tiêu của việc tái cấu trúc lưới phân phối là để thực hiện giảm công suất và cải thiện chất lượng điện áp. Có rất nhiều các phương pháp đã được đưa ra để giải quyết vấn đề này để cân bằng giữa tính kinh tế và tính kỹ thuật. Bài báo này đưa ra một phương pháp cân bằng tải pha bằng cách sử dụng giải thuật kết hợp giữa thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) và chuỗi rời rạc thuật nhị phân (SPD). Thuật toán PSD là một thuật toán để tối ưu trong việc giảm tổn thất và đơn giản trong công tác vận hành. Kết quả của bài báo được đưa ra sẽ chứng minh hiệu quả của thuật toán trong việc giảm tổn hao công suất bằng cách xem xét chi phí tối ưu để cân bằng tải pha của lưới điện không cân bằng pha từ đó tìm ra được trạng thái hoạt động hiệu quả hơn.

Từ khóa: Lưới điện phân phối không cân bằng, thuật toán siêu hình, thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO), chuỗi rời rạc thuật nhị phân (SPD).

ABSTRACT

To reduce power losses in a distribution power network, electricity companies must implement the Phase Load Balancing Method (PLBM), which is a mandatory requirement. The goal of reconfiguration is to minimize active power loss and improve the voltage profile. Numerous methods have been proposed to address this issue due to its significant economic and technical importance. This paper introduces a phase-load balancing method that employs an algorithm combining the Particle Swarm Optimization (PSO) and the Discrete Sequence Binary Algorithm (SPD). The SPD is an optimal algorithm known for its effectiveness in reducing losses and operational simplicity. The results of this study will demonstrate the algorithm's effectiveness in reducing power loss while considering the optimal cost for balancing the phase load in an unbalanced power grid, ultimately leading to a more efficient operational state.

Keywords: Unbalanced distribution networks, metaheuristics algorithm, Particle Swarm Optimization (PSO), Selective Probabilistic Discrete (SPD).

¹Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực

²Tập đoàn Điện lực Việt Nam

³Viện Năng lượng, Bộ Công Thương

*Email: khoatnn@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 22/9/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/11/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2023

1. GIỚI THIỆU

Trong suốt chuỗi cung ứng điện bắt đầu từ khâu sản xuất, truyền tải, phân phối và kết thúc tại tải, trong đó có hộ gia đình, thì thông thường, điện một pha sẽ được sử dụng tại các hộ gia đình. Các thiết bị điện dân dụng phần lớn sử dụng điện một pha nên khi kết nối nhiều tải lại với nhau thì tổng công suất của các pha sẽ không cân bằng, điều này dẫn tới việc mất cân bằng công suất giữa các pha trên lưới điện phân phối. Thêm nữa, việc sử dụng điện của các khách hàng là không liên tục và việc tiêu thụ công suất luôn luôn khác nhau theo thời gian. Do đó, việc tiêu thụ điện tại các khu vực phân bố tải sẽ dẫn đến việc mất cân bằng về mặt tổng công suất giữa các pha.

Chất lượng điện năng và việc giảm tổn hao công suất trên lưới điện phân phối là một vấn đề kinh tế kết hợp với kỹ thuật của các công ty điện lực cũng như ngành điện. Không giống như lưới truyền tải, khi lưới điện phân phối xuất hiện một pha không cân bằng sẽ dẫn đến chất lượng điện áp bị suy giảm và gia tăng tổn hao công suất trên dây trung tính. Việc mất cân bằng pha càng lớn sẽ dẫn đến chất lượng điện áp bị suy giảm và tổn hao công suất sẽ càng tăng.

Có rất nhiều cách để giảm tổn thất và tăng chất lượng điện áp trên lưới điện phân phối như: Bù công suất phản kháng, tăng điện áp hoạt động, cân bằng tải hay tăng tiết diện dây dẫn,... Những phương pháp này khá hiệu quả về mặt kỹ thuật thuần túy nhưng không tối ưu về mặt kinh tế. Mặt khác, phương pháp cân bằng tải pha giảm

tổn thất khá hiệu quả và tăng được chất lượng điện áp khá tốt trong hệ thống điện mà không yêu cầu phải đầu tư quá nhiều. Phương pháp cân bằng tải pha được thực hiện bằng cách chuyển đóng/mở thiết lập mô hình mạng cấp điện mới nhằm giảm tổn thất công suất và đạt được các yêu cầu về vận hành.

Bài toán tái cấu hình lưới điện phân phối (LĐPP) được đề xuất lần đầu vào năm 1975 bởi Merlin và Back [1]. Trong nghiên cứu này, kỹ thuật tối ưu nhánh và biên được sử dụng để xác định cấu hình lưới có tổn thất bé nhất. Civanlar và cộng sự [2] sử dụng phương pháp trao đổi nhánh để giảm tổn thất công suất dựa trên việc chọn lựa các cặp khóa điện. Ý tưởng của phương pháp là trong một vòng kín, một khóa điện đang mở sẽ được thay thế bằng một khóa đóng để giảm tổn thất công suất. Shirmohammadi và Hong [3] đề xuất phương pháp tái cấu hình giảm tổn thất công suất dựa trên phương pháp của Merlin và Back.

Trong [4-6], giải thuật di truyền (genetic algorithm - GA) đã được áp dụng giải 8 bài toán tái cấu hình LĐPP để giảm tổn thất công suất. Trong [7], giải thuật GA đã được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP có nguồn điện phân tán (Distributed Generation - DG) để giảm tổn thất công suất và độ lệch điện áp. Trong [8], giải thuật GA đã được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP nhằm giảm tổn thất công suất và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện của hệ thống.

Trong [9-11], thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) được áp dụng vào bài toán tái cấu hình LĐPP để giảm tổn thất công suất. Trong [12], PSO được sử dụng để tối ưu cấu hình lưới điện với hàm mục tiêu là giảm tổn thất công suất và chỉ số cân bằng tải (Load Balancing Index - LBI). Trong [13, 14], thuật toán PSO nhị phân được sử dụng để tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất.

Quá trình tái cấu hình không chỉ ảnh hưởng đến tổn thất công suất mà còn ảnh hưởng đến nhiều yếu tố khác của LĐPP. Vì vậy, bài toán tái cấu hình đa mục tiêu đã thu hút được nhiều sự chú ý của các nhà nghiên cứu. Trong [15], phương pháp heuristic cải tiến dựa trên phương pháp trao đổi nhánh [16] đã được sử dụng để giải bài toán với mục tiêu giảm chi phí tổn thất, chi phí chuyển khóa và cải thiện điện áp nút trong hệ thống. Trong nghiên cứu này, phương pháp trao đổi nhánh đã được cải tiến để chúng luôn tạo ra các cấu hình lưới hợp lệ tránh phải giải bài toán phân bố công suất trên lưới điện kín. Trong [17], phương pháp heuristic đa mục tiêu (Fuzzy Multiobjective Approach - FMA) được đề xuất để giải bài toán với hàm mục tiêu giảm tổn thất, độ lệch điện áp, cân bằng tải giữa các nhánh và giữa các xuất tuyến.

Ở Việt Nam, bài toán tái cấu hình LĐPP cũng đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Trong [18], thuật toán GA đã được sử dụng trong bài toán tái cấu hình LĐPP để giảm tổn thất công suất. Trong [19], phương pháp tái cấu hình LĐPP sử dụng giải thuật đàn kiến (Ant colony optimization - ACO) để giảm tổn thất công suất. Trong nghiên cứu này, thông qua kết quả mô phỏng, tác giả đã chứng minh được những ưu điểm của thuật toán ACO so với GA và giải thuật luyện kim (Simulated Annealing - SA). Trong

[20], thuật toán ACO kết hợp với kỹ thuật logic mờ được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP. Bài báo này nhằm ứng dụng phương pháp cân bằng pha bằng cách dựa vào giải thuật PSD-PSO để giảm tổn thất. Thuật toán PSD-PSO là một thuật toán siêu hình rời rạc xác định một cách nhanh chóng việc khóa nguồn cấp cho các tải một pha để giảm tổn thất trên các pha và pha trung tính. Kết quả của bài báo này được thông qua mô phỏng thông qua việc cấu trúc lưới điện tại một Công ty Điện lực Phúc Thọ thuộc Tổng công ty Điện lực Hà Nội.

Bài báo gồm các phần sau: Phần 1 giới thiệu về các nghiên cứu liên quan và nêu bài toán. Trong phần 2, giải thuật SPD-PSO sẽ được đề xuất. Phần 3 và 4 trình bày các kết quả mô phỏng và phân tích. Các kết luận và hướng phát triển của nghiên cứu sẽ được đưa ra trong phần 5 của bài báo.

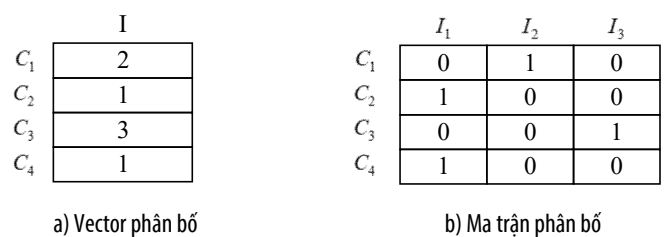
2. THUẬT TOÁN SPD-PSO

Thuật toán SPD-PSO được đưa ra và giới thiệu chi tiết tại [21]. Tuy nhiên, bài báo sẽ tóm tắt ý tưởng của thuật toán để thực hiện phương pháp SPD-PSO cụ thể như sau:

Vị trí của phần tử, ký hiệu là X và vận tốc của nó, ký hiệu là V trong thuật toán SPD-PSO là một ma trận. Các công thức để cập nhật vị trí và vận tốc của phần tử được xây dựng và mô tả như trong lưu đồ hình 1 và hình 2.

Theo mô tả tại sơ đồ, 1 phần tử k trong thuật toán SPD-PSO được lưu giữ trong một ma trận nhị phân m x n x k với hai đặc điểm sau:

- (i) Tất cả các phần tử trong ma trận là 0 hoặc 1, trong đó giá trị 1 biểu thị sự phân bố vị trí tải trên pha trong khi giá trị 0 biểu thị sự không bố trí.
- (ii) Trong mỗi hàng, chỉ có một phần tử có giá trị 1 trong khi tất cả các phần tử còn lại dọc theo cùng một hàng là 0, chỉ ra rằng mỗi cụm chỉ được gán cho một pha (hình 1).



Hình 1. Hai đại diện khác nhau của một quần thể phần tử để xuất trong SPD-PSO

Vị trí phần tử X và vận tốc V trong đề xuất thuật toán SPD-PSO là ma trận và các phương trình cập nhật vận tốc và phần tử đã được sửa đổi như thể hiện trong giải mã của thuật toán SPD-PSO mới được nêu trong công thức (1) và (2). Trong đó, k là phần tử trong thuật toán PSD-PSO và t biểu diễn bước nhảy tại thời điểm t của phần tử.

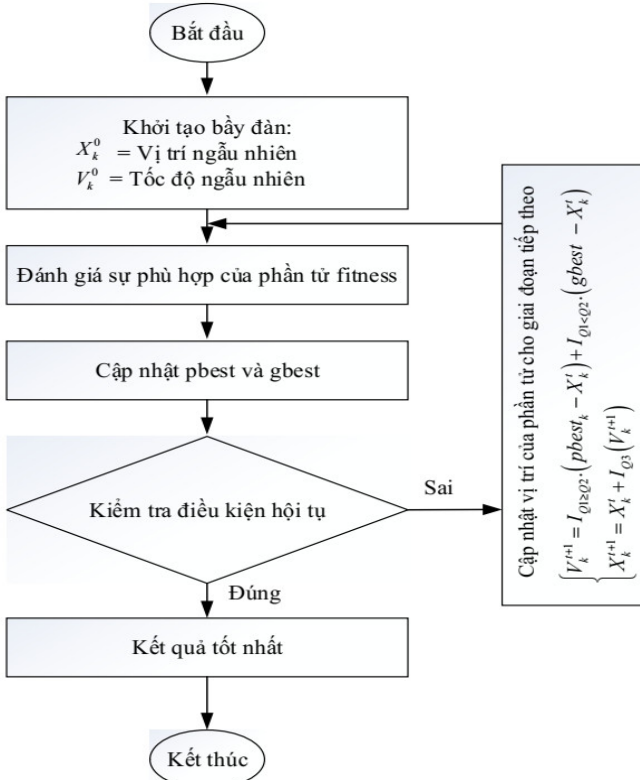
$$V_k^{t+1} = I_{Q1 \geq Q2} \cdot (pbest_k - X_k^t) + I_{Q1 < Q2} \cdot (gbest - X_k^t) \tag{1}$$

$$X_k^{t+1} = X_k^t + I_{Q3} \cdot (V_k^{t+1}) \tag{2}$$

Trong đó:

t: Biểu diễn bước nhảy tại thời điểm t của phần tử k;

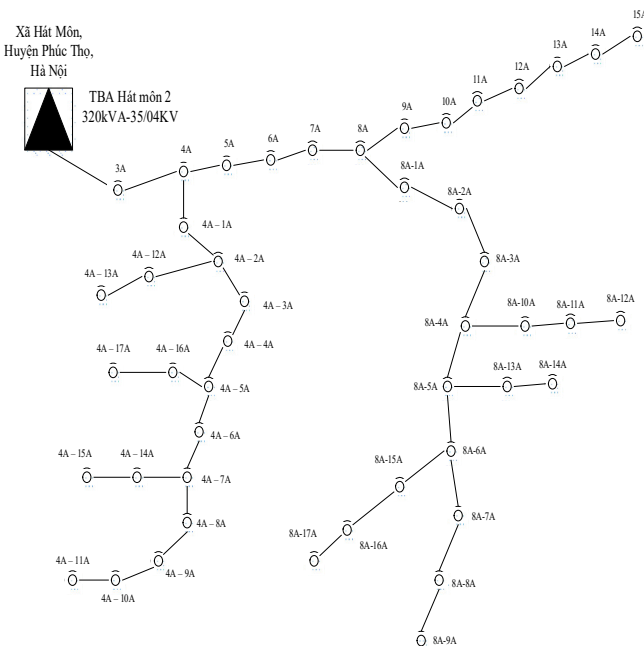
$pbest_k$: Vị trí tốt nhất của cá thể k ;
 $gbest$: Vị trí tốt nhất của cá thể trong quần thể;
 X_k^{t+1} : Vị trí của cá thể k ở vòng lặp $t + 1$;
 V_k^{t+1} : Vận tốc của cá thể k ở vòng lặp $t + 1$.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán SPD-PSO

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Sơ đồ lưới điện phân phối



Hình 3. Sơ đồ lưới điện phân phối của TBA Hát Môn 2

Để kiểm tra khả năng áp dụng của phương pháp đề nghị áp dụng giải thuật SPD-PSO nhằm để giảm tổn thất năng lượng thông qua bố trí tải trên lưới điện phân phối, mạng điện được kiểm tra là một lưới điện phân phối gồm 1 nguồn và 47 nút tải của Trạm biến áp (TBA) Hát Môn 2 thuộc xã Hát Môn, huyện Phúc Thọ, Hà Nội được trình bày như hình 3.

3.2. Hàm mục tiêu của phương pháp cân bằng pha tải trong lưới điện

Với hai mục tiêu được thiết lập, bao gồm: (i). Giảm tổn thất công suất trên lưới điện phân phối và (ii). Tối ưu chi phí. Phụ tải của một lưới điện phân phối không cân bằng thay đổi một cách liên tục tùy theo từng thời điểm trong ngày nhưng pha tải không thể được thay đổi theo mà chỉ có thể thay đổi theo chu kỳ của công suất. Công suất của tải được tính toán bằng mức tiêu thụ điện năng trung bình của khách hàng trong 1 năm. Mỗi khi một phụ tải được chuyển từ pha này sang pha khác (pha A sang pha B chẳng hạn) thì sẽ xuất hiện một chi phí thực hiện. Để đánh giá một cách chính xác độ lợi từ việc chuyển pha tải, bài báo phải đánh giá được chi phí này. Từ đó, hàm mục tiêu được biểu đạt như sau:

$$F = K_{td} \sum_1^i (\Delta P_{ti} - \Delta P_{si}) t_i - K_{dp} N \tag{3}$$

F: Tổng số tiền tiết kiệm được (VNĐ);

K_{td} : Số tiền điện tiêu thụ 1 kWh;

K_{dp} : Chi phí đảo pha của tải;

t_i : Khoảng thời gian xét (h);

ΔP_{ti} : Tổn hao công suất lúc đầu trong khoảng thời gian t_i ;

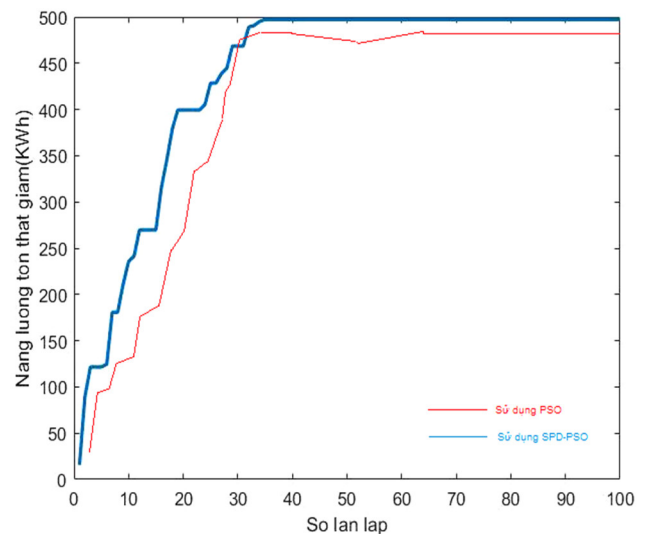
ΔP_{si} : Tổn hao công suất lúc sau trong khoảng thời gian t_i ;

N: Tổng số tải cần đổi sau khi kết thúc vòng lặp.

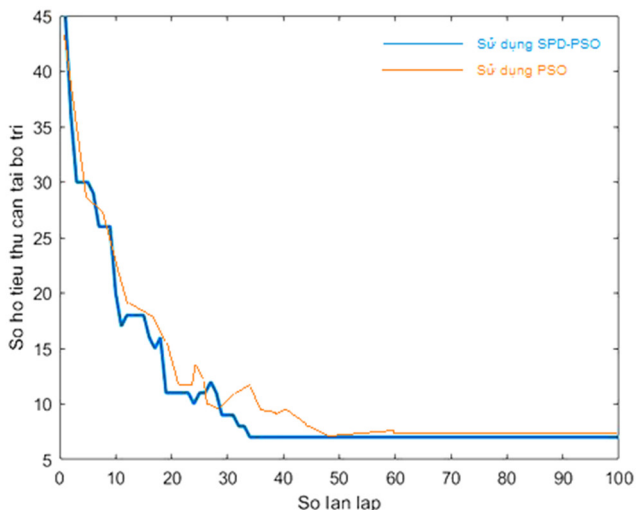
Công thức số (3) cho thấy cách kết hợp của các yếu tố/thước đo khác nhau được giới thiệu ở trên để tạo thành hàm mục tiêu cho thuật toán SPD-PSO để giải quyết vấn đề đặt ra.

3.3. Kết quả tính toán trên LĐPP của TBA Hát Môn 2

a) Tính tổn thất công suất theo đồ thị phụ tải



Hình 4. Đồ thị tổn thất giảm theo số lần lặp



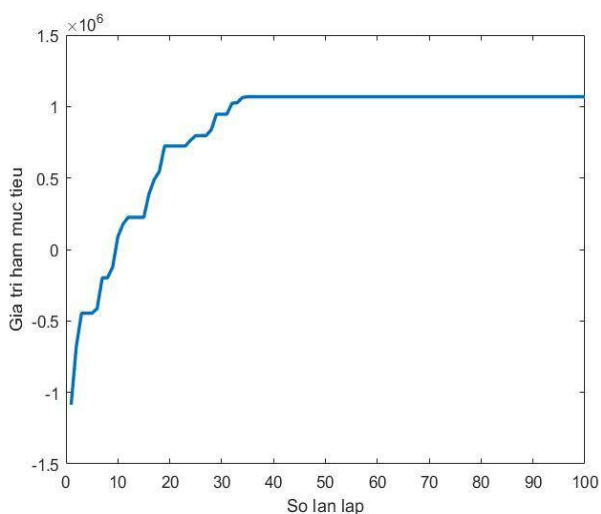
Hình 5. Đồ thị số hộ tiêu thụ cần tái bố trí

Do nhu cầu sử dụng điện tại những thời điểm trong ngày là khác nhau nên dẫn đến công suất tiêu thụ trên tải khác nhau, nên để tính toán tổn thất công suất có độ chính xác đáng tin cậy thì cần phải thay đổi thông số tính toán phù hợp với từng thời điểm tính toán dựa vào đồ thị phụ tải và sau đó cộng các kết quả ở những thời điểm khác nhau để được kết quả như hình 4, 5.

Nhận xét: Đối với mục tiêu giảm tổn thất công suất, thuật toán kết hợp SPD với PSO cho kết quả hội tụ với số lần lặp ít hơn cho thấy việc sử dụng SPD đã làm tăng tốc độ thông qua việc thay đổi hàm vận tốc trong thuật toán PSO. Kết quả cấu trúc mới của lưới cũng giảm tổn thất công suất tốt hơn. Với mục tiêu đảo pha nhằm cân bằng các pha, thuật toán SPD kết hợp với PSO cho kết quả hội tụ nhanh hơn so với PSO đơn thuần.

Tính hàm mục tiêu:

$$\begin{aligned}
 F &= K_{td} \sum_1^i (\Delta P_{ti} - \Delta P_{si}) t_i - K_{dp} N \\
 &= 2500 * 497,3 - 25000 * 7 \\
 &= 1225750 \text{ (VND)}
 \end{aligned}$$



Hình 6. Đồ thị hàm mục tiêu theo số lần lặp

b) Mô phỏng mất cân bằng của TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái gây mất cân bằng pha

Nhằm đánh giá tác động của hệ thống điện mặt trời áp mái của các hộ dân lên phân bố công suất và tổn thất công suất trong vận hành đường dây phân phối.

Kết quả phân bố công suất cho TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái

Công suất truyền tải và tổng thất công suất của TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái được thể hiện như trong bảng 1. Nhận thấy, tổng chi phí do tổn thất công suất tác dụng trên các đường dây khoảng 54,65 (triệu đồng).

Bảng 1. Kết quả tính toán tổn thất công suất TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Công suất pha A	kW	67,28
Công suất pha B	kW	53,5
Công suất pha C	kW	86,1
Tổn thất Pha A	kW	8,56
Tổn thất Pha B	kW	4,83
Tổn thất Pha C	kW	16,97
Tổn thất dây trung tính	kW	2,96
Tổn thất điện năng trên LĐPP	kW	33,32
Chi phí tổn thất điện năng	VND	54.648.519,21
Số khóa đổi		0
Chi phí đổi khóa	VND	0
Tổng chi phí cho LĐPP	VND	54.648.519,21

Kết quả tái phân bố công suất cho TBA Hát Môn 2 sử dụng SPD-PSO có xét đến điện mặt trời áp mái.

1. Để thực thi thuật toán SPD-PSO, các thông số lựa chọn cho thuật toán này được trình bày như trong bảng 2.

Bảng 2. Bảng các tải giá trị trong thực thi thuật toán SPD-PSO

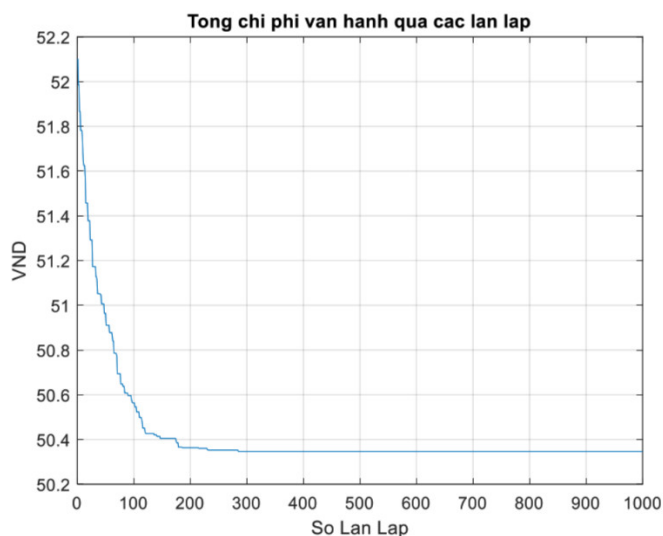
Thông số	Giá trị
Số biến số trong một cá thể	121
Số cá thể trong quần thể	250
Số vòng lặp tối đa	1000
Hệ số nhận thức tự thân Φ	0,7
Hệ số nhận thức xã hội δ	0,3

2. Tổng chi phí vận hành thấp nhất qua mỗi lần lặp được thể hiện như trong hình 7. Nhận thấy sau khoảng 300 lần lặp thì kết quả không còn thay đổi nữa, nghĩa là thuật toán đã tìm ra cấu trúc tối ưu chi phí vận hành cho TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái.

3. Sau quá trình thực thi thuật toán SPD-PSO cho TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái để giảm chi phí vận hành, một số tải được đề xuất chuyển đổi từ pha hiện tại sang pha mới.

4. Công suất truyền tải và tổng thất công suất của TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái sau tái cấu trúc tải

trên các pha được thể hiện như trong bảng 3 Nhận thấy tổng chi phí do tổn thất công suất tác dụng trên các đường dây khoảng 50,37 (triệu đồng). Như vậy, sau tái cấu trúc tải trên các pha thì chi phí vận hành giảm đi 4,28 (triệu đồng).



Hình 7. Kết quả chạy thuật toán SPD-PSO cho TBA Hát Môn 2 có xét đến điện mặt trời áp mái

Bảng 3. Kết quả tính toán tổn thất công suất TBA Hát Môn 2 sau tái cấu trúc tải trên các pha có xét đến điện mặt trời áp mái

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Công suất pha A	kW	67,28
Công suất pha B	kW	53,5
Công suất pha C	kW	86,1
Tổn thất Pha A	kW	9,04
Tổn thất Pha B	kW	9,59
Tổn thất Pha C	kW	9,15
Tổn thất dây trung tính	kW	0,23
Tổn thất điện năng trên LĐPP	kW	28
Chi phí tổn thất điện năng	VNĐ	49.996.102,63
Số khóa đổi		14
Chi phí đổi khóa	VNĐ	350.000
Tổng chi phí cho LĐPP	VNĐ	50.,346.102,63

4. NHẬN XÉT VỀ PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT

Lưới điện phân phối có một đặc điểm rất quan trọng là có rất nhiều loại phụ tải khác nhau, chúng thì phân bố không đồng đều giữa các pha, các đường dây với nhau mặt khác các loại tải này thì có thời điểm tải đỉnh khác nhau trong từng giờ, ngày, mùa và năm. Điều này gây quá tải, mất cân bằng giữa các pha vì thế giải thuật tái cấu trúc lưới phân phối trong điều kiện tải không đối xứng là hết sức cần thiết hơn bao giờ hết vì nó mang lại hiệu quả trong vận hành và đem lại nguồn lợi về kinh tế nhiều hơn.

Hiện nay có rất nhiều phương pháp và giải thuật bố trí tải trên lưới được nghiên cứu. Việc ứng dụng nó vào thực tiễn cuộc sống là hết sức cần thiết và gặp được nhiều điều kiện

thuận lợi do sự phát triển của khoa học công nghệ ngày càng mạnh làm cho việc tự động hóa ngày càng cao, điều này mang lại điều kiện thuận lợi cho việc bố trí tải trên lưới. Việc bố trí tải trên lưới thì mang lại lợi ích về kinh tế mà không cần đầu tư thêm. Tuy nhiên, khi tiến hành áp dụng vào nước ta thì sẽ gặp không ít khó khăn, vì hiện nay ở nước ta còn tồn tại nhiều cấp điện áp trên lưới điện phân phối.

Nghiên cứu này đã hoàn thành được mục tiêu và nhiệm vụ đặt ra. Kết quả được kiểm tra trên lưới điện mẫu và được so sánh với kết quả các thí nghiệm thu được từ phần mềm PSS-ADEPT nhằm kiểm tra tính khả thi của giải thuật. Cụ thể:

- Số lần tính toán của giải thuật là rất ít điều này thì rất có lợi trong các hệ thống lớn hơn;

- Phù hợp với lưới điện phân phối hiện nay khi có nhiều nguồn năng lượng mặt trời (NLMT) tham gia vào, gây mất cân bằng lưới điện phân phối.

- Tổng tổn thất công suất trên lưới sau khi tính toán giảm đáng kể, hơn nữa chi phí cần phải đầu tư bố trí rất thấp.

- Việc sử dụng bằng phần mềm giúp đơn giản hóa việc tính toán tổn thất công suất và cách bố trí tải trên lưới bằng các phương pháp thủ công

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu tập trung về bài toán giảm tổn thất công suất trên lưới điện phân phối trong trường hợp tải không cân bằng 3 pha. Bài báo tìm hiểu, xây dựng và mô phỏng thuật toán trí tuệ nhân tạo PSO - SDP cho bài toán xác định vị trí phân bố tải tối ưu, nhằm mục tiêu làm tín hiệu điều khiển cho các thiết bị đóng cắt trên lưới điện phân phối.

Phương pháp đề xuất được mô phỏng tính toán trên lưới điện thực tế của huyện Phúc Thọ - Thành phố Hà Nội để đánh giá tốc độ và số lần tính toán của giải thuật và giảm thiểu tổn thất công suất trên lưới điện phân phối không đối xứng.

Do các điều kiện chủ quan và khách quan nên đề tài này chưa thể nghiên cứu sâu và rộng hơn vì thế trong tương lai có thể nghiên cứu và mở rộng hơn cho phù hợp với điều kiện thực tế hơn, cụ thể như sau:

- (i) Nghiên cứu và hoàn thiện về mặt giải thuật và lập trình để tăng nhanh thời gian tính toán hơn nữa.

- (i) Mở rộng thử nghiệm cho một lưới điện lớn hơn ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. Merlin, H. Back, 1975. *Search for a minimal loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system*. Proceeding 5th power Syst. Comput. conf (PSCC), Cambridge, UK, vol. 1-18.

[2]. S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, S. S. H. Lee, 1988. *Distribution feeder reconfiguration for loss reduction*. IEEE Trans. Power Deliv., vol. 3, no. 3, pp. 1217-1223.

- [3]. D. Shirmohammadi, H. W. Hong, 1989. *Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction*. IEEE Trans. Power Deliv., vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498.
- [4]. J. Z. Zhu, 2002. *Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm*. Electr. Power Syst. Res., vol. 62, no. 1, pp. 37–42.
- [5]. R. T. Ganesh Vulasala, Sivanagaraju Sirigiri, 2009. *Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Unbalanced Distribution System Using Genetic Algorithm*. Int. J. Electr. Electron. Eng., vol. 3, no. 12, pp. 754–762.
- [6]. P. Subburaj, K. Ramar, L. Ganesan, P. Venkatesh, 2006. *Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction using Genetic Algorithm*. J. Electr. Syst., vol. 2, no. 4, pp. 198–207.
- [7]. Chidanandappa R., T. Ananthapadmanabha, R. H.C., 2015. *Genetic Algorithm Based Network Reconfiguration in Distribution Systems with Multiple DGs 138 for Time Varying Loads*. Procedia Technol., vol. 21, pp. 460–467.
- [8]. D.L. Duan, X.D. Ling, X.-Y. Wu, B. Zhong, 2015. *Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm*. Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 64, pp. 88–95.
- [9]. K. K. Kumar, N. Venkata, S. Kamakshaiha, 2012. *FDR particle swarm algorithm for network reconfiguration of distribution systems*. J. Theor. Appl. Inf. Technol., vol. 36, no. 2, pp. 174–181.
- [10]. T. M. Khalil, A. V Gorpnich, 2012. *Reconfiguration for Loss Reduction of Distribution Systems Using Selective Particle Swarm Optimization*. Int. J. Multidiscip. Sci. Eng., vol. 3, no. 6, pp. 16–21.
- [11]. S.F. Mekhamer, F. M. Mohammed, M. a L. Badr, 2009. *A Modified Particle Swarm Technique for Distribution Systems Reconfiguration*. online J. Electron. Electr. Eng., vol. 1, no. 1, pp. 121–129.
- [12]. S. Sivanagaraju, J. V. Rao, P. S. Raju, 2008. *Discrete Particle Swarm Optimization to Network Reconfiguration for Loss Reduction and Load Balancing*. Electr. Power Components Syst., vol. 36, no. 5, pp. 513–524.
- [13]. M. Sedighzadeh, M. Dakhem, M. Sarvi, H. H. Kordkheili, 2014. *Optimal reconfiguration and capacitor placement for power loss reduction of distribution system using improved binary particle swarm optimization*. Int. J. Energy Environ. Eng., vol. 5, no. 1, p. 73.
- [14]. L. Li, C. Xuefeng, 2012. *Distribution Network Reconfiguration Based on Niche Binary Particle Swarm Optimization Algorithm*. Energy Procedia, vol. 17, pp. 178–182.
- [15]. S. Ghasemi, J. Moshtagh, 2014. *A novel codification and modified heuristic approaches for optimal reconfiguration of distribution networks considering losses cost and cost benefit from voltage profile improvement*. Appl. Soft Comput., vol. 25, pp. 360–368.
- [16]. M. E. Baran, F. F. Wu, 1989. *Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing*. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407.
- [17]. D. Das, 2006. *A fuzzy multiobjective approach for network reconfiguration of distribution systems*. IEEE Trans. Power Deliv., vol. 21, no. 1, pp. 202–209.
- [18]. H. D. Loc, 2012. *Reconfiguration of distribution systems for loss reduction using a genetic algorithm*. Science & Technology Development, vol. 15, no. 2, pp. 17–26.
- [19]. T. Q. D. Khoa, P. T. T. Binh, N. M. Hieu, 2007. *Reconfiguration of distribution networks by Meta-Heuristics algorithms*. Science & Technology Development, vol. 10, no. 2.
- [20]. T. Q. D. Khoa, P. T. T. Binh, 2006. *A Hybrid Ant Colony Search Based Reconfiguration of Distribution Network for Loss Reduction*. in 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela.
- [21]. Seah M.S., Tung W.L., Banks T., 2015. *A novel discrete particle swarm optimization approach to large-scale survey planning*. In: 2015 11th International Conference on Natural Computation (ICNC), pp. 261–268, vol. 2016. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2015.737800>.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Viet Phu^{1,2}, Nguyen Ngoc Khoat¹, Nguyen Tung Linh¹, Pham Vu Long^{1,3}

¹Faculty of Control and Automation Engineering, Electric Power University, Vietnam

²Vietnam Electricity, Vietnam

³Institute of Energy, Ministry of Industry and Trade, Vietnam