Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ
website: ctujs.ctu.edu.vn

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.050

PHÂN BỐ TỐI ƯU NGUỒN PHÂN TÁN CÓ CHỨC NĂNG VOLT-VAR TRÊN LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI BẰNG PHƯƠNG PHÁP MOTH-FLAME OPTIMIZATION CẢI TIẾN

Nguyễn Trọng Tài*, Nguyễn Phúc Khải, Lâm Bửu Quí và Nguyễn Ngọc Lan Anh
Bộ môn Hệ thống điện, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
**Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Trọng Tài (email: nttai.sdh20@hcmut.edu.vn)*

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 31/10/2022
Ngày nhận bài sửa: 29/11/2022
Ngày duyệt đăng: 31/12/2022

Title:
Optimal volt/var function of distributed generators on the transmission grid using improved moth-flame optimization

Từ khóa:
Meta-heuristic, phương pháp MFO cải tiến, chức năng Volt/Var, nguồn phân tán

Keywords:
Metaheuristic, improved MFO method, volt/var control, distributed generator

ABSTRACT

In recent years, the energy system is undergoing a profound transformation. Especially the rapid growth of distributed generators (DG) around the world has created many challenges. Integrating these distributed generators into the national grid system is considered a significant challenge in Vietnam. The article solved the problem of optimizing distributed generators' installation position and capacity through the Volt/Var function of the inverters. In addition to technical criteria, DG costs are also considered. The paper uses the improved MFO method, and the simulation software is MATLAB with an integrated MatPower Toolbox. The power grid used for simulation is an IEEE 30-bus transmission system. The simulation results are compared with the GA optimization method, proving the effectiveness of the improved MFO method.

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, hệ thống năng lượng đang trải qua quá trình chuyển đổi sâu sắc. Đặc biệt là sự tăng nhanh của các nguồn năng lượng phân tán (DG) trên toàn thế giới đã tạo ra nhiều thách thức. Tại Việt Nam, việc tích hợp các nguồn phân tán này vào hệ thống lưới điện quốc gia được xem là một thách thức lớn. Bài báo đã giải quyết vấn đề tối ưu hóa vị trí lắp đặt và công suất của các nguồn phân tán thông qua chức năng Volt/Var của các bộ Inverter. Bên cạnh đó, ngoài các tiêu chí về kỹ thuật, chi phí DG cũng được xem xét. Bài báo sử dụng phương pháp MFO cải tiến và phần mềm mô phỏng là MATLAB có tích hợp MatPower Toolbox. Lưới điện sử dụng mô phỏng là lưới điện truyền tải IEEE 30 nút. Kết quả mô phỏng được so sánh với phương pháp tối ưu GA, chứng minh sự hiệu quả của phương pháp MFO cải tiến.

1. GIỚI THIỆU

Xu hướng phát triển của thế giới hiện nay đang tập trung vào các nguồn năng lượng tái tạo, trong đó nguồn phân tán từ mặt trời (PV) và gió (MT) là hai nguồn phân tán khó điều khiển do đặc tính công suất của chúng phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố ngẫu nhiên từ môi trường xung quanh. Khi tích hợp các nguồn năng lượng này vào lưới điện, đặc biệt khi tỷ lệ xâm nhập cao, các nguồn năng lượng này có rất nhiều tác động đến lưới điện và đòi hỏi hệ thống điện phải đủ linh hoạt để đáp ứng sự thay đổi và khó đoán của các nguồn năng lượng này. Một trong các giải

pháp để giải quyết vấn đề này là điều khiển dòng công suất phản kháng, các nghiên cứu về giải pháp này cũng được thực hiện trong nhiều bài báo trước đây như Cagnano et al. (2011). Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp điều khiển VVC của các bộ Inverter tích hợp ở các nguồn phân tán, nghiên cứu về phương pháp VVC cũng được thực hiện trong Chen et al. (2015). Hệ thống DG cung cấp điện cho một phần phụ tải thay vì máy phát điện chính. Tải trên lưới không phải là không đổi và điều này cần được xem xét khi phân bổ hệ thống DG. Trong bài báo này, DG được phân bổ tối ưu cho hệ thống bằng cách phản ánh mức sử dụng tải của mỗi giờ, điều này cho phép phân bổ DG thực tế hơn. Ví dụ, trong một nghiên cứu, ảnh hưởng của DG trên lưới điện đã được cải thiện bằng cách áp dụng đồ thị phụ tải để tối ưu hóa công suất phản kháng của máy phát như Kim (2020).

Để tối ưu hóa DG, nhiều phương pháp khác nhau đã được áp dụng. Ví dụ, các nhà nghiên cứu Talaat & Al-Ammar (2011) đã ứng dụng thuật toán di truyền (GA) – một phương pháp meta-heuristic, một nghiên cứu khác của Lee & Park (2013) sử dụng bộ lọc Kalman để tìm công suất và vị trí tối ưu của DG.

Bài báo sẽ ứng dụng thuật toán MFO cải tiến để ứng dụng cho việc tối ưu vị trí và công suất của DG trong đó có xem xét đến đồ thị phụ tải và chi phí DG. Nội dung bài báo gồm năm trong phần. Phần một giới thiệu tổng quan về vấn đề nghiên cứu. Phần hai giới thiệu về phương pháp MFO cải tiến. Phần ba là ứng dụng của thuật toán MFO cải tiến giải bài toán điều Volt/Var. Kết quả tính toán được trình bày trong phần bốn. Cuối cùng là phần tổng kết và hướng phát triển của đề tài.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

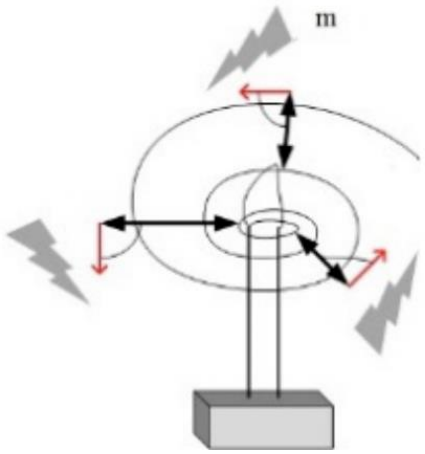
2.1. Thuật toán Moth-Flame Optimization (MFO)

Thuật toán tối ưu hóa MFO được Mirjalili (2015) đề xuất vào năm 2015, là một trong những thuật toán mới nhất đã thu hút được sự chú ý rộng rãi trong những năm gần đây. Thuật toán thông minh mới này dựa trên hành vi sinh học của loài bướm đêm đối với ngọn lửa trong tự nhiên. Nguyên lý sinh học của nó là cơ chế bay đêm của loài bướm đêm. Bướm đêm cập nhật vị trí của nó bằng cách xoay quanh ngọn lửa. Thuật toán tối ưu hóa MFO có ưu điểm là có ít thông số cài đặt, dễ hiểu và dễ thực hiện, đồng thời hội tụ nhanh.

Để thực hiện mô hình toán học cho hành vi bay của một con bướm đêm đến ngọn lửa, cơ chế cập nhật vị trí của mỗi con bướm đêm so với ngọn lửa có thể được biểu thị bằng phương trình sau:

$$M_i = S(\mathrm{M}_i, F_j) \quad (1)$$

Trong đó M_i đại diện cho con bướm thứ i, F_j đại diện cho con bướm thứ j và S là hàm xoắn ốc.



Hình 1. Quỹ đạo xoắn ốc của bướm đêm đối với nguồn sáng (Mirjalili, 2015)

Hàm xoắn ốc của đường bay của bướm đêm được xác định như Mirjalili (2015):

$$S(\mathrm{M}_i, F_j) = D_i e^{bt}\cos(2\pi t) + \mathrm{F}_j \quad (2)$$

$$t = (a-1)*rand + 1 \quad (3)$$

$$a = -1 + Iteration*\left(-\frac{1}{T_{\max}}\right) \quad (4)$$

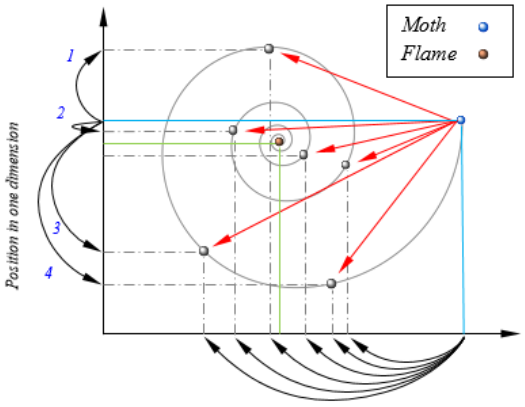
Trong đó D_i là khoảng cách tuyến tính giữa con bướm đêm thứ i và ngọn lửa thứ j, b là hằng số hình dạng xoắn logarit được xác định và hệ số đường đi t là số ngẫu nhiên trong [−1,1]. Độ lớn của t được biểu diễn bằng Công thức (3), trong đó hệ số a được biểu diễn bằng Công thức (4), và độ lớn của nó giảm tuyến tính từ −1 đến −2.

D_i được biểu diễn như sau:

$$D_i = |F_j - M_i| \quad (5)$$

Hệ số t trong hàm xoắn đại diện cho khoảng cách giữa vị trí của con bướm đêm và ngọn lửa trong lần lặp tối ưu hóa tiếp theo, t = −1 biểu thị vị trí gần ngọn lửa nhất và t = 1 đại diện cho vị trí xa nhất. Phương trình xoắn ốc cho thấy bướm đêm có thể bay xung quanh ngọn lửa thay vì chỉ bay trong khoảng không giữa chúng, do đó đảm bảo khả năng tìm kiếm toàn cục của thuật toán và khả năng tìm kiếm

cục bộ. Hệ số *a* trong thuật toán MFO là các số ngẫu nhiên bên trong [*a*, 1] và hệ số *a* giảm tuyến tính theo số lần lặp trong quá trình lặp tối ưu hóa trong khoảng [−1, −2].



Hình 2. Một số vị trí bướm đêm có thể di chuyển đến (Mirjalili, 2015)

Nếu mỗi lần cập nhật vị trí của *N* bướm đêm dựa trên *N* vị trí khác nhau trong không gian tìm kiếm, thì khả năng tìm kiếm cục bộ của thuật toán sẽ bị giảm đi. Để giải quyết vấn đề này, một cơ chế thích ứng được đề xuất cho số lượng ngọn lửa, để số lượng ngọn lửa có thể được giảm một cách thích hợp trong quá trình lặp đi lặp lại, do đó cân bằng khả năng tìm kiếm toàn cục của thuật toán và khả năng tìm kiếm cục bộ trong không gian tìm kiếm. Công thức như Mirjalili (2015):

$$flame_{no} = round\left(N - 1 * \frac{N-1}{T}\right) \quad (6)$$

Trong đó *l* là số lần lặp lại hiện tại, *N* là số ngọn lửa tối đa ban đầu được thiết lập và *T* đại diện cho số lần lặp lại tối đa được cài đặt.

2.2. Thuật toán Moth-Flame Optimization (MFO) cải tiến

Tuy nhiên, chúng ta có thể thấy từ các tài liệu rằng vẫn còn chỗ để cải tiến trong thuật toán tối ưu hóa MFO. Do đó, trong hai năm qua, nhiều học giả đã cố gắng cải thiện thuật toán ở các khía cạnh khác nhau. Hơn nữa, thuật toán được sử dụng rộng rãi trong vật lý, y học, kinh tế và các lĩnh vực khác. Cuối cùng, nhiều học giả đã đưa ra các ví dụ về ứng dụng của thuật toán trong các lĩnh vực khác nhau để giải quyết các vấn đề thực tế.

Buch & Trivedi (2019) đã đề xuất thuật toán tối ưu MFO cải tiến, được sử dụng hiệu quả để giải quyết vấn đề dòng công suất tối ưu. Das et al. (2018) đã sử dụng thuật toán tối ưu MFO để xác định bộ trọng lượng kích thích dòng điện tối ưu và xác định khoảng cách tối ưu giữa các phần tử mảng trong cấu trúc ba vòng của mảng ăng ten đồng tâm cải tiến (CCAA). Ishiguro et al. (2020) đã đề xuất một phương pháp mới để tối ưu hóa chế độ tải của lò phản ứng hạt nhân - thuật toán tối ưu hóa MFO đa nhóm. Rezk et al. (2019) đã nghiên cứu thuật toán tối ưu hóa MFO lai để tìm công suất mặt trời cực đại trong các điều kiện khác nhau. Taher et al. (2019) đã sử dụng một thuật toán tối ưu hóa MFO cải tiến để giải quyết vấn đề tối ưu trào lưu công suất.

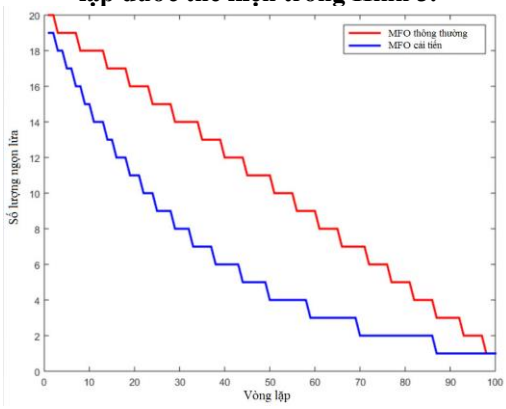
Lam & Khai (2022) đề xuất ra phương pháp tối ưu MFO cải tiến để giải quyết bài toán điều phối tối ưu công suất phản kháng trong lưới điện lớn và phù hợp với việc áp dụng vào bài toán điều khiển Volt/Var của các nguồn phân tán trong lưới điện truyền tải.

Trong bài báo, nhóm tác giả đề xuất một giải pháp giúp bướm đêm tìm kiếm hiệu quả hơn trong không gian tìm kiếm và khai thác các giải pháp tối ưu, thay vì số lượng ngọn lửa giảm sau mỗi vòng lặp theo một hàm tuyến tính, một hàm mũ được đề xuất nhằm tập trung vào khai thác các kết quả tối ưu ở cuối thuật toán. Điều này được kỳ vọng sẽ mang lại kết quả tối ưu hơn cho bài toán, đặc biệt là trong các bài toán phức tạp.

Công thức của hàm mũ được đề xuất như Lam & Khai (2022):

$$flame_{no} = round\left(N^{\frac{-l}{T}+1}\right) \quad (7)$$

So sánh phương pháp MFO và phương pháp MFO cải tiến về số lượng ngọn lửa sau các lần lặp được thể hiện trong Hình 3.

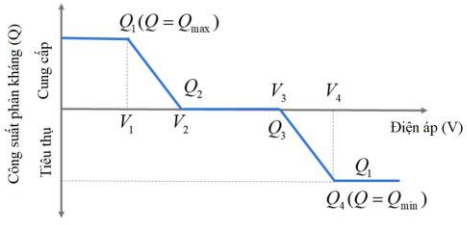


Hình 3. Số lượng ngọn lửa sau các lần lặp (Lam & Khai, 2022)

3. ÁP DỤNG THUẬT TOÁN MFO CẢI TIẾN VÀO BÀI TOÁN PHÂN BỐ TỐI ƯU NGUỒN PHÂN TÁN CÓ KHẢ NĂNG ĐIỀU KIỂN VOLT/VAR

3.1. Bài toán phân bố tối ưu nguồn phân tán có khả năng điều khiển Volt/Var

Đối với nhà máy điện gió và điện mặt trời có công suất lớn, có thể được xem như một loại DG, trong đó có các bộ biến tần được nối với lưới điện. VVC (Volt-Var Control) hoạt động trong biến tần này. Tức là, bộ biến tần cung cấp hoặc tiêu thụ công suất phản kháng bằng phương pháp điều khiển độ dốc tùy theo điện áp của thanh cái tương ứng. Do tính chất nguồn điện phân tán, việc sử dụng chức năng của VVC hoạt động hiệu quả trong việc giải quyết vấn đề điện áp cục bộ. Phương pháp điều khiển chi tiết cho của VVC được thể hiện trong Hình 4 và Công thức (8) theo Lee et al. (2021).



Hình 4. Ví dụ về điều khiển Volt/Var (Lee, 2021)

$$Q(V)=\begin{cases} Q_{max} & V \le V_1 \\ \dfrac{V_2-V}{V_2-V_1}Q_{max} & V_1 \le V \le V_2 \\ 0 & V_2 \le V \le V_3 \\ \dfrac{V_3-V}{V_3-V_4}Q_{min} & V_3 \le V \le V_4 \\ Q_{min} & V_4 \le V \end{cases} \quad (8)$$

Nếu điện áp trên thanh cái giảm xuống dưới giá trị đặt (tức là V2), thanh cái được cung cấp công suất phản kháng từ DG. Nếu điện áp tăng lên trên giá trị đặt (tức là V3), thanh cái sẽ tiêu thụ công suất phản kháng. Công suất phản kháng có điều khiển là giá trị pu từ kết quả của Công thức (9) theo Lee et al. (2021):

$$S_{DG}^{(i+1)} = \sqrt{(|S_{rated}|)^2 - (Q^{(i)})^2} + jQ^i \quad (9)$$

Trong đó:

S_{rated}: Công suất định mức của nguồn phân tán

$S_{DG}^{(i+1)}$: Điểm đặt công suất nguồn phân tán ở vòng lặp thứ (i+1).

$Q^{(i)}$: Công suất phản khảng nguồn phân tán cấp cho lưới ở phòng lặp thứ (i).

Bài toán phân bố tối ưu nguồn phân tán có khả năng điều khiển Volt/Var nhằm mục đích tìm ra các vị trí lắp đặt và công suất thích hợp của các DG sao cho đảm bảo các mục tiêu về chất lượng điện năng và cực tiểu hóa các chi phí cần thiết. Các lưu ý đối với bài toán:

– Vị trí đặt: DG có thể lắp đặt ở tất cả các nút ngoại trừ nút cân bằng. Các nút tích hợp DG tham gia vào việc điều khiển Volt/Var. Biên độ điện áp muốn muốn là 1.00 pu.

– Công suất: Công suất của DG không được vượt qua công suất định mức của hệ thống.

3.2. Ứng dụng phương pháp MFO cải tiến và bài toán điều khiển Volt/Var

3.2.1. Các hàm mục tiêu

Duy trì điện áp là một điều kiện vô cùng quan trọng trong việc giữ lưới điện hoạt động ổn định. Điện áp phải luôn nằm trong phạm vi cho phép và được thể hiện qua công thức (10) theo Lee et al. (2021):

$$C_V = \frac{\sum_{h=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{N}\left(|\,|V_{i,h}|-1|\right)\right)}{T} \quad (10)$$

Trong đó:

$V_{i.h}$: Điện áp ở nút thứ *i* vào giờ *h*

N: nút cuối cùng của lưới điện

T: Tổng thời gian

Khi kết nối DG vào lưới điện truyền tải thì không có điều kiện ràng buộc về số lượng DG, tuy nhiên số lượng DG càng nhiều thì chi phí đầu tư sẽ càng tăng lên, do đó ta cần phải đưa chi phí vào hàm mục tiêu của bài toán như Lee et al. (2021):

$$C_{cost} = \sum_{i=1}^{M} P_{DG,i} \times C_{DG} \quad (11)$$

C_{DG} là chi phí lắp đặt trung bình của DG tính bằng USD/kW (ví dụ: 3,975 USD/kW) và *M* là DG cuối cùng.

Khi tích hợp DG vào lưới có thể làm giảm tổn thất công suất trong hệ thống do DG có thể phát ngược công suất lên lưới. Do đó tổn thất cũng là một thành phần quan trọng để đánh giá theo Lee et al. (2021):

$$C_{\text{loss}} = \frac{\sum_{h=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{B}\left(|\,S_{\text{loss},i,h}\,|\right)\right)}{T} \quad (12)$$

$S_{loss,i,h}$ là tổn thất công suất ở nhánh thứ i và B là nhánh cuối cùng của hệ thống.

3.2.2. Chuẩn hoá

Để kết hợp các hàm mục tiêu để đánh giá thì việc chuẩn hóa vô cùng cần thiết. Trường hợp tồi tệ nhất của điện áp là điện áp lệch khỏi giá trị định mức 10%, trường hợp tồi tệ nhất của tổn thất là vượt 10% giá trị định mức ở tất cả các nhánh, trường hợp tồi tệ nhất của chi phí là khi DG được lắp ở tất cả các nút trong hệ thống. Do đó, ta có thể chuẩn hóa các hàm mục tiêu theo Lee et al. (2021) như sau:

$$C_{V,norm} = \frac{\sum_{h=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{N}\left(|\,|V_{i,h}\,|-1|\right)\right)}{T\times N\times 0.1} \quad (13)$$

$$C_{\text{loss,norm}} = \frac{\sum_{h=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{B}\left(|\,S_{\text{loss},i,h}\,|\right)\right)}{T\times B\times S_{base}\times 0.1} \quad (14)$$

$$C_{\text{cost,norm}} = \frac{\sum_{i=1}^{M} P_{DG,\text{i}}\times C_{DG}}{N\times C_{\max}\times C_{DG}} \quad (15)$$

3.2.3. Hàm tối ưu của bài toán (FF)

Các hàm mục tiêu sau khi đã chuẩn hóa sẽ được tổng hợp với nhau và chúng sẽ thể hiện mức độ ảnh hưởng thông qua các trọng số đi kèm.

$$FF = \alpha\times C_{V,norm} + \beta\times C_{\text{loss,norm}} + \gamma\times C_{\text{cost,norm}} \quad (16)$$

$$\min FF \quad (17)$$

Trong đó α, β, γ lần lượt là các trọng số của mục tiêu điện áp, mục tiêu tổn thất công suất và mục tiêu chi phí trong hàm tối ưu của bài toán.

3.2.4. Các điều kiện ràng buộc

Khi tích hợp DG vào lưới, phải đảm bảo điều kiện về cân bằng công suất:

$$\sum_{i=1}^{M} P_{DG,i} + \sum_{i=1}^{N} P_{\text{g},i} = \sum_{i=1}^{L} P_{\text{load},i} + \sum_{i\in\{branches\}} P_{\text{losses,i}} \quad (18)$$

Trong đó:

$P_{DG,i}$: Công suất phát của DG thứ i

$P_{g,i}$: Công suất phát của máy phát thứ i

$P_{load,i}$: Tải ở nút thứ i

$P_{losses,i}$: Tổn thất công suất ở nhánh thứ i.

Giới hạn công suất tác dụng và công suất phản kháng của nguồn phát DG

$$P_{i,\min} \le P_{DG,i} \le P_{i,\max} \quad (19)$$

$$Q_{i,\min} \le Q_{DG,i} \le Q_{i,\max} \quad (20)$$

Trong đó:

$P_{DG,i}$: Công suất phát của DG thứ i

$P_{i,min}$: Công suất phát tối thiểu của DG thứ i

$P_{i,max}$: Công suất phát tối đa của DG thứ i

$Q_{DG,i}$: Công suất phản kháng của DG thứ i

$Q_{i,min}$: Công suất phản kháng tối thiểu DG thứ i

$Q_{i,max}$: Công suất phản kháng tối đa DG thứ i

Giới hạn điện áp của các nút trong hệ thống nằm trong giới hạn cho phép ±5%:

$$V_{i,\min} \le V_i \le V_{i,\max} \quad (21)$$

Trong đó:

V_i: Điện áp của nút thứ i

$V_{i,min}$: Điện áp tối thiểu của nút thứ i

$V_{i,max}$: Điện áp tối đa của nút thứ i

3.2.5. Vector lời giải của bài toán

Mỗi lời giải của giải pháp là một vector gồm 2n phần tử, trong đó n là số nguồn DG. Với n vị trí đầu tiên là vị trí của nguồn DG và n vị trí sau là công suất của nguồn DG tương ứng.

$$\underbrace{\{x_1, x_2 \ldots x_n}_{\text{Positions}}, \underbrace{Q_1 \quad , Q_2 \quad \ldots Q_N}_{\text{Reactive powers}} \}$$

3.2.6. Các bước thực hiện bài toán

Áp dụng phương pháp MFO cải tiến cho bài toán điều khiển Volt/Var được đề xuất thực hiện qua các bước:

Bước 1: Khởi tạo ngẫu nhiên các vector lời giải của bài toán.

Bước 2: Kết nối nguồn DG vào lưới điện tại các vị trí x_i với công suất phản kháng Q_i tương ứng.

Bước 3: Gán giá trị phụ tải thời gian thực cho các nút của lưới điện mô phỏng.

Bước 4: Chạy bài toán phân bố công suất

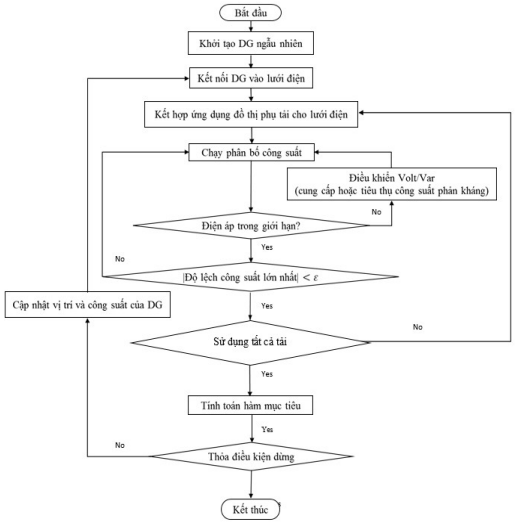
Bước 5: Xem xét điện áp của các nút nằm trong giới hạn cho phép, nếu chưa thoả mãn, tiến hàng điều chỉnh Volt/Var và chạy lại bài toán phân bố công suất.

Bước 6: Xem xét độ lệch công suất bé hơn một hằng số mong muốn cho trước, nếu chưa thoả mãn, tiến hàng điều chỉnh Volt/Var và chạy lại bài toán phân bố công suất.

Bước 7: Nếu đã sử dụng tất cả tải trong hệ thống tại các thời điểm thì tiến hành tính toán giá trị hàm mục tiêu, nếu chưa thì tiếp tục gán giá trị tải vào các nút.

Bước 8: Sau khi tính giá trị hàm mục tiêu thì xem xét điều kiện dừng, nếu thoả thì kết thúc bài toán, nếu chưa thỏa thì khởi tạo vector lời giải khác và quay lại Bước 2.

Lưu đồ thực hiện bài toán tối ưu được thể hiện trong Hình 5.

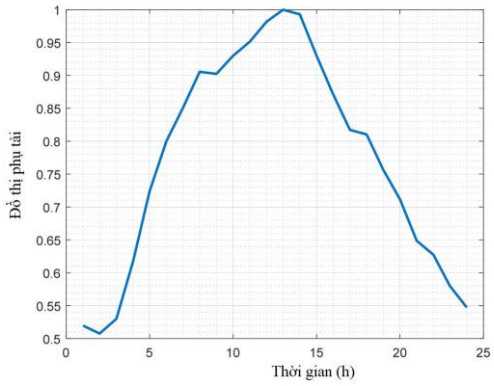


Hình 5. Các bước thực hiện bài toán

3.3. Dữ liệu mô phỏng

3.3.1. Đồ thị phụ tải 24h

Phụ tải điện thay đổi theo thời gian do sự thay đổi của các yếu tố khác nhau như nhu cầu, thời tiết và mùa. Như vậy, cần phải xem xét sự biến thiên của tải trọng. Hình 6 biểu thị đồ thị phụ tải trong 24h điển hình theo Dugan et al (2013), được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho bài toán.

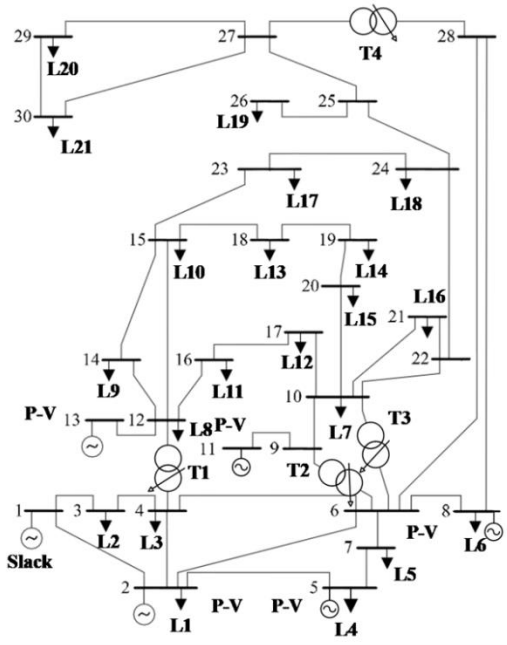


Hình 6. Đồ thị phụ tải 24h (Dugan et al., 2013)

3.3.2. Lưới điện IEEE 30 nút

Các hệ thống thử nghiệm đại diện cho một hệ thống điện gần đúng của Mỹ đã được đề xuất cho các mục đích nghiên cứu và giáo dục vào năm 1962. Một trong số đó, hệ thống thử nghiệm IEEE 30-bus trong Hình 7, bao gồm 30 thanh cái, 21 tải, 5 nút PV và 4 máy biến áp có nấc phân áp theo Dabbagchi (2019).

Lưới điện IEEE 30 nút sẽ được mô phỏng bằng phần mềm Matlab và sử dụng công cụ Matpower Toolbox của Zimmerman et al. (1997) hỗ trợ tính trào lưu công suất.



Hình 7. Lưới điện IEEE 30 nút (Dabbagchi, 2019)

Bảng 1 minh họa các điểm dữ liệu hoạt động chi tiết cho VVC, được xác định trong Hình 4 và Công thức (8). Nút cân bằng và nút PV được mô phỏng có điện áp mong muốn là 1.00 pu nhằm giảm sự chênh lệch điện áp trên thanh cái.

Bảng 1. Giá trị dữ liệu của VVC

Đại lượng	Giá trị (pu)	Đại lượng	Giá trị (pu)
V_1	0.98	Q_1	1
V_2	0.99	Q_2	0
V_3	1.01	Q_3	0
V_4	1.02	Q_4	-1

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả bài toán sau khi tối ưu bằng phương pháp MFO cải tiến sẽ được so sánh với kết quả của phương pháp GA theo Kim (2020). Kết quả chi tiết được thể hiện trong Bảng 2.

So với phương pháp GA của Kim (2020), phương pháp MFO cải tiến tuy cho kết quả độ lệch điện áp và tổn thất cao hơn nhưng kết quả hàm đa mục tiêu tốt hơn và chi phí cho DG cũng thấp hơn đáng kể, nhờ đó làm giá trị của hàm đa mục tiêu đạt kết quả tối ưu hơn.

Như Hình 8, ta có thể thấy đồ thị điện áp đã được cải thiện rõ rệt và điện áp các nút được đưa về đúng giá trị cho phép, nhờ việc lắp đặt phù hợp các thiết bị bù công suất phản kháng.

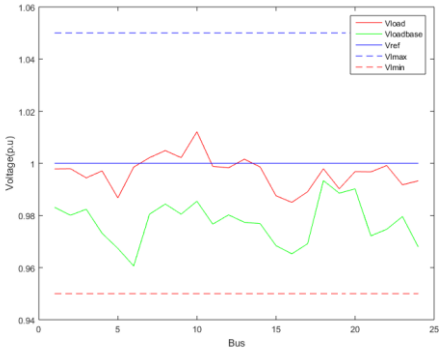
Kết quả vị trí lắp đặt của DG và công suất DG tương ứng được thể hiện trong Bảng 3. Vị trí và công suất lắp đặt phù hợp của DG là tại các nút 7, 12, 15, 28 và 29. Trong đó, nút 12 ở vị trí trung tâm của lưới điện kết nối với nhiều đường dây và máy biến áp nên có khả năng lắp đặt công suất DG lớn. Trong khi, nút 29 ở vị xa hơn, việc lắp đặt DG công suất lớn sẽ không thuận lợi.

5. KẾT LUẬN

Từ kết quả bài toán cho thấy phương pháp MFO cải tiến là hiệu quả khi áp dụng trong bài toán tối ưu vị trí và công suất DG và cho kết quả tối ưu hơn so với phương pháp tối ưu GA. Kết quả bài toán cho ta biết được vị trí và công suất nguồn DG cần tích hợp vào lưới điện để cải thiện chất lượng điện năng. Việc áp dụng đồ thị phụ tải và lưới điện truyền tải mô phỏng tương đối gần với dữ liệu thực tế, nên thuật toán MFO cải tiến hoàn toàn có thể áp dụng đối với các lưới điện thực tế. Kết quả bài toán có thể được sử dụng trong việc quy hoạch nguồn phân tán, tối ưu hóa chi phí và đánh giá được tình trạng của lưới điện khi sự xâm nhập của các nguồn phân tán ngày càng cao trong những những năm gần đây.

Bảng 2. Kết quả mô phỏng

Mô hình	V(%)	Tổn thất (%)	Chi phí	Hàm FF
Không có DG	0.0742 (100%)	0.0194 (100%)	0	0.0936
GA (Kim, 2020)	0.0152 (20.49%)	0.004 (20.62%)	0.0236	0.0427
MFO cải tiến	0.0192 (25.88%)	0.0049 (25.26%)	0.021	0.0413



Hình 8. Đồ thị điện áp

Phương pháp MFO cải tiến với bài toán VCC	
Vị trí lắp đặt (nút)	Công suất (MVA)
7	20.34
12	90.14
15	10.56
28	24.03
29	5.02

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-TP.HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Buch, H., & Trivedi, I. N. (2019). An efficient adaptive moth flame optimization algorithm for solving large-scale optimal power flow problem with POZ, multifuel and valve-point loading effect. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 43*(4), 1031-1051.

Chen, G., Lewis, F. L., Feng, E. N., & Song, Y. (2015). Distributed optimal active power control of multiple generation systems. *IEEE*

Transactions on Industrial Electronics, *62*(11), 7079-7090.

Cagnano, A., De Tuglie, E., Liserre, M., & Mastromauro, R. A. (2011). Online optimal reactive power control strategy of PV inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *58*(10), 4549-4558.

Dugan, R. C., Arritt, R., Smith, J., & Rylander, M. (2013, June). OpenDSS training workshop. *In Electric Power Research Institute*.

Dabbagchi, I. *IEEE 30-Bus System. American Electric Power System*. Available online: http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm.

Das, A., Mandal, D., Ghoshal, S. P., & Kar, R. (2018). Concentric circular antenna array synthesis for side lobe suppression using moth flame optimization. *AEU-international Journal of Electronics and Communications*, *86*, 177-184.

Ishiguro, S., Endo, T., & Yamamoto, A. (2020). Loading pattern optimization for a PWR using Multi-Swarm Moth Flame Optimization Method with Predator. *Journal of Nuclear Science and Technology*, *57*(5), 523-536.

Kim, I. (2020). The optimization of the location and capacity of reactive power generation units, using a hybrid genetic algorithm incorporated by the bus impedance power-flow calculation method. *Applied Sciences*, *10*(3), 1034.

Lam B. Q. & Khai P. N. (2022), Improved Moth-Flame Optimization for optimal reactive power dispatch in large-scale systems. *GMSARN International Journal*, *16* (2), pp. 152-164.

Lee, D., Son, S., & Kim, I. (2021). Optimal allocation of large-capacity distributed generation with the volt/var control capability using particle swarm optimization. *Energies*, *14*(11), 3112.

Lee, S. H., & Park, J. W. (2013). Optimal placement and sizing of multiple DGs in a practical distribution system by considering power loss. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *49*(5), 2262-2270.

Mirjalili, S. (2015). Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. *Knowledge-based systems*, *89*, 228-249.

Rezk, H., Ali, Z. M., Abdalla, O., Younis, O., Gomaa, M. R., & Hashim, M. (2019). Hybrid moth-flame optimization algorithm and incremental conductance for tracking maximum power of solar PV/thermoelectric system under different conditions. *Mathematics*, *7*(10), 875.

Taher, M. A., Kamel, S., Jurado, F., & Ebeed, M. (2019). An improved moth-flame optimization algorithm for solving optimal power flow problem. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, *29*(3), e2743.

Talaat, H. E., & Al-Ammar, E. (2011, October). Optimal allocation and sizing of Distributed Generation in distribution networks using Genetic Algorithms. *In 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation* (pp. 1-6). IEEE.

Zimmerman, R. D., Murillo-Sanchez, C. E., & Gan, D. (1997). *Matpower. PSERC.[Online]. Software Available at:* http://www. pserc. cornell. edu/matpower.