

ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM TO SOLVE THE OPTIMAL POWER FLOW PROBLEM ON BEN TRE POWER SYSTEM

Tran Huu Tinh*, Nguyen Tran Long Nhut Dang, Vo Pha Ga, Tran Trung Khanh, Pham Thi Hue
Can Tho University of Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	08/01/2024	One of the key requirements in operating the power system is achieving economic efficiency in electricity production, transmission, distribution, and use. To do so, the system must run at the lowest cost possible, which necessitates minimizing both fuel costs and power losses. The optimal power flow (OPF) problem addresses this by seeking to minimize the total generator fuel cost while satisfying all voltage constraints, reactive power limitations at generator nodes, and transformer tap ratios. This research investigates the application of the application of the artificial bee colony (ABC) algorithm for solving the OPF problem. Inspired by the foraging behavior of honeybees, ABC utilizes a population of 'bees' to search for optimal solutions and share information with each other. Tests on the Ben Tre power system using PowerWorld software demonstrate the algorithm's ability to find optimal solutions quickly. Therefore, the ABC algorithm shows promise as a viable tool for solving the OPF problem.
Revised:	29/02/2024	
Published:	29/02/2024	
KEYWORDS		
Power flow		
Optimal power flow		
Cost of generator fuel		
Artificial bee colony algorithm		
Power system		

NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN ĐÀN ONG NHÂN TẠO VÀO BÀI TOÁN PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TỐI ƯU MẠNG ĐIỆN TỈNH BẾN TRE

Trần Hữu Tinh*, Nguyễn Trần Long Nhựt Đăng, Võ Pha Ga, Trần Trung Khánh, Phạm Thị Huệ
Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 08/01/2024 Ngày hoàn thiện: 29/02/2024 Ngày đăng: 29/02/2024	Một trong những yêu cầu quan trọng trong vận hành hệ thống điện là đạt được hiệu quả kinh tế trong sản xuất, truyền tải, phân phối và sử dụng điện. Để làm được như vậy, hệ thống phải chạy ở mức chi phí thấp nhất có thể, điều này đòi hỏi phải giảm thiểu cả chi phí nhiên liệu và tổn thất điện năng. Bài toán dòng công suất tối ưu (OPF) giải quyết vấn đề này bằng cách tìm cách giảm thiểu tổng chi phí nhiên liệu của máy phát điện trong khi vẫn đáp ứng tất cả các ràng buộc về điện áp, giới hạn công suất phản kháng tại các nút máy phát và tỷ số phân áp của máy biến áp. Nghiên cứu này khảo sát việc ứng dụng thuật toán đàn ong nhân tạo (ABC) để giải bài toán OPF. Lấy cảm hứng từ hành vi tìm kiếm thức ăn của ong mật, ABC sử dụng đàn ong để tìm kiếm giải pháp tối ưu và chia sẻ thông tin với nhau. Các thử nghiệm trên hệ thống điện Bến Tre sử dụng phần mềm PowerWorld chứng minh khả năng của thuật toán trong việc tìm ra giải pháp tối ưu một cách nhanh chóng. Do đó, thuật toán ABC hứa hẹn là một công cụ khả thi để giải quyết vấn đề OPF.
TỪ KHÓA	
Phân bố công suất Phân bố công suất tối ưu Chi phí nhiên liệu Thuật toán đàn ong nhân tạo Hệ thống điện	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9569>

* Corresponding author. Email: thtinh@ctu.edu.vn

1. Giới thiệu

Một trong những yêu cầu quan trọng nhất khi vận hành hệ thống điện, đó là tính kinh tế cho việc sản xuất, truyền tải, phân phối và sử dụng điện năng. Để thực hiện yêu cầu đó, cần đảm bảo hệ thống điện làm việc với mức chi phí thấp nhất bằng cách giảm đến mức tối thiểu chi phí nhiên liệu và tổn thất điện năng. Có nhiều bài toán để tối ưu về mặt kinh tế cho vận hành hệ thống điện, trong đó bài toán phân bố công suất tối ưu có ý nghĩa quan trọng trong việc điều tiết công suất và đảm bảo sự cân bằng thu phát công suất trong hệ thống, giúp hệ thống luôn làm việc ổn định. Từ đó, hướng tới việc giảm chi phí trong vận hành hệ thống điện. Cân bằng thu phát công suất trong hệ thống điện là trạng thái mà tổng công suất phát của nguồn bằng tổng công suất tiêu thụ của tải tại mọi thời điểm. Trào lưu công suất trên các đường dây truyền tải thay đổi theo thời gian. Chẳng hạn, tại một thời điểm nào đó trong hệ thống điện có những đường dây bị quá tải trong khi các đường dây khác lại non tải và ngược lại. Vì thế, việc sử dụng hiệu quả và tối ưu các nguồn cung cấp sẽ thay đổi phân bố công suất đường dây và trạm biến áp vẫn đảm bảo được cung cấp điện liên tục của hệ thống điện.

Hiện nay, có rất nhiều thuật toán được đưa ra để giải quyết bài toán này chẳng hạn như: phương pháp kinh điển Newton - Raphson [1], quy hoạch tuyến tính (Linear Programming) [1], quy hoạch phi tuyến (Nonlinear Programming) [1], Tabu search [2], SA - Simulated annealing [3], thuật toán di truyền (GA - Genetic Algorithm) [4], [5], quy hoạch tiến hóa (DE - Differential Evolution) [6], thuật toán tối ưu hóa đàn kiến (ACO - Ant Colony Optimization) [7], thuật toán bầy đàn (PSO - Particle Swarm Optimization) [8] và phương pháp lai cải tiến. Gần đây, một kỹ thuật tính toán tiến hóa mới, được gọi là đàn ong nhân tạo (Artificial Bee Colony - ABC), đã được đề xuất và giới thiệu bởi Karaboga [9]. Thuật toán được phát triển dựa trên việc kiểm tra hành vi của những con ong mật trong việc tìm mật hoa và chia sẻ thông tin về nguồn thức ăn cho những con ong trong tổ của chúng. Ưu điểm chính của thuật toán ABC so với các phương pháp tối ưu hóa khác là tính đơn giản, linh hoạt cao, ít tham số điều khiển, dễ kết hợp với các phương pháp khác, khả năng xử lý mục tiêu có tính chất ngẫu nhiên, hội tụ nhanh, vừa thăm dò vừa khai thác [10].

Bài báo tập trung nghiên cứu và ứng dụng thuật toán đàn ong nhân tạo để giải quyết bài toán phân bố tối ưu dòng công suất trong hệ thống điện. Đối tượng được nghiên cứu hướng đến là lưới điện của tỉnh Bến Tre, việc tính toán phân bố công suất trên lưới điện kết hợp với thuật toán ABC sẽ được mô phỏng trên phần mềm MatLab và PowerWorld. Từ kết quả mô phỏng, bài báo cũng phân tích tiềm năng của thuật toán ABC và tính khả thi trong việc ứng dụng thuật toán này vào các phương án phát triển hệ thống điện.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình bài toán

2.1.1. Hàm mục tiêu

Bản chất của bài toán OPF nằm ở việc cực tiểu hóa hàm mục tiêu và đồng thời thỏa mãn các ràng buộc cân bằng mà không vi phạm các ràng buộc không cân bằng. Hàm chi phí nhiên liệu cho máy phát được mô tả như [10]:

$$\text{minimize } F(x) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \frac{\$}{h} \quad (1)$$

Trong đó:

N_G : số lượng máy phát; a_i : hệ số chi phí cơ bản của máy phát thứ i .

b_i : hệ số chi phí tuyến tính của máy phát thứ i .

c_i : hệ số chi phí bình phương của máy phát thứ i .

P_{Gi} : công suất tác dụng ngõ ra của máy phát thứ i (MW).

2.1.2. Các điều kiện ràng buộc

Trong nghiên cứu này, ràng buộc cân bằng công suất của bài toán OPF là sự ràng buộc về cân bằng công suất thu phát của hệ thống điện. Ràng buộc cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng của hệ thống điện tại nút thứ i được thể hiện qua phương trình (2). Tổng thất công suất tác dụng và tổn thất công suất phản kháng tại nút thứ i luôn bằng 0 [10]:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i(V, \theta) - (P_{Gi} - P_{Di}) \\ Q_i(V, \theta) - (Q_{Gi} - Q_{Di}) \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

$$P_i(V, \theta) = \sum_{j=1}^{N_B} V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (3)$$

$$Q_i(V, \theta) = \sum_{j=1}^{N_B} V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (4)$$

Trong đó:

P_i : công suất tác dụng tại nút i ; Q_i : công suất phản kháng tại nút i

N_B : tổng số nút của hệ thống.

G_{ij} : điện dẫn giữa 2 nút i và j ; B_{ij} : điện cảm giữa 2 nút i và j .

P_{Gi} : công suất tác dụng phát ra của máy phát thứ i (MW).

Q_{Gi} : công suất phản kháng phát ra của máy phát thứ i (MVar).

P_{Di} : tải thực nút i (MW); Q_{Di} : tải kháng nút i (MVar).

V_i : biên độ điện áp tại nút i ; V_j : biên độ điện áp tại nút j .

θ_{ij} : góc điện áp tại nút i, j .

Các ràng buộc không cân bằng của bài toán OPF phản ánh sự giới hạn trên các thiết bị vật lý trong hệ thống điện cũng như sự giới hạn được tạo ra để đảm bảo độ an toàn hệ thống. Các ràng buộc không cân bằng này được mô tả như [10]:

Giới hạn công suất tác dụng, công suất phản kháng, điện áp tại nút máy phát:

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \text{ (MW) với } i = 1, 2, \dots, N_G \quad (5)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} \text{ (MVar) với } i = 1, 2, \dots, N_G \quad (6)$$

$$V_{Gi}^{min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{max} \text{ với } i = 1, 2, \dots, N_G \quad (7)$$

Giới hạn bù công suất phản kháng tại nút:

$$Q_{Ci}^{min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{max} \text{ (MVar) với } i = 1, 2, \dots, N_C \quad (8)$$

Trong đó: N_C là tổng số tụ bù

Giới hạn về chỉ số chỉnh định máy biến áp:

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max} \text{ với } i = 1, 2, \dots, N_T \quad (9)$$

Trong đó: N_T là tổng số máy biến áp

Giới hạn điện áp tại nút tải:

$$V_{Li}^{min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{max} \text{ với } i = 1, 2, \dots, N_L \quad (10)$$

Trong đó: N_L là tổng số nút tải

2.2. Áp dụng thuật toán đàn ong nhân tạo để giải bài toán phân bố công suất tối ưu

2.2.1. Thuật toán đàn ong nhân tạo

Trong bước đầu tiên của thuật toán ABC [10], các giải pháp ban đầu được tạo ngẫu nhiên trong phạm vi cụ thể của các biến x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, S$). Thứ hai, mỗi con ong thợ xác định các giải pháp mới có số lượng bằng một nửa tổng số cá thể. Phương trình (11) được sử dụng để tìm giải pháp mới.

$$V_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (11)$$

Trong phương trình (11), $k \in \{1, 2, \dots, N\}$ và $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ là những chỉ số được lựa chọn ngẫu nhiên. Mặc dù k được xác định giá trị ngẫu nhiên, k phải khác với i và φ_{ij} là một số ngẫu nhiên giữa $[0,1]$. Thông số này kiểm soát việc tìm kiếm các nguồn thức ăn lân cận xung quanh và thể hiện sự so sánh hai nguồn thức ăn x_{ij} một cách trực quan bởi một con ong. Sau khi mỗi nguồn thức ăn V_{ij} được tìm kiếm và sau đó được đánh giá bởi ong quan sát, chất lượng của nó được so sánh với nguồn thức ăn trước đó. Nếu nguồn thức ăn mới có mật hoa bằng hoặc tốt hơn nguồn thức ăn cũ, nó được sử dụng để thay thế mật hoa cũ trong bộ nhớ. Nếu không, cái cũ được giữ lại trong bộ nhớ.

Thứ ba, những con ong quan sát chọn một nguồn thức ăn với xác suất được đưa ra trong (12).

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{S_N} fit_j} \quad (12)$$

Trong đó: fit_i là giá trị tối ưu của giải pháp i tỷ lệ thuận với lượng mật hoa của nguồn thức ăn ở vị trí i và j là số lượng nguồn thức ăn bằng số lượng ong thợ.

Những con ong trinh sát chịu trách nhiệm rất nhiều cho các tìm kiếm ngẫu nhiên ở mỗi đàn. Những con ong trinh sát không sử dụng bất kỳ kiến thức và sự kiện nào khi chúng đang tìm kiếm nguồn mật hoa, do đó tìm kiếm của chúng được thực hiện ngẫu nhiên hoàn toàn. Những con ong trinh sát được chọn trong số những con ong thợ được xem xét đến các thông số giới hạn. Nếu một trong giải pháp của nguồn thức ăn không được cải thiện với số lần đánh giá vòng lặp thì nguồn thức ăn này sẽ bị loại bỏ. Con ong của nguồn thức ăn đó xác định nguồn thức ăn mới được chọn là ong trinh sát. Xác định một nguồn thức ăn mới của một con ong trinh sát được đưa ra trong (13).

$$X_{ij} = X_j^{min} + (X_j^{max} - X_j^{min}) * rand(0,1) \quad (13)$$

Trong đó: X_j^{min} và X_j^{max} là giới hạn tối thiểu và tối đa của tham số cần được tối ưu hóa.

2.2.2. Áp dụng thuật toán ABC vào OPF

Thuật toán ABC áp dụng vào bài toán OPF tìm lời giải tối ưu sẽ được thực hiện theo các bước:

Bước 1: Bắt đầu thiết lập thông số đầu vào theo thông số mạng điện cho thuật toán ABC.

Bước 2: Tính toán OPF sử dụng thuật toán Newton - Raphson theo các giá trị ban đầu.

Bước 3: Tính hàm mục tiêu dựa trên kết quả tính toán phân bố công suất. Đặt giải pháp ban đầu là giải pháp tốt nhất. Đặt bộ đếm thành 1.

Bước 4: Ong thợ dò tìm giải pháp tốt nhất trong kích thước bầy đàn ngẫu nhiên ban đầu.

Bước 5: Giải bài toán phân bố công suất bằng phương pháp Newton - Raphson dựa trên giải pháp mới của những con ong thợ.

Bước 6: Tính toán hàm mục tiêu tương ứng với giải pháp mới của những con ong thợ.

Bước 7: So sánh giá trị mới của hàm mục tiêu và giá trị đã khởi tạo để thu được giá trị tốt nhất.

Bước 8: Ong quan sát được đánh giá, chọn giải pháp tốt nhất từ đề xuất ong thợ và quay lại bước 5.

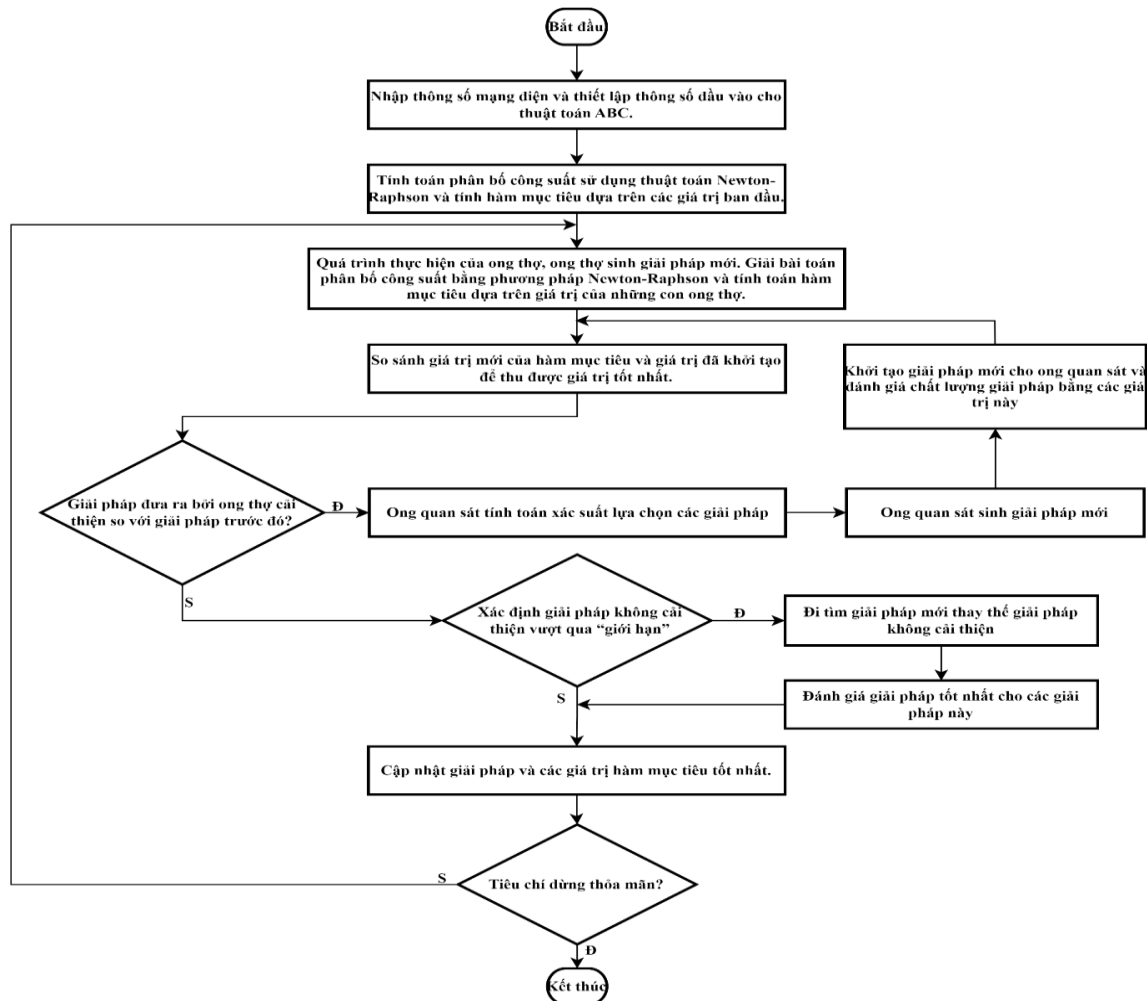
Bước 9: Quá trình thực hiện của ong trinh sát. Xác định giải pháp không được cải thiện khi vượt quá “giới hạn”.

Bước 10: Nếu có giải pháp không cải thiện vượt quá “giới hạn” đặt ra trong thông số đầu vào, ong thợ tạo ra giải pháp đó sẽ trở thành ong trinh sát đi tìm giải pháp mới và tính toán.

Bước 11: Cập nhật giải pháp tốt nhất và các giá trị hàm mục tiêu tương ứng.

Bước 12: Nếu không đạt được số lần lặp tối đa, hãy tăng bộ đếm và quay lại Bước 4.

Thuật toán đàn ong nhân tạo áp dụng giải bài toán phân bố công suất được thực hiện theo các bước trên và thể hiện lưu đồ thuật toán theo Hình 1.



Hình 1. Lưu đồ thuật toán ABC-OPF

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Giới thiệu tổng quan về mạng điện tỉnh Bến Tre

Bảng 1. Dự báo nhu cầu phụ tải 2025

Nút phụ tải	Công suất cực đại (MW)	Nút phụ tải	Công suất cực đại (MW)
4	15	24	41
15	10	25	39
18	76	26	38
19	24	27	48
20	41	28	26
21	38	29	37
22	21	30	20
23	49	-	-

Nghiên cứu này áp dụng thuật toán đàn ong nhân tạo vào bài toán phân bố công suất mạng điện được xét ở cấp điện áp 220 kV và 110 kV tỉnh Bến Tre trên cơ sở quy hoạch phát triển điện lực 2016 - 2025, có xét đến năm 2035. Trong bài sử dụng kết quả tổng hợp dự báo nhu cầu công suất theo các huyện, thành phố tỉnh Bến Tre đến năm 2025 số liệu thống kê như trong bảng 1. Ngoài ra, Bến Tre trao đổi nguồn với tỉnh Vĩnh Long và Tiền Giang thông qua trạm 110 kV Bến Tre và trạm 110 kV Chợ Lách [11].

3.2. Thông số đầu vào

3.2.1. Thiết lập các thông số cho thuật toán ABC

Số cá thể trong quần thể NP = 50.

Giới hạn nguồn thức ăn không được cải thiện L = 100.

Số bước lặp tối đa $I_{\max} = 200$.

Hệ số phạt ràng buộc chung cho tất cả các ràng buộc cân bằng công suất, đường dây truyền tải, điện áp nút máy phát và đầu phân áp trạm biến áp $K = 10^5$.

3.2.2. Thông số đầu vào mạng điện

Thông số đầu vào của hệ thống để tính toán cho mạng điện tỉnh Bến Tre như trình bày tại Bảng 2 và Bảng 3. Trong đó, R (resistance), X (reactance), TRF (transformer), TRL (Transmission Lines) là đại diện cho điện trở, điện kháng và các máy biến áp, đường dây truyền tải.

Bảng 2. Thông số nguồn phát và phụ tải mạng điện

Nút	Máy phát (MW)		Phụ tải (MW)
	Tối thiểu	Tối đa	
1	0	0	0
2	0	0	0
...	...	...	...
9	0	180	0
10	0	540	0
...	...	...	...
29	0	0	37
30	0	0	20

Bảng 3. Thông số đường dây và trạm biến áp của mạng điện

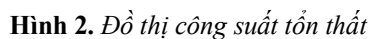
Từ nút	Đến nút	R(pu)	X(pu)	Công suất (MVA)	Tên nút
1	3	0	0,044	250	TRF
2	12	0	0,088	125	TRF
...	...	...	...	...	...
5	19	0	0,275	40	TRF
6	11	0,00808	0,01283	119,6	TRL
...	...	...	...	...	...
13	17	0,01111	0,02545	239,3	TRL
17	14	0,02979	0,06826	239,3	TRL

3.3. Kết quả

Thuật toán ABC được áp dụng bài toán OPF chứng minh vào mạng điện tỉnh Bến Tre và các kết quả thu được tại Bảng 4 được so sánh với kết quả mô phỏng trên phần mềm PowerWorld. Thuật toán ABC được lập trình trong Matlab R2016a và chạy trên bộ vi xử lý AMD Ryzen 5 5500U, Radeon Graphics CPU 2.10 GHz với 8,0 GB RAM. Tiêu chí dừng của thuật toán là số lần lặp tối đa. Trong nghiên cứu này, tính toán phân bố công suất cho mạng điện tỉnh Bến Tre sử dụng phương pháp Newton Raphson được lấy từ Matpower 7.1 [12].

Bảng 4. Kết quả phân bố công suất tối ưu

Máy phát	Công suất (MW)
9	180
10	294,64
14	60
Tổng thất công suất(MW)	11,64
Chi phí (\$/h)	1389,12
Thời gian(s)	27,11



3.4. Kiểm tra phân bố công suất bằng phần mềm PowerWorld

Bảng 5. So sánh kết quả phân bố công suất giữa thuật toán ABC và kết quả phần mềm PowerWorld

Nút phụ tải	Công suất cực tiểu	Công suất cực đại	Phần mềm PowerWorld	Thuật toán ABC
Pg9 (MW)	0	180	180	180
Pg10 (MW)	0	540	296,29	294,64
Pg14 (MW)	0	60	60	60
Tổn thất (MW)			13,3	11,64
Chi phí (\$/h)			1399,38	1389,12
CPU (s)			-	27,11

Theo Bảng 5 ta thấy thuật toán ABC cho kết quả tốt hơn so với kết quả mô phỏng trên phần mềm PowerWorld, kết quả tổng tổn thất công suất 11,64 (MW) và tổng chi phí nhiên liệu máy phát 1389,12 (\$/h) cho kết quả tốt hơn 0,73% so với kết quả mô phỏng trên phần mềm PowerWorld trong khi tất cả các ràng buộc về điện áp, công suất phản kháng tại nút máy phát và chỉ số chỉnh định máy biến áp đều được thỏa mãn. Đồng thời thời gian tính toán là một chỉ số quan trọng để đánh giá hiệu năng của thuật toán. Trong nghiên cứu này, kết quả đạt được sự hội tụ với thời gian ngắn 27,11 (s) cho việc giải quyết bài toán tối ưu hóa.

4. Kết luận

Trong bài báo này, thuật toán ABC được áp dụng để giải bài toán OPF. Ưu điểm của thuật toán là ít tham số thiết lập, thời gian tính toán ngắn, sự hội tụ nhanh và kết quả tin cậy. Trong thuật toán ABC đã dựa trên sự tìm kiếm ngẫu nhiên để tìm kiếm lời giải tối ưu. Do đó, điều này có thể bỏ qua những lời giải tốt hơn. Bên cạnh đó, việc dò tìm giải pháp tốt nhất của thuật toán ABC còn mang tính cục bộ. Kết quả tính toán phụ thuộc nhiều vào các thông số cài đặt được quy đổi từ các thông số thực của mạng điện tỉnh Bến Tre, vì thế phải mất nhiều thời gian để thử nghiệm và kiểm tra. Việc đánh giá giải pháp tối ưu chủ yếu dựa vào lý thuyết xác suất. Thuật toán ABC đã được áp dụng vào mạng điện tỉnh Bến Tre. Kết quả mô phỏng từ Matlab được kiểm tra lại trên phần mềm PowerWorld. Từ đó, có thể thấy được triển vọng, tính ưu việt và khả năng ứng dụng rộng rãi các bài toán trong hệ thống điện của thuật toán ABC trong tương lai.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ đã tạo điều kiện và thời gian nhóm tác giả hoàn thành nội dung nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] K. S. Pandya, "A survey of optimal power flow method," *Journal of theoretical and Applied information technology*, vol. 4, no. 5, pp. 450-458, 2008.
- [2] M. A. Abido, "Optimal power flow using tabu search algorithm," *Electric power components and systems*, vol. 30, no. 5, pp. 469-483, 2002.
- [3] C. A. Roa-Sepulveda and B. J. Pavez-Lazo, "A solution to the optimal power flow using simulated annealing," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 25, no. 1, pp. 47-57, 2003.
- [4] M. S. Osman, M. A. Abo-Sinna, and A. A. Mousa, "A solution to the optimal power flow using genetic algorithm," *Applied mathematics and computation*, vol. 155, no. 2, pp. 391-405, 2004.
- [5] A. G. Bakirtzis, P. N. Biskas, C. E. Zoumas, and V. Petridis, "Optimal power flow by enhanced genetic algorithm," *IEEE Transactions on power Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 229-236, 2002.
- [6] A. A. Abou El Ela, M. A. Abido, and S. R. Spea, "Optimal power flow using differential evolution algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 7, pp. 878-885, 2010.
- [7] B. Allaoua and A. Laoufi, "Optimal power flow solution using ant manners for electrical network," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 34-40, 2009.
- [8] M. A. Abido, "Optimal power flow using particle swarm optimization," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 24, no. 7, pp. 563-571, 2002.
- [9] D. Karaboga, "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization," *Technical report-TR06*, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.
- [10] D. L. Le, N. D. Vo, and P. Vasant, "Artificial bee colony algorithm for solving optimal power flow problem," *The Scientific World Journal*, vol. 2013, pp. 1-9, 2013, doi:10.1155/2013/159040.
- [11] Vietnamese Ministry of Industry and Trade, Decision no. 82/QĐ-BCT on "Ben Tre province's electricity development planning for the period of 2016 - 2025, taking into account 2035," (in Vietnamese), 2017.
- [12] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and D. Gan, "Matpower user's manual, version 7.1," Power Systems Engineering Research Center (PSERC): Madison, WI, USA, 2020. [Online]. Available: <https://matpower.org/> [Accessed Mar. 31, 2023].