

# ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT THÔNG MINH TRONG SA THẢI PHỤ TẢI HỆ THỐNG ĐIỆN APPLICATION OF INTELLIGENT ALGORITHMS IN POWER SYSTEM LOAD SHEDDING

NGHÊ ANH CHIÊU<sup>1,a</sup>, NGUYỄN XUÂN VINH<sup>2</sup>,  
ĐỖ CHÍ PHI<sup>3</sup>, NGUYỄN TRẦN QUANG HUY<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Công ty Điện lực Thủ Đức – TCT Điện lực TP.HCM

<sup>2</sup>Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Vĩnh Long

<sup>3</sup>Trường Cao Đẳng Kỹ thuật Cao Thắng

<sup>4</sup>Trường Cao Đẳng Kỹ thuật Cao Thắng

<sup>a</sup>Tác giả liên hệ: chieu.ngheanh@gmail.com

**Nhận bài (Received): 19/12/2023; Phản biện (Reviewed): 05/01/2024; Chấp nhận (Accepted): 19/01/2024**

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày về việc ứng dụng thuật toán thông minh lai bằng việc kết hợp giữa thuật toán mạng nơ ron lan ngược (Back Propagation Neural Network :BPNN) với thuật toán tìm kiếm chim Cúc cu (Cuckoo Search :CS) nhằm cải tiến cấu trúc mạng neural. Từ đó, ứng dụng mô hình đề xuất trong việc nhận dạng sự cố hệ thống điện (HTĐ), hỗ trợ có việc sa thải tải khôi phục HTĐ. Bên cạnh đó, bài báo cũng đề cập việc ứng dụng chỉ số độ nhạy tương quan điện áp nhằm phân chia lượng sa thải phụ tải. Phương pháp sa thải đề xuất được kiểm nghiệm trên hệ thống điện IEEE 37-Bus và mô phỏng bằng phần mềm POWERWORLD. Kết quả phương pháp đề xuất đáp ứng được yêu cầu khôi phục tần số trong giá trị cho phép. Hơn thế nữa, lượng sa thải phụ tải giảm gần gấp 2 lần so với phương pháp truyền thống. Các số liệu được đưa vào các mô hình mạng neural khác nhau để so sánh hiệu suất và chọn ra cấu trúc phù hợp với dữ liệu.

**Từ khóa:** Ổn định hệ thống điện, Sa thải phụ tải, Mạng neural nhân tạo, thuật toán tìm kiếm chim Cúc cu

## ABSTRACT

*This article presents the application of hybrid intelligent algorithms by combining Back Propagation Neural Network algorithms (Back Propagation Neural Network: BPNN) with Cuckoo Search algorithms (Cuckoo Search: CS) to improve neural network structure. Subsequently, model is proposed in identifying power system faults, supporting load shedding to restore the power system. Besides, the article also mentions the application of voltage correlation sensitivity index to divide the amount of load shedding. This load shedding method is tested on IEEE 37-Bus power system and simulated with POWERWORLD software. The results of the method satisfy the requirement of restoring the frequency within the allowable value. Furthermore, the amount of load shedding is reduced by nearly 2 times compared to the traditional method. The data input into different neural network models to compare performance and choice the structure that suitable with the data.*

**Keywords:** Power System Stability, Load Shedding, Artificial Neural Network (ANN), Cuckoo Search algorithms (CS)

### 1. Giới thiệu

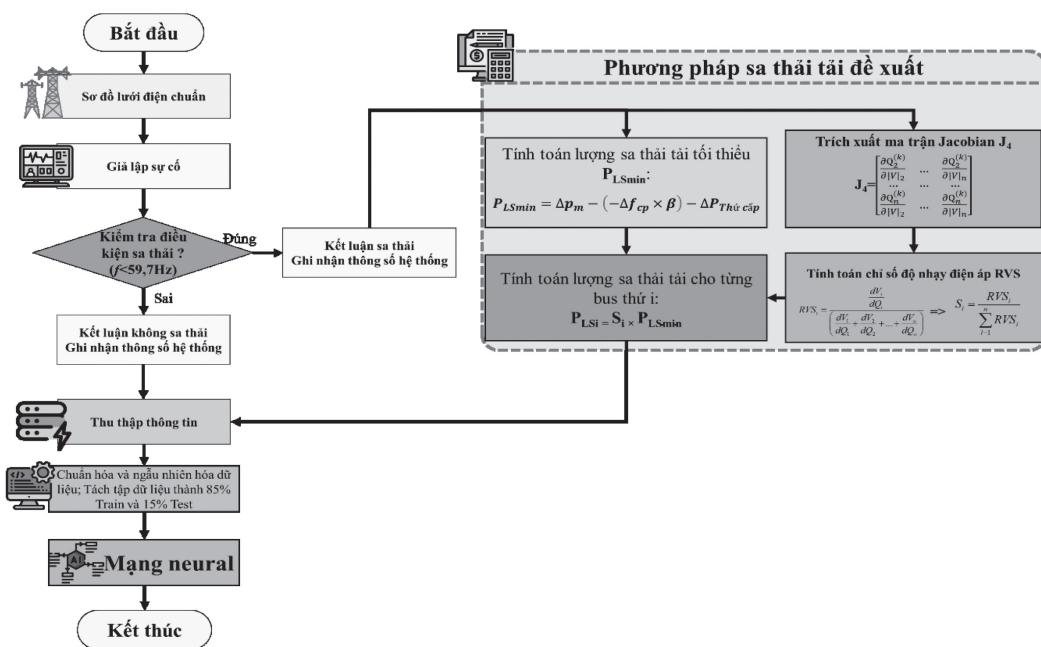
Trong những năm gần đây, ứng dụng mạng neural trong việc nhận dạng sự cố hệ thống điện (HTĐ), hỗ trợ có việc sa thải tải khôi phục HTĐ. Mạng neural lan truyền ngược (BPNN- Back Propagation Neural Network) [1] là loại neural được sử dụng phổ biến trong các bài toán nhận dạng nhưng cũng có một số nhược điểm như dễ rơi vào điểm cực tiểu địa phương (Local Minimum). Bài viết tiếp cận và giải quyết vấn đề của BPNN bằng cách luân phiên sử dụng các thuật toán huấn luyện cải tiến như thuật toán bầy đàn (PSO) [2], thuật toán đàn kiến (ACO) [3], thuật toán tìm kiếm chim Cuckoo (Cuckoo Search -CS)[4] nhằm phát triển các kiến trúc mạng mới và tìm ra được cấu trúc phù hợp với dữ liệu huấn luyện.

Tình trạng thiếu hụt điện năng của Việt Nam vẫn đang là mối lo ngại, đặc biệt trong giai đoạn 2021-2025, theo báo cáo HTĐ Việt Nam sẽ thiếu hụt khoảng 12 tỷ kWh [5]. HTĐ tại Việt Nam đã phải đối mặt với nhiều khó khăn, trong đó có cả vấn đề về nguồn cung và truyền tải. Những sự cố này

đã gây ra những hậu quả đáng kể như mất điện, gián đoạn trong cung cấp điện, đồng thời tạo ra nguy cơ đối với an toàn của con người và tài sản. [6]. Hệ thống điện ở Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức, bao gồm vấn đề về nguồn cung và truyền tải, dẫn đến mất điện, gián đoạn cung cấp, và đe dọa an toàn. Các nguyên nhân như mất cân bằng cung cầu, quá tải, sự cố tự nhiên, mất cân bằng công suất phản kháng, và mối đe dọa an ninh mạng đều góp phần vào tình trạng không ổn định. Các biện pháp truyền thống, như sa thải phụ tải, không còn phù hợp, đòi hỏi những giải pháp mới như quy hoạch hệ thống điện và điều khiển dòng công suất. Trong trường hợp khẩn cấp, chiến lược xử lý phù hợp là quan trọng để đảm bảo ổn định và tin cậy của hệ thống. Bài báo giới thiệu một phương pháp sa thải tải thông minh, kết hợp tính toán chỉ số ảnh hưởng và mạng neural để ứng phó với những thách thức này.

### 2. Mô tả mô hình dự báo và sa thải tải

Lưu đồ phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được trình bày trong hình 1.



Hình 1: Lưu đồ phương pháp sa thải phụ tải đề xuất

Trong các tổ máy phát trên lưới điện khi có các biến động xuất hiện thì điều chỉnh sơ cấp và thứ cấp sẽ được kích hoạt. Nó là biện pháp ngăn chặn sự cố mất cân bằng mà còn là quá trình tối ưu hóa và duy trì hiệu suất của hệ thống điện. Quá trình điều chỉnh giúp duy trì điện áp và tần số ổn định trong HTĐ. Sự ổn định này là quan trọng để tránh những sự cố như mất cân bằng cung cầu và giảm thiểu rủi ro mất điện. Vì thế, trong việc tính toán lượng sa thải tải khi tần số không đạt giá trị cho phép cần quan tâm đến yếu tố điều chỉnh sơ-thứ cấp trong các tổ máy phát. Phương trình tính toán lượng sa thải tải tối thiểu dựa vào [7] được trình bày như sau:

$$P_{LSmin} = \Delta p_m - (-\Delta f_{cp} \times \beta) - \Delta P_{Thứ cấp} \quad (1)$$

Trong đó:

$\Delta f_{cp}$ : độ lệch tần số (pu);

$P_{LSmin}$ : công suất sa thải tối thiểu (pu);

$\Delta p_m$ : độ lệch công suất cơ đầu ra của tuabin (pu);

$\Delta P_{Thứ cấp}$ : công suất điều khiển thứ cấp bơm vào hệ thống.

Sau khi tính toán lượng sa thải tải từ phương trình (1), áp dụng độ nhạy điện áp  $\partial V/\partial Q$  để phân bố lượng sa thải cho phù hợp. Chỉ số phân bố lượng sa thải dựa vào việc xác định những Bus tải có tác động lớn trong hệ thống, những bus này sẽ được phân chia lượng sa thải lớn hơn những Bus tải không quan trọng kiểm chứng lại các phương pháp bằng phần mềm POWERWORLD trên sơ đồ IEEE-37 Bus. Toàn bộ dữ liệu thu thập trong quá trình mô phỏng sẽ được đưa vào mạng neural để xuất để học tập và đánh giá hiệu xuất. Lưu đồ mô hình đề xuất trình bày ở Hình 1.

Trong hình 1, quy trình tính toán sa thải tải được khái quát như sau:

**Bước 1:** Từ ma trận Jacobian trong sơ đồ HTĐ trích xuất ma trận  $J_4$  là ma trận độ nhạy công suất phản kháng theo điện áp với  $k$  là số lần lặp trong việc tính toán phân bố công suất,  $n$  là thứ tự các nút trong hệ thống lưới

$$J_4 = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V|_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V|_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V|_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V|_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

**Bước 2:** Đảo ngược các phần tử trong ma trận Jacobian  $J_4$

$$J_4 = \begin{bmatrix} \frac{\partial |V|_2}{\partial Q_2^{(k)}} & \dots & \frac{\partial |V|_n}{\partial Q_2^{(k)}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial |V|_2}{\partial Q_n^{(k)}} & \dots & \frac{\partial |V|_n}{\partial Q_n^{(k)}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

**Bước 3:** Tính toán độ nhạy điện áp

Để quyết định thứ tự sa thải, dựa vào  $\partial V/\partial Q$ . Các thanh cái với độ lớn  $\partial V/\partial Q$  lớn nhất được đưa lên đầu danh sách và sắp xếp theo thứ tự giảm dần. Độ nhạy điện áp của Bus thứ  $i$  [8] được trình bày như sau:

$$RVS_i = \frac{\frac{\partial V_i}{\partial Q_i}}{\left( \frac{\partial V_1}{\partial Q_1} + \frac{\partial V_2}{\partial Q_2} + \dots + \frac{\partial V_n}{\partial Q_n} \right)} \quad (4)$$

**Bước 4:** Tính chỉ số sa thải phụ tải cho từng Bus thứ  $i$

$$S_i = \frac{RVS_i}{\sum_{i=1}^n RVS_i} \quad (5)$$

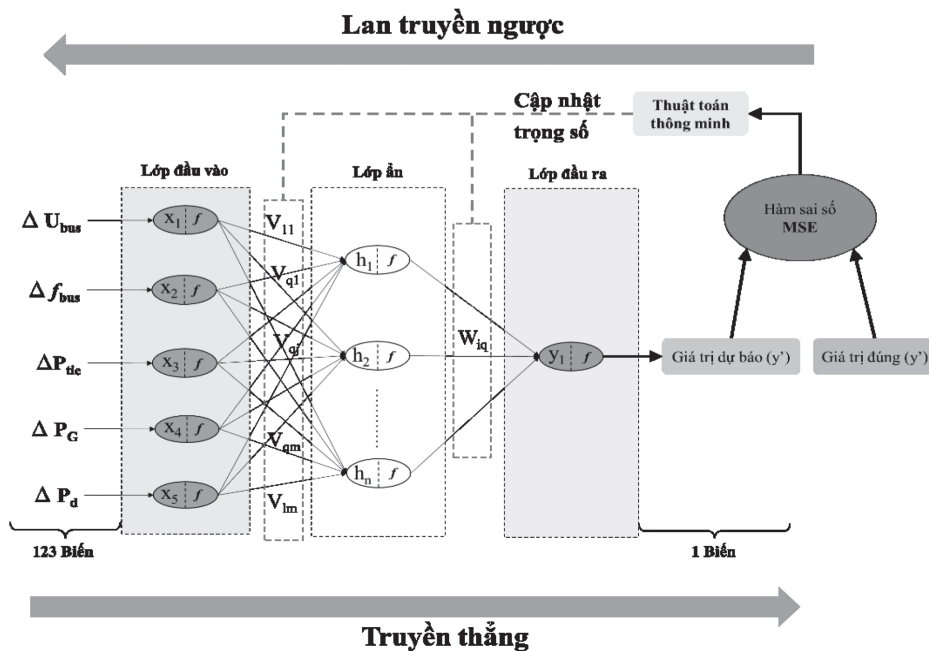
**Bước 5:** Phân bố lượng sa thải phụ tải cho từng Bus

$$P_{LSi} = S_i \times P_{LSmin} \quad (6)$$

### 3. Mô hình mạng neural cải tiến trọng số

Thuật toán Backpropagation cũng có nhiều hạn chế như là tốc độ hội tụ chậm và không ổn định. Điều này có nguyên nhân từ việc điều chỉnh các trọng số thành các giá trị rất lớn và khó khăn trong việc thoát khỏi các điểm tối thiểu cục bộ, làm cho quá trình hội tụ của thuật toán trở nên nhạy cảm với giá trị khởi tạo ban đầu. Theo như nghiên

cứ [9], tác giả đã đề xuất một phương pháp kết hợp giữa thuật toán tối ưu hóa PSO và mạng neural nhằm cải thiện mạng trước khi tiến hành huấn luyện, từ đó nâng cao hiệu suất và giúp mạng tránh được các điểm tối thiểu cục bộ trong quá trình huấn luyện. Từ ý tưởng cải thiện trọng số kết nối trong mạng neural, bài báo đề xuất dùng nhiều thuật toán thông minh mô phỏng so sánh độ hiệu quả mô hình từ đó chọn mô hình và thông số cài đặt phù hợp.



Hình 2: Mô hình mạng neural cải tiến trọng số

Hình 2, mô tả khái quát mô hình đề xuất của bài báo. Việc đầu tiên, mô hình nhận tín hiệu đầu vào là các thông số tiêu biểu của hệ thống điện tiến hành xây dựng cấu trúc mạng theo chiều thuận, tiếp theo áp dụng tính toán hàm mục tiêu dựa vào MSE kết hợp thuật toán tìm kiếm thông minh để cải tiến trọng số sau đó tiến hành khâu lan truyền ngược để đánh giá hiệu suất của mạng

### 4. Khảo sát phương pháp và đánh giá

#### 4.1. Sa thải tải theo chỉ số độ nhạy điện áp

Thử nghiệm đánh giá mô hình sa thải

phụ tải đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện IEEE-37 Bus. Đây là sơ đồ lưới điện chuẩn được sử dụng rộng rãi trong mô phỏng lưới điện với sự phức tạp về cấu trúc cùng nhiều loại phần tử giúp mô phỏng các tình huống đa dạng và phức tạp trong hệ thống lưới điện. Bên cạnh đó, một tiêu chuẩn được công nhận và sử dụng rộng rãi trong cộng đồng nghiên cứu và ngành công nghiệp, giúp tạo ra sự đồng nhất trong các nghiên cứu và so sánh kết quả mô phỏng. Sơ đồ lưới điện gồm có 9 máy phát điện có thông số là loại GENCLS, mô hình điều khiển kích từ là loại IEEE1, mô hình điều tốc

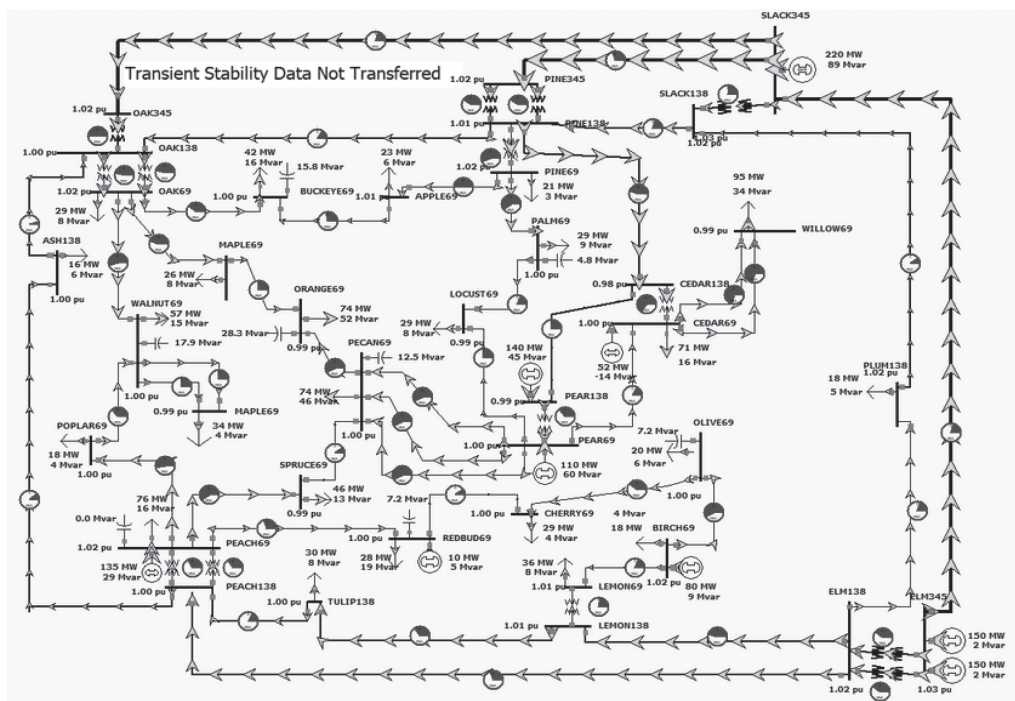
là loại TGOV1, 26 bus tải. Các cấp điện áp trên các bus của sơ đồ từ 350kV đến 70kV [10]. Thực hiện mô phỏng trên phần mềm POWERWORLD, xét sự cố mất máy phát trong hệ thống điện. Sơ đồ IEEE-37 Bus được trình bày như sau:

Trường hợp mất máy phát PEAR138 mức tải 90%, sau khi xem xét tiêu chí ổn định về tần số ( $f \geq 59,7\text{Hz}$ ). Đánh giá tính toán lượng sa thải tải tối thiểu bằng (1) tính được lượng sa thải khoảng 33,3MW, sau đó tiến hành tính toán phân bố lượng sa thải tải trình bày như sau:

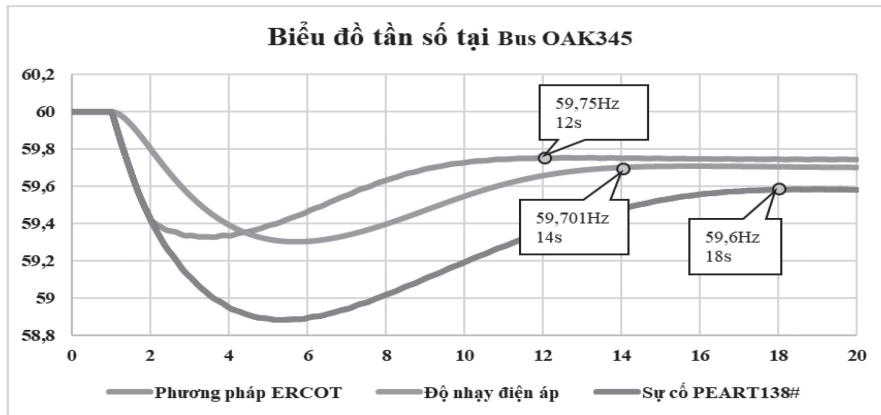
**Bảng 1:** Lượng phân bố sa thải phụ tải cho từng bus thứ i trong trường hợp xem xét mất máy phát PEAR138 mức tải 90%

Tên bus tải	Chỉ số độ nhạy	Chỉ số sa thải	Lượng sa thải (MW)
Bus 3	0,006	0.009	0.292
Bus 5	0,013	0.018	0.591
Bus 10	0,006	0.009	0.282
Bus 12	0,003	0.005	0.151

Bus 13	0,013	0.018	0.606
Bus 14	0,012	0.017	0.564
Bus 15	0,001	0.002	0.061
Bus 16	0,003	0.004	0.121
Bus 17	0,009	0.012	0.413
Bus 18	0,003	0.004	0.122
Bus 19	0,010	0.014	0.475
Bus 20	0,011	0.016	0.518
Bus 21	0,007	0.010	0.324
Bus 24	0,008	0.012	0.382
Bus 27	0,003	0.005	0.152
Bus 30	0,003	0.004	0.134
Bus 33	0,012	0.018	0.584
Bus 34	0,010	0.014	0.458
Bus 37	0,003	0.005	0.154
Bus 44	0,269	0.383	12.751
Bus 48	0,003	0.004	0.146
Bus 50	0,269	0.383	12.751
Bus 53	0,001	0.003	0.084
Bus 54	0,001	0.002	0.063
Bus 55	0,015	0.021	0.708
Bus 56	0,009	0.012	0.411
<b>Tổng lượng sa thải</b>			<b>33,3</b>



Hình 3: Sơ đồ hệ thống điện IEEE-37Bus

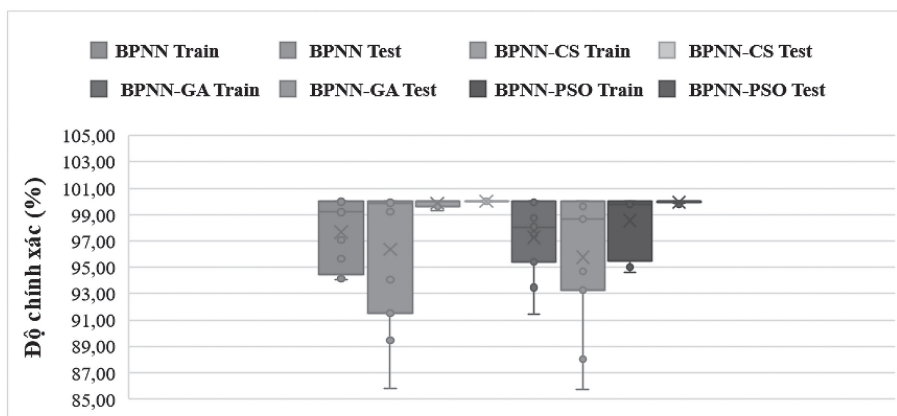


Hình 4: Đánh giá độ hồi phục tần số Bus OAK345

Kết quả mô phỏng được đánh giá so với chương trình sa thải ERCOT chương trình sa thải theo phần trăm tải khi tần số giảm xuống đến giá trị quy định, quá trình khôi phục tần số trong từng trường hợp được trình bày trong Hình 4. Giá trị tần số tại Bus OAK345 sau mô phỏng trong từng trường hợp cho thấy giá trị ổn định khi mất máy phát PEART138 mức tải 90% là 59.56 Hz với thời gian khôi phục là 18s. Sa thải theo phương pháp ERCOT tần số khôi phục 59.75 Hz với thời gian 12s khôi phục. Phương pháp tính toán đề xuất có kết quả khôi phục tần số đạt 59.7 Hz trong 14s với tổng lượng sa thải 33.3MW ít hơn phương pháp ERCOT tới 15.61 MW. Qua đó, việc tính toán và phân bố lượng sa thải có xem xét yếu tố kỹ thuật sẽ giúp giảm thiệt hại kinh tế của việc sa thải đi đáng kể.

#### 4.2. Kết quả đo đạc thực nghiệm sóng hài của nguồn điện

Sau khi mô phỏng, bước tiếp theo tiến hành thu thập dữ liệu với từng mức tải khác nhau từ 50% đến 100%. Khối dữ liệu học của mạng gồm có 165 biến tín hiệu đầu vào là các thông số tiêu biểu thể hiện trạng thái của hệ thống điện và 1 biến đầu ra là kết luận sa thải hay không sa thải. Cấu trúc mạng theo luật học của BPNN dùng thuật toán kích hoạt nút mạng là Bayesian ứng dụng nhiều thuật toán tối ưu khác nhau tìm kiếm trọng số cấu trúc mạng phù hợp như được trình bày ở mục 3. Bên cạnh đó, trong quá trình học tập để kiểm tra độ tương thích thì số tín hiệu đầu vào thay đổi từ 15 đến 165 biến với mỗi lần thử là tăng 15 biến. Kết quả so sánh được trình bày như sau:



Hình 5: Độ hội tụ kết quả huấn luyện giữa các phương pháp huấn luyện mạng neural

**Bảng 2:** Kết quả so sánh độ chính xác của từng phương pháp

Số biến	BPNN_BR			BPNN-CS_BR		
	Train	Test	Time CPU	Train	Test	Time CPU
15	100.00	100.00	0.29	100.00	100.00	12.51
30	99.98	91.55	0.62	100.00	100.00	12.26
45	99.18	94.09	0.32	99.64	100.00	9.85
60	94.05	85.81	0.38	99.28	100.00	7.63
75	94.47	100.00	0.91	99.64	100.00	15.25
90	99.98	100.00	0.53	100.00	100.00	15.21
105	95.66	89.48	1.73	100.00	100.00	18.57
120	94.12	99.99	0.61	100.00	100.00	112.23
135	97.08	99.24	0.62	100.00	100.00	38.09
150	99.98	99.89	0.89	100.00	100.00	64.81
165	100.00	99.99	0.93	100.00	100.00	34.81
Số biến	BPNN-GA_BR			BPNN-PSO_BR		
	Train	Test	Time CPU	Train	Test	Time CPU
15	97.45	99.77	1071.62	99.98	99.99	23.09
30	99.93	88.06	1424.99	99.99	99.93	46.07
45	100.00	100.00	877.90	99.76	99.83	21.56
60	98.06	93.69	947.02	94.63	99.79	27.66
75	93.46	98.67	1019.35	99.99	99.99	26.03
90	95.49	100.00	846.03	99.76	99.98	41.56
105	91.48	94.72	681.74	94.99	99.97	65.37
120	100.00	85.71	1227.76	99.84	99.99	58.61
135	98.72	100.00	715.73	99.98	99.99	105.69
150	100.00	99.64	610.24	99.76	99.99	83.20
165	95.42	93.28	2587.87	95.48	99.97	101.69

Thông qua Hình 5, cho thấy độ hội tụ với mạng dùng thuật toán cải tiến CS cho độ hội tụ cao và phù hợp với dữ liệu học dù cho số tín hiệu đầu vào bị tác động thay đổi. Đồng thời độ chính xác thu được cũng ở mức cao và thời gian huấn luyện nhanh đứng thứ 2 trong các thuật toán đề xuất.

## 5. Kết luận

Việc cải tạo trọng số liên kết của mạng neural bằng việc dùng thuật toán tìm kiếm thông minh cần có sự kết hợp so sánh đánh giá về nhiều khía cạnh từ yếu tố dữ liệu, cấu trúc mạng ban đầu đến việc chọn thuật toán cũng như cài đặt ban đầu cho thuật toán tìm

kiếm. Trong các thuật toán, mạng BPNN đơn giản dễ thực thi, chỉ cần cài đặt một số thông số quan trọng thì có thể tiến hành huấn luyện, tuy nhiên, nó có một số nhược điểm. CS có sự hiệu quả hơn các thuật toán khác, do phương pháp này tìm kiếm theo dạng đa chiều, mỗi cá thể tìm kiếm là một đơn vị độc lập nên dễ dàng thoát khỏi vùng

cực trị cục bộ như đã đề cập ở BPNN. Xây dựng chương trình sa thải tải thông minh nên kết hợp yếu tố về mặt kinh tế và yếu tố kỹ thuật. Kết quả thu được cho thấy việc sa thải tính toán chính xác sẽ góp phần giảm lượng sa thải không cần thiết giúp giảm giá tiền phạt và nâng cao độ tin cậy với khách hàng sử dụng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Bala and D. D. Kumar, "Classification using ANN: A review," *Int. J. Comput. Intell. Res.*, vol. 13, no. 7, pp. 1811–1820, 2017.
- [2] M. Usman, A. Amin, M. M. Azam and H. Mokhlis, "Optimal under voltage load shedding scheme for a distribution network using EPSO algorithm," 2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPESG.2018.8384525.
- [3] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Colorni: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 26 (1996) No.1, pp. 29-41.
- [4] X. -S. Yang and Suash Deb, "Cuckoo Search via Lévy flights," 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC), Coimbatore, India, 2009, pp. 210-214, doi: 10.1109/NABIC.2009.5393690.
- [5] Hoàng Công Tuấn, "Đánh giá thực trạng và đề xuất giải pháp phát triển bền vững điện mặt trời tại Việt Nam", *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi*, số 59, 4/2020.
- [6] Tình trạng vận hành đường dây truyền tải điện Việt Nam hiện nay. Internet: <https://nangluongvietnam.vn/tinh-trang-van-hanh-duong-day-truyen-tai-dien-viet-namhien-nay-27284.html>.
- [7] Nghia. T. Le, Anh. Huy. Quyen, Binh. T. T. Phan, An. T. Nguyen, and Hau. H. Pham, "Minimizing Load Shedding in Electricity Networks using the Primary, Secondary Control and the Phase Electrical Distance between Generator and Loads," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 10, No. 2, pp.293-300, 2019.
- [8] I. B. Sulistiawati, A. Nurdiansyah, A. Lomi, A. Priyadi and I. Manuaba, "Analysis of the Frequency and Voltage Changes While Load Shedding in the Multimachine System," 2018 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Bali, Indonesia, 2018, pp. 45-49, doi: 10.1109/ISITIA.2018.8710965.
- [9] M. Moazzami, A. Khodabakhshian, and R.-A. Hooshmand, "A new optimal under-frequency load-shedding method using hybrid culture–particle swarm optimization–co-evolutionary algorithm and Artificial Neural Networks," *Electric Power Components and Systems*, vol. 43, no. 1, pp. 69–82, 2014.
- [10] J. Duncan Glover, Thomas J. Overbye, and Mulukutla S. Sarma. *Power System Analysis & Design*, Sixth Edition.