

# XÂY DỰNG MẠNG NƠ RON LAI XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG TỐI ƯU CỦA NGUỒN PHÂN TÁN TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

## BUILDING HYBRID NEURAL NETWORK TO DETERMINE THE OPTIMAL LOCATION AND CAPACITY OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES IN THE DISTRIBUTION GRID

NGUYỄN PHÚ CƯỜNG<sup>1,a</sup>, NGUYỄN XUÂN VINH<sup>1</sup>, ĐỖ CHÍ PHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long,

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng.

<sup>a</sup>Tác giả liên hệ: [nguyenphucuong221@gmail.com](mailto:nguyenphucuong221@gmail.com)

**Nhận bài(Received): 24/12/2024; Phản biện(Reviewed): 18/01/2025; Chấp nhận(Accepted): 24/02/2025**

### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu thuật toán huấn luyện mạng nơ ron lan truyền ngược (BPNN: Back-propagation Neural Network) kết hợp với thuật toán tối ưu bầy đàn cải tiến (IPSO: Improved Particle Swarm Optimization) để xác định vị trí và dung lượng của nguồn phân tán trong lưới điện phân phối. Kết quả phân tích trong hệ thống điện IEEE 14 bus chuẩn đã xác định được vị trí lắp đặt nguồn phân tán tối ưu nhất tại các bus 2 và 3. Với công suất nguồn phân tán đến 100MW, đảm bảo hệ thống luôn ổn định về điện áp, tần số và đáp ứng được các chỉ tiêu chất lượng điện năng cũng như an ninh năng lượng trong hệ thống.

**Từ khoá:** Mạng lan truyền ngược, tối ưu hoá bầy đàn, nguồn phân tán, ổn định hệ thống điện

### ABSTRACT.

*This article studies the back-propagation neural network training algorithm (BPNN: Back-propagation Neural Network) combined with the improved swarm optimization algorithm (IPSO: Improved Particle Swarm Optimization) to determine location and capacity of distributed sources in the distribution grid. Analysis results in the standard 14-bus IEEE power system have determined the most optimal distributed source installation location at buses 2 and 3. With a distributed source capacity of up to 100MW, ensuring the power system is always stable about voltage, frequency and power quality as well as energy security in the power system.*

**Keywords:** Back-propagation Neural Network, Particle swarm optimization, Distributed Generators (DG), power system stability

### 1. GIỚI THIỆU

Trong lưới điện phân phối hiện nay, các nguồn phân tán như năng lượng gió (Wind energy) [1][2], năng lượng mặt trời (Solar energy: SE) [3], hoặc các máy phát phân tán (Distributed Generators), được sử

dụng nối vào lưới điện rất nhiều. Các vấn đề mà các nhà phát triển dự án sản xuất điện (điện gió, điện mặt trời, các nguồn phân tán khác) và các công ty điện lực gặp phải là: Sự ảnh hưởng của công suất, điện áp, độ ổn định của hệ thống, chất lượng

điện năng, công suất ngắn mạch, dự trữ hệ thống, tần số, các đặc tính bảo vệ.... Đặc biệt, đối với năng lượng gió, năng lượng mặt trời điểm nổi bật nhất là sự biến thiên, sự biến đổi này tồn tại trên một phạm vi rộng, cả về không gian và thời gian [4]. Do đó, tính toán thiết kế và vận hành, đầu nối vào hệ thống điện là nội dung không thể thiếu nhằm đảm bảo an ninh năng lượng trong hệ thống điện [5]. Nhóm tác giả xây dựng mạng nơ ron lai xác định vị trí và dung lượng tối ưu của nguồn phân tán trong lưới điện phân phối, nhằm khuyến cáo các công ty điện lực tại các địa phương có nhiều tiềm năng phát triển năng lượng gió, năng lượng mặt trời, lựa chọn các dự án sản xuất điện phù hợp đầu nối vào hệ thống đảm bảo độ tin cậy cấp điện.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN

### 2.1. Phương trình công suất đi vào nút *i* như sau:

Phương trình tổng quát tại nút *k* cho mạng điện *n* nút [7]:

$$\frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} = \bar{Y}_{k1}V_1^* + \bar{Y}_{k2}V_2^* + \dots + \bar{Y}_{kn}V_n^* = \sum_{i=1}^n \bar{Y}_{ki} \dot{V}_i \quad (1)$$

Trong đó:  $P_k, Q_k$ : Lần lượt là công suất tác dụng, công suất phản kháng tại nút *k*.

$Y_{kj}$ : tổng dẫn giữa nút *k* và nút *j*

Tổng quát, biểu thức điện áp tại nút *k* cho mạng điện *n* nút:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \dots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \dots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \dots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2|^{(k)} \\ \dots \\ \Delta |V_n|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\dot{V}_k = \frac{1}{\bar{Y}_{kk}} \left( \frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \bar{Y}_{ki} \dot{V}_i \right) \quad (2)$$

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = \bar{Y}_{i1} \dot{V}_1 + \bar{Y}_{i2} \dot{V}_2 + \dots + \bar{Y}_{in} \dot{V}_n = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \dot{V}_j \quad (3)$$

Viết phương trình công suất phức nút *i* cho mạng điện *n* nút dưới dạng cực như sau: đặt  $\bar{Y}_{ij} = |\bar{Y}_{ij}| \angle \theta_{ij}$ ;  $\dot{V}_i = |\dot{V}_i| \angle \delta_i$ , với  $\theta, \delta$ : lần lượt là góc pha của tổng dẫn và góc pha của điện áp tính ra radian ta được:

$$\begin{aligned} P_i - jQ_i &= \dot{V}_i \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \dot{V}_j \\ &= |\dot{V}_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |\bar{Y}_{ij}| |\dot{V}_j| \angle (\theta_{ij} + \delta_j) \quad (4) \end{aligned}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |\dot{V}_i| |\dot{V}_j| |\bar{Y}_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (5)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |\dot{V}_i| |\dot{V}_j| |\bar{Y}_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (6)$$

Phương trình (5) và (6) là các phương trình phi tuyến với các biến  $|\dot{U}_i|, \delta_i$ . Đối với nút phụ tải *i* (nút *P, Q*), ta viết hai phương trình  $P_i$  và  $Q_i$ , và hai ẩn số là  $|\dot{U}_i|, \delta_i$ . Đối với nút máy phát *k*, chỉ viết chương trình  $P_k$  và ẩn số là  $\delta_k$ .

Triển khai (5) và (6) dưới dạng Taylor với các giá trị gần đúng ban đầu, bỏ qua các thành phần bậc cao:

Viết (7) dưới dạng ngắn gọn:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (8)$$

Với  $J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$  là các ma trận đạo hàm riêng phần của  $P_i$  và  $Q_i$  theo các ẩn số  $|\dot{U}_i|$ ,  $\delta_i$ , còn được gọi là ma trận Jacobian, được xác định như sau [7]:

• J1 - công suất thực theo góc điện áp:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \\ \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \end{cases} \quad (9)$$

• J2 - công suất thực theo biên độ điện áp:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \\ \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \end{cases} \quad (10)$$

• J3 - công suất phản kháng theo góc điện áp

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \end{cases} \quad (11)$$

• J4 - công suất phản kháng theo biên độ điện áp

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j), j \neq i \end{cases} \quad (12)$$

Các giá trị  $P_i^{(k)}$  và  $Q_i^{(k)}$  tính toán theo (11) và (12) được xác định sai số giữa công suất tính toán và công suất quy định của các nút:

$$\begin{cases} \Delta P_i^{(k)} = P_i^{quy\ n\o\i} - P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{quy\ n\o\i} - Q_i^{(k)} \end{cases} \quad (13)$$

Từ (13), suy ra được các sai số  $\Delta \delta_i^{(k)}$  và  $\Delta |V_i^{(k)}|$ . Hiệu chỉnh các gần đúng cho lần lặp tiếp theo.

$$\begin{cases} \delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \\ |V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \end{cases} \quad (14)$$

## 2.2. Giải thuật PSO cải tiến

Trong thuật toán IPSO với hệ số giới hạn, vận tốc của các phần tử được xác định như sau [8]:

$$\begin{aligned} v_{id}^{(k+1)} = & k \times [v_{id}^{(k)} + c_1 \times rand_1 \times (pbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) \\ & + c_2 \times rand_2 \times (gbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)})] \end{aligned} \quad (15)$$

$$k = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|} \quad (16)$$

Trong đó:

$V_i^{k+1}$  là vector mô tả vận tốc thu được từ quy luật vận tốc

$X_i^k$ : vị trí cá thể i tại vòng lặp k

$X_i^{k+1}$ : vị trí cá thể i tại vòng lặp k+1

$V_i^k$ : vận tốc cá thể i tại vòng lặp k

$V_i^{k+1}$ : vận tốc cá thể i tại vòng lặp k

$c_1$ : hệ số kinh nghiệm của cá thể

$c_2$ : hệ số quan hệ xã hội của cá thể

$rand_1, rand_2$ : số ngẫu nhiên trong khoảng [0,1]

$P_{best_i^k}$ : vị trí tốt nhất của cá thể i đến vòng lặp k

$G_{best^k}$ : vị trí tốt nhất của quần thể cho đến vòng lặp k

$$\varphi = c_1 + c_2; \varphi = 4,1, c_1 = c_2 = 2,05.$$

Để thực hiện đạo hàm giả trong PSO, hai điểm được xét đến tương ứng là  $x^k$  và  $x^l$  trong khoảng không gian tìm kiếm của đạo hàm giả tại vị trí phần tử ở lần lặp thứ k và

$k+1$  là  $x^{(k)}$  và  $x^{(k+1)}$ . Do đó, vị trí cập nhật mới của phần tử được viết lại như sau:

$$x_{id}^{(k+1)} = \begin{cases} x_{id}^{(k)} + \delta(x_{id}^{(k+1)}) \times |v_{id}^{(k+1)}| \text{ if } g_p(x_{id}^{(k+1)}) \neq 0 \\ x_{id}^{(k)} + v_{id}^{(k+1)} \text{ otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

Thuật toán tạo một tập hợp gồm  $N_p$  cá thể được biểu diễn như sau:

Số đàn ban đầu  $X = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_d, \dots, X_{N_p}]$ , ứng với mỗi bầy  $X_{id}$

$$X_{id} = \left[ P_{d2}, \dots, P_{di}, \dots, P_{dNg}, V_{2i}, \dots, V_{i}, \dots, V_{Ng}, Q_{d2}, \dots, Q_{di}, \dots, Q_{dNg} \right]^T, \quad i = 2, \dots, Ng \quad (18)$$

Với  $P_{di}$ ,  $Q_{di}$  là công suất tác dụng và công suất phản kháng tại các nút tải và  $i = (2, \dots, N_g)$ .  $N_g$ : tổng số nút của hệ thống,  $V_i$  là điện áp tại các nút.

$d = 1, \dots, N_p$ , trong đó  $X_d$  là vị trí cá thể  $d$  và  $N_p$  là số cá thể. Giá trị của  $X_{id}$ ,  $V_{id}$  được khởi động như sau:

$$\begin{cases} X_{id}^{(0)} = X_{id}^{\min} + rand \times (X_{id}^{\max} - X_{id}^{\min}) \\ V_{id}^{(0)} = V_{id}^{\min} + rand \times (V_{id}^{\max} - V_{id}^{\min}) \end{cases} \quad (19)$$

với  $rand$  là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng  $[0, 1]$ ,  $X_{id}^{\max}$ ,  $X_{id}^{\min}$ , là giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất của vector biến trong (19),  $V_{id}^{\max}$ ,  $V_{id}^{\min}$  là giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất của vector vận tốc cá thể và được xác định bởi:

$$\begin{cases} V_{id}^{\max} = R \times (X_{id}^{\max} - X_{id}^{\min}) \\ V_{id}^{\min} = -V_{id}^{\max} \end{cases} \quad (20)$$

với  $R$  là hệ số giảm tốc cá thể và thường được chọn trong khoảng  $[0, 1; 0, 25]$ .

Trong suốt quá trình lặp, vị trí và vận tốc của các cá thể luôn được điều chỉnh trong giới hạn sau khi được tính toán trong mỗi vòng lặp như sau:

$$\begin{cases} X_{id}^{new} = \min \{ X_{id}^{\max}, \max \{ X_{id}^{\min}, X_{id} \} \} \\ V_{id}^{new} = \min \{ V_{id}^{\max}, \max \{ V_{id}^{\min}, V_{id} \} \} \end{cases} \quad (21)$$

Hàm mục tiêu:

Hàm mục tiêu cần được cực tiểu trong IPSO dựa trên hàm mục tiêu của bài toán và các biến phụ thuộc bao gồm công suất phát thực tại nút cân bằng, công suất phát của hệ thống năng lượng mặt trời (DG), công suất phản kháng tại nút phụ tải, điện áp tại nút tải, công suất biểu kiến của đường dây truyền tải, hàm mục tiêu được tích hợp trong hàm khả dụng như sau [8]:

$$FT = F(x, u) + K_p \sum_{i=2}^{N_g} (P_{gi} - P_{gi}^{\lim})^2 + K_q \sum_{i=2}^{N_g} (Q_{gi} - Q_{gi}^{\lim})^2 + K_v \sum_{i=2}^{N_g} (V_{gi} - V_{gi}^{\lim})^2 + K_s \sum_{i=1}^{N_l} (S_{li} - S_{gi}^{\max})^2 \quad (22)$$

Trong đó

$K_p$ : là hệ số phạt của công suất thực

$K_q$ : là hệ số phạt của công suất phản kháng

$K_v$ : là hệ số phạt của điện áp tải

$K_s$ : lần lượt là hệ số phạt của công suất đường dây truyền tải.

**Điều kiện ràng buộc**

- Điều kiện ràng buộc đẳng thức

Phương trình phân bố công suất tại mỗi nút phải thỏa mãn:

$$Q_{gi} - Q_{di} - \sum_{j=1}^{N_b} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_j - \delta_i + \delta_j) = 0; i = 2, \dots, N_g \quad (23)$$

$$P_{gi} - P_{di} - \sum_{j=1}^{N_b} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_j - \delta_i + \delta_j) = 0; i = 2, \dots, N_g \quad (24)$$

Trong đó:

$P_{gi}$ ,  $Q_{gi}$ ,  $P_{di}$ ,  $Q_{di}$ : lần lượt là công suất thực và công suất phản kháng của hệ thống các SEs và các tải.

- Điều kiện ràng buộc bất đẳng thức

Công suất phản kháng tại các nút phải trong giới hạn cho phép

$$Q_{gi, \min} \leq Q_i \leq Q_{gi, \max}; \quad i = 2, \dots, N_g \quad (25)$$

Điện áp tại mỗi nút tải và dòng công suất trên đường dây truyền tải không được vượt quá giới hạn dưới và giới hạn trên.

$$\begin{cases} S_l \leq S_{l,max}; l = 1, \dots, N_l \\ S_l = \max \{ |S_{ij}|, |S_{ji}| \}; l = 1, \dots, N_l \end{cases} \quad (26)$$

$$V_{li,min} \leq V_{li} \leq V_{li,max}; i = 2, \dots, N_g \quad (27)$$

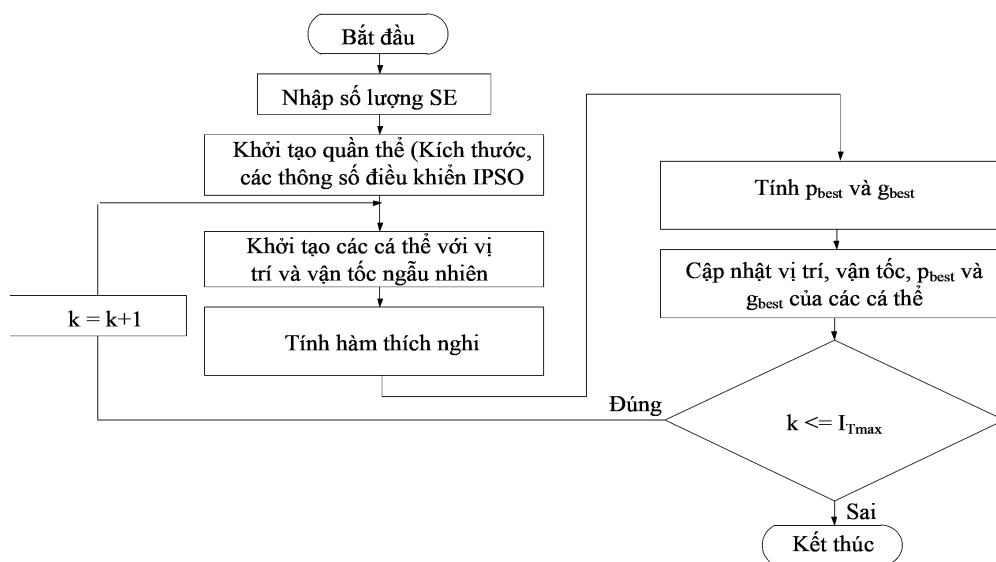
Với  $\begin{cases} S_l = \max \{ 3|U_{ij} \times I_{ij}|, 3|S_{ji} \times I_{ij}| \}; l = 1, \dots, N_l \\ \text{Max}[I_{ij}, I_{ji}] = 225A \end{cases}$

Giới hạn của các biến phụ thuộc trong (27) được xác định như sau:

$$x^{lim} \begin{cases} x^{max} & \text{if } x > x^{max} \\ x^{min} & \text{if } x < x^{min} \\ x & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

với  $x$  và  $x^{lim}$  là các giá trị tính toán và giới hạn của  $P_{gr}, Q_{gr}, V_{li}, S_{li}$

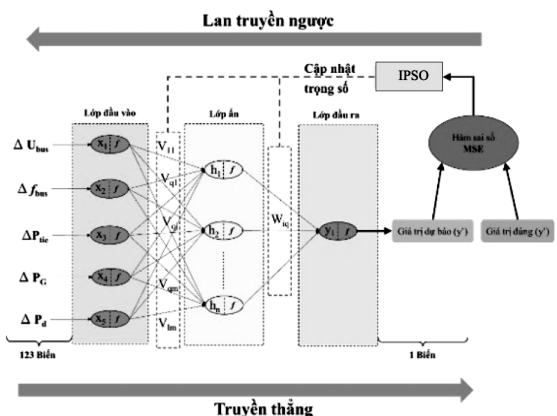
Hình 1. trình bày lưu đồ giải thuật của phương pháp IPSO.



Hình 1. Lưu đồ giải thuật IPSO

### 2.3. Mô hình lai của mạng nơ ron lan truyền ngược và thuật toán IPSO

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 cứu [9][10], tác giả đã đề xuất một phương pháp kết hợp giữa thuật toán tối ưu hóa PSO và mạng NN 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.



Hình 2. Mô hình mạng NN kết hợp IPSO

Các bước trong quá trình huấn luyện mạng NN bao gồm:

- Thu thập và xử lý dữ liệu đầu vào và đầu ra của đối tượng.

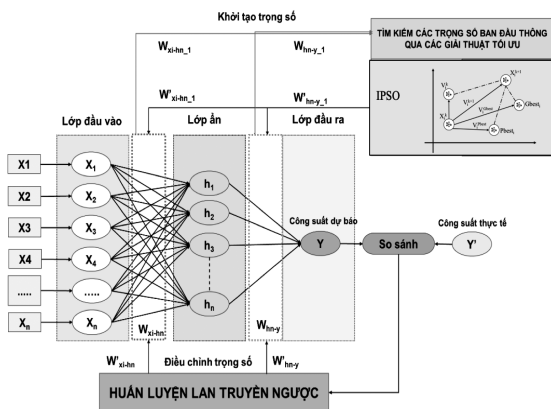
- Lựa chọn cấu trúc và xây dựng mạng ANN.

- Tiến hành huấn luyện mạng NN.

- Kiểm tra độ chính xác của mô hình bằng các tín hiệu thử nghiệm khác.

### 2.4. Huấn luyện mạng nơ ron kết hợp IPSO

Hình 3 Trình bày quá trình huấn luyện mạng neural lai



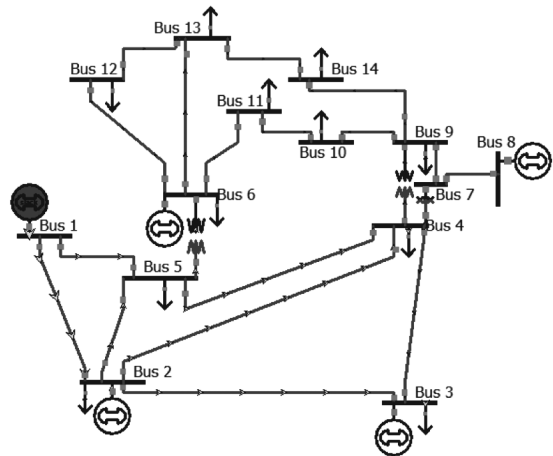
Hình 3. Sơ đồ khối quá trình huấn luyện mạng neural lai

Bảng 1. Thông tin chung về các nguồn máy phát trong hệ thống và thông tin dữ liệu thu thập huấn luyện mạng NN

Number of Bus	Name of Bus	ID	Set Volt	MVA Base	Ngõ vào	ANN	Ngõ ra
1	Bus 1	1	1,06	615	$\Delta U_{bus}$ (14 biến)	Sử dụng phần mềm Powerworld để mô phỏng các vị trí lắp DG với 10%, 50%, và 100% công suất	Thoả điều kiện tối ưu (1)
2	Bus 2	1	1,045	60			
2	Bus 2	2	1	100			
3	Bus 3	1	1,01	60	$\Delta f_{bus}$ (14 biến)		
3	Bus 3	2	1,01	100			
4	Bus 4	1	1	100			
5	Bus 5	1	1	100	$\Delta P_{branch}$ (18 biến)		
6	Bus 6	1	1,07	25			
6	Bus 6	2	1,07	100			
7	Bus 7	1	1	100	$\Delta P_{branch}$ (18 biến)		
8	Bus 8	1	1	25			
8	Bus 8	2	1	100			

### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Hệ thống điện IEEE 14 bus chuẩn được trình bày trên hình 4



Hình 4. Sơ đồ tương đương HTĐ IEEE -14 Bus 5 máy phát

Từ hình 4 cho thấy hệ DG sẽ được lựa chọn lắp tại các vị trí có đặt máy phát, trừ máy phát cân bằng (Bus 1) đó là các Bus 2,3,6 và 8. Thông tin được trình bày trong bảng 1

Number of Bus	Name of Bus	ID	Set Volt	MVA Base	Ngõ vào	ANN	Ngõ ra
9	Bus 9	1	1	100	$\Delta U_{\text{generator}}$ (5 biến)	Tập dữ liệu 120 mẫu Dữ liệu chia thành 80% Train, 20% Test để huấn luyện	Không thoả điều kiện tối ưu (0)
10	Bus 10	1	1	100			
11	Bus 11	1	1	100			
12	Bus 12	1	1	100			
13	Bus 13	1	1	100			
13	Bus 13	2	1	100	$\Delta U_{\text{Load}}$ (11 biến)		
14	Bus 14	1	1	100			

Kết quả mô phỏng độ chính xác và thời gian máy khi áp dụng giải thuật IPSO đối với hệ thống IEEE-14 Bus được trình bày trong bảng 2.

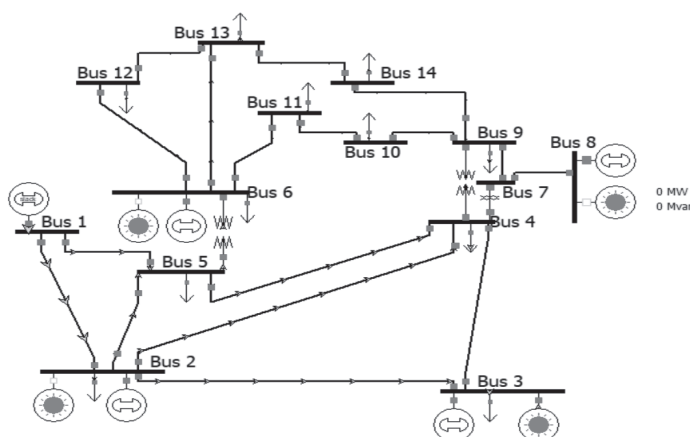
Bảng 2. Độ chính xác của phương pháp BPNN-IPSO-BR

BPNN-IPSO_BR				BPNN-IPSO_BR			
Số biến	Train	Test	Time CPU	Số biến	Train	Test	Time CPU
8	99.97	99.98	13.09	40	98.96	99.99	16.03
16	99.96	99.93	26.07	48	99.86	99.98	21.56
24	99.86	99.83	11.56	56	94.99	99.96	35.37
32	95.73	99.89	17.66	62	98.84	99.98	28.61

Từ bảng 2 cho thấy: Khi số lượng biến càng tăng thì thời gian máy càng lớn, độ chính xác của quá trình huấn luyện tương đối cao 98,52%.

Kết quả huấn luyện đã xác định được các Bus đặt nguồn DG phù hợp là Bus 2 và Bus 3. giới hạn công suất 100MW.

Lựa chọn DG là các trang trại năng lượng mặt trời như hình 5



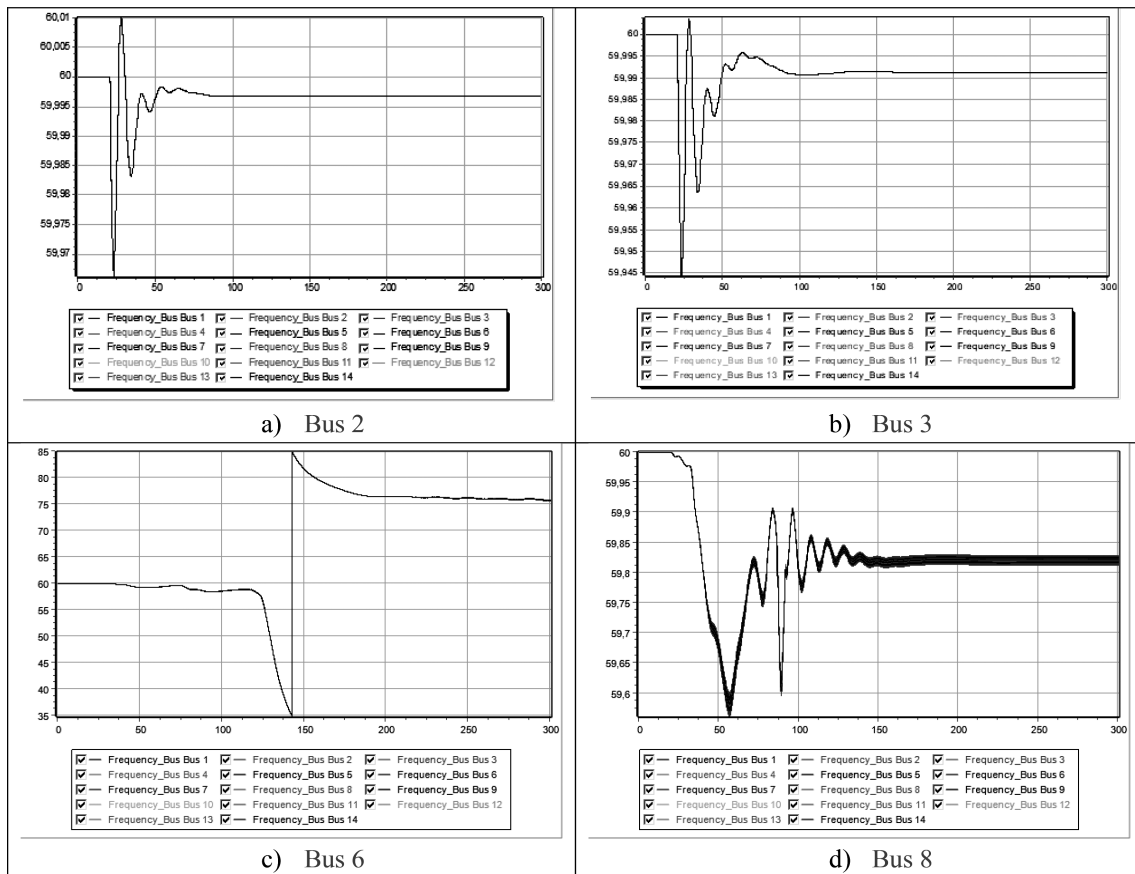
Hình 5. Sơ đồ lưới điện IEEE-14 Bus và những vị trí có thể lắp DG (thống năng lượng mặt trời)

Mô phỏng vị trí các DG lắp đặt tại các Bus 2,3,6 và 8 trên phần mềm Powerword. So sánh, đánh giá kết quả đạt được để khẳng định tính chính xác của mô hình

**BPNN-IPSO\_BR.**

Kết quả mô phỏng dao động điện áp,

tần số tương ứng với công suất các DG 100 MW, như hình 6 và 7.

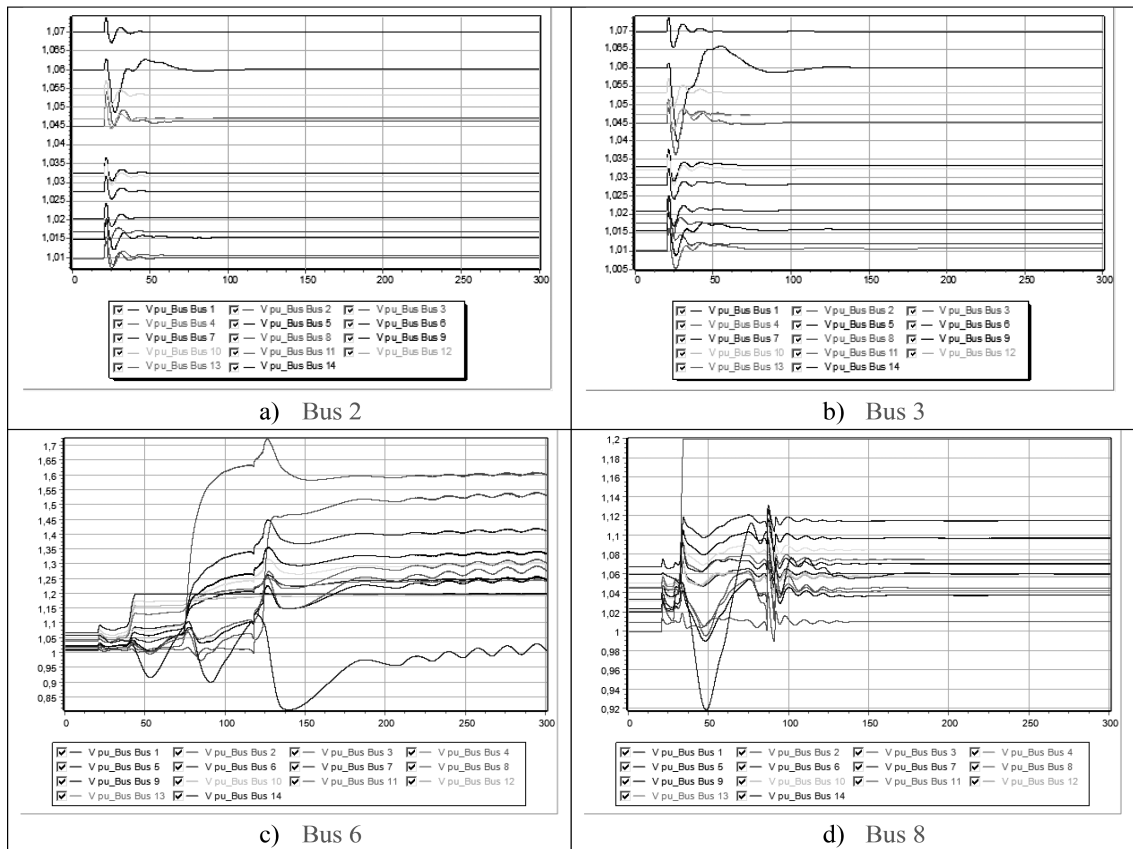


**Hình 6. Dao động tần số của lưới điện trong các trường hợp đặt DG tại các Bus khác nhau với công suất 100**

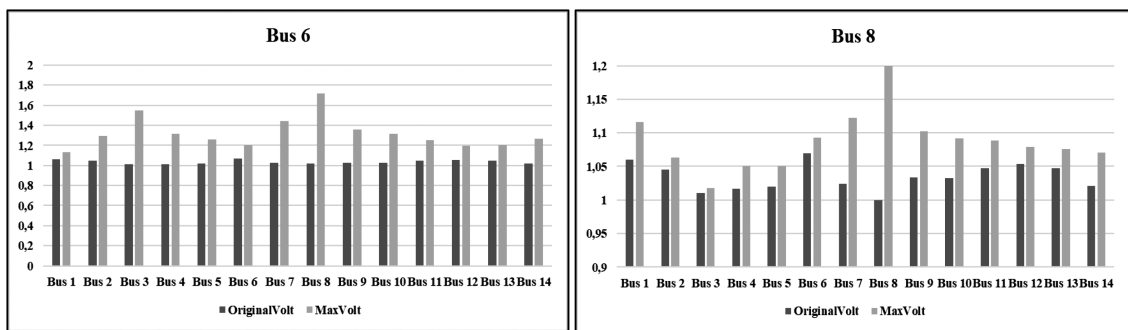
Hình 6, Trình bày biểu đồ dao động của tần số lưới điện với từng vị trí đặt DG khác nhau tại các Bus. Cụ thể tại vị trí đặt DG ở bus 2 và Bus 3, cho thấy sự dao động tần số của các Bus này không có sự biến đổi đáng kể hoặc gần như không thay đổi. Kết quả giao động với giá trị xác lập trong khoảng giá trị cho phép 59.5Hz. Tuy nhiên sự dao động tần số khi DG đặt tại Bus 3 không tốt như Bus 2. Khi DG đặt tại Bus 6 và Bus 8 thì tần số dao động lớn, không nằm trong phạm vi cho phép. Như vậy xét về điều kiện tần số thì Bus 2 có vị trí đặt phù hợp nhất.

Hình 7, Trình bày biểu đồ dao động của điện áp lưới điện với từng vị trí đặt

PV khác nhau tại các Bus. Cũng giống với giá trị dao động tần số với từng mức tải tại các vị trí đặt khác nhau kết quả gần như không có sự thay đổi đáng kể. Đánh giá riêng trường hợp PV đặt tại Bus 2 hoặc Bus 3 có sự dao động  $\Delta U = \pm 0.05pu$  tương ứng  $\Delta U = \pm 5\%$  nằm trong khoảng giá trị cho phép. Riêng trường hợp PV đặt tại Bus 6 hoặc Bus 8 kết quả được phân tích như hình 8, sự dao động điện áp trong trường hợp đặt DG tại Bus 8 và Bus 6 nằm ngoài phạm vi cho phép. Trong đó Bus 8 có sự dao động điện áp luôn lớn nhất với giá trị và  $\Delta U = 0,702pu$  tại Bus 6 và  $\Delta U = 0,2 pu$  tại Bus 8 như hình 8. Cho thấy việc đặt DG tại các Bus 6&8 là bất khả thi.



Hình 7. Dao động điện áp của lưới điện trong các trường hợp đặt DG tại các Bus khác nhau với công suất DG 100MW



Hình 8. Dao động điện áp tại các Bus 6&8 được phân tích theo biểu đồ dạng cột

Như vậy, xét về điều kiện điện áp thì Bus 2 và Bus 3 có vị trí đặt phù hợp nhất.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được mô hình toán, áp dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu PSO cải tiến kết hợp với mạng lan truyền ngược để xác định vị trí lắp đặt các máy phát phân tán vào hệ thống điện luôn đảm bảo ổn định hệ thống điện. Trên cơ

sở của hệ thống thử nghiệm IEEE 14-Bus và nền tảng của phần mềm Matlab để huấn luyện thuật toán mạng nơ ron lan truyền ngược kết hợp với giải thuật tối ưu IPSO, tìm ra được những vị trí lắp hệ DG phù hợp tại các Bus 2 và Bus 3. Từ kết quả phân tích trên, kiểm chứng bằng việc mô phỏng trên phần mềm Powerworld đã khẳng định tính chính xác của mô hình toán.

Việc kết hợp mạng nơ ron kết hợp với thuật toán tối ưu là hướng nghiên cứu khả thi, sẽ được áp dụng với các hệ thống có số lượng nút lớn và sẽ được trình bày trong công trình nghiên cứu tiếp theo.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Qiguo YAO, Yuliang LIU (2016). “*Influence Research of Wind Power Generation on Power System*”, 4th International Conference on Electrical & Electronics Engineering and Computer Science, Vol. 50, pp.731-736
- [2] Hermann-Josef Wagner( 2018). “*Introduction to wind energy systems*”,Energy Systems and Energy Economics, Ruhr-University Bochum, EPJ Web of Conferences 189, pp.1-17.
- [3] Ciric RM1 and Markovic MLJ (January 2017). “*Power Factor Analysis in Distribution Network with Roof Photovoltaic Units*”, Electrical Engineering and Electronic Technology, pp. 1-8
- [4] Zhang Kun, Li Chun-sheng, Mao Cheng-xiong (2012). “*Power Control of Directly-driven Wind Generation Systems With Battery/Ultra-capacitor Hybrid Energy Storage*”, Proceedings of the CSEE, Vol 32, pp. 99-108.
- [5] Fita Nicolae Daniel (2022). “*Energy Security: An Important Factor in Global Perspectives*”, University of Petrosani · Electrical Engineering New Trends in Physical Science Research, Chapter: 3 Publisher: Book Publisher International, pp.16-25.
- [6] R. C. Shi, Y. H., Eberhart(1998). “*A modified particle swarm optimizer,*” IEEE Intl. Conf. Evol. Comput. Anchorage, AK, pp. 69–73.
- [7] Karrar S. Faraj (2017) “*Load flow studies by using Newton Raphson method and fast decoupled method (Power System Analysis)*”, University of Technology Electrical Engineering Department, pp.1-36.
- [8] N. Q. H. L.A.Dũng, V. N. Điều (2017). “*Áp dụng thuật toán PSO cải tiến phân bố tối ưu công suất phản kháng và áp dụng cho lưới điện 110 kV Miền Nam*”, TẠP CHÍ PHÁT TRIỂN KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ, vol. 20, SỐ K8, pp. 1–5.
- [9] L.Y. Jun, R.R. Karri, L.S. Yon, N.M. Mubarak, C.H. Bing, K. Mohammad, P. Jagadish, E.C. Abdullah (2020). “*Modeling and optimization by particle swarm embedded neural network for adsorption of methylene blue by jicama peroxidase immobilized on buckypaper/ polyvinyl alcohol membrane*”, *Environmental Research*, Vol 183, pp 109-158
- [10] Anamika Yadav, Subha M. Roy (2023). “*An artificial neural network-particle swarm optimization (ANN-PSO) approach to predict the aeration efficiency of venturi aeration system*”, Smart Agricultural Technology, Department of Agricultural Engineering, Triguna Sen School of Technology, Assam University Silchar, Assam 788011, India, pp 1-9.