

## ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP DỰA TRÊN MẠNG NƠ-RON HOPFIELD TĂNG CƯỜNG CHO BÀI TOÁN LỰA CHỌN VẬN HÀNH TỐI ƯU TỔ MÁY

Nguyễn Phúc Khải<sup>(1)</sup>, Võ Ngọc Điều<sup>(1)</sup>, Vũ Phan Tú<sup>(1),(2)</sup>

(1) Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM; (2) ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 01 tháng 11 năm 2012, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 04 tháng 01 năm 2013)

**TÓM TẮT:** Bài báo này nhằm đề xuất cách áp dụng phương pháp thứ tự ưu tiên cải tiến và mạng nơ-ron Hopfield tăng cường (EMO-ALHN) cho bài toán lựa chọn vận hành tối ưu tổ máy. Quá trình giải quyết bài toán được thực hiện qua 2 giai đoạn. Đầu tiên, dựa vào phương pháp thứ tự ưu tiên cải tiến chúng tôi xây dựng lịch trình khởi động của các tổ máy. Sau đó, chúng tôi sử dụng mạng nơ-ron Hopfield tăng cường để giải bài toán vận hành tối ưu tại từng thời điểm. Phương pháp này đã được áp dụng vào các mô hình hệ thống điện với 10 tổ máy, 17 tổ máy và mở rộng đến 100 tổ máy. Kết quả đã được so sánh với phương pháp thứ tự ưu tiên cổ điển (PL-ALHN) và các phương pháp khác. Từ kết quả số ta thấy, phương pháp cải tiến mới hoàn toàn vượt trội hơn so với phương pháp thứ tự ưu tiên cổ điển trong mọi trường hợp tính toán, đồng thời phương pháp này cũng hiệu quả hơn so với các phương pháp đã được áp dụng trước đây về kết quả và thời gian tính toán tối ưu.

**Từ khóa:** mạng nơ-ron Hopfield tăng cường, Priority List, Unit Commitment.

### 1. GIỚI THIỆU

Bài toán vận hành tối ưu các tổ máy phát là một trong những dạng toán cơ bản nhất của ngành Hệ thống điện. Mục tiêu của bài toán là xác định lịch trình làm việc cho các tổ máy sao cho kinh tế nhất. Dựa vào những nghiên cứu của các nhà khoa học đi trước, chúng tôi đã xây dựng một thuật toán mới để giải quyết bài toán ấy. Phương pháp mới này phát triển dựa trên mạng nơ-ron Hopfield kết hợp với thuật toán thứ tự ưu tiên. Qua các kiểm nghiệm trên những mô hình hệ thống điện đã được đề xuất trước đây, phương pháp mới đã tỏ rõ hiệu quả và nhanh chóng trong cách thức tính toán.

### 2. BÀI TOÁN LỰA CHỌN VẬN HÀNH TỐI ƯU TỔ MÁY

Chi phí vận hành tổ máy phát gồm 2 phần là chi phí nhiên liệu để phát công suất và chi phí để khởi động lò nhiệt. Ta có hàm chi phí của bài toán như sau:

$$\min F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left[ a_i + b_i \cdot P_i(t) + c_i \cdot P_i^2(t) + S_i(t) \cdot (1 - U_i(t-1)) \right] \cdot U_i(t) \quad (1)$$

Trong đó:

- T: số giờ cần lập lịch trình vận hành.
- N: là số tổ máy.
- $a_i, b_i, c_i$ : là hệ số chi phí vận hành của tổ máy thứ i.
- $S_i(t)$ : là hàm chi phí khởi động tổ máy.
- $U_i$ : là trạng thái của tổ máy, bằng 1 nếu tổ máy đang vận hành và bằng 0 nếu tổ máy dừng lại.

Chi phí khởi động tổ máy là chi phí nhiên liệu cần dùng để đun nóng lại lò hơi sau khi tổ máy đã dừng hoạt động. Chi phí này lại phụ thuộc thời gian tắt máy. Nếu ta khởi động tổ máy khi lò hơi vẫn còn nóng thì ta chỉ cần cung cấp một ít nhiệt lượng là đủ; còn nếu lò hơi đã nguội hoàn toàn thì ta phải đun sôi lại từ đầu. Từ đó, ta có biểu thức của hàm chi phí mở máy như sau:

$$S_i(t) = \begin{cases} SH_i, & \text{neu } T_{i,down} \leq T_{i,off}(t-1) \leq T_{i,down} + T_{i,cold} \\ SC_i, & \text{neu } T_{i,off}(t-1) > T_{i,down} + T_{i,cold} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó:

- $SH_i$ : là chi phí khởi động lại tổ máy khi lò hơi còn nóng.
- $SC_i$ : là chi phí khởi động lại tổ máy khi lò hơi đã tắt hoàn toàn.
- $T_{i,off}$ : là thời gian tắt máy, được trình bày cách tính theo các biểu thức bên dưới.
- $T_{i,down}$ : là thời gian dừng tổ máy nhưng lò hơi vẫn chưa tắt hẳn.
- $T_{i,cold}$ : là thời gian để làm nguội lò hơi.

Trong quá trình vận hành, ta cần thỏa mãn các điều kiện sau:

### 2.1. Điều kiện cân bằng công suất:

Tổng công suất phát của các tổ máy đang được huy động tại một thời điểm  $t$  bất kỳ phải đáp ứng yêu cầu của phụ tải tại thời điểm đó:

$$P_D(t) - \sum_{i=1}^N P_i(t) U_i(t) = 0 \quad (3)$$

### 2.2. Điều kiện dự trữ công suất:

Độ dự trữ công suất cần được tính toán đến, để phòng trường hợp khi một tổ máy hay nhiều tổ máy bị sự cố thì phải có một lượng công suất dự trữ được huy động từ các tổ máy khác để bù

đắp cho tổ máy sự cố ngay tại thời điểm đó. Ta có được điều kiện về công suất dự trữ như sau:

$$P_D(t) + P_R(t) - \sum_{i=1}^N P_{i,max}(t) U_i(t) \leq 0 \quad (4)$$

### 2.3. Điều kiện công suất phát giới hạn:

Mỗi tổ máy luôn bị giới hạn bởi công suất phát cực đại và cực tiểu do sự giới hạn về trực máy phát và lò hơi:

$$P_{i,min} U_i(t) \leq P_i(t) \leq P_{i,max} U_i(t) \quad (5)$$

### 2.4. Điều kiện thời gian cực tiểu để tắt/mở tổ máy

Khi một tổ máy đang vận hành thì ta không thể dừng đột ngột. Ngược lại nếu một tổ máy đang ở trạng thái nghỉ thì ta cũng không thể khởi động ngay lên được mà cần có khoảng thời gian nhất định cho quá trình tắt và mở máy. Từ đó ta định nghĩa thời gian tắt và mở máy như sau:

$$T_{i,on}(t) = \begin{cases} T_{i,on}(t-1) + 1, & \text{neu } U_i(t) = 1 \\ 0, & \text{neu } U_i(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$T_{i,off}(t) = \begin{cases} T_{i,off}(t-1) + 1, & \text{neu } U_i(t) = 0 \\ 0, & \text{neu } U_i(t) = 1 \end{cases} \quad (7)$$

Dựa vào đó ta xây dựng điều kiện tắt và mở máy cực tiểu cho các tổ máy như sau:

$$U_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{neu } T_{i,on}(t) \leq T_{i,up} \\ 0, & \text{neu } T_{i,off}(t) < T_{i,down} \\ 0 \text{ hoặc } 1 & \text{trong các trường hợp khác} \end{cases} \quad (8)$$

## 3. PHƯƠNG PHÁP

### 3.1. Xây dựng lịch trình mở/tắt các máy phát

#### 3.1.1. Xây dựng lịch trình bằng phương pháp thứ tự ưu tiên cải tiến

Ý tưởng của phương pháp là xây dựng danh sách thứ tự ưu tiên dựa trên trị số trung bình chi phí sản xuất của các tổ máy. Tổ máy nào có trị số trung bình chi phí sản xuất thấp nhất sẽ được ưu tiên khởi động trước, tổ máy nào có trị số trung bình chi phí sản xuất lớn hơn sẽ được khởi động sau. Trị số trung bình chi phí sản xuất được tính từ biểu thức:

$$\text{Average} = \frac{F_i \left( \frac{P_{i,\max} + P_{i,\min}}{2} \right)}{\frac{P_{i,\max} + P_{i,\min}}{2}} \quad (9)$$

Từ danh sách thứ tự ưu tiên này, ta xây dựng lịch trình làm việc của các tổ máy sao cho thỏa mãn điều kiện dự trữ công suất, bỏ qua các điều kiện ràng buộc về thời gian giới hạn tắt và khởi động máy. Thuật toán cho đoạn chương trình này như sau:

- Bước 1: Tính trị trung bình chi phí sản xuất theo (9).

- Bước 2: Sắp xếp các tổ máy theo thứ tự tăng dần.

- Bước 3: Khởi tạo  $t = 1$ .

- Bước 4: khởi tạo  $i = 1$ .

- Bước 5: Kiểm tra điều kiện nếu:

$$\sum_{n=1}^i P_{n,\max} < P_D^t + P_R^t \text{ và } i < N \text{ thì ta khởi động tổ}$$

máy thứ  $i$  trong danh sách ưu tiên, tăng biến  $i$  thêm 1, lặp lại bước này. Nếu không thì thực hiện tiếp bước 6.

- Bước 6: Kiểm tra nếu  $t < T$ , thì tăng biến  $t$  thêm 1 và quay lại bước 4. Ngược lại, kết thúc.

### 3.1.2. Kiểm tra điều kiện thời gian giới hạn tắt và khởi động máy

Thời gian giới hạn chạy máy phát thường bị vi phạm khi phụ tải đạt mức đỉnh vì thời gian

phụ tải đỉnh có thể ít hơn thời gian giới hạn chạy của các máy phát. Tương tự, thời gian giới hạn tắt máy thường bị vi phạm khi rơi vào điểm đáy của đồ thị phụ tải. Ta xây dựng thuật toán kiểm tra như sau:

- Bước 1: Tính thời gian chạy và tắt máy như biểu thức (6), (7).

- Bước 2: Khởi tạo  $t = 1$ .

- Bước 3: Khởi tạo  $i = 1$ .

- Bước 4: Kiểm tra nếu  $U_i^t = 0, U_i^{t-1} = 1$  và  $T_{i,on}^{t-1} < T_{i,up}$ , thì  $U_i^t = 1$ . Kiểm tra nếu  $U_i^t = 0, U_i^{t-1} = 1$  và thời gian tắt máy nhỏ hơn thời gian tắt máy giới hạn, thì  $U_i^t = 1$ .

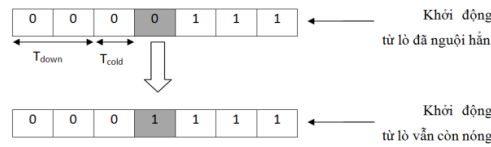
- Bước 5: Cập nhật lại  $T_{on}$  và  $T_{off}$  của các tổ máy.

- Bước 6: Nếu  $i < N$ , tăng biến đếm  $i$  và quay lại bước 4.

- Bước 7: Nếu  $t < T$ , tăng biến đếm  $t$  và quay lại bước 3. Ngược lại, kết thúc thuật toán.

### 3.1.3. Hiệu chỉnh chi phí khởi động của các tổ máy

Đối với một tổ máy nhiệt điện, chi phí khởi động lúc lò đã nguội thường cao hơn từ 2 đến 3 lần so với chi phí khởi động lúc lò vẫn còn nóng. Ý tưởng của đoạn chương trình này nhằm kiểm tra và hiện những tổ máy được khởi động lại ngay khi vừa hết thời gian làm nguội lò. Từ đó, ta sẽ cân đối giữa mức tiết kiệm nhờ khởi động lò sớm hơn và chi phí trung bình duy trì hoạt động của lò trong 1 giờ để quyết định có nên khởi động sớm hơn không.



Hình 1. Ví dụ mô tả hiệu chỉnh chi phí khởi động

Thuật toán cho đoạn chương trình này như sau:

- Bước 1: Khởi tạo  $t = 1$ .
- Bước 2: Khởi tạo  $i = 1$ .
- Bước 3: Kiểm tra nếu  $U_i^t = 1, U_i^{t-1} = 0$ ,

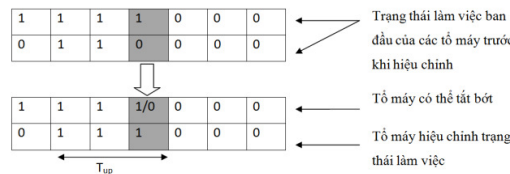
$T_{i,off}^{t-1} = T_{i,down} + T_{i,cold} + 1$  và mức tiết kiệm từ việc chuyển từ lò nguội sang lò nóng lớn hơn chi phí trung bình hoạt động trong 1 giờ của tổ máy thì , cập nhật lại  $T_{on}$  và  $T_{off}$ .

- Bước 4: Nếu  $i < N$ , tăng biến đếm  $i$  và quay về bước 3.
- Bước 5: Nếu  $t < T$ , tăng biến đếm  $t$  và quay về bước 2. Ngược lại, kết thúc quá trình tìm kiếm.

3.1.4. Tắt bớt những tổ máy thừa

Những tổ máy thừa là kết quả của sự điều chỉnh trạng thái làm việc của các tổ máy để thỏa mãn điều kiện về thời gian giới hạn tắt và

mở máy cực tiểu. Ngay từ bước ban đầu ta đã xây dựng lịch trình làm việc tối ưu cho các tổ máy bằng phương pháp thứ tự ưu tiên. Tuy nhiên, khi điều chỉnh trạng thái làm việc của các tổ máy sẽ làm tăng lượng công suất dự trữ không cần thiết. Như vậy, tại mỗi thời điểm  $t$ , ta cần xem xét bỏ bớt những tổ máy khác để giảm chi phí vận hành tuy nhiên cũng cần phải chú ý các điều kiện ràng buộc về thời gian giới hạn tắt và mở máy cực tiểu, đồng thời vẫn đảm bảo công suất dự trữ. Thuật toán sẽ tìm kiếm những tổ máy có thể tắt đi mà vẫn thỏa các điều kiện ràng buộc, thứ tự tắt bớt sẽ dựa vào danh sách thứ tự ưu tiên đã tính được ban đầu, ưu tiên những tổ máy có trị trung bình cao nhất.



Hình 2.Ví dụ mô tả hiệu chỉnh chi phí khởi động

Thuật toán cụ thể cho đoạn chương trình này như sau:

- Bước 1: Khởi tạo  $t = 1$ .
- Bước 2: Khởi tạo  $i = 1$ .

- Bước 3: Kiểm tra tổ máy thứ  $i$  có thể tắt bớt mà không vi phạm điều kiện về công suất dự trữ và thời gian giới hạn tắt và mở máy,

nếu thỏa thì đưa tổ máy  $i$  vào danh sách tổ máy thừa.

- Bước 4: Nếu  $i < N$ , tăng biến  $i$  và quay về bước 3. Nếu không, thực hiện tiếp bước 5.

- Bước 5: Nếu danh sách tổ máy thừa là rỗng thì bỏ qua bước 6, thực hiện ngay bước 7.

- Bước 6: Tắt tổ máy có trị trung bình cao nhất trong danh sách tổ máy thừa. Kiểm tra nếu tắt tiếp tổ máy có trị trung bình cao thứ hai thì điều kiện dự trữ công suất có thỏa mãn không, ta thực hiện tiếp bước này cho đến khi không thể tắt bớt được tổ máy nào nữa.

- Bước 7: Nếu  $t < T$ , thì tăng biến đếm  $t$  và quay về bước 2. Ngược lại, kết thúc đoạn chương trình.

Như vậy bằng cách thực hiện liên tiếp các thuật toán tìm kiếm và hiệu chỉnh trạng thái làm việc của các tổ máy, ta đã xây dựng hoàn chỉnh lịch trình khởi động và tắt máy của các tổ máy tại mọi thời điểm cần xét. Tiếp theo, ta sẽ áp dụng thuật toán mạng neuron Lagrange – Hopfield tăng cường để giải bài toán vận hành kinh tế công suất phát tại mọi thời điểm.

### 3.2.Áp dụng mạng neuron Lagrange – Hopfield tăng cường cho bài toán vận hành kinh tế công suất phát

#### 3.2.1. Xây dựng mạng neuron Lagrange – Hopfield tăng cường

Sau khi xây dựng lịch trình khởi động các tổ máy ta chỉ cần xác định mức công suất cần phát sao cho thỏa mãn điều kiện về cân bằng công suất và giới hạn về công suất phát của các tổ

máy. Khi đó hàm mục tiêu (1) của bài toán được đơn giản bớt như sau:

$$\min F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left( a_i^t + b_i^t \cdot P_i^t + c_i^t \cdot (P_i^t)^2 \right) \quad (10)$$

Trong đó:  $a_i^t = a_i \cdot U_i^t; b_i^t = b_i \cdot U_i^t; c_i^t = c_i \cdot U_i^t$

Ta xây dựng hàm Lagrange tăng cường bằng cách kết hợp hàm mục tiêu (10) với điều kiện (5) thông qua hệ số nhân Lagrange và Lagrange tăng cường:

$$L = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left( a_i^t + b_i^t \cdot P_i^t + c_i^t \cdot (P_i^t)^2 \right) + \sum_{t=1}^T \left[ \lambda^t \left( P_D^t - \sum_{i=1}^N P_i^t \right) + \frac{1}{2} \beta^t \left( P_D^t - \sum_{i=1}^N P_i^t \right)^2 \right] \quad (11)$$

Ta xem những giá trị này là những neuron liên tục, hệ số nhân Lagrange cũng được xem là những neuron hệ số nhân. Từ đó ta viết được hàm năng lượng của mạng Hopfield như sau:

$$E = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left( a_i^t + b_i^t \cdot V_i^t + c_i^t \cdot (V_i^t)^2 \right) + \sum_{t=1}^T \left[ \lambda^t \left( P_D^t - \sum_{i=1}^N V_i^t \right) + \frac{1}{2} \beta^t \left( P_D^t - \sum_{i=1}^N V_i^t \right)^2 \right] + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \int_0^{V_i^t} g^{-1}(V) dV \quad (12)$$

Từ biểu thức (12) của hàm năng lượng, áp dụng các định nghĩa về giá trị dynamic của ALHN, ta có các biểu thức dynamic như sau:

$$\frac{dU_{i,p}^t}{dt} = - \frac{\partial E}{\partial V_i^t} \quad (13)$$

$$\frac{dU_{\lambda}^t}{dt} = + \frac{\partial E}{\partial V_{\lambda}^t} \quad (14)$$

Trong đó:

- $U'_{i,p}, U'_\lambda$ : là ngõ vào của neuron liên tục đại diện cho công suất phát của các tổ máy và ngõ ra của neuron hệ số nhân.

- $V'_{i,p}, V'_\lambda$ : là ngõ ra của neuron liên tục đại diện cho công suất phát của các tổ máy và ngõ ra của neuron hệ số nhân.

Cập nhật đầu vào ở vòng lặp thứ n:

$$U'_{i,p}{}^{(n)} = U'_{i,p}{}^{(n-1)} - \alpha'_i \cdot \frac{\partial E}{\partial V'_i} \quad (15)$$

$$U'_\lambda{}^{(n)} = U'_\lambda{}^{(n-1)} + \alpha'_\lambda \cdot \frac{\partial E}{\partial V'_\lambda} \quad (16)$$

Trong đó:  $\alpha'_i, \alpha'_\lambda$  là bước cập nhật cho các neuron liên tục và neuron hệ số nhân.

Công suất phát của các tổ máy bị giới hạn trong một khoảng nhất định. Ta sử dụng khoảng giới hạn này làm cận trên và cận dưới cho hàm sigmoid. Như vậy biểu thức tính giá trị đầu ra của neuron liên tục đại diện cho công suất phát của các tổ máy có dạng:

$$V'_i = \frac{P'_{i,\max} - P'_{i,\min}}{2} \cdot (1 + \tanh(\sigma \cdot U'_{i,p})) + P'_{i,\min} \quad (17)$$

Đối với các neuron hệ số nhân biểu thức đầu ra là hàm tuyến tính, do đó ta có:

$$V'_\lambda = U'_\lambda \quad (18)$$

### 3.2.2. Khởi động giá trị ban đầu

Một mạng neuron luôn đòi hỏi giá trị khởi đầu cho các neuron của nó. Đối với các neuron liên tục, các giá trị khởi đầu đều được bắt đầu từ “điểm trung bình phân phối” [11], theo biểu thức:

$$V_i{}^{(0)} = \frac{P'_{i,\max}}{\sum_{i=1}^N P'_{i,\max}} \cdot P'_D \quad (19)$$

Các neuron hệ số nhân được xác định bởi biểu thức:

$$V'_\lambda{}^{(0)} = \frac{\sum_{i=1}^N (b'_i + 2c'_i \cdot V_i{}^{(0)})}{N} \quad (20)$$

### 3.2.3. Điều kiện dừng vòng lặp

Quá trình tính toán của mạng neuron sẽ được kết thúc khi giá trị sai số cực đại  $Err_{\max}^{(n)}$  của vòng lặp thứ n nhỏ hơn một giá trị dương  $\epsilon$  cho trước hoặc số vòng lặp đạt đến giá trị cực đại nào đó. Giá trị  $Err_{\max}^{(n)}$  được tính toán như sau:

$$Err_{\max}^{(n)} = \max_i \left\{ \left| P'_D - \sum_{i=1}^N V_i{}^{(n)} \right| \right\} \quad (21)$$

Từ các biểu thức ở trên, ta xây dựng thuật toán lặp áp dụng phương pháp ALHN cho bài toán vận hành kinh tế công suất phát như sau:

**Bước 1:** Lựa chọn các thông số cần thiết cho mạng neuron như giá trị các bước cập nhật, hệ số  $\sigma$  của hàm sigmoid.

**Bước 2:** Khởi động các giá trị cho ngõ vào và ngõ ra của mạng neuron theo các biểu thức (19) và (20).

**Bước 3:** Đặt giá trị ngưỡng sai số  $\epsilon = 10^{-4}$ , và số vòng lặp cực đại  $N_{\max} = 5000$ . Đặt  $n = 1$  (giá trị khởi đầu vòng lặp).

**Bước 4:** Tính quá trình động (dynamic) các neuron theo các biểu thức (13) và (14).

**Bước 5:** Cập nhật các đầu vào của neuron theo các biểu thức (15) và (16).

**Bước 6:** Tính toán đầu ra các neuron theo các biểu thức (17) và (18).

**Bước 7:** Tính sai số theo biểu thức (21). Nếu sai số lớn hơn ngưỡng cho phép  $Err_{max}^{(n)} > \epsilon$  và số vòng lặp nhỏ hơn số vòng lặp tối đa thì ta tăng số vòng lặp  $n = n + 1$  và quay lại bước 4.

**Bước 8:** Trình bày kết quả tính toán được.

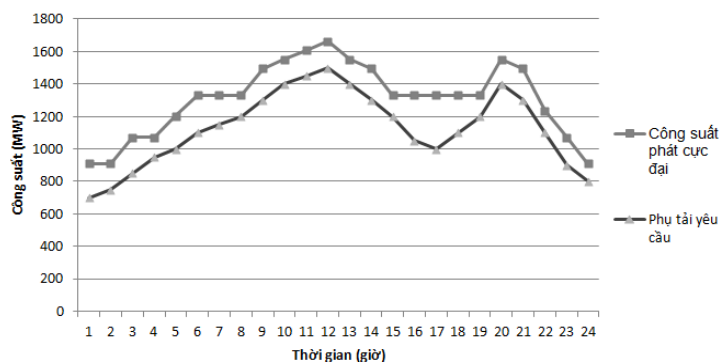
#### 4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

##### 4.1. Bài toán 10 tổ máy

Xét hệ thống gồm 10 tổ máy cần xây dựng lịch trình hoạt động trong thời gian 24 giờ [1]. Công suất các phụ tải được cho trong bảng,

đồng thời công suất dự trữ yêu cầu bằng 10% công suất phụ tải tại từng thời điểm.

Kết quả tính toán tối ưu được trình bày trong bảng 1 cho thấy phương pháp EMO-ALHN, cùng với phương pháp GAUC, là một trong những phương pháp cho kết quả tối ưu nhất. Phương pháp PL-ALHN cho kết quả kém hơn nhiều so với các phương pháp khác. Về thời gian tính toán, nhờ tận dụng lợi thế thời gian tính toán của phương pháp danh sách thứ tự yêu tiên lần ALHN, nên phương pháp được đề xuất EMO-ALHN có thời gian tính toán vượt trội hơn so với các phương pháp khác.



**Biểu đồ 1.** Đồ thị tổng công suất phát cực đại của phương pháp EMO-ALHN

**Bảng 1.** Kết quả so sánh chi phí tối ưu và thời gian tính toán với các phương pháp khác.

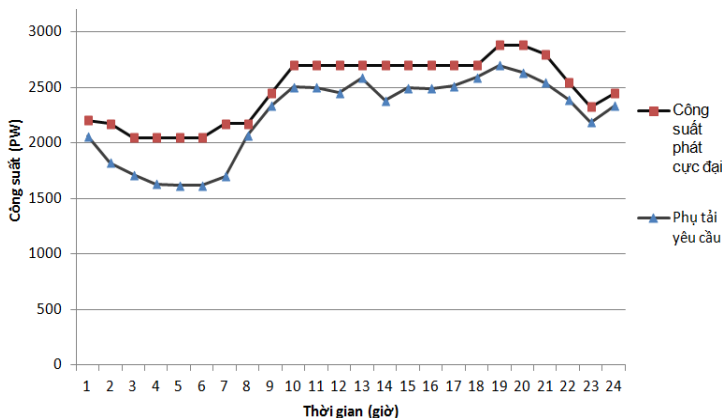
Phương pháp	Kết quả tối ưu (\$)	Thời gian tính toán (giây)
LR [1]	565825	-
MA [5]	565827	84
GA [1]	565825	221
GAUC [4]	563977	85
EP [7]	564551	100
LRMA [5]	566686	61
LRGA [3]	564800	518
PL-ALHN	565615	0.249
EMO-ALHN	563977	0.11

#### 4.2. Bài toán 17 tổ máy

Một bài toán khác được đề xuất trong [2], nhằm xây dựng lịch trình làm việc cho 17 tổ máy trong 24 giờ. Nét đặc trưng của bài toán này là không tính đến chi phí khởi động dạng “hot-start” hay “cold-start”. Công suất dự trữ được yêu cầu bằng 100MW tại mọi thời điểm.

Phương pháp được đề xuất cho kết quả tốt hơn so với phương pháp Lagrange Relaxation,

Adaptive Hopfield Network và cả phương pháp LRAHN. Một lần nữa, phương pháp EMO-ALHN cho kết quả tối ưu hơn so với phương pháp thứ tự ưu tiên cổ điển PL-ALHN. Về thời gian tính toán, EMO-ALHN và PL-ALHN đều hoàn toàn vượt trội hơn so với các phương pháp khác.



Biểu đồ 2. Đồ thị tổng công suất phát cực đại của phương pháp EMO-ALHN cho bài toán 17 tổ máy

Bảng 2. Kết quả so sánh chi phí tối ưu và thời gian tính toán với các phương pháp khác

Phương pháp	Kết quả tối ưu (\$)	Thời gian (giây)	Mức lệch so với p. pháp LR (%)
LR [2]	1,033,901	3	0
AHN [2]	1,027,380	16	-0.63
LRAHN [2]	1,026,709	8	-0.70
PL-ALHN	1,024,628	0.405	-0.90
EMO-ALHN	1,020,411	0.219	-1.3

#### 4.3. Bài toán 100 tổ máy

Bài toán 3 là sự mở rộng của bài toán 1 với sự tăng lên về tổ máy phát lên các mức 20, 40, 60, 80 và 100 tổ máy. Tương ứng với mức tăng đó, giá trị công suất phụ tải yêu cầu cũng tăng

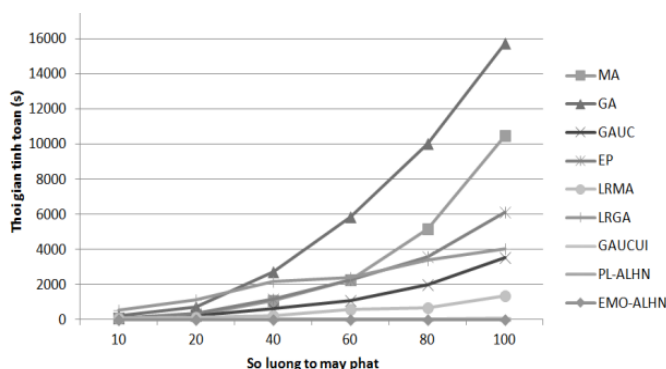
theo. Lượng công suất dự trữ vẫn được giữ bằng 10% công suất phụ tải.

Qua kết quả tính toán tối ưu, ta nhận thấy phương pháp EMO-ALHN cho kết quả gần như tốt nhất trong các trường hợp thử nghiệm, riêng trường hợp 20 và 40 tổ máy EMO-ALHN



cho kết quả tốt thứ hai sau phương pháp GAUC. Kết quả này một lần nữa khẳng định, thuật toán thứ tự ưu tiên cải biên sẽ cho kết quả tốt hơn so với thuật toán cổ điển. Về thời gian tính toán, phương pháp EMO-ALHN tính rất nhanh, không đến 1 giây cho mỗi trường hợp. Đặc biệt, quy mô bài toán được tăng lên, thì

thời gian tính toán của phương pháp thay đổi rất nhỏ, tăng gần gấp đôi thời gian tính toán giữa trường hợp 100 tổ máy so với 10 tổ máy. Trong khi các phương pháp, thời gian tính toán tăng rất nhiều, đơn cử như phương pháp GAUC tăng hơn 41 lần, hay như phương pháp MA tăng hơn 120 lần.



Biểu đồ 3. So sánh thời gian tính toán giữa các phương pháp

## 5. KẾT LUẬN

Qua 3 ví dụ tính toán, ta nhận thấy EMO-ALHN là một phương pháp tối ưu nhanh, mạnh, hiệu quả tính toán khá cao. Trong hầu hết các trường hợp so sánh, EMO-ALHN đều cho kết quả tốt nhất hoặc đứng thứ hai (trong 2 trường hợp của bài toán 3). Đồng thời, thời gian tính toán là thể mạnh vượt trội của phương pháp này. Trong tất cả các trường hợp thử

nghiệm, thời gian tính toán đều không quá 0.5 giây kể cả những bài toán có quy mô lớn.

Riêng về thuật toán thứ tự ưu tiên, kết quả cải tiến cho thấy nếu ta sử dụng giá trị trung bình chi phí sản xuất theo công thức (9) sẽ cho kết quả tính toán tối ưu hơn so với giá trị trung bình chi phí sản xuất đầy tải như phương pháp cổ điển.

## AUGMENTED LAGRANGE HOPFIELD NEURAL NETWORK BASED METHOD FOR UNIT COMMITMENT

Nguyen Phuc Khai<sup>(1)</sup>, Vo Ngoc Dieu<sup>(1)</sup>, Vu Phan Tu<sup>(1),(2)</sup>

(1) University of Technology, VNU-HCM; (2) VNU- HCM

**ABSTRACT:** This paper proposed an enhanced merit order (EMO) and augmented Lagrange Hopfield neural network (ALHN) for solving unit commitment problem. This problem is solved on 2 stages. At first, with the heuristic search EMO method we plan the unit scheduling. And then, we use ALHN, a continuous Hopfield neural network combines with augmented Lagrange relaxation, to solve the economic dispatch problem. The proposed method is tested on systems with 10 units, 17 units and up to 100 units. The obtained results is compared to conventional priority list (PL-ALHN) and other methods in literature. Test results show that the proposed method is totally more efficient than PL-ALHN and others for finding optimal solution of unit commitment problem. And the computer time of proposed method is vastly faster than other methods.

**Key words:** Lagrange Hopfield neural network, Priority List, Unit Commitment.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kazarlis, A.G. Bakirtzis & V. Petridis, *A Genetic Algorithm Solution To The Unit Commitment Problem*, IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 11. No. 1. February 1996, pp. 83 – 92.
- [2]. J. D. Dillon, M. P. Walsh, and M. J. O'Malley, *Initialization of the augmented Hopfield network for improved generator scheduling*, IEE Proc. Gener., Transm. Distrib., Vol. 149, No. 5, Sept. 2002, pp. 593-599
- [3]. Chuan-Ping Cheng, Chih-Wen Liu, and Chun-Chang Liu, *Unit Commitment by Lagrangian Relaxation and Genetic Algorithms*, IEEE Trans. On Power Systems, VOL. 15, NO. 2, MAY 2000, pp. 707 – 714.
- [4]. T. Senjyu, H. Yamashiro, K. Uezato, and T. Funabashi, *A unit commitment problem by using genetic algorithm based on characteristic classification*, in Proc. IEEE/Power Eng. Soc. Winter Meeting, Vol. 1, 2002, pp. 58-63
- [5]. J. Valenzuela and A. E. Smith, *A seeded memetic algorithm for large unit commitment problems*, Journal of heuristic, Vol. 8, 2002, pp. 173-195
- [6]. V. N. Dieu and W. Ongsakul *Enhanced Merit Order and Augmented Lagrange Hopfield Network for Unit Commitment*, Proc. of 15th Power System Computational Conference 2005, Liege, Belgium, Aug 22-26, 2005.
- [7]. K. A. Juste, H. Kita, E. Tanaka, and J. Hasegawa, *An evolutionary*

*programming solution to the unit commitment problem*, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 14, No. 4, Nov. 1999, pp. 1452-1459.

[8]. E. Lin and G. L. Viviani, *Hierarchical economic dispatch for piecewise quadratic cost functions*, IEEE Trans. Power Appa. Syst., Vol. PAS-103, No. 6, June 1984, pp. 1170-1175