

## TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT LẮP ĐẶT NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO KHI XÉT ĐẾN HIỆU QUẢ ĐẦU TƯ VÀ ĐIỀU ĐỘ HỆ THỐNG ĐIỆN

### OPTIMIZING THE INSTALLATION POWER OF RENEWABLE ENERGY WITH CONSIDERATION OF INVESTMENT EFFICIENCY AND LOAD DISPATCH

**Đặng Thành Trung<sup>(1)</sup>, Thái Quang Vinh<sup>(2)</sup>, Trần Kỳ Phúc<sup>(3)</sup>, Phùng Thị Thanh Mai<sup>(1)</sup>,  
Phạm Thị Phương Thảo<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Đại học Điện lực, <sup>(2)</sup>Viện Công nghệ Thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, <sup>(3)</sup>Viện Năng lượng, Bộ Công thương

Ngày nhận bài: 02/06/2022, Ngày chấp nhận đăng: 12/08/2022, Phản biện: TS. Nguyễn Đức Tuyên

#### **Tóm tắt:**

Trong bài báo này, thuật toán di truyền và thuật toán bầy đàn được sử dụng để tính toán công suất lắp đặt tối ưu nhất cho các nguồn năng lượng tái tạo (năng lượng gió, năng lượng mặt trời) cho hệ thống điện. Nghiên cứu có xét đến điều độ kinh tế hệ thống điện (tối ưu trào lưu công suất) và hiệu quả đầu tư của nguồn năng lượng tái tạo khi xét đến các lợi thế về tiềm năng và vị trí địa lý. Nghiên cứu thực hiện tính toán thử nghiệm cho lưới điện chuẩn IEEE-30 nút trong đó có 6 nguồn điện truyền thống (nhiệt điện, thủy điện), 24 phụ tải và 10 nút có thể lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo. Kết quả tính toán thấy rằng tìm được công suất tối ưu lắp đặt cho lưới điện đảm bảo điện áp nút và dòng điện nhánh luôn nằm trong giá trị cho phép khi công suất nguồn năng lượng tái tạo biến đổi liên tục từ 0- 100%.

#### **Từ khóa:**

Thuật toán di truyền, thuật toán bầy đàn, điều độ công suất tối ưu, tối ưu công suất lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo.

#### **Abstract:**

In this paper, genetic algorithm and swarm algorithm are used to calculate the optimal installed capacity for renewable energy sources (wind energy, solar energy) for power system. The problem is implemented in terms of optimal power flow and investment efficiency of renewable energy sources considering the advantages of potential and geographical location. The problem is calculated for IEEE-30-node standard power grid, in which there are 6 traditional power sources (thermoelectricity, hydroelectricity) and 24 loads and 10 nodes that can install renewable energy sources. Calculation results show that finding the optimal installed capacity for the grid ensures that the node voltage and branch current are always within the allowable value when the renewable energy source capacity varies continuously from 0 to 100%.

#### **Keywords:**

Genetic Algorithm (GA); Particle Swarm Optimization (PSO), economic regulation of power system, Optimizing installed capacity of renewable energy sources.

Ký hiệu	Ý nghĩa
$P_{Gi}$	Công suất tác dụng phát của nguồn điện nối vào nút thứ $i$
$a_{Gi}, b_{Gi}, c_{Gi}$	Hệ số chi phí phát điện
$P_{Li}$	Công suất tác dụng của phụ tải điện nối vào nút thứ $i$
$V_i, V_{iset}$	Điện áp tại nút $i$ , điện áp đặt tại nút $i$
$g_{km}, b_{km}, I_{km}$	Điện dẫn và dung dẫn, dòng điện nhánh $k-m$
$\theta_i$	Góc pha điện áp tại nút $i$
$Q_{Li}$	Công suất phản kháng của phụ tải điện nối vào nút thứ $i$
$P_{Gi}, Q_{Gi}$	Công suất tác dụng, công suất phản kháng của máy phát nối vào nút $i$
$\lambda, \mu$	Các nhân tử của hàm Lagrangian
$h(x); g(x)$	Các đẳng thức và bất đẳng thức ràng buộc của biến trong hàm $f(x)$
$Z$	Phần bù của bất đẳng thức ràng buộc để trở thành đẳng thức
$F_X$	Đạo hàm bậc 1 của hàm $F$ theo $X$
$L'_{XX}$	Đạo hàm bậc 2 của hàm Lagrangian theo $X$
$I$	Ma trận đơn vị
$H_X^T$	Ma trận chuyển vị của ma trận $H_X$
$\alpha_i$	Hệ số có lợi vị trí
$P_{PVWTi}$	Công suất nguồn năng lượng tái tạo tại nút $i$

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hiện nay, việc đầu tư các nguồn năng lượng tái tạo (nhà máy điện mặt trời, nhà máy điện gió) ở Việt Nam phát triển rất mạnh do chi phí đầu tư ngày càng giảm và tiềm năng phát triển rất tốt ở một số khu vực. Tuy nhiên với đặc tính biến thiên liên tục của công suất phát nên khi có càng nhiều nguồn năng lượng tái tạo kết nối với lưới sẽ gây ảnh hưởng đến công suất truyền tải trên đường dây và điện áp tại các nút. Trong nhiều trường hợp, do quá tải công suất truyền tải trên đường dây hoặc do điện áp vượt khỏi giá trị cho phép mà hệ thống điện phải cắt nguồn năng lượng tái tạo đầu vào lưới. Để tránh cắt giảm công suất phát của nguồn năng lượng tái tạo, nghiên cứu này sẽ đề xuất phương pháp tính toán công suất đặt tối ưu của các nguồn năng lượng tái tạo khi kết nối vào lưới điện xét trong điều kiện khi các nhà máy thay đổi công suất theo sự biến thiên của thời tiết cũng không làm công suất truyền tải trên đường dây và điện áp nút nằm ngoài giá trị cho phép. Phương pháp này được thực hiện trong điều kiện có xét đến quá trình điều độ kinh tế hệ thống điện. Đồng thời bài toán tối ưu cũng xét đến hệ số tối ưu của từng vị trí đầu tư nguồn năng lượng tái tạo như mật độ năng lượng tái tạo, tiềm năng nguồn năng lượng, hiệu quả đầu

tư. Chẳng hạn những khu vực có mật độ năng lượng gió, năng lượng mặt trời cao, những khu vực thuận tiện xây dựng, có chi phí giải phóng mặt bằng thấp, gần điểm kết nối thì cần ưu tiên đầu tư phát triển và khi đó ta đặt hệ số vị trí trong hàm mục tiêu cao. Còn những khu vực có ít thuận lợi thì ta đặt hệ số vị trí thấp.

Có rất nhiều nghiên cứu về việc điều khiển tối ưu các nguồn điện trong lưới điện như sử dụng thuật toán di truyền, thuật toán di truyền kết hợp với logic mờ để phân bố công suất trong các nhà máy điện nhằm tối thiểu hóa chi phí phát điện của toàn bộ nhà máy khi xét đến các chi phí khởi động tổ máy, chi phí ngừng tổ máy và các ràng buộc về công suất phát, thời gian khởi động và thời gian ngừng tổ máy [1].

Ngoài ra còn có nghiên cứu về vị trí đặt các nguồn phân tán là các nguồn năng lượng gió, năng lượng mặt trời. Nghiên cứu sử dụng mô hình Monte Carlo Simulation (MCS) để tính ảnh hưởng của các nguồn điện gió, điện mặt trời đến độ tin cậy của lưới điện. Từ đó sử dụng thuật toán di truyền để tính tối ưu hàm chi phí bao gồm chi phí do tổn thất truyền tải, chi phí do phải mua điện từ lưới hoặc từ các nhà máy thủy điện, nhiệt điện do tính biến thiên liên tục, bất thường của nguồn năng lượng gió, năng lượng mặt trời, chi phí đầu tư và vận hành nguồn năng lượng gió, năng lượng mặt trời [2]. Hàm mục tiêu cũng có thể tính đến giá đặt mua, đặt bán trước trong thị trường điện cạnh tranh [3]. Hàm mục tiêu cũng có thể là tổn thất nhỏ nhất trên lưới truyền tải điện [5].

Ngoài việc tối ưu hóa vị trí đặt của các nguồn phân tán thì cũng có nghiên cứu về tối ưu hóa công suất của các bộ tích trữ năng lượng bằng cách sử dụng mô hình Monte Carlo Simulation (MCS) để tính thời gian mất điện khi hệ thống gồm tua bin gió, bộ lưu trữ điện và tải. Từ đó tính hàm mục tiêu gồm phí đầu tư bộ lưu trữ và chi phí khi bị mất nguồn điện cung cấp cho tải [7]. Cũng có nghiên cứu về sử dụng thuật toán di truyền và mạng nơ ron nhân tạo để tính công suất đặt của bộ lưu trữ gồm ắc quy và bánh xe tích trữ năng lượng để hệ thống cung cấp đủ điện cho phụ tải trong điều kiện

công suất của tua bin gió và giàn pin mặt trời biến thiên liên tục [8].

Ở nghiên cứu [9] tác giả đề xuất phương pháp sử dụng mạng nơ ron nhân tạo để tối ưu hóa vị trí, công suất của nguồn phân tán bằng cách tính ảnh hưởng khi có nguồn điện gió, điện mặt trời đầu vào lưới và khi không đầu vào lưới trong các chỉ tiêu về tổn thất công suất, dòng ngắn mạch và điện áp. Hoặc nghiên cứu [6] sử dụng thuật toán bầy đàn để tìm phương án tối ưu phát triển đường dây truyền tải điện. Thuật toán di truyền cũng rất phù hợp để giải bài toán tối ưu cho nhiều mục tiêu khác nhau với nhiều hàm ràng buộc [4].

Từ những tìm hiểu trên ta thấy rằng mặc dù có nhiều nghiên cứu về tối ưu hóa công suất của nguồn năng lượng tái tạo cũng như tối ưu hóa đường dây truyền tải tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào về việc tối ưu hóa có xét đến việc thay đổi công suất của các nguồn điện còn lại trong hệ thống như nguồn nhiệt điện và thủy điện tương tự như điều độ vận hành thực tế hệ thống điện. Đồng thời các nghiên cứu cũng chưa xét đến những lợi thế của vị trí lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo đó. Qua đó nghiên cứu đề xuất phương pháp tính tối ưu công suất của nguồn năng lượng tái tạo với lưới điện như sau:

- Tính toán tối ưu trào lưu công suất của lưới điện (Điều độ kinh tế hệ thống điện).
- Khi đầu thêm các nguồn năng lượng tái tạo vào lưới điện. Nếu công suất của các nguồn năng lượng tái tạo đầu thêm này thay đổi thì các nguồn điện truyền thống còn lại trong hệ thống phải thay đổi công suất sao cho công suất truyền tải trên các nhánh, điện áp các nút nằm trong giá trị cho phép.
- Sử dụng thuật toán di truyền (GA) và thuật toán bầy đàn (PSO) tính toán tối đa tổng công suất lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo vào lưới khi xét đến hệ số tối ưu của từng vị trí.

Với phương pháp trên, ta có thể tính toán được tổng công suất tối ưu của nguồn năng lượng tái tạo có thể lắp đặt vào lưới điện mà vẫn đảm bảo dòng điện các nhánh và điện áp các nút vẫn nằm trong

giá trị cho phép khi các nguồn năng lượng tái tạo biến thiên công suất.

Kết quả tính công suất lắp đặt tối ưu của nguồn năng lượng tái tạo tại các nút trong lưới điện giúp ích rất nhiều cho quy hoạch các nguồn năng lượng tái tạo tại từng khu vực đảm bảo cho lưới điện vận hành ổn định và tận dụng tối đa tiềm năng của nguồn năng lượng tái tạo. Khi đặt hệ số có lợi vị trí tại tất cả các nút bằng nhau, ta sẽ xác định được tổng công suất lắp đặt lớn nhất của nguồn năng lượng tái tạo. Từ đó có thể tính được phân bố quy hoạch cho các nguồn năng lượng khác như nhiệt điện, điện khí... để đảm bảo an ninh năng lượng và giảm phát thải khí CO<sub>2</sub>.

Các tính toán trước đây ít khi đưa hệ số có lợi vị trí vào hàm mục tiêu nên không tận dụng hết được tiềm năng của nguồn năng lượng tái tạo đặc biệt với Việt Nam khi diện tích trải dài từ Bắc vào Nam. Có nhiều khu vực có tiềm năng năng lượng tái tạo rất lớn như Bình Thuận, Ninh Thuận, Cà Mau... trong khi các tỉnh phía Bắc thì tiềm năng về năng lượng tái tạo ít hơn. Và thực tế hiện nay đã hình thành các trung tâm năng lượng tái tạo tại Ninh Thuận, Bình Thuận... nên tính toán sẽ rất phù hợp cho quy hoạch nguồn điện tái tạo cũng như quy hoạch lưới điện. Khi tính toán quy hoạch nâng công suất truyền tải của lưới điện cũng như xây dựng lưới điện mới, nhờ việc tính hệ số có lợi vị trí vào hàm mục tiêu nên những khu vực có tiềm năng lớn, dễ xây dựng sẽ được ưu tiên phân bố công suất nguồn năng lượng tái tạo cao hơn, qua đó quy hoạch lưới điện cũng được tính tới để giải tỏa công suất phù hợp với nguồn tránh tình trạng quá tải lưới điện.

Nghiên cứu đã đề xuất ra phương pháp mới để tính toán quy hoạch các nguồn điện gió, điện mặt trời đứng trên góc nhìn từ khả năng truyền tải của lưới điện và các nguồn năng lượng truyền thống sẵn có. Ngoài ra nghiên cứu cũng đã đề xuất được phương pháp quy hoạch nguồn điện tái tạo mới gồm 2 bước

tách biệt gồm bước điều độ tối ưu và bước xác định công suất tối đa của nguồn điện tái tạo. Nhờ việc tách riêng thành 2 bước này nên khi thay đổi cấu trúc lưới điện như thêm lưới một chiều, thêm các bộ dự trữ năng lượng thì chỉ cần thay đổi bước điều độ tối ưu và có thể giữ nguyên bước xác định công suất tối đa mà không cần phải thay đổi lại toàn bộ thuật toán.

Nghiên cứu được lập trình và chạy thử nghiệm trên lưới điện chuẩn IEEE 30 nút.

## 2. MÔ HÌNH ĐIỀU ĐỘ KINH TẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

Hàm mục tiêu của bài toán điều độ kinh tế hệ thống điện là tối thiểu chi phí phát điện của các nhà máy điện trong lưới điện như sau:

$$\min \sum_{i=1}^n (c_{Gi} \cdot P_{Gi}^2 + b_{Gi} \cdot P_{Gi} + a_{Gi}) \quad (1)$$

Hiện nay do quy định của ngành điện cho phép các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời, điện gió luôn được ưu tiên phát điện lên lưới nếu điện áp nút và dòng điện nhánh nằm trong giá trị cho phép nên hàm mục tiêu của bài toán tối ưu trào lưu công suất chỉ xét đến tổng chi phí của các nhà máy nhiệt điện và thủy điện trong hệ thống.

Hàm ràng buộc  $h(x)$  gồm các hàm cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng tại các nút và cân bằng điện áp đặt tại nút

$$P_{Lk} - P_{Gk} + V_k \cdot \sum_{m=1}^N V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\theta_k - \theta_m) + b_{km} \cdot \sin(\theta_k - \theta_m)] = 0 \quad (2)$$

$$Q_{Lk} - Q_{Gk} + V_k \cdot \sum_{m=1}^N V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\theta_k - \theta_m) + b_{km} \cdot \cos(\theta_k - \theta_m)] = 0 \quad (3)$$

$$V_i - V_{iset} = 0 \quad (4)$$

Các bất đẳng thức ràng buộc  $g(x)$  gồm giới hạn công suất tác dụng, công suất phản kháng tại các tổ máy, điện áp nút và dòng điện truyền tải trên đường dây truyền tải điện

$$P_{Gimin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gimax} \quad (5)$$

$$Q_{Gimin} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gimax} \quad (6)$$

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad (7)$$

$$|I_{km}| \leq I_{kmmax} \quad (8)$$

Để giải bài toán tối thiểu hóa chi phí gồm các ràng buộc như trên ta sử dụng phương pháp hàm chặn (PDIP). Hàm chi phí  $f(x)$  với các ràng buộc:

$$\begin{cases} h(x) = 0 \\ g(x) \leq 0 \\ x_{min} \leq x \leq x_{max} \end{cases} \quad (9)$$

Để giải bài toán này, ta lập hàm Lagrangian

$$L(x, \lambda, \mu, \sigma) = \sigma \cdot f(x) + \lambda^T \cdot h(x) + \mu^T \cdot g(x) \quad (10)$$

Và hàm Lagrangian điều chỉnh như sau

$$\begin{cases} \min f(X) \\ H(X) = 0 \\ G(X) \leq 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \min [f(X) - \gamma \cdot \sum_{m=1}^n \ln(Z_m)] \\ H(X) = 0 \\ G(X) + Z = 0 \\ Z > 0 \end{cases} \quad (11)$$

Tham số  $\gamma$  có giá trị xấp xỉ 0, ta có hàm Lagrangian mới như sau:

$$L^Y(X, Z, \lambda, \mu) = f(X) + \lambda^T \cdot H(X) + \mu^T \cdot (G(X) + Z) - \gamma \cdot \sum_{m=1}^n \ln(Z_m) \quad (12)$$

Theo điều kiện Karush-Kuhn-Tucker (KKT) thì hàm Lagrangian đạt giá trị cực tiểu khi

$$\begin{cases} F(X, Z, \lambda, \mu) = 0 \\ Z > 0 \\ \mu > 0 \end{cases} \quad (13)$$

Trong đó F là đạo hàm bậc nhất của hàm Lagrangian theo các biến

Sử dụng bước lặp Newton để giải hệ phương trình (13)

$$\begin{bmatrix} F_X & F_Z & F_\lambda & F_\mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Z \\ \Delta \lambda \\ \Delta \mu \end{bmatrix} = -F(X, Z, \lambda, \mu) \rightarrow \begin{bmatrix} L_{XX}^Y & 0 & H_X^T & G_X^T \\ 0 & [\mu] & 0 & [Z] \\ H_X & 0 & 0 & 0 \\ G_X & I & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Z \\ \Delta \lambda \\ \Delta \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_X^Y \\ [\mu] \cdot Z - \gamma \cdot e \\ H(X) \\ G(X) + Z \end{bmatrix} \quad (14)$$

Khai triển hàng 2 ở phương trình (14) ta có

$$[\mu] \cdot \Delta Z + [Z] \cdot \Delta \mu = -[\mu] \cdot Z + \gamma \cdot e$$

$$\rightarrow [Z] \cdot \Delta \mu = -[\mu] \cdot Z + \gamma \cdot e - [\mu] \cdot \Delta Z$$

$$\rightarrow \Delta\mu = -\mu + [Z]^{-1} \cdot (\gamma \cdot e - [\mu] \cdot \Delta Z) \quad (15)$$

Khai triển hàng 4 ở phương trình (14) ta có

$$\begin{aligned} G_X \cdot \Delta X + \Delta Z &= -G(X) - Z \\ \rightarrow \Delta Z &= -G(X) - Z - G_X \cdot \Delta X \end{aligned} \quad (16)$$

Thay  $\Delta Z, \Delta\mu$  ở (16), (15) khai triển và rút gọn hàng 1 ở phương trình (14) ta có

$$\begin{aligned} L_{XX}^Y \cdot \Delta X + H_X^T \cdot \Delta\lambda + G_X^T \cdot \Delta\mu &= -L_X^Y \\ \rightarrow (L_{XX}^Y + H_X^T \cdot [Z]^{-1} \cdot \mu \cdot H_X) \cdot \Delta X + G_X^T \cdot \Delta\lambda &= L_X^Y - H_X^T \cdot [Z]^{-1} \cdot (\gamma \cdot e - [\mu] \cdot H(X)) \end{aligned}$$

Đặt các giá trị M, N như sau

$$\begin{aligned} M &= L_{XX}^Y + G_X^T \cdot [Z]^{-1} \cdot [\mu] \cdot G_X \\ N &= L_X^Y + G_X^T \cdot [Z]^{-1} \cdot (\gamma \cdot e + [\mu] \cdot H(X)) \\ \rightarrow N &= f_{XX} + H_{XX}(\lambda) + G_{XX}(\lambda) + G_X^T \cdot [Z]^{-1} \cdot (\gamma \cdot e + [\mu] \cdot G(X)) \end{aligned} \quad (17)$$

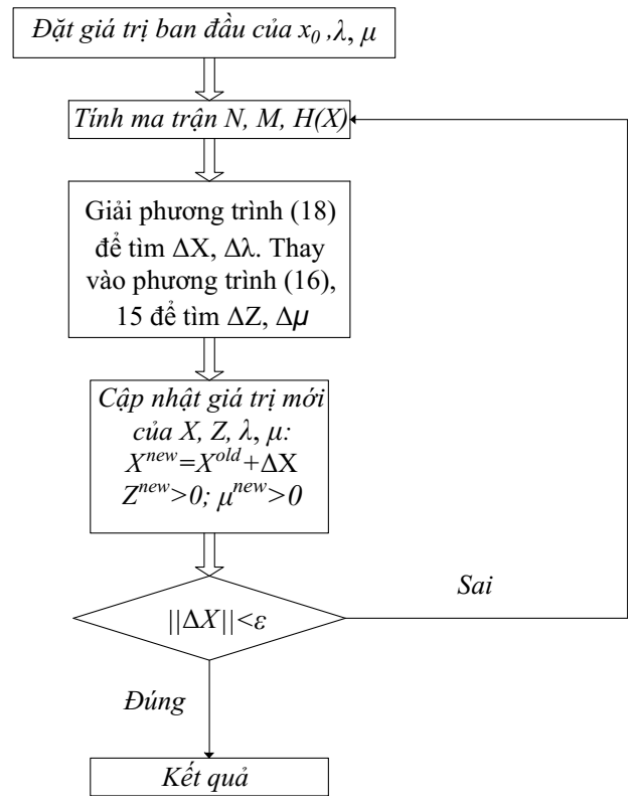
Ta được hệ phương trình mới

$$\begin{bmatrix} M & H_X^T \\ H_X & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -N \\ -H(X) \end{bmatrix} \quad (18)$$

Với các giá trị đặt ban đầu, thuật toán hàm chẵn cho bài toán tối ưu trào lưu công suất được tiến hành tính toán theo 3 bước sau:

- + Bước 1: Tính  $\Delta X, \Delta\lambda$  từ hệ phương trình (18)
- + Bước 2: Tính  $\Delta Z$  từ phương trình (16)
- + Bước 3: Tính  $\Delta\mu$  từ phương trình (15)

Lưu đồ thuật toán của bài toán tính tối ưu trào lưu công suất sử dụng phương pháp hàm chẵn cho lưới điện như sau:



Hình 1. Sơ đồ thuật toán tính trào lưu công suất tối ưu.

### 3. XÂY DỰNG VÀ GIẢI BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT LẮP ĐẶT

#### 3.1. Bài toán tối ưu hóa công suất lắp đặt

Hàm mục tiêu của bài toán là tổng công suất đặt của nguồn năng lượng tái tạo tại các nút ( $P_{PVWTi}$ ) là lớn nhất khi xét đến hệ số có lợi vị trí ( $\alpha_i$ )

$$f = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot P_{PVWTi} \quad (19)$$

Bài toán có xét đến điều độ kinh tế lưới điện như đã trình bày ở mục (2). Để thực hiện bài toán này, ta tiến hành như sau:

+ Bước 1: Xác định vị trí các nút có thể đặt nguồn năng lượng tái tạo và hệ số vị trí tại nút đó. Giả sử các nguồn năng lượng tái tạo không phát điện. Tính toán điều độ công suất tối ưu của lưới điện khi đó.

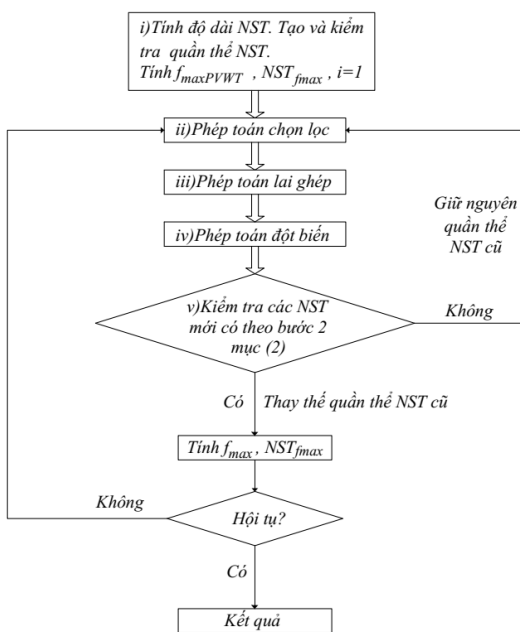
+ Bước 2: Tăng dần công suất lắp đặt các nguồn năng lượng tái tạo tại các nút. Tính điều độ tối ưu kinh tế khi các nguồn năng lượng tái tạo phát 100% công suất. Điều kiện đảm bảo là bài toán điều độ kinh tế hội tụ.

+ Bước 3: Sử dụng thuật toán di truyền và thuật toán bầy đàn để tìm công suất tối ưu của nguồn năng lượng tái tạo tại các nút sao cho hàm mục tiêu lớn nhất.

### 3.2 Sử dụng thuật toán di truyền (GA) để tính tối ưu công suất đặt của nguồn điện tái tạo

Thuật toán di truyền (GA) được sử dụng rất phù hợp trong các bài toán tối ưu dựa trên các ngôn ngữ lập trình máy tính. Đây là thuật toán tìm kiếm cực trị của hàm gồm nhiều biến để lựa chọn phương án tốt hơn đồng thời vượt qua các cực trị địa phương nhờ quá trình chọn lọc, lai ghép và đột biến tương tự như cơ chế chọn lọc, lai ghép, đột biến của ngành di truyền học.

Sơ đồ thuật toán di truyền cho bài toán tối ưu công suất đặt của nguồn năng lượng tái tạo vào lưới điện như sau:



Hình 2. Thuật toán di truyền cho bài toán tối ưu vị trí và công suất đặt của nguồn năng lượng tái tạo nối vào lưới điện.

### 3.3 Sử dụng thuật toán bầy đàn (PSO) để tính tối ưu vị trí và công suất đặt của nguồn điện tái tạo

Thuật toán bầy đàn (PSO) là một thuật toán tối ưu hóa phi tuyến ngẫu nhiên được đề xuất bởi Kennedy và Eberhart vào năm 1995. Thuật toán dựa trên mô hình hóa việc đàn chim đi tìm kiếm thức ăn nhằm

đạt được giá trị tối ưu nhất trong miền tìm kiếm. Để sử dụng thuật toán bầy đàn cho bài toán tìm công suất lắp đặt tối ưu nhất của nguồn năng lượng tái tạo, ta thực hiện các bước sau :

i) Tạo quần thể trong không gian tìm kiếm ban đầu gồm p phần tử  $[P_{PVWTi}]_j^{(0)}$ . Trong đó mỗi phần tử là tập hợp của công suất nguồn năng lượng tái tạo tại các nút:

$$P_{PVWTi}^{(0)} = P_{PVWTmin} + Rand(0,1) \cdot (P_{PVWTmax} - P_{PVWTmin}) \quad (20)$$

Vận tốc ban đầu của mỗi cá thể  $V_i^{(0)}$  sao cho

$$V_i^{(0)} = Rand(0,1) \cdot (P_{PVWTmax} - P_{PVWTi}^{(0)}) \quad (21)$$

ii)

+ Tính hàm mục tiêu của các cá thể  $f([P_{PVWTi}]_j^{(k)})$

+ Chọn ra cực trị địa phương  $f_{best}([P_{PVWTi}]_j^{(k)})$  và công suất nguồn năng lượng tái tạo tương ứng  $[P_{PVWTi}]_{best}^{(k)}$

+ Đồng thời, so sánh các cực trị địa phương ta tìm được giá trị cho cực trị toàn cục  $f_{gbest}([P_{PVWTi}])$  và công suất nguồn năng lượng tái tạo tương ứng  $[P_{PVWTi}]_{best}$  khi so sánh các giá trị tốt nhất của các cực trị địa phương tại mỗi vòng lặp.

+ Sau mỗi vòng lặp ta cập nhật vị trí mới của các cá thể theo công thức

$$P_{PVWTi}^{(k+1)} = P_{PVWTi}^{(k)} + V_i^{(k)} \quad (22)$$

$V_i^{(k)}$  là vận tốc của cá thể  $P_{PVWTi}^{(k)}$

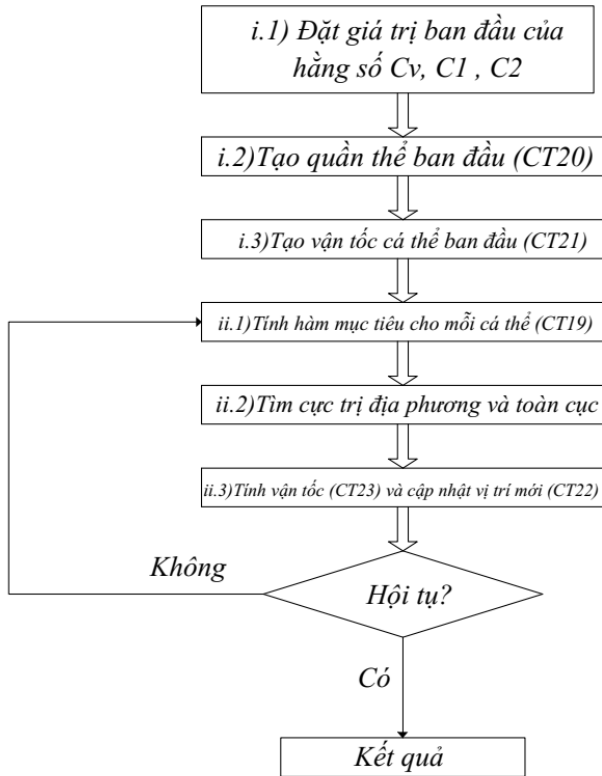
Trong đó vận tốc  $P_{PVWTi}^{(k)}$  được tính theo công thức sau:

$$V_i^{(k+1)} = C_v \cdot V_i^{(k)} + C_1 \cdot r_1 \cdot (P_{besti}^{(k)} - P_{PVWTi}^{(k)}) + C_2 \cdot r_2 \cdot (P_{gbesti} - P_{PVWTi}^{(k)}) \quad (23)$$

Trong đó:  $r_1, r_2$  là những số ngẫu nhiên nằm trong khoảng 0-1.  $C_v, C_1, C_2$  là các hệ số gia tốc hỗ trợ tìm kiếm toàn cầu và tìm kiếm cục bộ

Sau mỗi vòng lặp, các giá trị ban đầu gần tìm đến

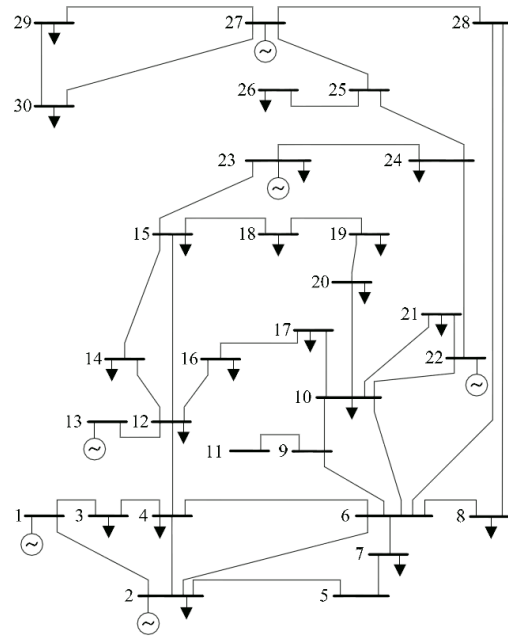
vị trí của biến tối ưu cần tìm. Vòng lặp sẽ dừng khi bài toán hội tụ. Sơ đồ thuật toán bầy đàn (PSO) cho bài toán tìm công suất tối ưu của nguồn điện tái tạo như sau :



Hình 3. Thuật toán bầy đàn cho bài toán tối ưu vị trí và công suất đặt của nguồn năng lượng tái tạo nối vào lưới điện.

#### 4. TÍNH TOÁN THỬ NGHIỆM CHO LƯỚI ĐIỆN IEEE-30 NÚT

Áp dụng tính toán cho lưới điện IEEE 30 nút với 6 nút nguồn nhà máy thủy điện và nhiệt điện, 24 nút tải được kết nối với các nguồn qua 42 nhánh như sau:



Hình 4. Sơ đồ lưới điện mẫu IEEE-30 nút

Dựa vào số liệu theo tài liệu [11] nghiên cứu đặt các hệ số chi phí phát điện như trong bảng dưới. Giới hạn công suất tác dụng của các nhà máy điện truyền thống được cho ở bảng sau:

Bảng 1. Thông số của máy phát truyền thống trong lưới

Nút	Giới hạn công suất phát		Hệ số giá		
	Pmax (MW)	Pmin (MW)	c	b	a
1	80	0	0,005	6	100
2	80	50	0,0119	37,55	117,75
22	50	0	0,002	10	500
27	55	35	0,0087	13,32	81
23	30	20	0,025	25,54	24,39
13	40	0	0,0025	8	300

Trong trường hợp chỉ dùng các nguồn thủy điện và nhiệt điện ta sử dụng máy tính có cấu hình core i7-6700HQ, Ram 8G, SSD 128G tính toán tối ưu trào lưu công suất sẽ hội tụ sau 1,5s và tổng chi phí phát điện của hệ thống là 4750,11 và bảng phân bố công suất phát tại các nhà máy như sau:

Bảng 2. Công suất phát tại các nhà máy sau khi điều độ kinh tế

Nút	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAr)
1	37,6	2,6
2	50,69	25,17
22	35	29,2

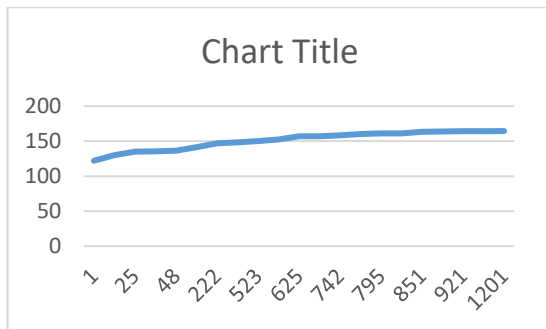
Nút	$P_G$ (MW)	$Q_G$ (MVar)
27	36	12,56
23	20	8,32
13	11,99	17,31

Giả định các nút trong bảng sau lắp được nguồn năng lượng tái tạo và hệ số có lợi vị trí tương ứng:

**Bảng 3. Hệ số có lợi vị trí tại các nút lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo**

Nút	4	6	10	12	15	17	20	28	29	30
Hệ số vị trí $\alpha$	1	1,5	1	1,3	1	1,2	1,4	1	1,5	1

Sử dụng thuật toán di truyền tìm kiếm công suất lắp đặt tối ưu có tính đến hệ số có lợi vị trí và điều độ hệ thống điện đảm bảo cho điện áp nút, dòng điện nhánh nằm trong giá trị cho phép ta được kết quả tối ưu như sau:



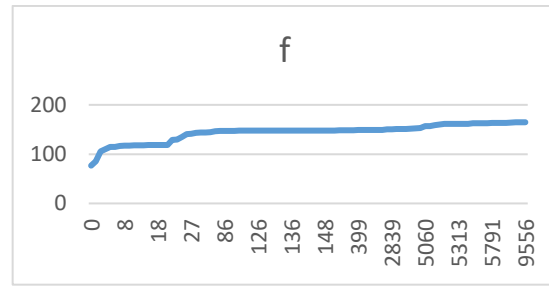
**Hình 5. Hàm tối ưu theo các bước lặp của thuật toán di truyền (GA)**

Với giá trị tối ưu là  $f = 164,43$  và công suất lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo tại các nút như sau:

**Bảng 4. Hệ số có lợi vị trí tại các nút lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo**

Nút	Hệ số vị trí	Công suất lắp đặt tại nút (MW)
4	1	0,2
6	1,5	0,8
10	1	0,1
12	1,3	1,9
15	1	0,5
17	1,2	0,5
20	1,4	37,9
28	1	0,2
29	1,5	70,4
30	1	0,5

Sử dụng thuật toán bầy đàn (PSO) ta tìm được hàm tối ưu là  $f = 164,645$  với đồ thị hàm mục tiêu và bảng phân bố công suất lắp đặt tại các nút như sau:



**Hình 6. Hàm tối ưu theo các bước lặp của thuật toán bầy đàn (PSO)**

**Bảng 5. Hệ số có lợi vị trí tại các nút lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo**

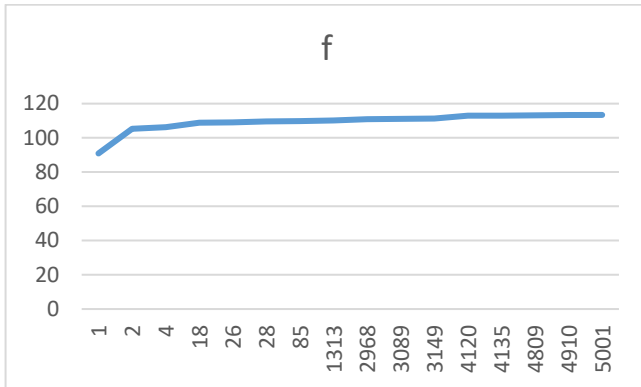
Nút	Hệ số vị trí	Công suất lắp đặt tại nút (MW)
4	1	0,196
6	1,5	0,83
10	1	0,047
12	1,3	1,991
15	1	0,468
17	1,2	0,579
20	1,4	37,887
28	1	0,198
29	1,5	70,442
30	1	0,502

Từ bảng kết quả công suất lắp đặt tại các nút ta thấy rằng với nút 29, hệ số có lợi vị trí (bằng 1,5) lớn nhất nên được đặt công suất rất lớn là 70,4 MW trong khi các nút khác có hệ số có lợi vị trí nhỏ (bằng 1) như nút 4, nút 10, nút 15, nút 28 và nút 30 thì công suất đặt của nguồn năng lượng tái tạo lại rất nhỏ chỉ từ 0,05-0,5 MW. Qua đó ta thấy rằng kết quả tính toán đã đảm bảo được ưu tiên cho những khu vực có tiềm năng lớn, dễ xây dựng và được hỗ trợ chính sách nhiều mà vẫn đảm bảo cung cấp tối đa nguồn năng lượng tái tạo cho lưới và không làm quá tải điện áp và công suất truyền tải trên đường dây.

Vẫn sử dụng các thông số của lưới điện IEEE-30 nút ở trên, nghiên cứu tính cho trường hợp khi không xét đến hệ số có lợi vị trí tức là khi các hệ số có lợi vị trí đều được đặt bằng 1. Sử dụng thuật toán di truyền và thuật toán bầy đàn ta tìm được hàm tối ưu là tổng công suất lắp đặt lớn nhất của nguồn năng lượng tái tạo tại các nút là  $f = 113,4$



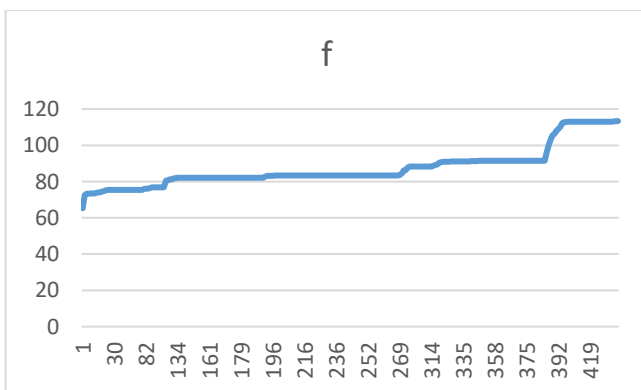
MW (với thuật toán di truyền) và  $f = 113,339$  MW (với thuật toán bầy đàn).



Hình 7. Hàm tối ưu theo các bước lặp của thuật toán di truyền (GA) khi không xét đến hệ số có lợi

Bảng 6. Hệ số có lợi vị trí tại các nút lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo khi sử dụng thuật toán di truyền (GA)

Nút	Hệ số vị trí	Công suất lắp đặt tại nút (MW)
4	1	1,3
6	1	0,5
10	1	19,1
12	1	7,5
15	1	0,1
17	1	1
20	1	4,5
28	1	0,3
29	1	43,2
30	1	35,9



Hình 8. Hàm tối ưu theo các bước lặp của thuật toán bầy đàn (PSO) khi không xét đến hệ số có lợi

Bảng 7. Hệ số có lợi vị trí tại các nút lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo khi sử dụng thuật toán bầy đàn (PSO)

Nút	Hệ số vị trí	Công suất lắp đặt tại nút (MW)
4	1	1,242
6	1	0,539
10	1	19,065
12	1	7,51
15	1	0,066
17	1	1,049
20	1	4,449
28	1	0,331
29	1	43,189
30	1	35,899

## 5. KẾT LUẬN

Từ những nghiên cứu và tính toán trên ta đưa ra một số kết luận sau:

+ Sử dụng thuật toán di truyền (GA) và thuật toán bầy đàn (PSO) ta có thể tính được công suất lắp đặt tối ưu của nguồn năng lượng tái tạo khi xét đến hệ số vị trí. Như vậy ngoài việc tăng công suất lắp đặt tại các nút thì những vị trí thuận lợi cho lắp đặt, có hiệu quả đầu tư và vận hành sẽ được ưu tiên lắp đặt công suất lớn. Chẳng hạn như nút 29 có hệ số vị trí là 1,5 thì sẽ được lắp đặt công suất lớn nhất.

+ Cả thuật toán di truyền (GA) và thuật toán bầy đàn (PSO) đều cho kết quả tối ưu gần giống nhau. Tuy nhiên do đặc điểm chuyển giá trị công suất thành chuỗi nhị phân nên thuật toán di truyền cho kết quả là các giá trị có 1 chữ số sau dấu phẩy và không chính xác bằng thuật toán bầy đàn (PSO). Trong thực tế thì kết quả này cũng không ảnh hưởng vì công suất lắp đặt của nguồn năng lượng tái tạo thường là các số chẵn.

+ Khi không xét đến hệ số có lợi vị trí, tổng công suất lắp đặt lớn nhất của nguồn năng lượng tái tạo là 113,4 MW trong khi xét đến hệ số có lợi thì tổng công suất lắp đặt là 113 MW. Như vậy khi áp dụng hệ số có lợi vào thì tổng công suất lắp đặt của nguồn năng lượng tái tạo không thay đổi nhiều nhưng đã ưu tiên được những khu vực có tiềm năng và có nhiều điều kiện thuận lợi để xây dựng nguồn năng lượng tái tạo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alma Ademovic, Smajo Bisanovic, Mensur Hajro "A Genetic Algorithm Solution to the Unit Commitment Problem Based on Real-Coded Chromosomes and Fuzzy Optimization", Melecon 2010 - 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2010.
- [2] A. Hadian, Haghifam "Placement of DG with Stochastic Generation", IEEE PES T&D, 2010.
- [3] Pietro Lamaina, Debora Sarno, Pierluigi Siano, Alireza Zakariazadeh, Roberto Romano "A Model for Wind Turbines Placement within a Distribution Network Acquisition Market", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume. 11, Issue. 1, Feb. 2015.
- [4] Mitchell Melanie "An Introduction to Genetic Algorithms", MIT Press, 1999.
- [5] B. Neelakanteshwar Rao, A. R. Abhyankar, Nilanjan Senroy "Optimal Placement of Distributed Generator using Monte Carlo Simulation", Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC), 2014.
- [6] Chandrakant Rathore, Ranjit Roy "Impact of Distributed Generation in Transmission Network Expansion Planning Problem", 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, 2013.
- [7] Robert S. Weissbach, Remus E. Teodorescu, James R. Sonnenmeier "Comparison of Time-Based Probability Methods for Estimation Energy Storage Requirements for an Off-Grid Residence", IEEE Energy 2030 Conference, 2008.
- [8] Shiqiong Zhou, Longyun Kang, Guifang Guo, Yanning Zhang, Jianbo Cao, Binggang Cao "The Application of Combinatorial Optimization by Genetic Algorithm and Neural Network", 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008.
- [9] M. M. Elnashar, R. El Shatshat, M. M. A. Salama "Optimum Planning of Large Distributed Resources in a Mesh Connected System Based of Artificial Neural Networks", IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009.
- [10] Hadi Saadat "Power System Analysis" Psa Publishing LLC, 2011.
- [11] Zivic Djurovic, Milacic, Krsulja "A simplified model of quadratic cost function for thermal generator" Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the

23rd International DAAAM Symposium, Volume 23, No.1.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả ThS. Đặng Thành Trung tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2006 và 2008. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Tính toán tối ưu hệ thống điện, tích hợp năng lượng tái tạo vào lưới điện, dự báo công suất phát nguồn năng lượng tái tạo, công suất phụ tải, tính độ tin cậy hệ thống điện.

Tác giả PGS.TS. Thái Quang Vinh tốt nghiệp Tiến Sĩ tại Liên Bang Nga. Hiện tác giả là nghiên cứu viên chính, nguyên viện trưởng viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học Việt Nam

Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển tối ưu, điều khiển trong hệ thống lớn...

Tác giả TSKH. Trần Kỳ Phúc tốt nghiệp Tiến Sĩ tại Ukraina. Hiện tác giả là viện trưởng Viện năng lượng, Bộ công thương.

Hướng nghiên cứu chính: Tính độ tin cậy hệ thống điện, tính toán tối ưu hệ thống điện...

Tác giả ThS. Phùng Thị Thanh Mai tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Ổn định hệ thống điện, năng lượng tái tạo.

Tác giả ThS. Phạm Thị Phương Thảo tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Tính toán ngắn mạch trong hệ thống điện, năng lượng tái tạo.