

## ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ LỆ ĐỘT BIẾN TỚI KẾT QUẢ ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

### IMPACT OF MUTATION RATE ON THE RESULTS OF POWER SYSTEM STATE ESTIMATION BY GENETIC ALGORITHM

**Trần Thanh Sơn, Kiều Thị Thanh Hoa**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 26/04/2020, Ngày chấp nhận đăng: 14/07/2020, Phản biện: PGS.TS. Nguyễn Quang Hoan

#### **Tóm tắt:**

Thuật toán di truyền sử dụng các phép lai ghép và đột biến để tạo ra các cá thể mới. Các thông số của các phép toán này ảnh hưởng lớn tới kết quả của bài toán tối ưu. Nếu chọn thông số không tốt có thể dẫn tới sai số lớn và cả trường hợp bài toán không hội tụ được. Bài báo này giới thiệu nghiên cứu về ảnh hưởng của tỉ lệ đột biến khi áp dụng thuật toán di truyền để ước lượng trạng thái hệ thống điện. Kết quả tính toán mô phỏng cho lưới điện 5 nút và 14 nút với các giá trị đột biến khác nhau đã chỉ ra rằng giá trị tỉ lệ đột biến bằng 0,05 là thích hợp nhất khi ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán di truyền cho hai lưới điện này.

#### **Từ khóa:**

Ước lượng trạng thái hệ thống điện, thuật toán di truyền, phương pháp Newton-Raphson, IEEE 14 nút, tỉ lệ đột biến.

#### **Abstract:**

Genetic algorithms use crossover and mutation operators to create new chromosomes. The parameters of these operators have great impact on results of power system state estimation. If these parameters are not well specified, it conducts to large errors or divergence. This paper presents impact of mutation rate on results of power system state estimation by genetic algorithm. The results of 5 bus and IEEE 14 bus network show that the best mutation rate for these two networks is 0,05.

#### **Keywords:**

Power system state estimation, genetic algorithm, Newton-Raphson method, IEEE 14 bus, mutation rate.

### **1. GIỚI THIỆU CHUNG**

Hệ thống điện ngày càng phát triển về cấu trúc và công suất truyền tải. Hai vấn đề quan trọng cần quan tâm đến đó là việc quy hoạch hệ thống điện sao cho đảm bảo nhu cầu phát triển điện năng và vận hành

hệ thống điện hiệu quả, an toàn. Công việc quy hoạch hệ thống điện được hỗ trợ bởi các chương trình tính toán trên máy tính như dự báo phụ tải, tính toán dòng công suất... [1].

Để đảm bảo hệ thống vận hành an toàn

cần tiến hành giám sát hệ thống thông qua việc thu thập các dữ liệu về thông số cấu trúc và thông số chế độ. Tuy nhiên, các dữ liệu đo gửi về trung tâm điều khiển có thể có sai số hoặc bị mất do lỗi đường truyền,... Việc thực hiện đo chưa xác định được góc pha điện áp và các thiết bị đo cũng không được đặt tại tất cả các vị trí; vì vậy không thể trực tiếp xác định trạng thái hệ thống. Để giải quyết các vấn đề trên, các thuật toán ước lượng trạng thái hệ thống được phát triển và được đưa ra đầu tiên bởi Fred Schweppe [2, 3, 4]. Ước lượng trạng thái hệ thống điện giúp giám sát các thông số trạng thái, từ đó đưa ra các quyết định điều khiển khi thông số vượt giới hạn cho phép nhằm mục tiêu đảm bảo hệ thống vận hành an toàn và tin cậy.

Hiện nay hệ thống quản lý năng lượng được áp dụng tại rất nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam. Đây là một hệ thống các công cụ hỗ trợ máy tính được sử dụng để theo dõi, điều khiển và tối ưu hóa hiệu suất của nguồn phát và hệ thống truyền tải. Ước lượng trạng thái hệ thống điện là yếu tố thiết yếu của hệ thống quản lý năng lượng [5]. Nếu không có ước lượng trạng thái, việc giám sát và điều khiển hệ thống điện theo thời gian thực sẽ không thể thực hiện được.

Có rất nhiều phương pháp được nghiên cứu để tính toán ước lượng trạng thái hệ thống điện, gồm các phương pháp cổ điển như phương pháp Newton, phương pháp liên hợp Gradient,... [6, 7, 8, 9, 10], hoặc các phương pháp sử dụng trí thông minh nhân tạo với ưu điểm đó là chỉ cần thông

tin của hàm mục tiêu và không gian tìm kiếm như phương pháp tối ưu bầy đàn [11, 12, 13, 14],... Thuật toán di truyền cũng được sử dụng để giải quyết bài toán ước lượng trạng thái hệ thống điện, tuy nhiên các nghiên cứu chủ yếu về vấn đề tìm vị trí đặt thiết bị đo tối ưu [15, 16, 17, 18, 19]. Trong bài báo [20], các tác giả sử dụng thuật toán di truyền để ước lượng trạng thái hệ thống điện cụ thể cho các trường hợp 6 nút và 14 nút IEEE. Đối với trường hợp lưới điện 6 nút, [20] chỉ ra rằng cả phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số và thuật toán di truyền đều có kết quả nằm trong phạm vi sai số cho phép. Tuy nhiên; khi thực hiện cho trường hợp 14 nút thì thuật toán di truyền không hội tụ được.

Thuật toán di truyền là thuật toán phỏng theo quá trình thích nghi tiến hóa của các quần thể sinh học dựa trên học thuyết Darwin. Thuật toán di truyền là phương pháp tìm kiếm tối ưu ngẫu nhiên bằng cách mô phỏng theo sự tiến hóa của con người hay của sinh vật, là mô phỏng các hiện tượng tự nhiên, có sự kế thừa và chọn lọc.

Thuật toán di truyền được giới thiệu đầu tiên bởi Holland và được phát triển bởi Godlberg. Trong thuật toán di truyền, việc tìm kiếm cá thể tối ưu được bắt đầu với một quần thể, hay một tập hợp có chọn lọc ban đầu của các giả thuyết. Các cá thể của quần thể hiện tại là khởi nguồn cho quần thể thế hệ kế tiếp thông qua các hoạt động chọn lọc, lai ghép và đột biến ngẫu nhiên. Ở mỗi bước, các cá thể trong quần thể hiện tại được ước lượng liên hệ với

giá trị hàm thích nghi, cá thể nào phát triển hơn, thích ứng hơn với môi trường sẽ tồn tại và ngược lại sẽ bị loại bỏ [21].

Các thuật toán di truyền hoạt động dựa trên các biến nhị phân 0-1, mỗi biến trạng thái sẽ được biểu diễn bởi một chuỗi các biến nhị phân. Việc biểu diễn các biến số thập phân dưới dạng biến nhị phân với yêu cầu cao về độ chính xác có thể khiến độ dài của cá thể tăng lên, dẫn đến làm tăng thời gian tính toán. Để khắc phục điều đó ta có thể sử dụng thuật toán di truyền với biến được biểu diễn dưới dạng số thập phân (The Continuous Genetic Algorithm - CGA). CGA yêu cầu ít bộ nhớ hơn, đơn giản hơn và thời gian tính toán nhanh hơn vì không cần đến việc mã hóa và giải mã [21].

Chương trình tính toán dựa trên thuật toán di truyền cần lựa chọn các thông số ban đầu như số lượng cá thể, tỉ lệ chọn lọc, tỉ lệ lai ghép, tỉ lệ đột biến. Việc lựa chọn các thông số, cụ thể là lựa chọn tỉ lệ đột biến có ảnh hưởng tới khả năng tìm kiếm giá trị tối ưu của bài toán [21], và khó có thể đưa ra kết luận chung về tỉ lệ đột biến cho tất cả các bài toán vì kết quả của thuật toán còn phụ thuộc vào hàm mục tiêu và các thông số còn lại.

Bài báo này tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ đột biến tới kết quả ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán di truyền. Các phần tiếp theo của bài báo gồm:

- Phần 2 giới thiệu ứng dụng thuật toán di truyền để ước lượng trạng thái hệ thống điện;

- Phần 3 giới thiệu về các kết quả tính toán theo tỉ lệ đột biến;
- Phần 4 là một số kết luận.

## 2. ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

Xét một hệ gồm tập hợp  $m$  phép đo các biến  $z_i$  với  $i$  có giá trị từ 1 đến  $m$  với sai số và sai phương lần lượt là  $e_i, \sigma_i$ . Giả thiết sai số của các phép đo phân bố theo phân bố Gauss và độc lập nhau, tức:

$$\text{cov}(e) = E[e \cdot e^T] = R = \text{diag}\{s_1^2, s_2^2, \dots, s_m^2\} \quad (1)$$

Gọi hàm  $h_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  là hàm biểu diễn mối liên hệ  $z_i$  theo các biến trạng thái  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ta có:

$$z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ h_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ h_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_m \end{bmatrix} = h(x) + e \quad (2)$$

Trong đó các biến  $x_i$  bị ràng buộc bởi điều kiện sau:

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max} \quad (3)$$

Để tìm các biến trạng thái  $x_1, x_2, \dots, x_n$  tương ứng với các giá trị đo được, phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số thực hiện cực tiểu hoá hàm mục tiêu sau [2-4]:

$$J(x) = \sum_{i=1}^g \frac{(z_i - h_i(x))^2}{R_{ii}} = [z - h(x)]^T R^{-1} [z - h(x)] \quad (4)$$

Để tính đến các điều kiện ràng buộc, ta sử

dùng hàm mục tiêu sau:

$$F(x) = J(x) + P(x) \quad (5)$$

Trong đó  $P(x)$  là hệ số phạt, ràng buộc tất cả các biến trạng thái nằm trong phạm vi cho phép của chúng. Hàm này được xác định bằng công thức (6).

$$P(x) = \lambda \sum_{i=1}^n \left\{ \max(0, x_i - x_i^{\max}) \right\}^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \left\{ \max(0, x_i^{\min} - x_i) \right\}^2 \quad (6)$$

với  $n$  là số biến trạng thái và  $\lambda$  là hệ số phạt, giá trị này được chọn theo kinh nghiệm. Bài báo này sử dụng giá trị  $10^8$ .

Trong ước lượng trạng thái hệ thống điện, các biến trạng thái  $x$  là góc pha  $\theta$  và môđun  $U$  của điện áp tại tất cả các nút, các hàm đo  $h_i$  phụ thuộc vào loại phép đo thứ  $i$ , cụ thể như sau:

Đo công suất tác dụng và phản kháng nút:

$$P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos q_{ij} + B_{ij} \sin q_{ij})$$

$$Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin q_{ij} - B_{ij} \cos q_{ij}) \quad (7)$$

Đo dòng công suất tác dụng và phản kháng trên nhánh  $ij$ :

$$P_{ij} = U_i^2 (g_{ij} + g_{si}) - U_i U_j (g_{ij} \cos q_{ij} + b_{ij} \sin q_{ij})$$

$$Q_{ij} = -U_i^2 (b_{ij} + b_{si}) - U_i U_j (g_{ij} \sin q_{ij} - b_{ij} \cos q_{ij}) \quad (8)$$

Đo môđun và góc pha điện áp:

$$U_i = U_i$$

$$\theta_i = \theta_i \quad (9)$$

Đo dòng điện trên nhánh  $ij$ :

$$I_{ij} = \sqrt{(g_{ij}^2 + b_{ij}^2)(U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos q_{ij})} \quad (10)$$

Trong đó:

$n$  là tổng số nút;

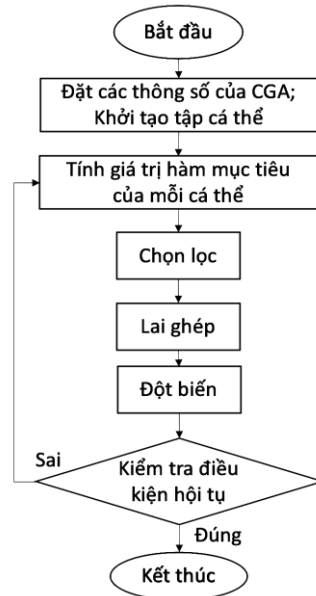
$G_{ij}, B_{ij}$  là thành phần thực và ảo của tổng dẫn  $ij$  trong ma trận tổng dẫn nút;

$g_{ij}, b_{ij}$  là thành phần thực và ảo của tổng trở nhánh  $ij$ .

Thuật toán di truyền sử dụng phép chọn lọc theo bánh xe Roulette thường được sử dụng cho bài toán tìm giá trị cực đại [22], vì vậy, hàm mục tiêu của bài toán ước lượng trạng thái theo CGA là tìm giá trị lớn nhất của hàm  $G(x)$ :

$$G(x) = 1/F(x) \quad (11)$$

Thuật toán di truyền biến số thực được áp dụng giải bài toán ước lượng trạng thái hệ thống điện có sơ đồ khối thể hiện như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối thuật toán CGA

## 2.1. Khởi tạo tập cá thể

Để bắt đầu CGA ta cần khởi tạo quần thể gồm  $N$  cá thể, mỗi cá thể gồm  $n$  gen (số lượng biến trạng thái). Giá trị của biến

trạng thái trong từng cá thể sẽ được khởi tạo ngẫu nhiên và có giá trị nằm trong khoảng giới hạn của biến trạng thái.

## 2.2. Lựa chọn cá thể [23]

Việc lựa chọn cá thể sẽ được thực hiện theo phương pháp bánh xe Roulette. Theo phương pháp này, xác suất một cá thể  $i$  được lựa chọn sẽ tỉ lệ với giá trị hàm mục tiêu  $F_i$  của nó:

$$p_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^N F_j} \quad (12)$$

## 2.3. Phép lai ghép đại số [24]

Trong phép lai ghép đại số, hai cá thể con sẽ được tạo thành từ một cặp cá thể bố mẹ. Xét cặp cá thể bố mẹ ký hiệu là  $B$  và  $M$  có chuỗi gen như sau:

$$B = [B_1, B_2, \dots, B_n] \quad (13)$$

$$M = [M_1, M_2, \dots, M_n]$$

Khi đó, hai cá thể con  $C_1$  và  $C_2$  được tạo thành dựa trên thông tin của cá thể bố mẹ theo công thức :

$$C_1 = \beta \cdot B + (1 - \beta) \cdot M \quad (14)$$

$$C_2 = (1 - \beta) \cdot B + \beta \cdot M$$

$\beta$  nhận giá trị trong khoảng (0, 1).

Khi thực hiện lai ghép, số điểm lai ghép có thể chọn bằng 1, 2 hoặc nhiều điểm lai ghép. Nếu số điểm bằng số biến trạng thái thì khi đó cá thể con sẽ được tạo thành theo công thức (14). Giá trị của  $\beta$  có thể chọn cố định hoặc khác nhau đối với các biến trạng thái.

Với thuật toán đề cập trong bài báo này, thay vì việc chọn 1 hay 2 điểm lai ghép, nhóm tác giả lựa chọn kết hợp với phép

lai ghép đồng nhất, cụ thể là sẽ xét từng gen trong cá thể bố mẹ và lựa chọn có hay không việc thực hiện trao đổi thông tin để tạo thành cá thể con.

Đầu tiên, để xét xem có thực hiện hay không việc trao đổi thông tin của gen bố mẹ, một chuỗi gen mẫu  $G$  có biến nhận giá trị 0 hoặc 1 được tạo ra:

$$G = [G_1, G_2, \dots, G_n] \quad (15)$$

Nếu ứng với biến trạng thái  $i$  có giá trị  $G_i = 1$  thì gen thứ  $i$  trong cá thể con được tạo thành theo công thức sau:

$$\begin{aligned} C_{1i} &= \beta_i \cdot B_i + (1 - \beta_i) \cdot M_i \\ C_{2i} &= (1 - \beta_i) \cdot B_i + \beta_i \cdot M_i \end{aligned} \quad (16)$$

Trong đó giá trị  $\beta_i$  được tạo ngẫu nhiên cho từng biến trạng thái  $i$  và có giá trị nằm trong khoảng (0, 1).

Nếu ứng với biến trạng thái  $i$  có giá trị  $G_i = 0$  thì gen thứ  $i$  trong cá thể con sẽ giữ nguyên thông tin từ cá thể bố mẹ và được tạo thành theo công thức sau:

$$\begin{aligned} C_{1i} &= B_i \\ C_{2i} &= M_i \end{aligned} \quad (17)$$

## 2.4. Đột biến [21]

Thuật toán CGA có thể hội tụ đến giá trị cực trị địa phương thay vì giá trị cực trị toàn cục, để tránh điều này phép toán đột biến được thực hiện để tác động đến giá trị biến trạng thái bằng cách ngẫu nhiên thay đổi giá trị của một số biến. Điều này sẽ làm tăng không gian tìm kiếm và tránh được vấn đề hội tụ sớm. Phép đột biến có thể được thực hiện theo những bước sau:

- Chọn tỉ lệ đột biến.

- Chọn ngẫu nhiên vị trí đột biến theo tỉ lệ đột biến đã chọn.
- Kiểm tra vị trí đột biến để đảm bảo không thực hiện đột biến với cá thể có giá trị hàm thích nghi tốt nhất nhằm không loại bỏ nghiệm của bài toán.
- Thay giá trị biến tại vị trí đã chọn bằng một giá trị ngẫu nhiên nằm trong khoảng giới hạn của biến trạng thái.

## 2.5. Điều kiện dừng lặp

Dừng lặp được xác định theo một trong hai điều kiện sau:

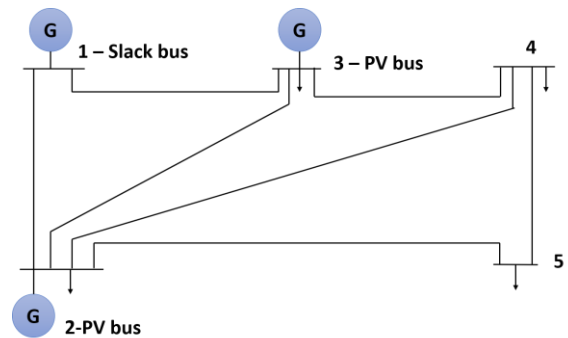
- Điều kiện 1: Số bước lặp tối đa.
- Điều kiện 2: giá trị hàm mục tiêu sau 300 bước liên tiếp không thay đổi.

## 3. ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ LỆ ĐỘT BIẾN TỚI KẾT QUẢ ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

Để xét ảnh hưởng của tỉ lệ đột biến tới kết quả ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán di truyền, ta thực hiện tính toán ước lượng trạng thái lưới điện 5 nút và IEEE 14 nút với 21 giá trị của tỉ lệ đột biến thay đổi từ 0 đến 1 với khoảng cách đều nhau và bằng 0,05. Với mỗi một tỉ lệ đột biến ta thực hiện 05 phép mô phỏng và chọn ra kết quả tính toán tốt nhất.

### 3.1. Bài toán 5 nút

Lưới điện 5 nút có sơ đồ như trên hình 2, các thông số của lưới điện được lấy từ [25], thông số đầu vào của bài toán được lấy từ kết quả tính toán dòng công suất.

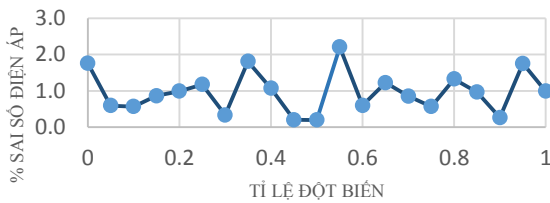
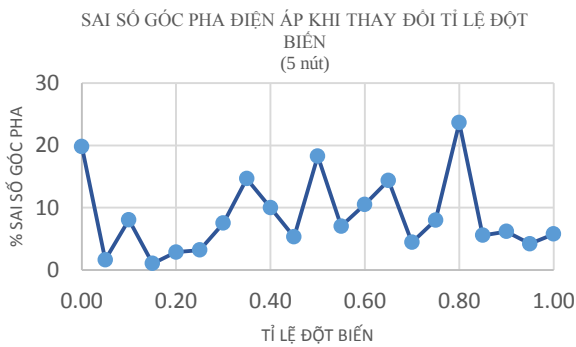


Hình 2. Sơ đồ một sợi lưới điện 5 nút

Sai số lớn nhất của kết quả mô phỏng cho lưới điện 5 nút tương ứng với 21 giá trị tỉ lệ đột biến được trình bày trong bảng 1 và được vẽ trên hình 3, hình 4.

Bảng 1. Sai số lớn nhất của kết quả ước lượng trạng thái lưới điện 5 nút

| STT | Tỉ lệ đột biến | Sai số môđun điện áp lớn nhất (%) | Sai số góc pha điện áp lớn nhất (%) |
|-----|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 0              | 1,757                             | 19,817                              |
| 2   | 0,05           | 0,592                             | 1,626                               |
| 3   | 0,1            | 0,566                             | 8,061                               |
| 4   | 0,15           | 0,862                             | 1,037                               |
| 5   | 0,2            | 0,992                             | 2,875                               |
| 6   | 0,25           | 1,178                             | 3,210                               |
| 7   | 0,3            | 0,335                             | 7,508                               |
| 8   | 0,35           | 1,810                             | 14,664                              |
| 9   | 0,4            | 1,069                             | 10,011                              |
| 10  | 0,45           | 0,200                             | 5,296                               |
| 11  | 0,5            | 0,196                             | 18,278                              |
| 12  | 0,55           | 2,210                             | 7,020                               |
| 13  | 0,6            | 0,598                             | 10,522                              |
| 14  | 0,65           | 1,224                             | 14,380                              |
| 15  | 0,7            | 0,853                             | 4,434                               |
| 16  | 0,75           | 0,568                             | 8,003                               |
| 17  | 0,8            | 1,325                             | 23,634                              |
| 18  | 0,85           | 0,965                             | 5,552                               |
| 19  | 0,9            | 0,261                             | 6,179                               |
| 20  | 0,95           | 1,752                             | 4,217                               |
| 21  | 1              | 0,989                             | 5,770                               |

SAI SỐ ĐIỆN ÁP KHI THAY ĐỔI TỈ LỆ ĐỘT BIẾN  
(5 nút)**Hình 3. Giá trị sai số lớn nhất của modun điện áp lưới điện 5 nút****Hình 4. Giá trị sai số lớn nhất của góc pha điện áp lưới điện 5 nút**

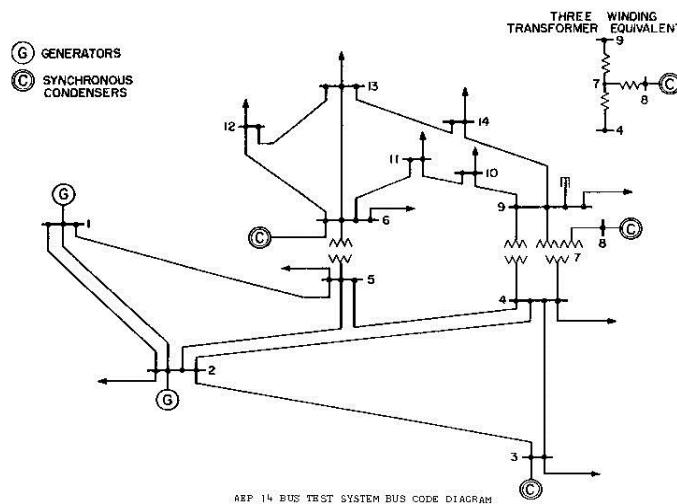
Từ kết quả tính toán cho lưới điện 5 nút ta thấy giá trị ước lượng môđun điện áp có sai số lớn nhất khoảng 2,2% ứng với tỉ lệ đột biến 0,55; giá trị ước lượng góc pha

điện áp có sai số cao hơn, với sai số khoảng 23,6% khi tỉ lệ đột biến là 0,8. Trường hợp tỉ lệ đột biến bằng 0,05 và 0,15, kết quả ước lượng có sai số góc pha lần lượt là khoảng 1,6% và 1,03%; môđun điện áp có sai số nhỏ hơn 0,6%. Trường hợp tỉ lệ đột biến bằng 0,45 và 0,5 có sai số môđun điện áp khoảng 0,2% nhưng sai số góc pha tương ứng là khoảng 5,3% và 18,28%. Qua kết quả mô phỏng như đã trình bày, ta thấy khi sử dụng tỉ lệ đột biến bằng 0,05 và 0,15 bài toán có kết quả ước lượng môđun điện áp và góc pha điện áp tốt hơn so với các trường hợp khác, với sai số nhỏ hơn 2%.

### 3.2. Lưới điện IEEE 14 nút

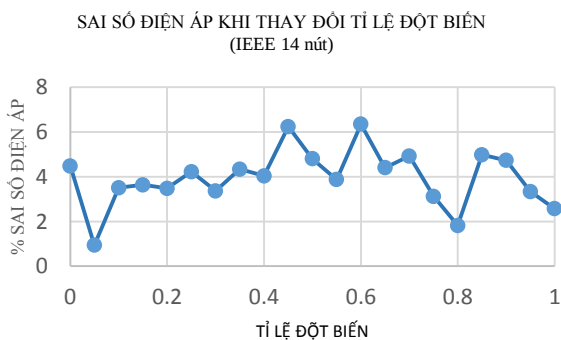
Hình 5 thể hiện sơ đồ của lưới điện IEEE 14 nút. Các thông số của lưới được lấy từ [11].

Sai số lớn nhất của kết quả mô phỏng cho lưới điện IEEE 14 nút tương ứng với 21 giá trị tỉ lệ đột biến được trình bày trong bảng 2 và được vẽ trên hình 6, hình 7.

**Hình 5. Sơ đồ một sơ lưới điện IEEE 14 nút [1]**

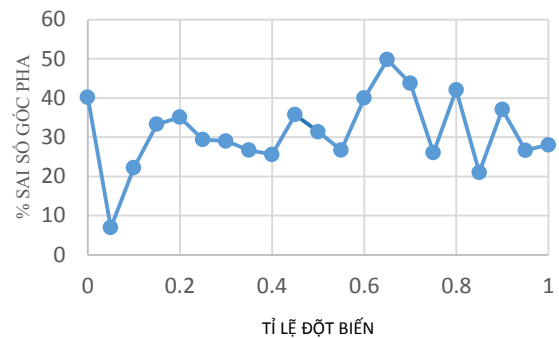
**Bảng 2. Sai số lớn nhất của kết quả ước lượng trạng thái lưới điện IEEE 14 nút**

| STT | Tỉ lệ đột biến | Sai số môđun điện áp lớn nhất (%) | Sai số góc pha điện áp lớn nhất (%) |
|-----|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 0              | 4,48                              | 40,21                               |
| 2   | 0,05           | 0,94                              | 6,91                                |
| 3   | 0,1            | 3,51                              | 22,22                               |
| 4   | 0,15           | 3,63                              | 33,31                               |
| 5   | 0,2            | 3,48                              | 35,11                               |
| 6   | 0,25           | 4,22                              | 29,40                               |
| 7   | 0,3            | 3,36                              | 29,02                               |
| 8   | 0,35           | 4,33                              | 26,68                               |
| 9   | 0,4            | 4,03                              | 25,57                               |
| 10  | 0,45           | 6,24                              | 35,76                               |
| 11  | 0,5            | 4,80                              | 31,38                               |
| 12  | 0,55           | 3,87                              | 26,71                               |
| 13  | 0,6            | 6,34                              | 40,02                               |
| 14  | 0,65           | 4,40                              | 49,82                               |
| 15  | 0,7            | 4,92                              | 43,75                               |
| 16  | 0,75           | 3,12                              | 26,04                               |
| 17  | 0,8            | 1,82                              | 42,08                               |
| 18  | 0,85           | 4,97                              | 21,03                               |
| 19  | 0,9            | 4,73                              | 37,07                               |
| 20  | 0,95           | 3,34                              | 26,64                               |
| 21  | 1              | 2,57                              | 28,05                               |



**Hình 6. Giá trị sai số lớn nhất của môđun điện áp lưới điện IEEE 14 nút**

SAI SỐ GÓC PHA ĐIỆN ÁP KHI THAY ĐỔI TỈ LỆ ĐỘT BIẾN  
(IEEE 14 nút)



**Hình 7. Giá trị sai số lớn nhất của góc pha điện áp lưới điện IEEE 14 nút**

Từ kết quả tính toán ta thấy đối với lưới điện IEEE 14 nút, giá trị ước lượng môđun điện áp có sai số cao nhất khoảng 6,34% ứng với tỉ lệ đột biến 0,6; giá trị ước lượng góc pha điện áp có sai số cao hơn, với sai số lên tới gần 50% khi tỉ lệ đột biến bằng 0,65. Trường hợp tỉ lệ đột biến bằng 0,05 cho kết quả ước lượng trạng thái tốt nhất cả về giá trị môđun điện áp và góc pha điện áp.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ đột biến tới bài toán ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán di truyền cho hai trường hợp lưới điện 5 nút và lưới điện 14 nút. Các kết quả cho thấy khi thay đổi tỉ lệ đột biến từ 0 đến 1, ước lượng trạng thái cho cả hai lưới điện nghiên cứu có kết quả tốt tại giá trị 0,05. Đối với lưới điện 5 nút, khi  $MP = 0,15$ , bài toán cũng có kết quả tốt với sai số nhỏ hơn 2%.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye, *Power System Analysis and Design*, Cengage Learning, 2011.
- [2] Schweppe F.C. and Wildes J., "Power System Static-State Estimation, Part I: Exact Model," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-89, pp. 120-125, 1970.
- [3] Schweppe F.C. and Rom D.B., "Power System Static-State Estimation, Part II: Approximate Model," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-89, pp. 125-130, 1970.
- [4] Schweppe F.C., "Power System Static-State Estimation, Part III: Implementation," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-89, pp. 130-135, 1970.
- [5] Dy Liaco T.E., "The Role and Implementation of State Estimation in an Energy Management System", *International journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 12, no. 2, pp. 75-79, 1990.
- [6] L. Holten, A. Gjelsvik, S. Aam, F.F. Wu and W. -. E. Liu, "Comparison of different methods for state estimation," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vols. 3, no. 4, pp. 1798-1806, 1988.
- [7] A. Monticelli, "Electric Power System State Estimation", *Proceedings of the IEEE*, Vols. 88, no. 2, pp. 262-282, 2000.
- [8] A. Garcia, A. Monticelli, A. Abreu, "Fast Decoupled State Estimation and Bad Data Processing", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-98, no. 5, pp. 1645-1652, 1979.
- [9] H. Dag, F.L. Alvarado, "Toward Improved Uses of the Conjugate Gradient Method for Power System Applications", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. 12, no. 3, pp. 1306-1314, 1997.
- [10] Dhadbanjan, Thukaram & Seshadri Sravan Kumar, V., "Linear Programming Approach for Power System State Estimation Using Upper Bound Optimization Techniques," *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, pp. 11. 10.2202/1553-779X.2464., 2010.
- [11] Trần Thanh Sơn, Đặng Thu Huyền, Kiều Thị Thanh Hoa, "Ảnh hưởng của loại và vị trí phép đo tới kết quả ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán tối ưu bầy đàn," *Tạp chí Khoa học và công nghệ năng lượng - Trường đại học Điện lực*, vol. 19, pp. 1-8, 2018.
- [12] D.H. Tungadio, J.A. Jordaan, M.W. Siti, "Power System State Estimation Solution using Modified Models of PSO Algorithm: Comparative Study", *Measurement*, 2016.
- [13] D.H. Tungadio, Jacobus A. Jordaan, Willy Mukwanga Siti, B.P. Numbi, "Weighted Least Squares and Iteratively Reweighted Least Square Comparison Using Particle Swarm Optimization Algorithm in Solving Power System State Estimation," in *Africon*, Mauritius, 2013.
- [14] D.H. Tungadio, BP Numbi, M.W. Siti, A.A. Jimoh, "Particle Swarm Optimization for Power System State Estimation," *Neurocomputing*, p. 148. 10.1016/j.neucom.2012.10.049., 2014.
- [15] F. Aminifar, C. Lucas, A. Khodaei and M. Fotuhi-Firuzabad, "Optimal Placement of Phasor Measurement Units Using Immunity Genetic Algorithm", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vols. 24, no. 3, pp. 1014-1020, 2009.
- [16] T. Kerdchuen and W. Ongsakul, "Optimal Measurement Placement for Power System State Estimation Using Hybrid Genetic Algorithm and Simulated Annealing", in *International Conference on Power System Technology*, Chongqing, 2006.

- [17] A. Kumar, B. Das and J. Sharma, "Genetic Algorithm-based Meter Placement for Static Estimation of Harmonic Sources," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vols. 20, no. 2, pp. 1088-1096, 2005.
- [18] F. Aminifar, C. Lucas, A. Khodaei and M. Fotuhi-Firuzabad, "Optimal Placement of Phasor Measurement Units Using Immunity Genetic Algorithm", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vols. 24, no. 3, pp. 1014-1020, 2009.
- [19] H.H. Müller and C.A. Castro, "Genetic Algorithm-based Phasor Measurement Unit Placement Method Considering Observability and Security Criteria", *ET Generation, Transmission & Distribution*, Vols. 10, no. 1, pp. 270-280, 2016.
- [20] A.A. Hosam-Eldin, E.N. Abdallah, M.S. El-Nozahy, "A Modified Genetic Based Technique for Solving the Power System State Estimation Problem", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 3, no. 7, 2009.
- [21] Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt, *Practical Genetic Algorithm*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- [22] Pencheva T., Atanassov K., Shannon A., "Modelling of a Roulette Wheel Selection Operator in Genetic Algorithms Using Generalized Nets", *Bioautomation*, vol. 13, pp. 257-264, 2009.
- [23] S.S. Rao, *Engineering Optimization - Theory and Practice*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.
- [24] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, New York: Springer-Verlag, 1994.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Thanh Sơn tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội chuyên ngành hệ thống điện năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện tại Đại học Bách khoa Grenoble, Cộng hoà Pháp năm 2005; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện của Đại học Joseph Fourier - Cộng hoà Pháp năm 2008. Hiện nay tác giả là Trưởng khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: ứng dụng phương pháp số trong tính toán, mô phỏng trường điện từ, các bài toán tối ưu hoá trong hệ thống điện, lưới điện thông minh.



Tác giả Kiều Thị Thanh Hoa tốt nghiệp Trường Đại học Điện lực chuyên ngành kỹ thuật điện năm 2011; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện - chương trình liên kết đào tạo giữa Trường Đại học Điện lực và Đại học Palermo năm 2014. Hiện nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tính toán chế độ hệ thống điện, ước lượng trạng thái hệ thống, điều khiển kết nối nguồn phân tán.

