

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

IMPACT OF MEASUREMENT POSITION AND TYPE ON POWER SYSTEM STATE
ESTIMATION RESULT BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Trần Thanh Sơn, Đặng Thu Huyền, Kiều Thị Thanh Hoa

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 05/01/2019, Ngày chấp nhận đăng: 25/01/2019, Phản biện: TS. Lê Đức Tùng

Tóm tắt:

Bài toán ước lượng trạng thái hệ thống điện sử dụng các thông số đo tại một số điểm trên hệ thống để tính toán ra tất cả các thông số của hệ thống. Đây là một trong các bài toán quan trọng của hệ thống điện. Bài toán này đã và đang được nghiên cứu giải quyết bằng nhiều phương pháp và thuật toán khác nhau. Trong đó có thuật toán tối ưu bầy đàn. Vị trí và loại phép đo trên hệ thống có ảnh hưởng tới kết quả của bài toán. Bài báo này giới thiệu các nghiên cứu về ảnh hưởng của loại và vị trí phép đo đến kết quả ước lượng trạng thái hệ thống điện trên lưới điện IEEE 14 nút.

Từ khóa:

Ước lượng trạng thái hệ thống điện, phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số, thuật toán tối ưu bầy đàn, phương pháp Newton-Raphson, IEEE 14 nút, loại phép đo, vị trí phép đo.

Abstract:

Power system state estimation problem estimate all parameters of power system by using a set of measurement parameters. This is one of important problems in power system analysis and operation. Many research and algorithms are applied for solving the problem. One of them is particle swarm optimization. This paper represents impact of measurement position and type on state estimation results of IEEE 14 bus.

Keywords:

Power system state estimation, weighted least square method, particle swarm optimization, Newton-Raphson method, IEEE 14 bus, measurement type, measurement position.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trạng thái của hệ thống được đặc trưng bởi các thông số cấu trúc, thông số của các phần tử trên hệ thống, dòng công suất, dòng điện đi vào nút, trên đường dây và điện áp tại các nút. Với sự phát triển không ngừng của hệ thống điện về mặt

quy mô và công suất tải, việc xác định trạng thái trực tuyến của hệ thống điện là một bài toán ngày càng trở nên quan trọng và phổ biến vì giúp cho người vận hành biết được hệ thống điện có vận hành an toàn, có khả năng chịu được các sự cố và giữ được ổn định hay không, từ đó đưa ra

các cảnh báo và phương án để vận hành hệ thống điện một cách tối ưu. Để xác định trạng thái của hệ thống điện, cần biết được môđun và góc pha của điện áp tại tất cả các nút. Việc này có thể thực hiện được bằng sử dụng các thiết bị đo đồng bộ pha (PMU) [1]. Tuy nhiên các phép đo có thể có các sai số và do số lượng nút trên hệ thống lớn nên việc lắp đặt các thiết bị đo ở tất cả các nút trên hệ thống là không khả thi. Do đó, bài toán ước lượng trạng thái hệ thống điện có nhiệm vụ thực hiện tính toán toán môđun và điện áp tại tất cả các nút trên cơ sở một số giá trị của các thông số đo được. Mô hình bài toán này đã được Fred Schweppe giới thiệu lần đầu tiên vào năm 1970 [2-4]. Hiện nay đang có rất nhiều các nghiên cứu tập trung vào giải quyết bài toán này, đặc biệt là ứng dụng các phương pháp trí tuệ nhân tạo để giải bài toán ước lượng trạng thái hệ thống điện. Trong đó phải kể đến thuật toán tối ưu hóa bầy đàn. Thuật toán tối ưu bầy đàn là một dạng của các thuật toán tiến hóa quần thể. Thuật toán được giới thiệu vào năm 1995 bởi James Kennedy và Russell C. Eberhart dựa trên nghiên cứu về việc di chuyển của đàn chim khi tìm kiếm thức ăn. Thuật toán này bắt đầu bằng một nhóm cá thể được khởi tạo ngẫu nhiên và sau đó nghiệm tối ưu được tìm thấy thông qua việc cập nhật các thể hệ [5]. Ứng dụng thuật toán vào ước lượng trạng thái hệ thống điện, trên cơ sở các giá trị đo được, thuật toán thực hiện khởi tạo một tập quần thể và tính toán tạo ra một quần thể mới có chất lượng tốt hơn [6,7]. Loại và vị trí đặt phép đo có ảnh hưởng tới tổng số bước lặp và kết quả tính toán của thuật toán. Bài báo này tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của loại và vị trí

đặt phép đo công suất nút trên lưới điện IEEE 14 nút tới kết quả ước lượng trạng thái của lưới khi sử dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn.

Bài báo gồm các phần sau:

- Phần 2 giới thiệu ứng dụng thuật toán tối ưu bầy đàn để ước lượng trạng thái hệ thống điện;
- Phần 3 giới thiệu về các nghiên cứu ảnh hưởng của loại và vị trí đặt phép đo công suất nút trên lưới điện IEEE 14 nút tới kết quả ước lượng trạng thái khi sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn;
- Phần 4 là một số kết luận.

2. ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG THUẬT TOÁN TỐI ƯU BẦY ĐÀN

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

$$\text{cov}(e) = E[ee^T] = R = \text{diag}\{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2\} \quad (1)$$

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:

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

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 hóa hàm mục tiêu sau [2-4]:

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

Để tính đến các điều kiện ràng buộc, ta sử dụng 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 λ là hệ số phạt.

Thuật toán tối ưu bầy đàn bắt đầu bằng một nhóm cá thể. Nhóm cá thể này sẽ được "bay" trong "không gian tìm kiếm" để tìm ra tất cả các phương án tối ưu. Trong mỗi thế hệ, mỗi cá thể được kết nối và có thể lấy thông tin từ mọi cá thể khác trong nhóm cá thể [5-7]. Một cá thể i được đặc trưng bởi 3 vector:

- Vị trí của nó trong miền không gian tìm kiếm D : vector $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$;
- Vị trí tốt nhất của cá thể i : $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$;
- Vận tốc của cá thể i : $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$.

Toàn bộ nhóm cá thể được cập nhật tại từng thế hệ bằng cách cập nhật vận tốc và vị trí của từng cá thể theo công thức sau:

$$\begin{aligned} v_{id} &= \omega \cdot v_{id} + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id} - x_{id}) + \\ &+ c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{gd} - x_{id}) \\ x_{id} &= x_{id} + v_{id} \end{aligned} \quad (7)$$

Trong đó:

- v_{id} : vận tốc của cá thể;
- ω : trọng số quán tính;
- c_1, c_2 : hệ số gia tốc;
- r_1, r_2 : số ngẫu nhiên lấy trong khoảng $(0,1)$;
- x_{id} : vị trí cá thể;
- p_{id} : vị trí tốt nhất của cá thể;
- p_{gd} : vị trí tốt nhất của tập cá thể.

Trong ước lượng trạng thái hệ thống điện, các biến trạng thái x là góc pha θ 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:

$$\begin{aligned} P_i &= U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_i &= U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{aligned} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} P_{ij} &= U_i^2 (g_{ij} + g_{si}) - U_i U_j (g_{ij} \cos \theta_{ij} + b_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_{ij} &= -U_i^2 (b_{ij} + b_{si}) - U_i U_j (g_{ij} \sin \theta_{ij} + b_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{aligned} \quad (9)$$

Đo môđun và góc pha điện áp:

$$\begin{aligned} U_i &= U_i \\ \theta_i &= \theta_i \end{aligned} \quad (10)$$

Đo dòng điện trên nhánh ij :

$$I_{ij} = \sqrt{(g_{ij}^2 + b_{ij}^2) (U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos \theta_{ij})} \quad (11)$$

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 .

Các bước ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán tối ưu bầy đàn.

Bước 1: Khởi tạo tập cá thể: vị trí cá thể được khởi tạo bằng cách lấy giá trị ngẫu nhiên trong giới hạn cho phép của biến trạng thái; vận tốc cá thể được khởi tạo ban đầu bằng 0.

Bước 2: Tính giá trị hàm mục tiêu, tìm giá trị tốt nhất của cá thể p_{id} và tốt nhất của tập cá thể p_{gd} .

Bước 3: Cập nhật giá trị vận tốc và vị trí của các cá thể trong quần thể theo công thức (7).

Bước 4: Kiểm tra điều kiện giới hạn của biến trạng thái theo các ràng buộc.

Bước 5: Cập nhật giá trị tốt nhất của cá thể p_{id} và tốt nhất của tập cá thể p_{gd} .

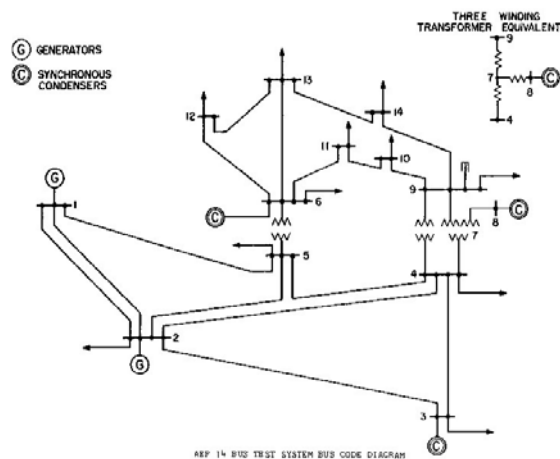
Bước 6: Kiểm tra điều kiện dừng lặp. Nếu 1 trong 2 điều kiện sau đạt được thì dừng lặp.

- Điều kiện 1: Số bước lặp tối đa;
- Điều kiện 2: 10 giá trị sai số liên tiếp giữa kết quả bước sau và bước trước nhỏ hơn giá trị cho phép.

Để xét ảnh hưởng của tổng số phép đo và loại phép đo tới kết quả ước lượng trạng thái, thuật toán trên đã được nhóm tác giả lập trình thành chương trình.

3. ẢNH HƯỞNG CỦA LOẠI VÀ VỊ TRÍ ĐẶT PHÉP ĐO TỚI KẾT QUẢ ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI CỦA THUẬT TOÁN TỐI ƯU BẦY ĐÀN

Để xét ảnh hưởng của loại phép đo và vị trí đặt của chúng tới kết quả ước lượng trạng thái của thuật toán tối ưu bầy đàn, ta thực hiện tính toán ước lượng trạng thái lưới điện IEEE 14 nút như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ một sợi lưới điện IEEE 14 nút

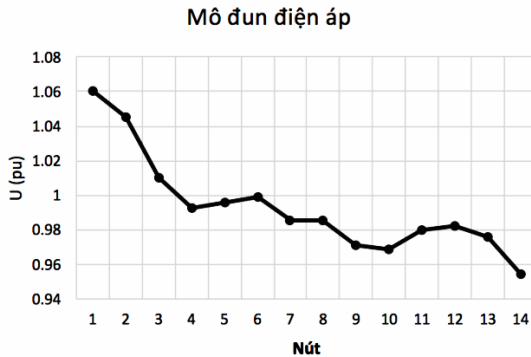
Các thông số của thuật toán ước lượng trạng thái hệ thống điện theo thuật toán bầy đàn được lấy như sau:

- Số bước lặp lớn nhất: 50000 bước;
- Số cá thể trong một quần thể: 40 cá thể;
- Trọng số quán tính: $\omega = 0,729$;
- Hệ số gia tốc: $c_1 = c_2 = 1,49445$;
- r_1, r_2 : lấy giá trị ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$.

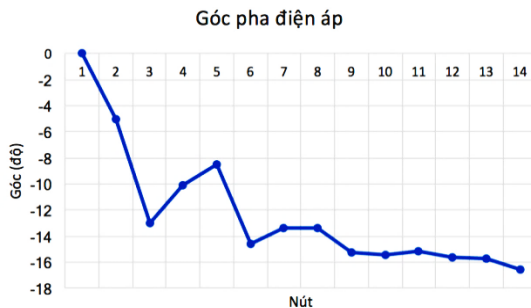
Các tính toán được thực hiện cho 28 phép đo. Trong đó có 01 phép đo môđun điện áp nút, còn lại 27 phép đo là đo công suất tác dụng và phản kháng nút. Cụ thể ta có 28 trường hợp như sau:

- Trường hợp 14 phép đo công suất tác dụng nút tại 14 nút, 13 phép đo công suất phản kháng nút tại 13 nút và 01 phép đo môđun điện áp tại nút 1. Do có 14 nút nên ta sẽ có 14 cách đặt 13 phép đo công suất phản kháng nút.
- Trường hợp 13 phép đo công suất tác dụng nút, 14 phép đo công suất phản kháng nút và 01 phép đo môđun điện áp tại nút 1. Do có 14 nút nên ta sẽ có 14 cách đặt 13 phép đo công suất tác dụng nút.

Để kiểm tra được độ chính xác của các trường hợp ta thực hiện so sánh kết quả của từng trường hợp với kết quả tính toán chính xác mà nhóm tác giả tính toán bằng phương pháp Newton-Raphson (hình 2 và 3).



Hình 2. Giá trị chính xác của mô đun điện áp tại các nút sử dụng làm tham chiếu



Hình 3. Giá trị chính xác của góc pha điện áp tại các nút sử dụng làm tham chiếu

Thực hiện cho tính toán cho trường hợp 14 phép đo công suất tác dụng nút, 13 phép đo công suất phản kháng nút và 01 phép đo mô đun điện áp tại nút 1, ta có kết quả sai số của mô đun điện áp và góc pha điện áp lần lượt như trong bảng 1 và 2.

Bảng 1 cho ta thấy nếu bỏ phép đo công suất phản kháng tại nút 5 thì sẽ gây ra sai số lớn nhất (2,21% tại nút 14), tức phép đo này có ảnh hưởng nhiều nhất tới kết quả ước lượng mô đun điện áp. Trong khi đó nếu bỏ phép đo công suất phản kháng

tại nút 8 thì sai số là nhỏ nhất. Như vậy phép đo công suất phản kháng tại nút 8 có ảnh hưởng ít nhất tới kết quả ước lượng mô đun điện áp.

Bảng 1. Sai số của mô đun điện áp tại các nút (%) trong các trường hợp không đo Q tại lần lượt 14 nút

Nút bỏ đo Q	Nút 1	Nút 2	Nút 3	Nút 4	Nút 5	Nút 6	Nút 7
14	0,30	0,30	0,31	0,29	0,29	0,16	0,20
13	1,31	1,34	1,43	1,44	1,42	1,28	1,47
12	0,74	0,76	0,80	0,81	0,79	0,65	0,81
11	0,74	0,75	0,80	0,80	0,78	0,68	0,76
10	0,65	0,67	0,71	0,70	0,70	0,66	0,64
9	0,28	0,28	0,30	0,30	0,30	0,31	0,29
8	0,26	0,26	0,27	0,23	0,24	0,15	0,05
7	0,57	0,57	0,60	0,60	0,61	0,64	0,54
6	1,06	1,09	1,16	1,17	1,14	1,03	1,21
5	1,62	1,67	1,78	1,80	1,73	2,03	2,00
4	1,15	1,17	1,22	1,19	1,21	1,11	1,11
3	0,36	0,36	0,36	0,39	0,39	0,40	0,41
2	1,12	1,13	1,25	1,33	1,34	1,39	1,29
1	1,39	1,45	1,55	1,57	1,56	1,55	1,57
Nút bỏ đo Q	Nút 8	Nút 9	Nút 10	Nút 11	Nút 12	Nút 13	Nút 14
14	0,21	0,13	0,14	0,16	0,14	0,10	0,15
13	1,47	1,47	1,47	1,39	1,23	1,18	1,40
12	0,81	0,81	0,80	0,73	0,48	0,65	0,77
11	0,76	0,74	0,68	0,54	0,71	0,73	0,77
10	0,64	0,60	0,51	0,59	0,68	0,69	0,67
9	0,29	0,28	0,29	0,31	0,32	0,32	0,31
8	0,18	0,10	0,11	0,14	0,15	0,14	0,12
7	0,54	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67	0,66
6	1,21	1,23	1,21	1,13	1,08	1,11	1,22
5	2,01	2,09	2,12	2,10	2,12	2,14	2,21
4	1,06	1,09	1,07	1,07	1,13	1,14	1,13
3	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43
2	1,18	1,33	1,34	1,38	1,50	1,49	1,49
1	1,54	1,61	1,59	1,56	1,57	1,60	1,64

Bảng 2. Sai số của góc pha điện áp tại các nút (%) trong các trường hợp không đo Q tại lần lượt 14 nút

Nút bỏ đo Q	Nút 2	Nút 3	Nút 4	Nút 5	Nút 6	Nút 7
14	0,72	0,68	0,91	0,94	1,04	1,07
13	2,63	2,70	2,77	2,81	2,79	2,74
12	1,50	1,50	1,58	1,66	1,70	1,59
11	1,50	1,55	1,69	1,66	1,66	1,67
10	1,38	1,39	1,56	1,54	1,51	1,76
9	0,56	0,58	0,60	0,59	0,57	0,61
8	0,70	0,62	0,89	0,93	0,99	1,20
7	1,16	1,19	1,23	1,19	1,19	1,29
6	2,06	2,17	2,20	2,27	2,24	2,14
5	3,20	3,27	3,34	3,48	3,54	3,43
4	2,63	2,52	3,11	3,14	3,42	3,60
3	0,70	0,80	0,78	0,79	0,83	0,82
2	3,31	2,78	3,91	3,95	5,38	5,65
1	2,74	2,92	3,06	3,01	3,07	3,26

Nút bỏ đo Q	Nút 8	Nút 9	Nút 10	Nút 11	Nút 12	Nút 13	Nút 14
14	1,14	1,05	1,07	1,08	1,10	1,20	1,55
13	2,74	2,72	2,72	2,74	2,87	3,09	2,86
12	1,59	1,56	1,57	1,61	2,14	1,71	1,62
11	1,67	1,67	1,76	1,99	1,66	1,67	1,65
10	1,85	1,71	1,85	1,70	1,50	1,54	1,64
9	0,61	0,62	0,61	0,59	0,57	0,58	0,60
8	1,29	1,14	1,17	1,12	1,03	1,01	1,14
7	1,29	1,29	1,28	1,23	1,22	1,23	1,24
6	2,14	2,16	2,17	2,21	2,25	2,22	2,17
5	3,43	3,51	3,50	3,50	3,53	3,57	3,55
4	3,94	3,51	3,61	3,69	3,49	3,50	3,62
3	0,82	0,84	0,83	0,85	0,85	0,87	0,86
2	6,17	5,70	5,99	5,91	5,58	5,65	5,97
1	3,34	3,21	3,24	3,19	3,13	3,13	3,24

Bảng 2 cho ta thấy phép đo công suất phản kháng tại nút 2 có ảnh hưởng nhiều

nhất tới độ chính xác của góc pha điện áp. Nếu bỏ phép đo công suất phản kháng tại nút 2 thì sẽ gây ra sai số lớn nhất cho góc pha điện áp là 6,17%. Trong khi đó phép đo công suất phản kháng tại nút 9 ảnh hưởng ít nhất tới độ chính xác của góc pha điện áp.

Thực hiện cho tính toán cho trường hợp 14 phép đo công suất phản kháng nút, 13 phép đo công suất tác dụng nút và 01 phép đo môđun điện áp tại nút 1, ta có kết quả sai số của môđun điện áp và góc pha điện áp lần lượt như trong bảng 3 và 4.

Bảng 3. Sai số của môđun điện áp tại các nút (%) trong các trường hợp không đo P tại lần lượt 14 nút

Bỏ Q tại nút	Nút 1	Nút 2	Nút 3	Nút 4	Nút 5	Nút 6	Nút 7
14	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21	0,08	0,13
13	1,21	1,23	1,30	1,32	1,32	1,28	1,25
12	0,47	0,48	0,50	0,50	0,51	0,51	0,41
11	0,56	0,57	0,60	0,62	0,61	0,62	0,63
10	2,03	2,08	2,20	2,23	2,21	2,19	2,21
9	0,36	0,37	0,37	0,41	0,40	0,27	0,42
8	1,06	1,10	1,15	1,25	1,21	1,35	1,39
7	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,59	0,61	0,65	0,67	0,65	0,67	0,68
5	0,91	0,94	0,99	1,01	0,99	1,00	1,00
4	1,38	1,42	1,50	1,52	1,52	1,55	1,55
3	1,16	1,19	1,23	1,30	1,30	1,35	1,34
2	0,50	0,48	0,55	0,60	0,60	0,41	0,47
1	0,66	0,78	0,83	0,86	0,85	0,43	0,53

Bỏ Q tại nút	Nút 8	Nút 9	Nút 10	Nút 11	Nút 12	Nút 13	Nút 14
14	0,10	0,10	0,08	0,06	0,07	0,11	0,24
13	1,21	1,26	1,25	1,25	1,30	1,38	1,33
12	0,37	0,40	0,40	0,44	0,66	0,53	0,45
11	0,62	0,65	0,65	0,63	0,63	0,65	0,67
10	2,16	2,25	2,25	2,21	2,20	2,24	2,30

9	0,41	0,40	0,38	0,33	0,25	0,29	0,36
8	1,39	1,46	1,48	1,43	1,36	1,41	1,50
7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,67	0,69	0,69	0,68	0,68	0,70	0,71
5	0,98	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,07
4	1,52	1,59	1,59	1,57	1,58	1,60	1,64
3	1,31	1,38	1,38	1,37	1,38	1,40	1,44
2	0,42	0,43	0,42	0,42	0,45	0,45	0,47
1	0,43	0,44	0,41	0,41	0,46	0,45	0,46

Kết quả sai số ở bảng 3 cho thấy phép đo công suất tác dụng tại nút 10 giữ vai trò quan trọng, nếu bỏ phép đo này đi thì sẽ gây ra sai số lớn nhất cho môđun điện áp (2,3% tại nút 14). Trong khi đó nếu bỏ phép đo công suất tác dụng tại nút 7 thì sẽ gây ra sai số nhỏ nhất cho môđun điện áp tại các nút.

Bảng 4. Sai số của góc pha điện áp tại các nút (%) trong các trường hợp không đo P tại lần lượt 14 nút

Bộ Q tại nút	Nút 2	Nút 3	Nút 4	Nút 5	Nút 6	Nút 7	Nút 8
14	0,59	0,44	1,01	1,13	1,58	1,37	1,33
13	2,63	2,52	2,88	3,01	3,77	3,09	3,04
12	1,16	1,02	1,35	1,46	2,09	1,46	1,37
11	1,16	1,15	1,18	1,19	1,15	1,20	1,20
10	4,10	4,11	4,31	4,35	4,40	4,45	4,41
9	1,04	0,84	1,63	1,73	2,71	2,61	2,44
8	2,18	2,21	2,49	2,40	2,32	3,60	5,27
7	0,14	0,13	0,15	0,12	0,13	0,13	0,13
6	1,16	1,24	1,23	1,19	1,07	1,20	1,20
5	1,84	1,94	2,03	1,87	2,36	2,36	2,44
4	2,74	2,83	2,77	2,81	2,95	2,96	2,96
3	2,29	1,94	2,49	2,54	2,87	2,83	2,87
2	0,25	1,90	3,28	3,48	5,18	4,88	5,35
1	6,82	5,26	7,72	8,24	9,61	9,67	10,44
Bộ Q tại nút	Nút 9	Nút 10	Nút 11	Nút 12	Nút 13	Nút 14	
14	1,56	1,57	1,61	1,77	1,85	2,66	

13	3,21	3,32	3,57	4,12	4,30	3,66	
12	1,56	1,65	1,87	2,83	2,25	1,86	
11	1,18	1,20	1,16	1,18	1,19	1,21	
10	4,49	4,58	4,55	4,48	4,48	4,62	
9	3,17	3,17	3,08	2,94	2,87	3,00	
8	3,14	2,98	2,63	2,25	2,36	2,76	
7	0,16	0,16	0,14	0,15	0,14	0,13	
6	1,22	1,20	1,16	1,14	1,16	1,21	
5	2,42	2,50	2,51	2,50	2,47	2,52	
4	2,99	3,02	3,01	3,02	3,02	3,07	
3	2,87	2,91	2,93	2,98	2,95	2,97	
2	4,91	5,21	5,50	5,66	5,50	5,42	
1	9,43	9,92	10,25	10,32	10,03	9,91	

Bảng 4 cho thấy việc đo công suất tác dụng tại nút 1 có ảnh hưởng lớn tới sai số của kết quả ước lượng góc pha điện áp tại các nút. Giá trị sai số lớn nhất đạt tới 10,25%. Phép đo công suất tác dụng tại nút 7 có ít ảnh hưởng tới sai số của góc pha điện áp. Nếu bỏ phép đo này đi thì chỉ gây ra sai số lớn nhất là 0,16%.

4. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của các loại phép đo công suất tác dụng và công suất phản kháng nút tại các vị trí khác nhau trên lưới điện IEEE 14 nút tới kết quả ước lượng môđun và góc pha điện áp bằng thuật toán tối ưu bầy đàn. Kết quả tính toán cho thấy với 28 phép đo thì phép đo công suất phản kháng nút tại nút 5 và công suất tác dụng nút tại nút 10 ảnh hưởng lớn tới việc ước lượng môđun của điện áp. Phép đo công suất phản kháng nút tại nút 2 và công suất tác dụng nút tại nút 1 có ảnh hưởng lớn tới giá trị ước lượng góc pha điện áp tại các nút. Các phép đo công suất tác dụng và phản kháng nút tại các nút 7, 8 và 9 có ảnh hưởng nhỏ nhất tới kết quả ước lượng môđun và góc pha của điện áp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE Guide for Synchronization, Calibration, Testing, and Installation of Phasor Measurement Units (PMUs) for Power System Protection and Control," in *IEEE PC37.242/D12, December 2012*, vol., no., pp.1-124, 6 March 2013.
- [2] Schweppe F.C. and Wildes J., "Power System Static-State Estimation, Part I: Exact Model", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-89, 1970, pp.120-125.
- [3] Schweppe F.C. and Rom D.B., "Power System Static-State Estimation, Part II: Approximate Model", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-89, 1970, pp.125-130.
- [4] Schweppe F.C., "Power System Static-State Estimation, Part III: Implementation", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-89, 1970, pp.130-135.
- [5] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, 1995, pp. 1942-1948 vol.4.
- [6] D. Bratton and J. Kennedy, "Defining a Standard for Particle Swarm Optimization," *2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium*, Honolulu, HI, 2007, pp. 120-127.
- [7] D.H. Tungadio, B.P. Numbi, M.W. Siti and J.A. Jordaan, "Weighted least squares and iteratively reweighted least squares comparison using Particle Swarm Optimization algorithm in solving power system state estimation," *2013 Africon*, Pointe-Aux-Piments, 2013, pp. 1-6.

Gới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Thanh Sơn tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội chuyên ngành hệ thống điện năm 2004. Năm 2005 nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Grenoble, Cộng hoà Pháp. Năm 2008 nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện của Trường Đại học Joseph Fourier - Cộng hoà Pháp. 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 hóa trong hệ thống điện, lưới điện thông minh.



Tác giả Đặng Thu Huyền tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2003; nhận bằng Thạc sĩ năm 2006 và Tiến sĩ năm 2010 tại Học Viện Bách khoa Grenoble (INPG), Cộng hòa Pháp chuyên ngành kỹ thuật điện. Hiện nay tác giả là Phó Trưởng Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tính toán hệ thống điện, kỹ thuật điện cao áp, vật liệu điện.



Tác giả Kiều Thị Thanh Hoa tốt nghiệp Trường Đại học Điện lực 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 Trường Đại học Palermo năm 2014. Hiện 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.

