

State estimation of Binh Dinh power system

Nguyen Xuan Tham¹, Le Tuan Ho^{1,*}

¹*Faculty of Engineering and Technology, Quy Nhon University*

Received: 03/07/2019; Accepted: 03/08/2019

ABSTRACT

Nowadays, SCADA/EMS is integrated into modern power systems in order to supervise, measure, collect data and control the remote devices at the automation stations. However, these collected state data from measurement devices always have some specific errors. Therefore, the main purpose of this paper is to implement the power system state estimation algorithm by using weighted least square method. This algorithm was proposed to estimate the operating status parameter of Binh Dinh transmission power system by using Matlab software. The final results were compared with the practical parameter collected data from SCADA/EMS system.

Keywords: *Binh Dinh power system, weighted least square method, state estimation.*

**Corresponding author.*
Email: tuanhole@qnu.edu.vn

Ước lượng trạng thái vận hành lưới điện tỉnh Bình Định

Nguyễn Xuân Thâm¹, Lê Tuấn Hộ^{1,*}

¹Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

Ngày nhận bài: 03/07/2019; Ngày nhận đăng: 03/08/2019

TÓM TẮT

Ngày nay, hầu hết các hệ thống điện hiện đại sử dụng hệ thống tích hợp SCADA/EMS để giám sát, đo đạc, thu thập dữ liệu và điều khiển các thiết bị tại các trạm không có người trực. Tuy nhiên, các thông số trạng thái vận hành thu thập được tại các trung tâm này từ các thiết bị đo luôn có những sai số nhất định. Vì vậy, mục tiêu của bài báo này là nghiên cứu và xây dựng thuật toán ước lượng trạng thái hệ thống điện sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số. Thuật toán này được áp dụng để ước lượng các thông số trạng thái vận hành của lưới điện truyền tải tỉnh Bình Định bằng cách sử dụng phần mềm Matlab. Các kết quả ước lượng của mô đun và góc pha điện áp được so sánh với các thông số thực tế thu thập được từ hệ thống SCADA/EMS.

Từ khóa: Lưới điện tỉnh Bình Định, phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số, ước lượng trạng thái.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống điện đóng một vai trò rất quan trọng trong sự phát triển của nền kinh tế và đảm bảo an ninh của Quốc gia. Vì vậy, đảm bảo chất lượng điện năng là một việc được chú trọng trong công tác vận hành hệ thống điện, đặc biệt là hệ thống truyền tải điện. Trung tâm điều khiển từ xa là nơi thực hiện các chức năng như giám sát, đo đạc, thu thập các dữ liệu và điều khiển các thiết bị tại các trạm không có người trực. Do đó, thu thập các thông số của trạng thái vận hành yêu cầu phải có độ chính xác cao đảm bảo độ tin cậy và an toàn trong suốt quá trình vận hành.

Các thông tin này được đo đạc thông qua hệ thống SCADA tại các trung tâm điều khiển từ xa theo quy trình như Hình 1. Trong đó, CT (current transformer) là máy biến dòng điện, IED (Intelligent electronic device), và EMS (energy management system) là hệ thống quản lý năng lượng. Hệ thống SCADA thường được

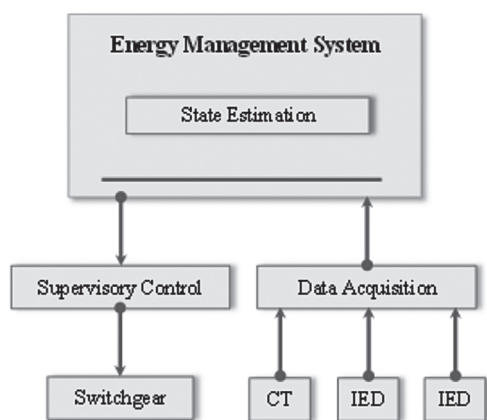
sử dụng để thu thập các dữ liệu vận hành và điều khiển, giám sát hệ thống từ xa. Hệ thống EMS được định nghĩa là một hệ thống gồm tất cả các công cụ sử dụng máy tính trong việc theo dõi, kiểm soát tối ưu hóa và hiệu suất của việc phát và/hoặc hệ thống truyền tải. Các dữ liệu thu thập được từ các thiết bị điện thông minh, các máy biến dòng đưa đến hệ thống EMS để ước lượng trạng thái vận hành của hệ thống điện; từ đó, đưa đến các thiết bị chuyển mạch thông qua bộ điều khiển giám sát. Tuy nhiên, số liệu thu thập được tại các Trung tâm này từ các máy đo luôn có những sai số nhất định. Những sai số này bao gồm có 2 yếu tố chính: sai số của máy đo và sai số do đường truyền. Chính vì những điều này cần phải ước lượng các thông số vận hành của lưới điện để phát hiện ra những dữ liệu xấu và loại bỏ chúng ra khỏi quá trình tính toán. Khi đó việc ước lượng thông số trạng thái các dữ liệu thu thập được (sau khi loại bỏ dữ liệu xấu) giúp cho các điều độ viên có những thông tin đúng

*Tác giả liên hệ chính.

Email: tuanhole@qnu.edu.vn

đến về trạng thái các thiết bị đang vận hành trong hệ thống điện; từ đó, có thể đưa ra các quyết định trong việc điều chỉnh công suất của lưới, tái cấu trúc lưới điện, và vận hành kinh tế lưới điện. Các phương pháp ước lượng dựa trên các thuật toán khác nhau được khảo sát trong các nghiên cứu trước đây.¹⁻³ Trạng thái vận hành của các hệ thống điện có phối hợp với các thiết bị điều khiển khác nhau cũng được ước lượng và trình bày qua các nghiên cứu trước đây.⁴⁻⁶ Một số ví dụ điển hình về ước lượng trạng thái vận hành của các nước Trung Quốc và Cameroon được trình bày trong các nghiên cứu trước đây.^{7,8} Ngoài ra, một số ví dụ về ước lượng trạng thái vận hành của một số phần của hệ thống điện Việt Nam được nghiên cứu trong các tài liệu trước đây.^{9,10}

Tuy nhiên, hiện tại chưa có công trình khoa học nào được thực hiện để ước lượng thông số trạng thái vận hành của lưới điện Bình Định. Do đó, mục tiêu của bài báo này là xây dựng thuật toán ước lượng trạng thái vận hành lưới điện truyền tải Bình Định dựa trên phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số. Các kết quả ước lượng từ thuật toán được so sánh với các kết quả đo đạc từ thực tế vận hành của lưới điện truyền tải Bình Định.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống SCADA/EMS

2. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP BÌNH PHƯƠNG CỰC TIỂU CÓ TRỌNG SỐ TRONG ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI BÌNH ĐỊNH

2.1. Tổng quan về phương pháp

Phương pháp này được trình bày trong các tài liệu tham khảo^{11,12} và được mô tả lại như sau:

Gọi $\mathbf{x}$ là vector gồm n trạng thái cần ước lượng ($x_1, \dots, x_p, \dots, x_n$), $\mathbf{z}$ là vector gồm m các đại lượng đo được ($z_1, \dots, z_p, \dots, z_m$). Khi đo $\mathbf{z}$, ta thường gặp phải các sai số $\mathbf{e}$ ($e_1, \dots, e_p, \dots, e_m$) nào đó và ta biểu diễn số đo nhận được qua phương trình:

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \mathbf{e} \quad (1)$$

trong đó: $\mathbf{h} = [h_1, \dots, h_p, \dots, h_m]$; sai số của các phép đo $\mathbf{e}$ là một đại lượng ngẫu nhiên và trong tính toán thường giả thiết các sai số này là độc lập nhau và tuân theo hàm phân phối chuẩn với giá trị trung bình bằng không và có phương sai là hằng số $e_i \sim N(0, \sigma_i^2)$. Vì các phương sai này độc lập nhau nên ma trận hiệp phương sai chỉ gồm các thành phần nằm trên đường chéo chính (các thành phần nằm ngoài đường chéo chính bằng không) và được biểu diễn $\mathbf{R} = \text{diag}\{\sigma_1^2, \dots, \sigma_i^2, \dots, \sigma_m^2\}$. Để ước lượng các biến trạng thái $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_p, \dots, x_n]$, phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số thường được sử dụng dùng để cực tiểu hóa hàm mục tiêu sau:

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{(z_i - h_i(\mathbf{x}))^2}{\sigma_i^2} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})]$$

Bài toán cực tiểu hóa hàm mục tiêu dẫn đến:

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \frac{\partial J(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{H}(\mathbf{x})^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})] = 0 \quad (3)$$

trong đó ma trận Jacobian $\mathbf{H}(\mathbf{x}) = \frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}$

Bỏ qua các thành phần bậc cao trong khai triển chuỗi Taylor sẽ dẫn đến phương trình lặp tại bước lặp k :

$$\mathbf{G}(\mathbf{x}^k) \Delta \mathbf{x}^k = \mathbf{G}(\mathbf{x}^k) (\mathbf{x}^{k+1} - \mathbf{x}^k) \quad (4)$$

$$= \mathbf{H}(\mathbf{x}^k)^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x}^k)]$$

trong đó ma trận độ lợi:

$\mathbf{G}(\mathbf{x}^k) = \mathbf{H}(\mathbf{x}^k)^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}(\mathbf{x}^k)$ và ma trận trọng số $\mathbf{W} = \mathbf{R}^{-1}$. Phương trình (4) được gọi là phương trình chuẩn của bài toán ước lượng trạng thái bằng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số.

2.2. Ứng dụng phương pháp vào hệ thống điện áp

Trong hệ thống điện, các thiết bị đo đếm xa RTU thường đo các thông số công suất tác dụng và công suất phản kháng nút (P_i và Q_i), dòng công suất tác dụng và công suất phản kháng trên các nhánh (P_{ij} và Q_{ij}), môđun và góc pha điện áp các nút (V_i và δ_i). Các phương trình dòng công suất được biểu diễn như sau:

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (5)$$

$$Q_i = - \left\{ |V_i|^2 B_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \right\} \quad (6)$$

$$P_{ij} = -|V_i|^2 G_{ij} + |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (7)$$

$$Q_{ij} = - \left\{ |V_i|^2 \left(\frac{B'_{ij}}{2} - B_{ij} \right) + |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right\} \quad (8)$$

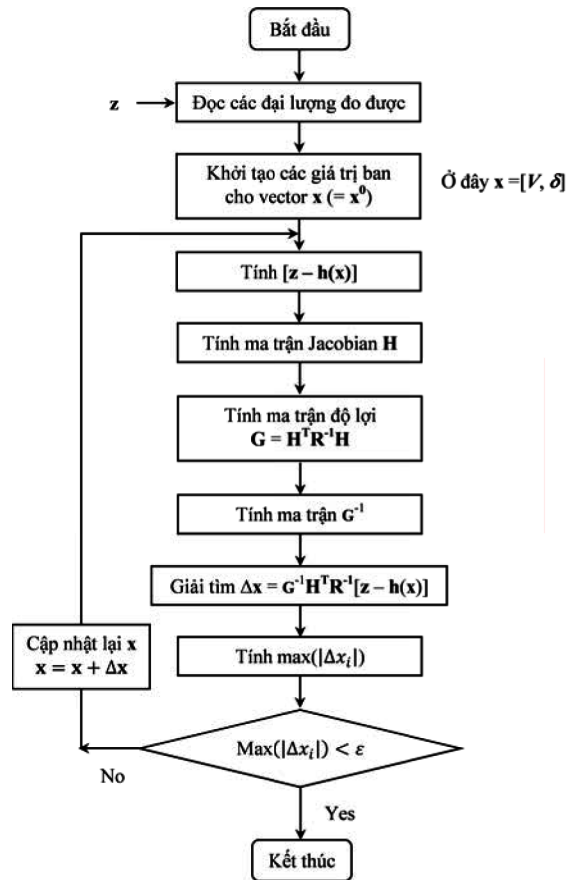
trong đó: G_{ii} và B_{ii} lần lượt là phần thực và phần ảo của tổng dẫn nút i ; G_{ij} và B'_{ij} lần lượt là phần thực và phần ảo của tổng dẫn nhánh ij ; Y_{ik} là tổng dẫn của nhánh ik ; và θ_{ik} là góc ban đầu của nhánh ik .

Ma trận Jacobian trong công thức (3) ứng dụng cho hệ thống điện được biểu diễn như sau:

$$\mathbf{H}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i}{\partial \delta} & \frac{\partial P_i}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{ij}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_i}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V} \\ \frac{\partial V}{\partial \delta} & \frac{\partial V}{\partial V} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Ứng dụng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số để ước lượng trạng thái hệ thống

điện, ta có thuật toán được trình bày trên Hình 2 như sau:



Hình 2. Thuật toán bình phương cực tiểu có trọng số

2.3. Lưới điện truyền tải tỉnh Bình Định

Bài báo này khảo sát lưới điện truyền tải tỉnh Bình Định tính đến tháng 05 năm 2019 được mô tả ở Hình 3. Lưới điện truyền tải tỉnh Bình Định bao gồm các nhà máy điện, trạm biến áp, đường dây,... vận hành ở cấp điện áp 220kV và 110kV, trong đó có 2 nút có cấp điện áp 220kV làm nhiệm vụ chuyển tải công suất đó là trạm 220kV Quy Nhơn vận hành năm 1994 và trạm 220kV Phù Mỹ vận hành năm 2017. Riêng đối với trạm 220kV Phước An thực hiện nhiệm vụ như là một trạm cắt nên không xét trong trường hợp này. Ngoài ra, trong lưới điện truyền tải tỉnh Bình Định còn có 17 nút có cấp điện áp 110kV. Các thông số đường dây, khoảng cách giữa các pha, vị trí các trạm cũng được minh họa như trên Hình 3.

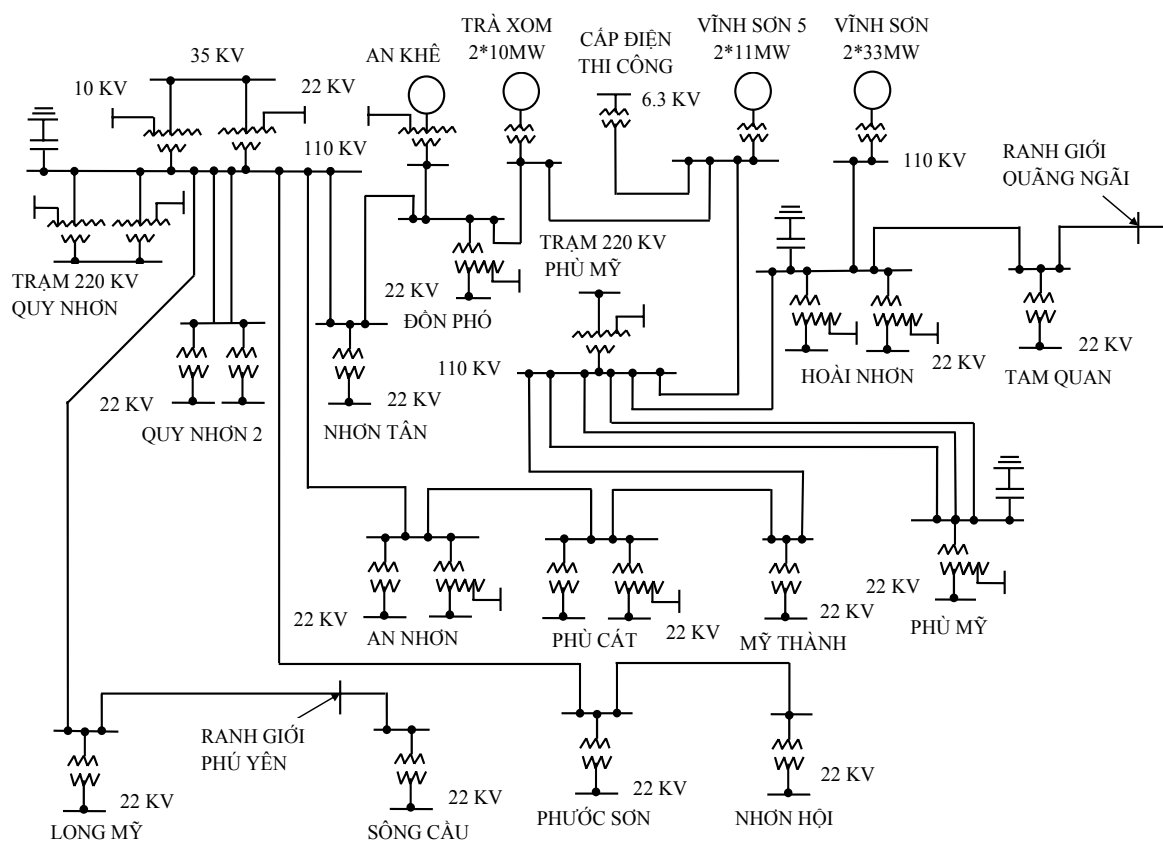
3. KẾT QUẢ

Các thông số của lưới điện truyền tải Bình Định bao gồm thông số của các nhánh và công suất tác dụng, công suất phản kháng tại các nút; công suất tác dụng, công suất phản kháng truyền tải trên các nhánh, điện áp và góc pha của các nút đều được thu thập từ các thiết bị đo đếm xa RTU. Để thực hiện ước lượng các thông số trạng thái vận hành thì tất cả các thông số của lưới điện truyền tải Bình Định đều được tính toán theo phương pháp tính toán trong hệ đơn vị tương đối (pu) gần đúng. Kết quả về dữ liệu về các nhánh được trình bày ở Bảng 1. Bảng 1 chỉ liên kết từ nút này đến nút kia và các thông số R, X, B/2 tương ứng của nhánh đó.

Bảng 2 mô tả dữ liệu tại các nút. Trong

Bảng 2, nút loại 1, 2, 3 lần lượt ký hiệu cho các loại nút chuẩn (slack bus), nút phụ tải (nút PQ), và nút máy phát (PV). Bảng 3 mô tả các dữ liệu đo được của lưới truyền tải Bình Định. Trong Bảng 3, loại đo được 1, 2, 3, 4 và 5 lần lượt ký hiệu cho điện áp, công suất tác dụng bơm vào nút, công suất phản kháng bơm vào nút, dòng công suất tác dụng và dòng công suất phản kháng.

Chương trình ước lượng thông số trạng thái lưới điện truyền tải Bình Định sử dụng phần mềm Matlab được minh họa trên Hình 4. Kết quả tính toán ước lượng trạng thái lưới điện truyền tải Bình Định bằng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số như đã trình bày được mô tả trong Bảng 4.



Hình 3. Lưới điện truyền tải tỉnh Bình Định

Bảng 1. Dữ liệu về các nhánh

STT	Từ nút	Đến nút	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)	Tỷ số biến áp (a)
1	Trà Xom	Đồn Phó	0.0681	0.1511	1.2223	1
2	Trà Xom	Vĩnh Sơn 5	0.0154	0.0342	0.2767	1
3	Vĩnh Sơn 5	Vĩnh Sơn	0.0090	0.0200	0.1614	1
4	Vĩnh Sơn 5	Trạm 220 KV Phù Mỹ -110KV	0.1712	0.1458	1.2699	1
5	Vĩnh Sơn	Hoài Nhơn	0.0591	0.1311	1.0609	1
6	Hoài Nhơn	Tam Quan	0.0129	0.0285	0.2306	1
7	Hoài Nhơn	Trạm 220 KV Phù Mỹ -110KV	0.0315	0.0698	0.5650	1
8	Trạm 220 KV Phù Mỹ-110KV	Phù Mỹ	0.0005	0.0004	0.0141	1
9	Trạm 220 KV Phù Mỹ-110KV	Mỹ Thành	0.0672	0.0572	0.4985	1
10	Mỹ Thành	Phù Cát	0.0416	0.0924	0.7472	1
11	Phù Cát	An Nhơn	0.0176	0.0391	0.3160	1
12	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	An Nhơn	0.0186	0.0413	0.3344	1
13	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	Nhơn Tân	0.0180	0.0399	0.3229	1
14	Đồn Phó	Nhơn Tân	0.0360	0.0798	0.6457	1
15	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	Phước Sơn	0.0190	0.0162	0.1411	1
16	Phước Sơn	Nhơn Hội	0.0539	0.0459	0.3998	1
17	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	Quy Nhơn 2	0.0159	0.0135	0.4703	1
18	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	Long Mỹ	0.0090	0.0200	0.1614	1
19	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	Trạm 220KV Quy Nhơn-220KV	0.0000	0.0470	0.0000	1
20	Trạm 220 KV Phù Mỹ -110KV	Trạm 220 KV Phù Mỹ -220KV	0.0000	0.0940	0.0000	1

Bảng 2. Dữ liệu các nút

STT	Nút	Loại nút	V (pu)	Theta	P (máy phát) MW	Q (máy phát) Mvar	P (phụ tải) MW	Q (phụ tải) Mvar	Qmin Mvar	Qmax Mvar
1	Trà Xom	3	1.0565	0	19.6935	-1.8269	0	0	-1.877	0
2	Vĩnh Sơn 5	3	1.0479	0	21.1018	-3.7009	0	0	-4	1
3	Vĩnh Sơn	3	1.0505	0	39.1524	16.9423	0	0	0	17
4	Trạm 220KV Phù Mỹ-220KV	3	1.0332	0	10.8643	-18.7134	0	0	-35.498	0
5	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	3	1.0280	0	39.0869	-39.1968	0	0	0	0
6	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	1	1.0329	0	343.4955	44.4344	0	0	0	44.5
7	Trạm 220KV Quy Nhơn-220KV	2	1.0000	0	0	0	134.6372	6.2278	0	0
8	An Nhơn	2	1.0000	0	0	0	26.3245	7.7576	0	0
9	Đồn Phó	2	1.0000	0	0	0	5.9599	3.0011	0	0

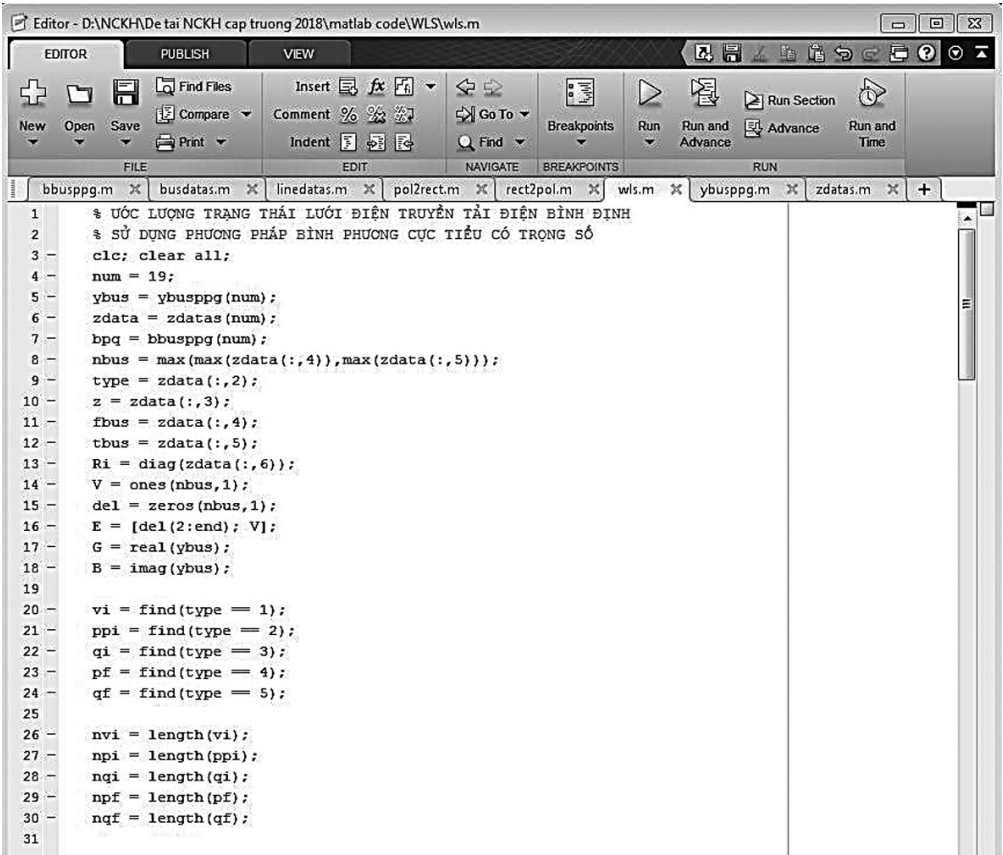
10	Hoài Nhơn	2	1.0304	0	-0.1944	-16.6337	16.9083	13.3736	-16.634	0
11	Long Mỹ	2	1.0000	0	0	0	18.8843	-1.0742	0	0
12	Mỹ Thành	2	1.0000	0	0	0	11.1248	-3.3423	0	0
13	Nhơn Hội	2	1.0000	0	0	0	30.7861	9.2590	0	0
14	Nhơn Tân	2	1.0000	0	0	0	18.0976	1.8483	0	0
15	Phù Cát	2	1.0000	0	0	0	20.8282	0.9888	0	0
16	Phù Mỹ	2	1.0314	0	-0.2107	-18.1281	15.3706	15.9918	-18.128	0
17	Phước Sơn	2	1.0000	0	0	0	11.2183	2.3926	0	0
18	Quy Nhơn 2	2	1.0000	0	0	0	52.4487	10.4468	0	0
19	Tam Quan	2	1.0000	0	0	0	8.5938	0.9888	0	0

Bảng 3. Dữ liệu đo được của lưới điện truyền tải Bình Định

STT	Loại nút	Giá trị (pu)	Từ nút	Đến nút
1	1	1.0329	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	0
2	2	0.1969	Trà Xom	0
3	2	0.2110	Vĩnh Sơn 5	0
4	2	0.3915	Vĩnh Sơn	0
5	2	-1.3464	Trạm 220KV Quy Nhơn-220KV	0
6	2	0.3909	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	0
7	2	0.1086	Trạm 220KV Phù Mỹ-220KV	0
8	2	-0.2632	An Nhơn	0
9	2	-0.0596	Đồn Phó	0
10	2	-0.1710	Hoài Nhơn	0
11	2	-0.1888	Long Mỹ	0
12	2	-0.1112	Mỹ Thành	0
13	2	-0.3079	Nhơn Hội	0
14	2	-0.1810	Nhơn Tân	0
15	2	-0.2083	Phù Cát	0
16	2	-0.1558	Phù Mỹ	0
17	2	-0.1122	Phước Sơn	0
18	2	-0.5245	Quy Nhơn 2	0
19	2	-0.0859	Tam Quan	0
20	3	-0.0183	Trà Xom	0
21	3	-0.0370	Vĩnh Sơn 5	0
22	3	0.1694	Vĩnh Sơn	0
23	3	-0.0623	Trạm 220KV Quy Nhơn-220KV	0
24	3	-0.3920	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	0

25	3	-0.1871	Trạm 220KV Phù Mỹ-220KV	0
26	3	-0.0776	An Nhơn	0
27	3	-0.0300	Đồn Phó	0
28	3	0.3001	Hoài Nhơn	0
29	3	0.0107	Long Mỹ	0
30	3	0.0334	Mỹ Thành	0
31	3	-0.0926	Nhơn Hội	0
32	3	-0.0185	Nhơn Tân	0
33	3	-0.0099	Phù Cát	0
34	3	0.3412	Phù Mỹ	0
35	3	-0.0239	Phước Sơn	0
36	3	-0.1045	Quy Nhơn 2	0
37	3	-0.0099	Tam Quan	0
38	4	2.0886	Trạm 220KV Quy Nhơn -220KV	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV
39	4	-3.2540	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Nhơn Tân
40	4	-3.1717	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	An Nhơn
41	4	-2.9105	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Quy Nhơn 2
42	4	-3.2461	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Long Mỹ
43	4	-3.3228	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Phước Sơn
44	4	-0.1214	Nhơn Tân	Đồn Phó
45	4	0.1373	Đồn Phó	Trà Xom
46	4	0.0141	Trà Xom	Vĩnh Sơn 5
47	4	0.1805	Vĩnh Sơn 5	Vĩnh Sơn
48	4	-0.2205	Vĩnh Sơn	Hoài Nhơn
49	4	-0.0851	Hoài Nhơn	Tam Quan
50	4	0.2822	Trạm 220KV Phù Mỹ-220KV	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV
51	4	-0.2198	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	Hoài Nhơn
52	4	-0.2351	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	Phù Mỹ
53	4	-0.2796	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	Mỹ Thành
54	4	0.0970	Mỹ Thành	Phù Cát
55	4	0.0550	Phù Cát	An Nhơn
56	4	0.1957	Phước Sơn	Nhơn Hội
57	5	0.3821	Trạm 220KV Quy Nhơn -220KV	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV
58	5	-0.4259	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Nhơn Tân
59	5	-0.3668	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	An Nhơn
60	5	-0.3399	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Quy Nhơn 2

61	5	-0.4551	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Long Mỹ
62	5	-0.4204	Trạm 220KV Quy Nhơn -110KV	Phước Sơn
63	5	0.0115	Nhơn Tân	Đồn Phó
64	5	-0.0483	Đồn Phó	Trà Xom
65	5	-0.0187	Trà Xom	Vĩnh Sơn 5
66	5	0.2064	Vĩnh Sơn 5	Vĩnh Sơn
67	5	0.1306	Vĩnh Sơn	Hoài Nhơn
68	5	-0.2902	Hoài Nhơn	Tam Quan
69	5	-0.2048	Trạm 220KV Phù Mỹ-220KV	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV
70	5	0.6920	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	Hoài Nhơn
71	5	0.7332	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	Phù Mỹ
72	5	0.3585	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	Mỹ Thành
73	5	0.0433	Mỹ Thành	Phù Cát
74	5	0.0677	Phù Cát	An Nhơn
75	5	0.0687	Phước Sơn	Nhơn Hội



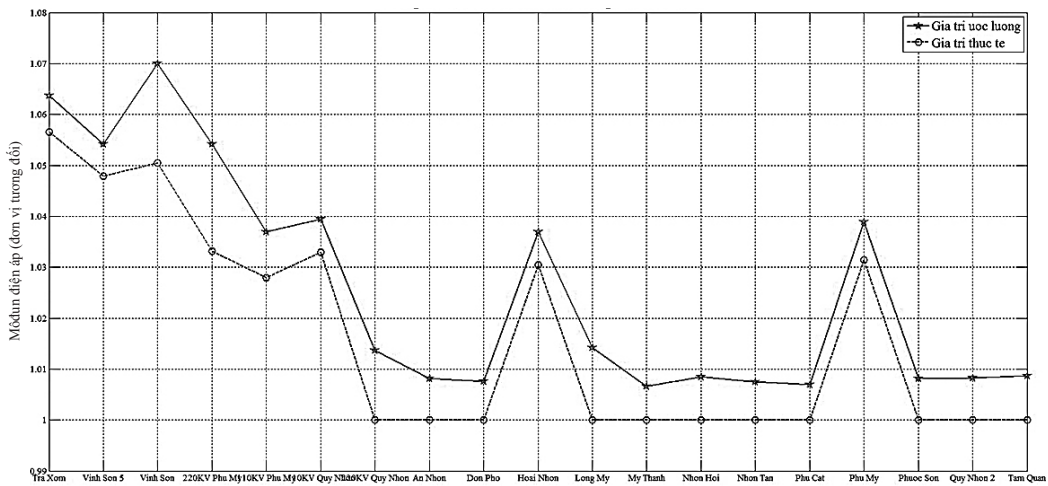
```
1 % ƯỚC LƯỢNG TRẠNG THÁI LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI ĐIỆN BÌNH ĐỊNH
2 % SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP BÌNH PHƯƠNG CỤC TIỂU CÓ TRỌNG SỐ
3 clc; clear all;
4 num = 19;
5 ybus = ybusppg(num);
6 zdata = zdatas(num);
7 bpq = bbusppg(num);
8 nbus = max(max(zdata(:,4)),max(zdata(:,5)));
9 type = zdata(:,2);
10 z = zdata(:,3);
11 fbus = zdata(:,4);
12 tbus = zdata(:,5);
13 Ri = diag(zdata(:,6));
14 V = ones(nbus,1);
15 del = zeros(nbus,1);
16 E = [del(2:end); V];
17 G = real(ybus);
18 B = imag(ybus);
19
20 vi = find(type == 1);
21 ppi = find(type == 2);
22 qi = find(type == 3);
23 pf = find(type == 4);
24 qf = find(type == 5);
25
26 nvi = length(vi);
27 np1 = length(ppi);
28 nqi = length(qi);
29 npf = length(pf);
30 nqf = length(qf);
31
```

Hình 4. Chương trình Matlab dùng cho ước lượng thông số lưới điện truyền tải Bình Định

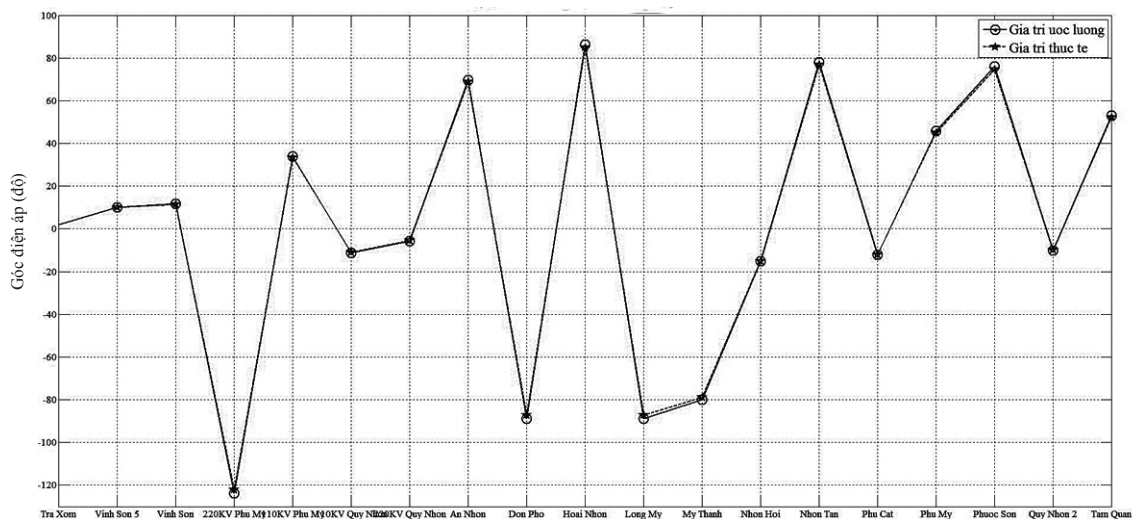
Bảng 4. Kết quả ước lượng môđun và góc điện áp bằng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số

STT	Nút	V (pu)	V-ước lượng (pu)	Sai số (%)	θ (độ)	θ-ước lượng (độ)	Sai số (%)
1	Trà Xom	1.0565	1.0637	0.68	1.9939	2.0264	1.63
2	Vĩnh Sơn 5	1.0479	1.0542	0.60	10.0003	10.1623	1.62
3	Vĩnh Sơn	1.0505	1.0700	1.86	11.5001	11.6956	1.70
4	Trạm 220KV Phù Mỹ-220KV	1.0332	1.0542	2.03	-122.000	-123.8300	1.50
5	Trạm 220KV Phù Mỹ-110KV	1.0280	1.0369	0.87	33.2707	33.8263	1.67
6	Trạm 220KV Quy Nhơn-110KV	1.0329	1.0394	0.63	-11.0673	-11.2056	1.25
7	Trạm 220KV Quy Nhơn-220KV	1.0000	1.0137	1.37	-5.4942	-5.5794	1.55
8	An Nhơn	1.0000	1.0081	0.81	68.8430	69.7861	1.37
9	Đồn Phó	1.0000	1.0076	0.76	-87.2801	-88.7115	1.64
10	Hoài Nhơn	1.0304	1.0370	0.64	84.8031	86.2193	1.67
11	Long Mỹ	1.0000	1.0142	1.42	-87.2801	-88.7464	1.68
12	Mỹ Thành	1.0000	1.0066	0.66	-78.7797	-80.0874	1.66
13	Nhơn Hội	1.0000	1.0085	0.85	-15.0000	-15.2325	1.55
14	Nhơn Tân	1.0000	1.0075	0.75	76.8576	77.9105	1.37
15	Phù Cát	1.0000	1.0070	0.70	-12.0375	-12.2265	1.57
16	Phù Mỹ	1.0314	1.0389	0.73	44.9811	45.8177	1.86
17	Phước Sơn	1.0000	1.0081	0.81	74.6008	76.0331	1.92
18	Quy Nhơn 2	1.0000	1.0082	0.82	-10.0000	-10.1880	1.88
19	Tam Quan	1.0000	1.0087	0.87	52.0868	52.9462	1.65

Để thuận tiện cho việc minh họa cho sự sai khác, môđun và góc pha điện áp thực tế và môđun và góc pha điện áp được ước lượng bằng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số của tất cả các nút trong lưới điện truyền tải Bình Định được trình bày trên các Hình 5 và 6.



Hình 5. Kết quả so sánh độ lớn điện áp nút



Hình 6. Kết quả so sánh góc pha điện áp nút

Trên các Hình 5 và 6, đường nét liền để chỉ các giá trị ước lượng từ thuật toán bình phương cực tiểu có trọng số và đường nét đứt để chỉ các giá trị đo đạc từ thực tế. Trên Hình 5, ta có thể thấy rõ được 2 đường biểu diễn giữa giá trị ước lượng và giá trị thực tế của điện áp là 2 đường riêng biệt vì có sự sai khác kết quả và thang giá trị tương đối nhỏ. Trong khi đó, các đường biểu diễn giá trị ước lượng và giá trị thực tế của góc điện áp cũng không trùng nhau. Lấy mô đun và góc pha điện áp tại các nút làm chuẩn, qua bảng so sánh ta thấy chương trình xây dựng trên cơ sở phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số cho kết quả chính xác. Về độ lớn điện áp, sai số lớn nhất là 2,03% và sai số nhỏ nhất là 0,60%. Về góc pha điện áp, sai số lớn nhất là 1,92% và sai số nhỏ nhất là 1,25%.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu và xây dựng chương trình ước lượng trạng thái hệ thống điện sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu có trọng số để ước lượng mô đun và góc pha điện áp các nút. Chương trình này được tính toán và mô phỏng trên nền tảng Matlab. Từ đó, nhóm tác giả đã áp dụng chương trình để phân tích, ước lượng và mô phỏng trạng thái lưới điện truyền tải Bình Định. Các kết quả thu được từ chương trình có độ chính xác cao so với các số liệu đo đạc trong thực tế từ hệ thống SCADA/EMS. Đây được xem là cơ sở để thực hiện các

nghiên cứu việc xác định số lượng và các vị trí đo tối ưu, phát hiện lỗi dữ liệu và lỗi cấu trúc. Chương trình này có thể được áp dụng cho các lưới điện của các tỉnh khác trong việc ước lượng trạng thái vận hành. Đồng thời trong thời gian tới, nhóm tác giả sẽ tiến hành nghiên cứu và xây dựng chương trình ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng cách áp dụng phương pháp ước lượng M tổng quát hóa tăng cường nhằm nâng cao độ chính xác của chương trình ước lượng trạng thái hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. I. Dzaif, I. Huseinagic. Real time distribution system state estimation based on interior point method, *Southeast Europe Journal of Soft Computing*, **2014**, 3 (1).
2. H. Zhu, G. B. Giannakis. Power system nonlinear state estimation using distributed semi-definite programming, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, **2014**, 8 (6), 1039-1050.
3. E. Caro, A. J. Conejo, R. Minguez. Power system state estimation considering measurement dependencies, *IEEE Transactions on Power Systems*, **2009**, 24 (4), 1875-1885.
4. B. Mounika, S. V. N. L. Lalitha, M. Ramamoorthy. Performance analysis of static and dynamic state estimation incorporating synchro phasor measurements, *Indian Journal of Science and Technology*, **2016**, 9 (26).

5. L. Hu, Z. Wang, I. Rahman, X. Liu. A constrained optimization approach to dynamic state estimation for power systems including PMU and missing measurements, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, **2016**, 24 (2), 703-710.
6. A. Zamora-Cárdenas, C. R. Fuerte-Esquivel. State estimation of power systems containing facts controllers, *Electric Power Systems Research*, **2011**, 81 (4), 995-1002.
7. E. Tanyi, E. Mbinkar. Real-time state estimation in the Cameroon power system, *ISRN Power Engineering*, **2013**.
8. G. Qu, M. H. Ge, D. X. Wang, Z. Q. Ge, H. B. Sun, L. Wang. Experimental construction and operation analysis of two-level distributed state estimation for east China power grid, *East China electric power*, **2012**, 40 (4), 0626-0628.
9. Nguyễn Trọng Hiếu. *Đánh giá thông số vận hành trạm 500 kV Tân Định, 220 kV Trảng Bàng và 220 kV Mỹ Phước*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật điện, trường Đại học Sư phạm kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, 2015.
10. Hoàng Xuân Hùng. *Tính toán ước lượng thông số trạng thái một hệ thống điện với dữ liệu đầu vào cho bởi định dạng CDF*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật điện, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2014.
11. T.P. Vishnu, V. Viswan, A. M. Vipin. *Power system state estimation and bad data analysis using weighted least square method*, 2015 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC), Thrissur, 2015.
12. Ali Abur, Antonio Gómez Expósito. *Power System State Estimation: Theory and Implementation*, Marcel Dekker, Inc., 2004.