

ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN TRUYỀN TẢI DÙNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐỘ NHẠY

Nguyễn Ngọc Minh Đoàn, Văn Tấn Lượng*

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: luongvt@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/7/2020; Ngày chấp nhận đăng: 02/11/2020

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp phân tích ổn định điện áp dựa trên cơ sở phân tích độ nhạy V-Q của ma trận Jacobi được thành lập từ bài toán phân bố công suất. Với phương pháp đề xuất, hệ thống điện được xác định là ổn định, mất ổn định hay sụp đổ và nhận dạng khu vực nào có nguy cơ mất ổn định. Tính khả thi và hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng thông qua nghiên cứu mạng điện IEEE 26 nút, dựa vào phần mềm Matlab.

Từ khóa: Hệ thống điện, ổn định điện áp, phân tích độ nhạy, phân bố công suất.

1. MỞ ĐẦU

Ổn định điện áp là khả năng của hệ thống giữ được điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống nằm trong giới hạn cho phép trong các điều kiện vận hành bình thường cũng như khi có nhiễu xảy ra. Một hệ thống điện rơi vào trạng thái mất ổn định điện áp nếu như khi có nhiễu, sự gia tăng phụ tải, hoặc khi có sự thay đổi về điều kiện vận hành hệ thống gây ra việc giảm nhanh chóng và mất khả năng điều khiển điện áp. Nguyên nhân chính gây ra mất ổn định điện áp là do hệ thống không thể đáp ứng được nhu cầu công suất phản kháng của tải.

Thông thường, ổn định điện áp được chia thành ba loại: ổn định điện áp quá độ (transient voltage stability), ổn định điện áp tĩnh (static voltage stability) và ổn định điện áp động (dynamic voltage stability) [1]. Việc tính toán biên giới ổn định điện áp tĩnh có thể trở thành cơ sở để đánh giá độ ổn định điện áp của hệ thống điện. Sự mất ổn định điện áp tĩnh có thể xảy ra khi điện áp giảm dần hoặc tăng dần của một vài hoặc tất cả các thanh cái trong hệ thống. Điều này có thể xảy ra với các thanh cái yếu, từ đó lan rộng sang các thanh cái khác và cuối cùng dẫn đến sự sụp đổ điện áp của toàn bộ hệ thống điện. Vì vậy, ổn định điện áp tĩnh đã trở thành một trong những vấn đề quan trọng trong việc quy hoạch và vận hành hệ thống điện ngay cả trong hiện tại và tương lai.

Ngày nay, vấn đề ổn định điện áp không còn là vấn đề mới lạ đối với tất cả chúng ta. Tuy nhiên, nó đóng một vai trò hết sức quan trọng đối với hệ thống điện, mà cụ thể ở đây là vấn đề sụp đổ điện áp. Nếu không có những dự báo về sụp đổ điện áp để đưa ra những biện pháp cải thiện kịp thời thì sẽ gây ra những hậu quả nghiêm trọng gây ảnh hưởng đến sự phát triển của nền kinh tế cũng như an ninh của hệ thống điện. Việc dự báo sụp đổ điện áp trong hệ thống điện là một trong những bài toán quan trọng trong quá trình phân tích ổn định điện áp, đặc biệt là đối một hệ thống điện lớn và phức tạp [1-3].

Phân tích tĩnh thường là được xem là một trong những phương pháp hiệu quả để đánh giá biên giới ổn định, xác định thanh cái yếu nhất và có tính đến hàng loạt các điều kiện của hệ thống. Trong số các kỹ thuật phân tích tĩnh hiện có, các phương pháp dựa trên các trị đơn và các trị riêng của phân bố công suất đã được nghiên cứu để xác định biên giới ổn định điện áp tĩnh và các thanh cái yếu nhất [1, 4]. Ngoài ra, các phương pháp phân tích đánh giá ổn định

điện áp khác như phương pháp phân tích động kết hợp với chương trình phân bố công suất và mô phỏng trong miền thời gian [5], phương pháp phân tích dựa trên khảo sát đặc tuyến V-P và Q-V [6],... đã được giới thiệu. Tuy nhiên, phương pháp trong nghiên cứu của Byung & Kwang [5] đòi hỏi phải biết nhiều về thông số máy phát, về hệ thống, v.v. Đồng thời kết quả cũng không cung cấp được thông tin về độ nhạy hay mức ổn định. Theo phương pháp nghiên cứu của Gao *et al.* [6], để có các đường cong V-P và Q-V phải thực hiện rất nhiều lần chương trình phân bố công suất, điều này mất nhiều thời gian.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ tìm hiểu phương pháp phân tích ổn định điện áp trong hệ thống điện trên cơ sở phân tích độ nhạy V-Q của ma trận Jacobi được thành lập từ bài toán phân bố công suất. Khi ấy, ta có thể kết luận rằng hệ thống điện là ổn định, mất ổn định hay sắp sụp đổ. Từ đó, dựa vào độ nhạy, ta có thể đánh giá xem nút nào có độ ổn định kém hay gần với điểm tới hạn nhất để có những biện pháp cải thiện kịp thời. Tính khả thi và hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm chứng thông qua nghiên cứu mô phỏng mạng điện IEEE 26 nút dùng Matlab.

2. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐỘ NHẠY V-Q

2.1. Ma trận Jacobi rút gọn

Hệ thống được gọi là ổn định điện áp nếu biên độ điện áp của tất cả các nút trong hệ thống tăng lên khi công suất phản kháng bơm vào nút đó tăng lên. Ngược lại, hệ thống mất ổn định điện áp nếu như có ít nhất một nút trong hệ thống mà điện áp tại nút đó giảm xuống khi công suất phản kháng bơm vào nút tăng lên. Nói cách khác, nếu độ nhạy V-Q của tất cả các nút trong hệ thống là dương thì hệ thống ổn định điện áp, và nếu độ nhạy V-Q của ít nhất một nút trong hệ thống là âm thì hệ thống mất ổn định điện áp. Do đó, trong phương pháp phân tích độ nhạy V-Q người ta dựa vào đặc điểm này để phân tích đánh giá ổn định điện áp cho hệ thống điện.

Phương trình điện áp – công suất hệ thống trạng thái xác lập ở dạng tuyến tính hóa được cho như sau [5-7]:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P0} & J_{PV} \\ J_{Q0} & J_{QV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó:

ΔP , ΔQ , $\Delta \theta$ và ΔV : lần lượt là độ thay đổi công suất thực tại các nút, độ thay đổi công suất phản kháng bơm vào nút, độ thay đổi góc pha của điện áp nút và độ thay đổi biên độ điện áp nút;

$$\begin{bmatrix} J_{P0} & J_{PV} \\ J_{Q0} & J_{QV} \end{bmatrix} \text{ là ma trận Jacobi gồm 4 ma trận con: } J_{P0}, J_{PV}, J_{Q0}, J_{QV}.$$

Trong nghiên cứu này, mô hình phân bố công suất truyền thống được sử dụng để phân tích ổn định điện áp. Do đó, ma trận Jacobi trong phương trình (1) cũng giống như ma trận Jacobi được sử dụng trong phương pháp lập Newton-Raphson để giải phân bố công suất [5, 10].

Sự ổn định điện áp của hệ thống bị ảnh hưởng bởi cả 2 thành phần công suất (P, Q). Tuy nhiên, ở mỗi điểm làm việc, chúng ta có thể giữ công suất tác dụng P không đổi và đánh giá ổn định điện áp bằng cách xem xét sự thay đổi trong quan hệ giữa Q và V. Mặc dù không xét đến sự thay đổi của P, nhưng ảnh hưởng của sự thay đổi phụ tải hệ thống hoặc mức truyền công suất cũng được đưa vào tính toán bằng cách nghiên cứu quan hệ giữa Q và V trong các điều kiện vận hành với các mức tải công suất P khác nhau.

Từ (1), ta có hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \Delta P = J_{P\theta} \Delta \theta + J_{PV} \Delta V \\ \Delta Q = J_{Q\theta} \Delta \theta + J_{QV} \Delta V \end{cases} \quad (2)$$

Có 2 thông số ảnh hưởng đến độ ổn định điện áp. Đó là công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q. Để phân tích xem P và Q ảnh hưởng như thế nào đến ổn định điện áp thì chúng ta cần giả sử công suất phản kháng hoặc công suất tác dụng bằng hằng số. Trong nghiên cứu này, ta cho sai số $\Delta P = 0$ [11, 12]. Do đó, hệ phương trình (2) được viết lại như sau:

$$\begin{cases} \Delta \theta = -J_{P\theta}^{-1} J_{PV} \Delta V \\ \Delta Q = J_R \Delta V \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: J_R là ma trận Jacobi rút gọn của hệ thống, được viết lại như sau :

$$J_R = [J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV}] \quad (4)$$

Từ (3), ta có: $\Delta V = J_R^{-1} \Delta Q$ (5)

Ma trận J_R^{-1} là ma trận Jacobi V-Q rút gọn. Phần tử đường chéo thứ i của ma trận J_R^{-1} là độ nhạy V-Q ở nút thứ i [10].

Độ nhạy V-Q ở một nút chính là độ dốc của đường cong Q-V tại điểm làm việc đã cho [11]. Nếu độ nhạy V-Q dương cho thấy điểm làm việc là ổn định, độ nhạy càng nhỏ hệ thống càng ổn định. Khi độ ổn định giảm, giá trị của độ nhạy sẽ tăng lên và bằng vô cùng khi hệ thống ở giới hạn ổn định. Nếu độ nhạy có giá trị âm cho thấy điểm làm việc là không ổn định.

Để xác định ma trận J_R^{-1} trong việc phân tích ổn định điện áp, trước tiên giải bài toán phân bố công suất theo phương pháp lập Newton-Raphson, khi bài toán hội tụ ta tìm được ma trận Jacobi tương ứng với các điều kiện vận hành đã cho. Sau đó tìm ma trận Jacobi rút gọn theo công thức (4) và cuối cùng tìm được ma trận J_R^{-1} .

2.2. Sơ đồ thuật toán

Thuật toán giải phân bố công suất theo phương pháp lập Newton-Raphson và xác định ma trận Jacobi rút gọn J_R^{-1} gồm các bước sau:

Giả thiết $\delta_j^{(0)}$ và $|V_j|^{(0)}$ lần lượt là góc pha và biên độ điện áp ban đầu tại nút j. Xét vòng lặp thứ k gồm:

Bước 1: Dùng các trị số $\delta_j^{(k)}$ và $|V_j|^{(k)}$, tính công suất tác dụng $P_i^{(k)}$, và công suất phản kháng, $Q_i^{(k)}$, tại các nút $i = 2, \dots, N$.

Bước 2: Tính các sai số $\Delta P_i^{(k)}$ và $\Delta Q_i^{(k)}$ theo công thức sau:

$$\begin{cases} \Delta P_i^{(k)} = P_{o-i} - P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} = Q_{o-i} - Q_i^{(k)} \end{cases} \quad (6)$$

Bước 3: Kiểm tra điều kiện nếu $\begin{cases} \Delta P_i^{(k)} < \varepsilon \\ \Delta Q_i^{(k)} < \varepsilon \end{cases}$ thì $\begin{cases} \delta_i^{(k)} \\ V_i^{(k)} \end{cases}$ là nghiệm và nhảy xuống bước 8, nếu không đạt điều kiện thì tiếp bước 4. Trong đó, sai số ε được chọn là 10^{-3} .

Bước 4: Tính các phần tử ma trận Jacobi.

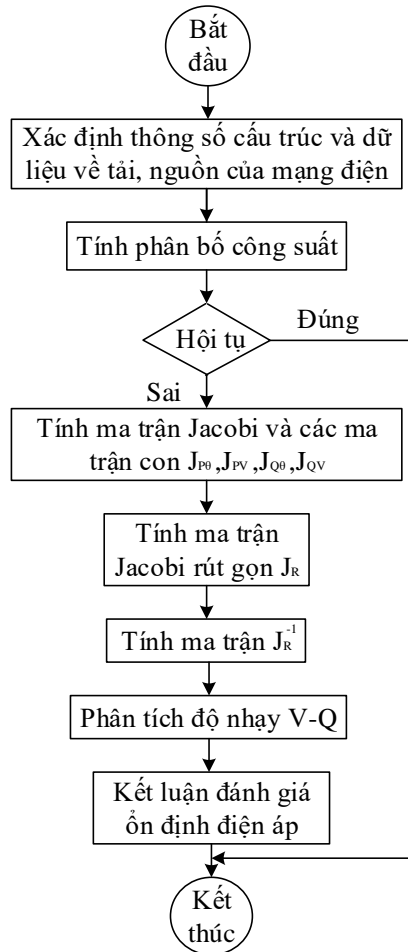
Bước 5: Tính lại góc pha và biên độ điện áp tại các nút $\begin{cases} \delta_i^{(k)} \\ V_i^{(k)} \end{cases}$.

Bước 6: Tính $\begin{cases} \delta_j^{(k+1)} = \delta_j^{(k)} + \Delta \delta_j^{(k)} \\ V_j^{(k+1)} = V_j^{(k)} + \Delta V_j^{(k)} \end{cases} \quad j = 2, \dots, N$

Bước 7: Quay lại bước 1.

Bước 8: Tính các phần tử của ma trận Jacobi và các ma trận con J_{P0} , J_{PV} , J_{Q0} và J_{QV} khác với bước 4 là ở đây chúng ta tính cho cả các nút điều khiển điện áp, chỉ trừ nút cân bằng. Sau đó, ta tính ma trận J_R và J_R^{-1} .

Sơ đồ giải thuật được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ giải thuật

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Sử dụng phương pháp phân tích độ nhạy V-Q đánh giá ổn định điện áp cho mạng điện 26 nút (IEEE 26-bus test system) như trong Hình 2. Số liệu phụ tải và máy phát lần lượt cho trong Bảng 1 và 2.

Bảng 1. Số liệu phụ tải

Nút	P (MW)	Q (MVar)	Nút	P (MW)	Q (MVar)
1	51	41	14	24	12
2	22	15	15	70	31
3	64	50	16	55	27
4	25	10	17	78	38
5	50	30	18	153	67
6	76	29	19	75	15
7	0	0	20	48	27
8	0	0	21	46	23
9	89	50	22	45	22
10	0	0	23	25	12
11	25	15	24	54	27
12	89	48	25	28	13
13	31	15	26	40	20

Bảng 2. Số liệu máy phát

Nút	Điện áp (p.u)	Công suất (MW)	Giới hạn (MVar)	
			Q_{\min}	Q_{\max}
1	1,025			
2	1,020	79	40	250
3	1,025	20	40	150
4	1,050	100	40	80
5	1,045	300	40	160
26	1,015	60	15	50

Đầu phân áp chỉnh định cho trong Bảng 3, trong đó nút bên trái được giả thiết là có đầu phân áp. Thông số đường dây và máy biến áp cho trong Bảng 4. Số liệu về công suất kháng của tụ bù ngang ở các nút cho trong Bảng 5. Nút 1 được chọn là nút cân bằng với điện áp giữ cân bằng $1,025 \angle 00$ (p.u). Công suất cơ bản là 100 (MVA). Điện áp cơ bản là 132 (kV). Giải phân bố công suất bằng phương pháp Newton-Raphson, với sai số công suất $\varepsilon = 0,0001$. Bài toán hội tụ sau 4 lần lặp.

Bảng 3. Đầu phân áp

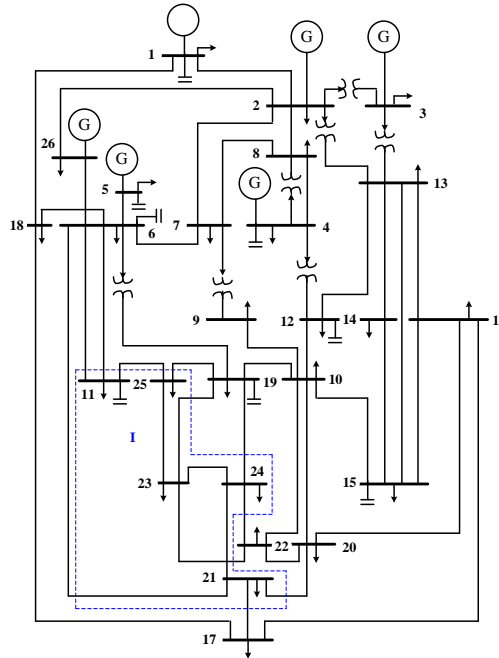
Nhánh máy biến áp	Chỉnh định đầu phân áp	Nhánh máy biến áp	Chỉnh định đầu phân áp
2-3	0,96	4-12	1,050
2-13	0,96	6-19	0,950
3-13	1,017	7-9	0,950
4-8	1,050		

Bảng 4. Số liệu đường dây và máy biến áp

Đường dây	R (p.u)	X (p.u)	0,5B (p.u)	Đường dây	R (p.u)	X (p.u)	0,5B (p.u)
1-2	0,0005	0,00480	0,03000	10-22	0,0069	0,0298	0,0050
1-18	0,0013	0,01100	0,06000	11-25	0,0960	0,2700	0,0100
2-3	0,0014	0,05130	0,05000	11-26	0,0165	0,0970	0,0040
2-7	0,0103	0,05860	0,01800	12-14	0,0327	0,0802	0
2-8	0,0074	0,03210	0,03900	12-15	0,0180	0,0598	0
2-13	0,00357	0,09670	0,02500	13-14	0,0046	0,0271	0,0010
2-26	0,0323	0,19670	0	13-15	0,0116	0,0610	0,0000
3-13	0,0007	0,00548	0,00050	13-16	0,01793	0,0888	0,0010
4-8	0,0008	0,02400	0,00010	14-15	0,0069	0,0382	0
4-12	0,0016	0,02070	0,01500	15-16	0,0209	0,0512	0
5-6	0,0069	0,03000	0,09900	16-17	0,0990	0,0600	0
6-7	0,00535	0,03060	0,00105	16-20	0,0239	0,0585	0
6-11	0,0097	0,05700	0,00010	17-18	0,0032	0,0600	0,0380
6-18	0,00374	0,02220	0,00120	17-21	0,2290	0,4450	0
6-19	0,0035	0,06600	0,04500	19-23	0,0300	0,1310	0
6-21	0,0050	0,09000	0,02260	19-24	0,0300	0,1250	0,0020
7-8	0,0012	0,00693	0,00010	19-25	0,1190	0,2249	0,0040
7-9	0,00095	0,04290	0,02500	20-21	0,0657	0,1570	0
8-12	0,0020	0,01800	0,02000	20-22	0,0150	0,0366	0
9-10	0,00104	0,04930	0,00100	21-24	0,0476	0,1510	0
10-12	0,00247	0,01320	0,01000	22-23	0,0290	0,0990	0
10-19	0,0547	0,23600	0	22-24	0,0310	0,0880	0
10-20	0,0066	0,01600	0,00100	23-25	0,0987	0,1168	0

Bảng 5. Số liệu công suất kháng của tụ bù ngang

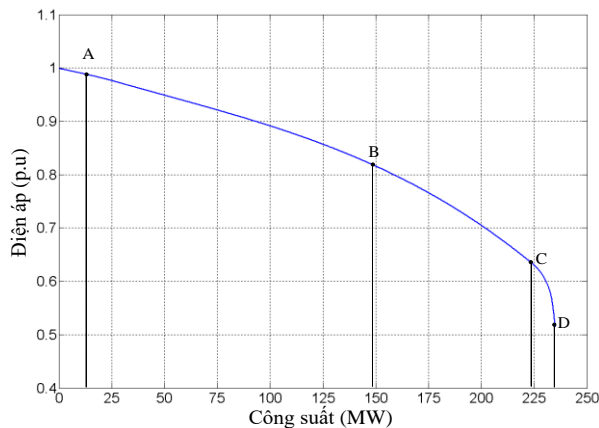
Nút	MVAr	Nút	MVAr
1	4	11	1,5
4	2	12	2
5	5	15	0,5
6	2	19	5



Hình 2. Sơ đồ mạng điện [7]

Kết quả tính độ nhạy tại các nút thể hiện trong Bảng 6. Dựa vào kết quả tính toán ta thấy các giá trị của độ nhạy V-Q đều dương, do đó hệ thống điện ở trên là ổn định. Trong đó, nút số 25 có độ ổn định kém nhất.

Khảo sát ổn định điện áp của hệ thống khi thay đổi tải trong vùng I, như trong Hình 2. Bằng cách tăng từ từ tải nút 25 từ 0 đến giá trị tới hạn (hệ số công suất không đổi, $\cos\phi = 0,8944$), ta được đường cong P-V tại nút 25 như Hình 3.



Hình 3. Đường cong P-V tại nút 25, với $\cos\phi = 0,8944$

Bảng 6. Kết quả tính độ nhạy tại các nút

Nút	Độ nhạy	Nút	Độ nhạy
25	0,066390	22	0,015183
24	0,048239	4	0,014478
21	0,046079	3	0,013994
11	0,045915	6	0,011806
23	0,045453	13	0,011648
26	0,041745	20	0,010727
17	0,040469	7	0,008353
5	0,036727	18	0,008121
19	0,032200	10	0,007699
9	0,027500	12	0,007070
16	0,019085	8	0,006635
14	0,017477	2	0,003423
15	0,015319		

Bảng 7. Kết quả tính độ nhạy tại các nút trong vùng I

Điểm A: $P_{25} = 12,5$ MW $Q_{25} = 14$ MVar		Điểm B: $P_{25} = 148,4$ MW $Q_{25} = 74,2$ MVar	
Nút	Độ nhạy	Nút	Độ nhạy
25	0,066390	25	0,087271
24	0,048239	24	0,049643
21	0,046079	23	0,048294
11	0,045915	11	0,047174
23	0,045453	21	0,046926
Điểm C: $P_{25} = 224$ MW $Q_{25} = 112$ MVar		Điểm D: $P_{25} = 232,4$ MW $Q_{25} = 116,2$ MVar	
Nút	Độ nhạy	Nút	Độ nhạy
25	0,153586	25	0,273637
23	0,052506	23	0,054710
24	0,051785	24	0,053295
11	0,049448	11	0,050551
21	0,048226	21	0,049143

Bảng 7 thể hiện độ nhạy của các nút trong vùng I với 4 mức tải khác nhau tại nút 25. Từ Bảng 7, ta thấy khi tải tăng lên độ nhạy các nút tăng lên, khi tải tại nút 25 gần giá trị tới hạn ($P_{25} = 232,4$ MW) độ nhạy tại nút 25 lớn (0,273637), độ ổn định điện áp của hệ thống giảm mạnh.

Khi cho tải tăng lên một lượng nhỏ $P_{25} = 233,536$ MW và $Q_{25} = 116,768$ MVar, độ nhạy các nút 25, 24, 21, 11, 23 trong vùng I có giá trị âm (Bảng 8), hệ thống mất ổn định.

Bảng 8. Kết quả tính độ nhạy tại các nút trong vùng I (hệ thống mất ổn định)

Nút	Độ nhạy	Nút	Độ nhạy
25	-0,045842	11	-0,001925
23	-0,028734	21	-0,000542
24	-0,007316		

4. KẾT LUẬN VÀ THẢO LUẬN

Trong bài báo, phương pháp phân tích ổn định điện áp dựa trên cơ sở phân tích độ nhạy V-Q của ma trận Jacobi được thành lập từ bài toán phân bố công suất Newton-Raphson đã được nghiên cứu. Với phương pháp này, đầu tiên bài toán phân bố công suất Newton-Raphson đã được áp dụng, từ đó các ma trận con của ma trận Jacobi được tính toán. Sau đó, phương pháp phân tích độ nhạy V-Q đã được thực hiện. Cuối cùng, mạng IEEE- 26 nút được áp dụng để kiểm chứng tính khả thi của phương pháp.

Với phương pháp phân tích ổn định điện áp dựa trên cơ sở phân tích độ nhạy V-Q như trên, những ưu và khuyết điểm của phương pháp được liệt kê như sau:

Việc giải bài toán phân bố công suất theo phương pháp Newton-Raphson thì ta nhận thấy rằng bài toán sẽ hội tụ với số vòng lặp ít (cụ thể trong mạng ta giải bài toán phân bố công suất với số vòng lặp là 4), do đó sai số công suất sẽ không đáng kể. Do vậy, kết quả sẽ có tính chính xác cao.

Phương pháp phân tích độ nhạy có thể đưa ra được kết quả đánh giá sự ổn định điện áp một cách khái quát của các nút trong hệ thống. Từ đó, ta có thể biết được là hệ thống có ổn định hay không. Trong phương pháp này, độ nhạy của các nút càng cao thì hệ thống càng dễ mất ổn định. Hệ thống sẽ bị mất ổn định nếu một trong số các nút của hệ thống có độ nhạy âm.

Tuy nhiên, nếu chỉ dựa vào độ nhạy của hệ thống thì ta không biết được là hệ thống đã tiến tới điểm làm việc tới hạn hay chưa. Do vậy mà ta vẫn không biết được chính xác hệ thống đang ở mức nào so với ranh giới mất ổn định để từ đó ta có những giải pháp thích hợp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Begovic M., Fulton D., Gonzalez M.R., Goossens J., Guro E.A., Haas R.W., Henville C.F., Manchur G., Michel G.L., Pastore R.C., Postforoosh J., Schmitt G.L., Williams J.B., Zimmerman K., Burzese A.A - Summary of “System protection and voltage stability”, IEEE Transactions on Power Delivery **10** (2) (1995) 631-663.
2. Ben-Kilani K. and Elleuch M. - Structural analysis of voltage stability in power systems integrating wind power, IEEE Transactions on Power Systems **28** (4) (2013) 3785-3794.
3. Vittal E., O'Malley M., and Keane K. - A steady-state voltage stability analysis of power systems with high penetrations of wind IEEE Transactions on Power Systems **25** (1) (2013) 433-442.
4. Zabaoui T., Dessaint L.-A. and Kamwa I. - Preventive control approach for voltage stability improvement using voltage stability constrained optimal power flow based on static line voltage stability indices, IET Generation, Transmission & Distribution **8** (5) (2014) 924-934.
5. Byung Ha Lee, Kwang Y. Lee - A study on voltage collapse mechanism in electric power systems, IEEE Transactions on Power System **6** (3) (1991) 966-974.

6. Gao B., Morison G. K., Kundar P. - Voltage stability evaluation using modal analysis, *IEEE Transactions on Power System* **7** (4) (1992) 1529-1542.
7. Hồ Văn Hiến - Hệ thống điện Truyền tải và Phân Phối, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (2005).
8. Aghatehrani R. and Kavasseri R. - Reactive power management of a DFIG wind system in microgrids based on voltage sensitivity analysis, *IEEE Transactions on Sustainable Energy* **2** (4) (2011) 451-458.
9. Gao Yajing, Yang Wenhai, Zhu Jing, Ren Jiafeng, Li Peng - Evaluating the effect of distributed generation on power supply capacity in active distribution system based on sensitivity analysis, *Energies* **10** (10) (1473) (2017) 1-14.
10. Hadi Saadat - *Power System Analysis*, McGraw-Hill International Editions (1999).
11. Jia-Hui Wu, Hai-Yun Wang, Wei-Qing Wang & Qiang Zhang - A comprehensive evaluation approach for static voltage stability analysis in electric power grids, *Electric Power Components and Systems* **47** (6-7) (2019) 573-588.
12. Prabha Kundur - *Power system stability and control*, McGraw-Hill International Editions (1994).

ABSTRACT

VOLTAGE STABILITY ASSESSMENT IN POWER TRANSMISSION SYSTEM USING SENSITIVITY ANALYSIS METHOD

Nguyen Ngoc Minh Doan, Van Tan Luong*
Ho Chi Minh City University of Food Industry
*Email: luongvt@hufi.edu.vn

In the paper, the V-Q sensitivity analysis based on Newton-Raphson method is applied for the voltage stability analysis. The proposed method gives the voltage stability-related information in the whole system and clearly identifies the areas that have the potential problems. The effectiveness of the proposed method is verified by Matlab-based simulation results for IEEE-26 node network.

Keywords: Power system, voltage stability, sensitivity analysis, power flow.