

ỨNG DỤNG BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA TRÀO LƯU CÔNG SUẤT ĐỂ PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Doãn Thanh Cảnh¹, Nguyễn Thị Thắm¹

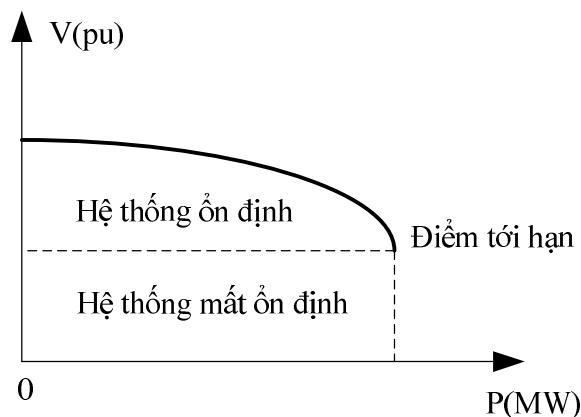
TÓM TẮT

Bài báo trình bày về phương pháp phân tích ổn định điện áp bằng cách ứng dụng bài toán tối ưu hóa trào lưu công suất tìm miền giới hạn công suất trong phần mềm MATLAB/MATPOWER. Bằng việc tăng tải liên tục, đường cong PQ cho từng nút tải được xây dựng. Từ đó, xác định được miền giới hạn tăng công suất theo hướng bất kỳ. Phương pháp này được kiểm chứng thông qua việc mô phỏng lưới điện IEEE-9 nút trên phần mềm MATLAB/MATPOWER.

Từ khóa: Ổn định điện áp, miền giới hạn công suất.

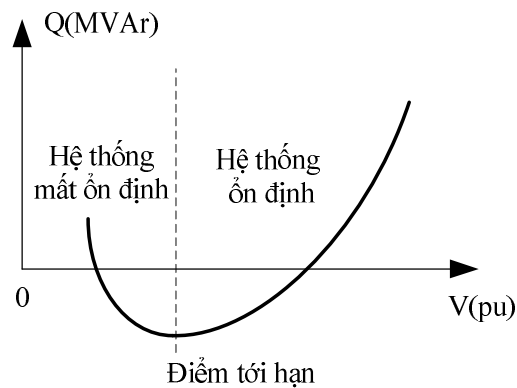
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ổn định điện áp là khả năng duy trì điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống điện trong một phạm vi cho phép ở điều kiện làm việc bình thường hoặc sau khi các kích động bé tác động [2; 4; 5]. Vấn đề ổn định điện áp có thể được phân tích, đánh giá bằng các phương pháp đường cong P-V, đường cong V-Q (hình 1, 2) [1; 7] để tìm ra điểm làm việc giới hạn, từ đó xác định độ dự trữ ổn định và đánh giá sự ổn định điện áp của hệ thống điện [1]. Điểm mất ổn định điện áp là điểm mà tại đó ma trận Jacobian của hệ phương trình phân bố công suất bị suy biến [2].



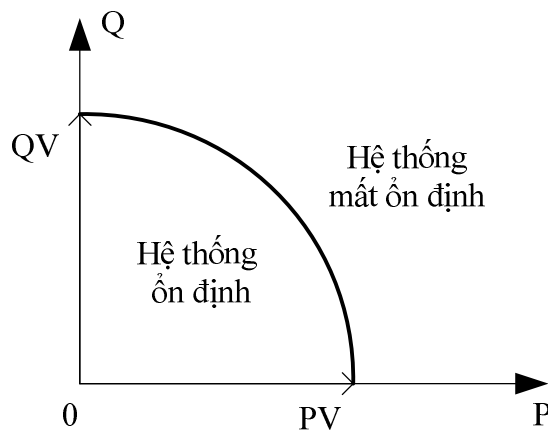
Hình 1. Đường cong P-V

¹ Giảng viên khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Hồng Đức



Hình 2. Đường cong V-Q

Với phương pháp phân tích đường cong P-V, V-Q ta chỉ có thể xác định được giới hạn tăng của công suất tác dụng P hoặc công suất phản kháng Q theo những hướng nhất định mà chưa xác định được sự tăng công suất theo các hướng bất kỳ. Vì vậy, nội dung trình bày trong bài báo này là nghiên cứu ứng dụng thuật toán tối ưu tìm miền tăng công suất theo các hướng bất kỳ (hình 3) để phân tích ổn định điện áp của hệ thống điện.



Hình 3. Đường cong P-Q

2. ỨNG DỤNG BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA TRÀO LƯU CÔNG SUẤT ĐỂ PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

2.1. Cơ sở toán học của thuật toán

Bản chất của phương pháp đường cong P-V và phương pháp đường cong Q-V là thay đổi liên tiếp công suất của phụ tải tại các nút tải nhằm tìm ra điểm tới hạn. Tại đó hệ phương trình xác lập không còn hội tụ. Nhằm xác định chính xác hơn giá trị công suất cực đại, các công trình nghiên cứu đã đề xuất thay đổi bước tính tăng tải một cách phù

hợp [7]. Giải thuật của các phương pháp xây dựng đường cong P-V và Q-V nói chung sẽ là giảm bước tính và xác định hướng tăng tải khả thi nhất tại điểm gần mất hội tụ, nhằm tìm chính xác điểm mũ.

Một cách tiếp cận khác để xác định khả năng truyền tải công suất đó là dựa trên bài toán tối ưu hóa trào lưu công suất (Optimal Power Flow - OPF). Giải thuật này được dựa trên đề xuất của Van Cutsem [6]. Nội dung của phương pháp này như sau: Hệ thống điện ở chế độ xác lập được biểu diễn bằng phương trình:

$$\varphi(X) = 0 \quad (1)$$

Trong đó: X là các thông số chế độ đặc trưng cho chế độ xác lập của hệ thống điện. $\varphi(X)$ là hệ phương trình cân bằng công suất nút.

Để áp dụng thuật toán tối ưu vào tìm miền giới hạn công suất để phân tích ổn định hệ thống điện, ta viết lại phương trình chế độ xác lập bao gồm tham số nặng tải λ .

Phương trình được viết lại như sau:

$$\varphi(X, \lambda) = 0 \quad (2)$$

Khi đó:

$$P_{\text{tải}} = P_0 + \lambda \cdot k_P \cdot \Delta P \quad (3)$$

$$Q_{\text{tải}} = Q_0 + \lambda \cdot k_Q \cdot \Delta Q \quad (4)$$

Trong đó: P_0, Q_0 là công suất tác dụng và công suất phản kháng ở trường hợp cơ sở. Ở chế độ tới hạn ta cần tìm được giá trị lớn nhất của $f(\lambda)$:

$$\max f(\lambda) \quad (5)$$

sao cho:

$$\varphi(X, \lambda) = 0$$

Hàm Lagrange tương ứng với bài toán có dạng sau:

$$L = f(\lambda) + w^T \cdot \varphi(X, \lambda) \quad (6)$$

hay ở dạng chi tiết hơn:

$$L = f(\lambda) + \sum_{i=1}^n w_i \cdot \varphi_i(X, \lambda) \quad (7)$$

Trong đó:

+ $\lambda = [\lambda_1 \ \lambda_2 \ \dots \ \lambda_n]^T$ là các biến đặc trưng cho sự tăng tải tại các nút, theo phương trình (3; 4).

+ w_i là vector hệ số của nhân tử Lagrange.

Tại điểm tối ưu thỏa mãn điều kiện Karush - Kuhn - Tucker (K-K-T). Lấy đạo hàm Lagrange cho từng biến ta được:

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad \frac{\partial f}{\partial \lambda} + w_i \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = 0 \Leftrightarrow w_i \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial X} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \quad \varphi_i(X, \lambda) = 0 \quad (10)$$

Từ phương trình (8):

$$w_i \neq 0 \quad (11)$$

Kết hợp (9) và (10), ta có:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial X} = 0 \quad (12)$$

Từ (12) ta thấy rằng điểm tối ưu của bài toán trùng với điểm giới hạn công suất ở chế độ xác lập. Do $\varphi(X)$ là hệ phương trình cân bằng công suất nút theo (1), $\frac{\partial \varphi}{\partial X}$ thực chất chính là ma trận Jacobi của bài toán chế độ xác lập. Do đó, tại điểm tối ưu của bài toán (5), ma trận Jacobian của hệ phương trình phân bố công suất bị suy biến. Như vậy, về mặt lý thuyết, phương pháp tìm điểm tới hạn của công suất tải sẽ cho cùng lời giải với phương pháp đường cong P-V. Sự sai khác thực tế có thể xuất hiện do bước tính trong quá trình giải bài toán tối ưu hóa trào lưu công suất.

2.2. Ứng dụng thuật toán tối ưu tìm miền giới hạn công suất cho hệ thống điện IEEE 9 nút

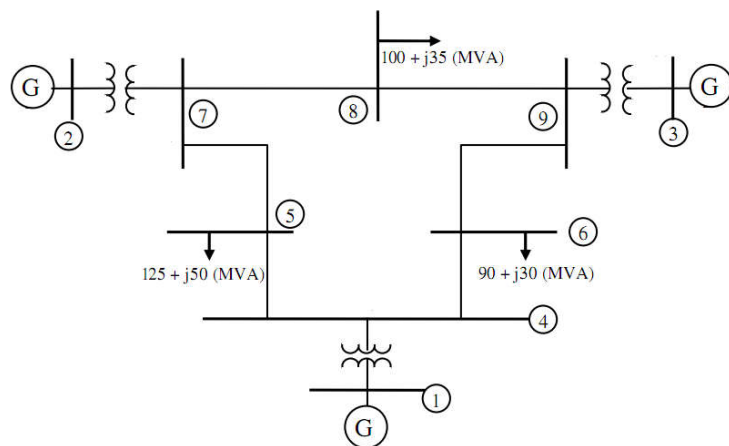
Trên cơ sở lý thuyết đã được trình bày ở phần 2.1, chương trình MATPOWER sẽ được sử dụng để thử nghiệm giải thuật trên. Trong phần này trình bày kết quả của tính toán OPF dựa trên phần mềm MATPOWER để tìm điểm tới hạn công suất tải của các nút trong hệ thống điện IEEE 9 nút [3]. Chương trình cũng đồng thời cho phép ta xác định được điểm sụp đổ điện áp khi công suất đạt tới hạn.

Hệ thống điện IEEE 9 nút có nút 1 là nút cân bằng (slack bus), nút 2 và nút 3 là các nút máy phát, các nút còn lại là các nút tải. Các dữ liệu nút và sơ đồ lưới điện hệ thống điện IEEE 9 nút được cho như bảng 1 và hình 4.

Bảng 1. Dữ liệu nút của hệ thống điện IEEE 9 nút

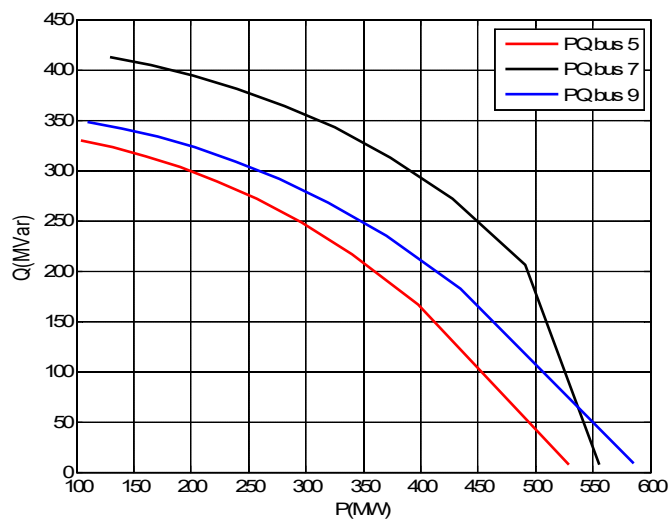
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1,000	0,000	71,95	24,07	-	-
2	1,000	9,699	163,00	14,46	-	-
3	1,000	4,771	85,00	-3,65	-	-

4	0,987	-2,407	-	-	-	
5	0,975	-4,017	-	-	90	30
6	1,003	1,926	-	-	-	-
7	0,986	0,622	-	-	100	35
8	0,996	3,799	-	-	-	-
9	0,958	-4,350	-	-	125	50
Tổng			319,95	34,88	315,00	115,00



Hình 4. Sơ đồ lưới điện IEEE 9 nút

Các kết quả của tính toán OPF dựa trên phần mềm MATPOWER cho các nút 5, 7 và 9 của hệ thống điện IEEE 9 nút được cho như hình 5, bảng 2, bảng 3 và bảng 4:



Hình 5. Đường cong P-Q của các nút tải

Bảng 2. Điểm giới hạn công suất của nút 5

$P_{\text{res}}(\text{MW})$	$Q_{\text{res}}(\text{MVar})$	$V_{\text{res}}(\text{pu})$
103,6177	329,4833	0,6636
131,5650	322,4640	0,6646
160,5788	313,8085	0,6667
190,9728	302,9231	0,6721
223,1453	289,0637	0,6804
257,8169	271,3233	0,6921
296,1975	248,1031	0,7084
340,6603	216,1550	0,7314
397,4116	166,7302	0,7671
529,0701	7,4827	0,8751

Bảng 3. Điểm giới hạn công suất của nút 7

$P_{\text{res}}(\text{MW})$	$Q_{\text{res}}(\text{MVar})$	$V_{\text{res}}(\text{pu})$
129,6277	412,1897	0,6669
164,8837	404,1276	0,6712
201,5137	393,8029	0,6772
240,0370	380,7492	0,6851
281,0833	364,1168	0,6939
325,1409	342,1743	0,7045
373,2519	312,6459	0,7192
427,2473	271,0960	0,7409
491,0086	205,9980	0,7752
555,8250	7,8611	0,9510

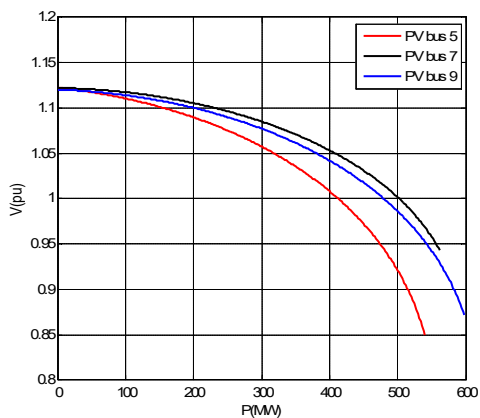
Bảng 4. Điểm giới hạn công suất của nút 9

$P_{\text{res}}(\text{MW})$	$Q_{\text{res}}(\text{MVar})$	$V_{\text{res}}(\text{pu})$
109,6541	348,6779	0,6706
139,4065	341,6833	0,6727
170,4258	333,0518	0,6756

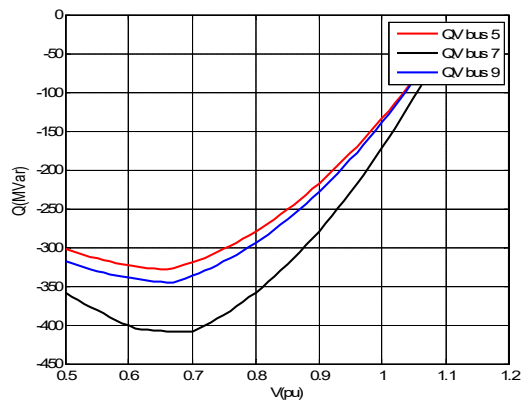
203,2537	322,4032	0,6795
238,5600	309,0320	0,6869
276,9513	291,4601	0,6992
319,7865	267,8619	0,7164
369,8039	234,6472	0,7410
434,1728	182,1530	0,7793
585,3835	8,2792	0,8960

Dựa vào kết quả thu được ta thấy, miền giới hạn công suất ứng với các nút tải được giới hạn bởi các đường cong tương ứng như hình vẽ. Và biên giới hạn công suất tác dụng và công suất phản kháng ứng với nút 5 là 529,0701 MW và 329,4833 MVar; với nút 7 là 555,8250 MW và 412,1897 MVar; với nút 9 là 585,3835 MW và 348,6779 MVar. Đây là điểm tăng lớn nhất của tải, nếu bất kỳ sự tăng thêm nào của tải sẽ gây nên sụp đổ điện áp.

Kết quả so sánh điểm tới hạn của khả năng tải các nút 5, 7 và 9 được cho như hình 6, 7 và bảng 5. Hình 6 và 7 thể hiện kết quả tính toán tăng tải tại các nút bằng phương pháp đường cong PV, VQ với bước tính 1 MW. Bảng 5 thể hiện kết quả so sánh giới hạn tăng công suất các nút theo phương pháp đường cong PV, VQ và phương pháp OPF.



Hình 6. Đường cong P-V các nút tải



Hình 7. Đường cong V-Q các nút tải

Bảng 5. So sánh giới hạn tăng công suất các nút theo phương pháp đường cong PV, VQ và phương pháp OPF

Nút	Công suất	Phương pháp	
		Đường cong PV, VQ	OPF
5	P [MW]	528	529,0701

	Q [MVar]	327.21	329,4833
7	P [MW]	556	555,8250
	Q [MVar]	408.73	412,1897
9	P [MW]	584	585,3835
	Q [MVar]	344.92	348,6779

Nhận xét: Với kết quả thu được như bảng 5 ta thấy rằng kết quả tính toán của hai phương pháp là tương đương. Phương pháp OPF cho điểm cực đại lớn hơn. Tuy nhiên, khác biệt này là do cách chọn bước tính của phương pháp đường cong PV, VQ. Như vậy, việc sử dụng thuật toán tối ưu vào tìm miền giới hạn công suất cho ta rút ngắn được thời gian tính toán, số bước tính và cùng lúc cho cả giới hạn về công suất tác dụng và công suất phản kháng.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tổng quan về phương pháp ứng dụng thuật toán tối ưu tìm miền tăng công suất theo các hướng bất kỳ để phân tích ổn định điện áp của hệ thống điện. Kết quả được tính toán trên phần mềm MATPOWER và kiểm chứng trên sơ đồ hệ thống điện IEEE 9 nút. Nội dung phương pháp trình bày trong bài báo cho phép giảm khối lượng tính toán trong vận hành thời gian thực, đồng thời kết quả cho thấy tính khả thi của phương pháp khi áp dụng cho các hệ thống điện có quy mô lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ajjarapu Venkataramana (2007), *Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control*.
- [2] Carson W.Taylor (1994), *Power System Voltage Stability*.
- [3] IEEE (1992), *IEEE Recommended Practice for Excitation System Model for Power System Stability Studies*. Tech. rep. IEEE Power Engineering Society.
- [4] Lã Văn Út (2000), *Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện*, Nxb. KHKT.
- [5] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, , and R. J. Thomas (2011), *MATPOWER: Steadystate operations, planning and analysis tools for power systems research and education*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, no. 1.
- [6] P. Kundur (1994), *Power System Stability and Control*, McGraw Hill, New York.
- [7] T. Van Cutsem and Costas Vournas (1998), *Voltage Stability of Electric Power Systems*, Springer Link.

USING OPTIMAL POWER FLOW FOR VOLTAGE STABILITY ANALYSIS OF POWER SYSTEM

Doan Thanh Canh, Nguyen Thi Tham

ABSTRACT

This paper presents the analysis of voltage stability by using optimal power flow to out find domain power limitation in MATLAB/MATPOWER. By increasing the load, the PQ curve for each bus was drawn and then the domain increase power limit was identified. This method would be verified through IEEE²-9 bus simulation on MATLAB/MATPOWER.

Keywords: *Voltage stability, Domain power limitation.*