

# NGHIÊN CỨU SỤP ĐỔ ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

## RESEARCH VOLTAGE COLLAPSE FOR INTERCONNECTED POWER SYSTEMS

**Lê Thành Khoa**  
*Trường cao đẳng Nghề Tiền Giang*

### TÓM TẮT

Nghiên cứu sụp đổ điện áp là một trong những bài toán quan trọng trong quá trình nghiên cứu hệ thống điện. Luận văn này giới thiệu một phương pháp xác định khoảng cách ngắn nhất  $k_{min}$  dẫn đến mất ổn định điện áp trong hệ thống điện dựa trên cơ sở xác định véc tơ  $\eta$  từ ma trận Jacobian của bài toán phân bố công suất để làm cơ sở và định hướng trong vận hành. Kết quả thu được từ các ứng dụng cho thấy khoảng cách  $k_{min}$ . Mặc dù, đây chỉ là khoảng cách cục bộ nhưng có ý nghĩa quan trọng trong việc vận hành hệ thống điện. Nếu vận hành theo hướng véc tơ  $\eta$  dẫn đến  $k_{min}$  thì đó là hướng xấu nhất và nhanh nhất dẫn đến mất ổn định điện áp.

Từ khóa: khoảng cách ngắn nhất  $k_{min}$

### ABSTRACT

Voltage collapse research is a significant problem in the electrical system studies. This thesis introduces a method of determining the  $k_{min}$  shortest distance to voltage instability in power system based on the determination of  $\eta$  vectors from the Jacobian matrix of the power distribution problem as a basis for substance load and operational orientation. Results obtained from the application example shows the distance  $k_{min}$  only local distance but significant in the operation of the power system, if operated under the direction vector  $\eta$  led to  $k_{min}$ , it is worst and fastest lead to voltage instability.

**Keywords:**  $k_{min}$  shortest distance

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu sụp đổ điện áp trong hệ thống điện là một trong những công việc hết sức cần thiết trong quá trình phân tích ổn định điện áp, đặc biệt là đối với hệ thống điện phức tạp như Việt Nam khi phải đối mặt với tình trạng quá tải liên tục trong mùa khô. Khi điện áp tại các nút trong hệ thống điện giảm dưới mức cho phép sẽ làm cho hệ thống điện hoạt động không ổn định và nguyên nhân gây giảm điện áp tại các nút theo như đề tài nghiên cứu là sự thay đổi tải, nếu có sự biến đổi lớn phụ tải trong hệ thống điện gây ra những tác động không mong muốn như sau:

+ Điện áp, tần số tại các nút trong hệ thống điện giảm xuống thấp quá mức không thể duy trì trạng thái làm việc bình thường.

+ Hệ thống điện bị tan rã hoàn toàn, các rơ le điện áp thấp sẽ tự động sa thải phụ tải, máy phát bị cắt khỏi lưới và ngừng làm việc.

Từ những lý do trên, sự cần thiết để tìm một

khoảng cách ngắn nhất  $k_{min}$  dẫn đến mất ổn định điện áp, hỗ trợ việc vận hành, theo dõi được tình trạng nguy hiểm gây bất lợi cho hệ thống điện.

### 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Phân tích tài liệu: sử dụng phương pháp phân tích vận dụng giá trị riêng, véc tơ riêng của ma trận Jacobian để xác định khoảng cách ngắn nhất dẫn đến mất ổn định điện áp trong hệ thống điện.

- Mô phỏng tính toán: sử dụng phần mềm Matlab trong việc xử lý số liệu và biểu diễn các kết quả tính toán.

- Dữ liệu mô phỏng tính toán: sử dụng số liệu phụ tải điện trong mô hình hệ thống điện cho trước.

### 3. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH KHOẢNG CÁCH NGẮN NHẤT $k_{min}$ SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP VECTOR RIÊNG CỦA MA TRẬN JACOBIAN

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 với một hệ thống điện lớn và phức tạp.

Trong luận văn này, dự báo sụp đổ điện áp được dựa trên cơ sở phân tích của ma trận Jacobian được thành lập từ bài toán phân bố công suất để tìm ra khoảng cách ngắn nhất gây nên sự cố sụp đổ điện áp trong hệ thống điện. Qua cơ sở lý thuyết, rõ ràng rằng điện áp của hệ thống điện sẽ bị tác động khi có sự biến đổi của cả công suất tác dụng, lẫn công suất phản kháng. Tuy nhiên, đối với bài toán này chỉ tập trung chủ yếu vào việc khảo sát các ảnh hưởng khi có sự biến đổi của công suất phản kháng. Trên cơ sở ma trận Jacobian rút gọn  $J_R$  có thể thực hiện phân tích các đặc tính ổn định hay sụp đổ điện áp cho hệ thống điện.

Trên cơ sở của các ma trận Jacobian rút gọn  $J_R$  ta có thể trình bày các bước để phân tích và dự báo sụp đổ điện áp hay ổn định điện áp cho hệ thống điện như sau [1]:

+ Bước 1: Phân bố công suất hệ thống điện.

+ Bước 2: Thành lập ma trận Jacobian  $J_x$ . Ma trận Jacobian  $J_x$  là ma trận thông số hệ thống,  $x = \begin{bmatrix} V \\ \theta \end{bmatrix}$ .

+ Bước 3: Xác định  $\eta_0$  từ điểm tải ban đầu  $\rho_0(P_0, Q_0)$  và  $\eta_0$  được chuẩn hóa bằng 1,  $|\eta_0| = 1$ .

Trong đó,  $\eta_0$  được tính theo các bước như sau:

+ Xác định trị riêng bé nhất của ma trận Jacobian  $J_x$ .

+ Xác định vector riêng trái  $W_{J_x}$  từ ma trận vector riêng trái của  $J_x$ .

Biểu thức xác định như sau:

$$\eta_0 = W_{J_x} J_P$$

Trong đó:

$J_P$  là ma trận Jacobian thông số chế độ,

$$\rho = \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix}.$$

+ Bước 4: Tải theo hướng  $\eta_0$  và kiểm tra điều kiện  $\det J_x = 0$ .

Tăng tải theo hướng  $\eta_0$  cho đến khi ma trận Jacobian  $J_x$  suy biến, tức là  $\det J_x = 0$ . Khi ấy, sẽ tìm được điểm tải mới  $\rho_m(P_m, Q_m)$ .

$$\rho_m = \rho_0 + k_m \eta_0$$

+ Bước 5: Phân tích modal tại  $\rho_m(P_m, Q_m)$  và tính  $\eta_m$ .

Ở bước này, sau khi tìm được  $\rho_m(P_m, Q_m)$ , tiến hành phân bố công suất hệ thống điện ứng với điểm tải mới  $\rho_m(P_m, Q_m)$  và tìm được ma trận Jacobian  $J_x$  mới, tương ứng tìm được một vector riêng trái mới. Cuối cùng, xác định được  $\eta_m$  mới và giá trị  $\eta_m$  cũng được chuẩn hóa bằng 1.

+ Bước 6: Xét điều kiện hội tụ của  $\eta$ .

Ở bước này, sau khi tính được giá trị  $\eta_i$ , tiến hành kiểm tra tính hội tụ của nó. Nếu giá trị  $\eta_{m+1}$  ở bước lặp sau có giá trị bằng với giá trị  $\eta_m$  ở bước lặp trước thì sẽ tìm được giá trị  $k_{min}$ , theo công thức:

$$k_{min} = |\rho_* - \rho_0|$$

Trong đó:

$k_{min}$  là khoảng cách hình học được xác định từ điểm tải  $\rho_*(P^*, Q^*)$  đến điểm tải ban đầu  $\rho_0(P_0, Q_0)$ .

$\rho_*(P^*, Q^*)$  là điểm tải sau khi chất tải mà có giá trị  $\eta$  hội tụ;

$\rho_0(P_0, Q_0)$  là điểm tải ban đầu.

Nếu giá trị  $\eta_{m+1}$  ở bước lặp sau có giá trị khác với giá trị  $\eta_m$  ở bước lặp trước thì tiếp tục chất tải cho đến khi giá trị hội tụ. Biểu thức xác định  $\rho_*(P^*, Q^*)$  khi giá trị  $\eta_m$  đã hội tụ về  $\eta_*$

$$\rho_* = \rho_0 + k_* \eta_*$$

Tóm lại, sau mỗi bước lặp:

+ Nếu giá trị  $\eta_{m+1}$  khác so với  $\eta_m$  thì kết luận hệ thống đang ổn định.

+ Nếu kết quả ngược lại sau mỗi bước lặp, giá trị  $\eta_{m+1}$  gần bằng giá trị  $\eta_m$  thì ta kết luận  $\eta_m$  đang hội tụ và đây cũng là giá trị gây mất ổn định trong hệ thống điện.

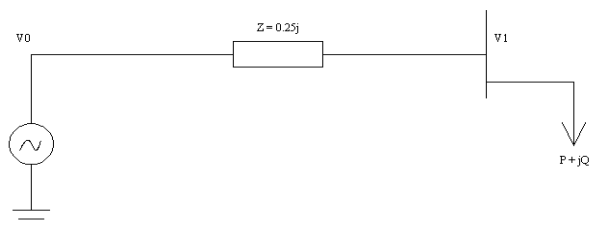
Trong quá trình phân tích sụp đổ điện áp việc xác định các nút gây ra ảnh hưởng cho hệ thống điện là rất quan trọng. Nó được biểu diễn bằng một thông số gọi là hệ số tham gia và tương ứng như vậy thì nút có hệ số tham gia càng lớn thì mức độ gây ra ảnh hưởng cho hệ thống điện càng lớn. Đây chính là một

trong các công cụ được sử dụng để tìm ra nút yếu, nút có khả năng gây ra sụp đổ điện áp. Trong điều kiện vận hành bình thường, người vận hành sẽ xử lý tình trạng sụt áp bằng cách tăng biên độ điện áp lên.

Tuy nhiên, nếu hệ thống vận hành ở trạng thái tới hạn, giới hạn ổn định thì việc tăng biên độ điện áp còn làm đẩy nhanh việc mất ổn định điện áp. Nếu tình trạng mất ổn định điện áp không xử lý kịp thời thì sẽ làm hệ thống điện sụp đổ hoàn toàn.

#### 4. MÔ PHỎNG DỰ BÁO SỤP ĐỔ ĐIỆN ÁP SỬ DỤNG VECTOR RIÊNG CỦA MA TRẬN JACOBIAN

##### 4.1. Xét một hệ thống điện 2 nút như Hình 1



**Hình 1.** Hệ thống điện 2 nút

Các thông số của hệ thống điện 2 nút bao gồm:

- + Chiều dài đường dây,  $l = 480$  km;
- + Điện trở đường dây,  $r = 0$   $\Omega$ /km;
- + Điện kháng đường dây,  $x = 0,25$   $\Omega$ /km;
- + Điện áp cơ bản,  $U_{cb} = 220$  kV;
- + Công suất cơ bản,  $S_{cb} = 100$  MVA;
- + Công suất tác dụng của tải,  $P_{tải} = 80$  MW;
- + Công suất phản kháng của tải,  $Q_{tải} = 40$  MVar.

Nút 1: nút góc, điện áp nút góc:  $V_0 = 1 \angle 0^\circ$

Nút 2: nút tải, điện áp nút tải P, Q:  
 $V_1 = V \angle \theta^0$

Sau 5 bước lặp, giá trị  $\eta_5$  trùng lại  $\eta_4$  và bài toán đã hội tụ.

Khi ấy:

$$\eta_* = (0,4388 \ 0,8986);$$

$$\rho_* = (0,9767; 0,7616).$$

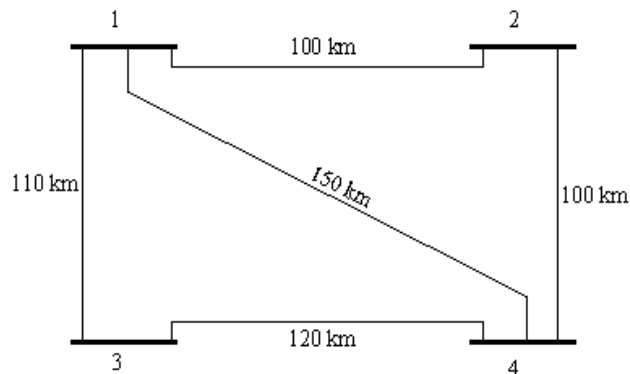
Suy ra: Khoảng cách ngắn nhất dẫn đến mất ổn định điện áp là:

$$k_{min} = 0,40245.$$

**Bảng 1.** Các thông số tìm được qua 5 bước lặp

Bước lặp	Giá trị, $\eta_i$	Khoảng cách đến mất ổn định, $k_i$	Công suất $P_i$ ; $Q_i$
1	[0,5257 0,8506]	0,40745	1,0142; 0,7466
2	[0,4513 0,8924]	0,40249	0,9816; 0,7592
3	[0,4406 0,8977]	0,40246	0,9773; 0,7613
4	[0,4390 0,8985]	<b>0,40245</b>	0,9767; 0,7616
5	[0,4388 0,8986]		

##### 4.2. Xét một hệ thống điện 4 nút như Hình 2



**Hình 2.** Hệ thống điện 4 nút

Các thông số của hệ thống điện 4 nút bao gồm:

- + Điện trở đường dây,  $r_{12} = r_{13} = r_{14} = r_{24} = r_{34} = 0,1$   $\Omega$ /km;
- + Điện kháng đường dây,  $x_{12} = x_{13} = x_{14} = x_{24} = x_{34} = 0,7$   $\Omega$ /km;
- + Điện áp cơ bản,  $U_{cb} = 220$  kV;
- + Công suất cơ bản,  $S_{cb} = 100$  MVA;
- + Nút 1: nút cân bằng:  $V_1 = 1 \angle 0^\circ$ ;
- + Nút 2: nút tải
  - Điện áp,  $V_2 = V_2 \angle \theta_2^0$ ;
  - Công suất,  $P_2 = 120$  MW,  $Q_2 = 70$  MVar;
- + Nút 3: nút tải
  - Điện áp,  $V_3 = V_3 \angle \theta_3^0$ ;
  - Công suất,  $P_3 = 120$  MW,  $Q_3 = 50$  MVar;

+ Nút 4: nút tải

- Điện áp,  $V_4 = V_4 \angle \theta_4^0$

- Công suất,  $P_4 = 120 \text{ MW}$ ,  $Q_4 = 50 \text{ MVar}$ ;

Sau 07 bước lặp, giá trị,  $\eta$  đã hội tụ và xác định được khoảng cách ngắn nhất dẫn đến mất ổn định điện áp:

$$\eta_* = (0.2759 \ 0.2603 \ 0.3756 \ 0.4806 \ 0.4145 \ 0.5588)$$

$$\rho_* = (1.4281 \ 1.4160 \ 1.5081; \ 1.0971 \ 0.8434 \ 0.9598)$$

Suy ra:

Khoảng cách ngắn nhất dẫn đến mất ổn định điện áp:

$$k_{\min} = 0,8250$$

**Bảng 2.** Các thông số tìm được qua 7 bước lặp

Bước lặp	Giá trị $\eta_i$	Khoảng cách tới mất ổn định $k_i$	Công suất $P_i; Q_i$
1	[0.3793 0.4005 0.4500 0.3946 0.3894 0.4312]	1.0150	1.5850 1.6065 1.6568; 1.1005 0.8952 0.9376
2	[0.1771 0.1359 0.9128 0.2982 0.1625 0.0418]	1.2100	1.4143 1.3644 2.3044; 1.0608 0.6967 0.5506
3	[0.2924 0.2532 0.4696 0.4757 0.3738 0.5137]	0.9300	1.4720 1.4355 1.6367; 1.1424 0.8476 0.9777
4	[0.2842 0.2606 0.3820]	0.9550	1.4714 1.4489 1.5648;

	0.4852 0.4073 0.5514]		1.1634 0.8889 1.0266
5	[0.2807 0.2659 0.3665 0.4841 0.4192 0.5532]	0.8400	1.4358 1.4234 1.5079; 1.1066 0.8521 0.9647
6	[0.2765 0.2618 0.3734 0.4813 0.4163 0.5573]	<b>0.8250</b>	1.4281 1.4160 1.5081; 1.0971 0.8434 0.9598
7	[0.2759 0.2603 0.3756 0.4806 0.4145 0.5588]		

## 5. KẾT LUẬN

Phương pháp xác định khoảng cách ngắn nhất  $k_{\min}$  dẫn đến mất ổn định điện áp trong hệ thống điện đã thể hiện được nhiều ưu điểm trong bài toán nghiên cứu sụp đổ điện áp trong hệ thống điện. Phương pháp này có nhiều hữu ích cho công tác định hướng vận hành hệ thống điện một cách an toàn khi có sự biến động của phụ tải.

Các mô phỏng được trình bày trong luận văn cho thấy phương pháp xác định khoảng cách ngắn nhất  $k_{\min}$  có khả năng xác định được lượng phụ tải biến động dẫn đến  $k_{\min}$  tại các nút trong hệ thống điện. Các giá trị của lượng phụ tải này làm cơ sở giới hạn cho các giá trị phụ tải ban đầu trong khi vận hành.

Kết quả đạt được bao gồm tìm được giá trị  $k_{\min}$  trong hệ thống điện.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] M. Begovic et al, "Summary of System Protection Voltage Stability," *IEEE Transactions on Power Delivery*, April 1995.
- [2] Amer Al - Hinaï, Voltage collapse prediction inter-connection power systems, IEEE Conference, 2000.
- [3] P. Kunder, Power system stability and control, 2003.
- [4] V. Ajjarapu and B. Lee, "Bibliography on Voltage Stability," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2008
- [5] Q. Wang and V. Ajjarapu, "A Critical Review on Preventive and Corrective Control Against Voltage Collapse," *Electrical Power Components and Systems*, 2010
- [6] Nguyễn Hoàng Việt, Phan Thị Thanh Bình, Ngăn mạch và ổn định điện áp trong hệ thống điện, 2011.
- [7] Hồ Văn Hiến, Hệ thống điện truyền tải và phân phối, 2013.

### **Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:**

Họ tên: Lê Thành Khoa

Đơn vị: Trường Cao Đẳng Nghề Tiền Giang

Điện thoại: 0949613116

Email: lthanhkhoa@gmail.com

# BÀI BÁO KHOA HỌC

THỰC HIỆN CÔNG BỐ THEO QUY CHẾ ĐÀO TẠO THẠC SỸ

Bài báo khoa học của học viên

có xác nhận và đề xuất cho đăng của Giảng viên hướng dẫn

---



Bản tiếng Việt ©, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH và TÁC GIẢ

Bản quyền tác phẩm đã được bảo hộ bởi Luật xuất bản và Luật Sở hữu trí tuệ Việt Nam. Nghiêm cấm mọi hình thức xuất bản, sao chép, phát tán nội dung khi chưa có sự đồng ý của tác giả và Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.

ĐỂ CÓ BÀI BÁO KHOA HỌC TỐT, CẦN CHUNG TAY BẢO VỆ TÁC QUYỀN!

---

Thực hiện theo MTCL & KHTHMTCL Năm học 2018-2019 của Thư viện Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh.