

**PHƯƠNG PHÁP NGOẠI SUY TIỆM CẬN DỰ BÁO NHANH GIỚI HẠN ỔN ĐỊNH  
TÍNH HỆ THỐNG ĐIỆN TRÊN CƠ SỞ THÔNG SỐ TRẠNG THÁI CHẾ ĐỘ XÁC LẬP**  
ASYMPTOTE EXTRAPOLATING METHOD TO QUICKLY FORECAST STEADY STATE  
STABILITY LIMIT OF POWER SYSTEM BASED ON OPERATING PARAMETERS

**Lã Văn Út**

Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

**Nguyễn Mạnh Cường**

Viện Năng lượng

**TÓM TẮT**

*Trong hoạt động điều độ, vận hành thị trường điện (TTĐ) luôn đòi hỏi phải quan tâm đến giới hạn truyền tải theo điều kiện ổn định của hệ thống điện (HTĐ). Trong khi đó các phương pháp tìm giới hạn ổn định HTĐ rất phức tạp, thường dẫn tới việc tính lặp chế độ nên khối lượng và thời gian tính lớn. Dựa trên lý thuyết hình học giải tích và tiêu chuẩn mất ổn định phi chu kỳ, bài báo đề xuất phương pháp ngoại suy tiệm cận (NSTC) để dự báo nhanh giới hạn ổn định tĩnh của HTĐ theo thông số trạng thái chế độ xác lập (CDXL). Sai số và hiệu quả phương pháp được đánh giá qua kết quả tính toán đối với HTĐ đơn giản 5 nút, so sánh với phương pháp tính lặp (lấy làm chuẩn). Kết quả cho thấy sai số phương pháp NSTC đủ nhỏ, thỏa mãn các yêu cầu ứng dụng thực tế.*  
Từ khóa: Ổn định hệ thống điện, giới hạn truyền tải, ngoại suy tiệm cận, mất ổn định phi chu kỳ.

**ABSTRACT**

*The dispatching and operation of power pool always requires the assessment of steady state stability limit (SSSL) of power system. Methods to determine the power stability limit currently adopted pose problems of repetitive calculations, increasing loads (in different scenarios), and checking stability criteria until being violated. Based on the theory of analytic geometry and aperiodic instability criteria, this paper proposes Asymptote extrapolating method to quickly forecast steady state stability limit of power system based on operating parameters. This method is expected to give estimations on stability according to active and reactive power being transmitted or received at each bus in the system. Deviations and the effectiveness of the method are assessed by calculation results of stability limits for a simple five-bus power system, comparing it with conventional repetition method (being standard in this research). The findings show that the deviations revealed from the two methods are relative small. This satisfies the requirements for practical application.*

Keywords: Power system stability, power transmission limit, asymptote extrapolating method, aperiodic instability

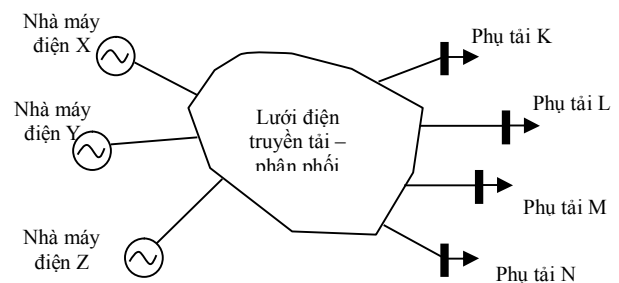
**I. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Trong hoạt động của TTĐ, bài toán thường được đặt ra là, liệu một nhà máy điện X (với mức giá hấp dẫn) có phải lúc nào cũng sẵn sàng đáp ứng được nhu cầu mua điện của phụ tải L? Hoặc khi phụ tải L có nhu cầu mua thêm công suất thì nên chọn mua của nhà máy nào hơn, xét về phương diện đảm bảo mức độ ổn định cho hệ thống?

Nếu chỉ xét đến giới hạn truyền tải theo điều kiện phát nóng đường dây tải điện thì sẽ không thể trả lời đầy đủ được cho các nội dung nêu trên, bởi vấn đề liên quan đến giới hạn công suất truyền tải theo điều kiện ổn định.

Mặt khác, giới hạn ổn định lại phụ thuộc vào trạng thái phân bố công suất, nên cần liên tục

đánh giá mức độ ổn định tại tất cả các nút trong hệ thống để so sánh lựa chọn phương thức truyền tải.



Hình 1. Sơ đồ cung cấp điện trong thị trường điện cạnh tranh

Để đáp ứng các yêu cầu trên, cần phải thường xuyên giải bài toán tìm giới hạn truyền tải theo điều kiện ổn định, tương ứng với một số lượng lớn các tình huống cần xem xét. Trong khi đó các phương pháp tìm giới hạn ổn định HTĐ rất phức tạp, thường dẫn đến phép tính lặp chế độ với thời gian tính lớn.

Một số phương pháp được đề xuất nhằm ước lượng mức độ ổn định theo thông số trạng thái, như dùng chỉ số ổn định phụ tải L- indicator [1], góc công suất nút [2], ... nhưng chủ yếu chỉ có ý nghĩa so sánh, không xác định chính xác được giới hạn công suất tuyến tải.

Các nghiên cứu trong bài báo này đề xuất phương pháp ngoại suy tiệm cận để dự báo nhanh giới hạn công suất truyền tải theo điều kiện ổn định trên cơ sở thông số CĐXL.

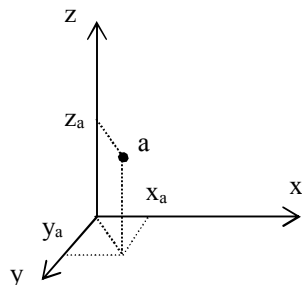
Do không phải làm nặng chế độ và tính lặp nên phương pháp NSTC có thời gian tính toán rất nhanh, đáp ứng các yêu cầu trong công tác điều độ, vận hành TTD.

## II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA PHƯƠNG PHÁP

### A. Điều kiện HTĐ ở trạng thái giới hạn ổn định

Về lý thuyết, tiêu chuẩn giới hạn ổn định đối với HTĐ đang vận hành có thể lấy tương ứng với điều kiện  $A_n = 0$ , trong đó  $A_n$  là số hạng tự do phương trình đặc trưng mô tả quá trình quá độ HTĐ [3]. Hơn nữa, do trị số  $A_n$  trùng với định thức Jacobi của hệ phương trình CĐXL nên còn có thể coi hệ thống ở giới hạn ổn định tương ứng với điều kiện giới hạn tồn tại nghiệm của hệ phương trình CĐXL (lúc ma trận Jacobi suy biến) [4]. Bài báo sử dụng điều kiện này cùng với các ý tưởng hình giải tích trong [2] làm cơ sở xuất phát.

Xét hệ 3 phương trình 3 ẩn trong không gian 3 chiều:

$$\begin{cases} f_1(x, y, z) = 0 \\ f_2(x, y, z) = 0 \\ f_3(x, y, z) = 0 \end{cases} \quad (2-1)$$


Hình 1. Tọa độ điểm a trong không gian

Hệ 3 phương trình này nếu có nghiệm thì mỗi nghiệm là một điểm trong không gian 3 chiều  $(x, y, z)$ , ví dụ điểm a trên hình 1 với các giá trị  $(x_a, y_a, z_a)$  thỏa mãn hệ (2-1).

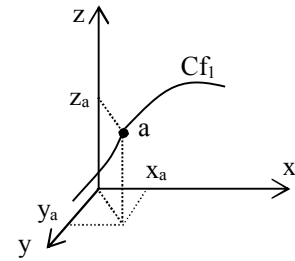
Bây giờ nếu bỏ bớt 1 phương trình (ví dụ bỏ phương trình 1), khi đó hệ 2 phương trình:

$$\begin{cases} f_2(x, y, z) = 0 \\ f_3(x, y, z) = 0 \end{cases}$$

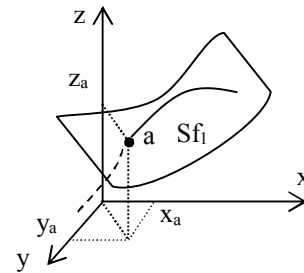
sẽ xác định một đường cong (kí hiệu  $C_{f_1}$ ) đi qua

điểm a như hình 2.

Hình 2. Đường cong trong không gian



Nếu chỉ xét 1 phương trình, ví dụ  $f_1(x, y, z) = 0$ , thì trong không gian 3 chiều, nó biểu thị một mặt cong  $S_{f_1}$  chứa điểm a (hình 3). Hơn nữa đường cong  $C_{f_1}$  nêu trên sẽ cắt mặt cong  $S_{f_1}$  tại vị trí điểm a.

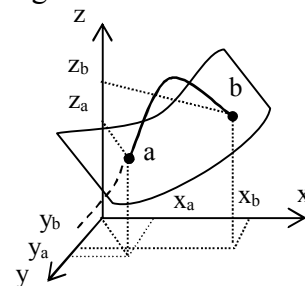


Hình 3. Mặt cong đi qua điểm a trong không gian

Giả thiết hệ 3 phương trình có chứa một tham số  $\lambda$  nào đó:

$$\begin{cases} f_1(x, y, z, \lambda) = 0 \\ f_2(x, y, z, \lambda) = 0 \\ f_3(x, y, z, \lambda) = 0 \end{cases} \quad (2-2)$$

Khi  $\lambda$  thay đổi vị trí đường và mặt cong dịch chuyển nên điểm a cũng di chuyển liên tục dọc theo đường cong.



Hình 4. Giao điểm giữa mặt cong và đường cong trong không gian

Hình 4 thể hiện trường hợp hệ phương trình có 2 nghiệm, vị trí của chúng nằm trên đường cong  $C_{f_1}$  và mặt cong  $S_{f_1}$  trong không gian.

Khi  $\lambda$  thay đổi hệ có thể chuyển từ có nghiệm sang vô nghiệm. Vị trí giới hạn là vị trí tương ứng với lúc đường và mặt cong tiếp xúc với nhau tại 1 điểm, đó cũng là lúc ma trận Jacobi của hệ trở thành suy biến,  $\det(J)=0$ .

Có thể mở rộng các đặc trưng nêu trên cho không gian n chiều với hệ n phương trình [5].

### B. Trạng thái giới hạn ổn định của HTĐ

Giả thiết HTĐ có n+1 nút kể cả nút cân bằng (nút n+1), với m nút nguồn (không tính nút cân bằng), trong đó có s nút nguồn dạng PV và m-s nút nguồn dạng PQ. Các nút còn lại là nút tải hoặc trung gian.

Với các giả thiết trên, dạng tối giản của hệ phương trình CĐXL có thể viết được như sau [6], [7]:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n+1} y_{ij} U_i U_j \cos(\Psi_{ij} - \delta_i + \delta_j);$$

với  $i = 1, 2, \dots, n$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n+1} y_{ij} U_i U_j \sin(\Psi_{ij} - \delta_i + \delta_j);$$

với  $i = 1, 2, \dots, n-s$

Trong đó:

n+1: số nút của hệ thống. Nút cân bằng được đánh số n+1, với  $\delta_{n+1} = 0$ .

$P_i, Q_i$ : công suất tác dụng và công suất phản kháng bơm vào nút i (phụ tải mang dấu âm).

$\Psi_{ij}, y_{ij}$ : góc pha và modun của tổng dẫn  $Y_{ij}$ .

$\delta_i, U_i$ : góc pha và modun của điện áp nút i.

Do góc  $\Psi_{ij}$  thường lớn hơn  $90^\circ$  nên người ta còn hay đổi biến tính theo góc  $\theta_{ij} = \Psi_{ij} - 90^\circ$ , khi đó ta có hệ:

$$P_i = y_{ii} U_i^2 \cos \psi_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} y_{ij} U_i U_j \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (2-3)$$

$$Q_i = -y_{ii} U_i^2 \sin \psi_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} y_{ij} U_i U_j \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$i = 1, 2, \dots, n-s \quad (2-4)$$

Ta có thể kí hiệu gọn lại theo dạng tổng quát:

$$F(X) = \lambda \quad (2-5)$$

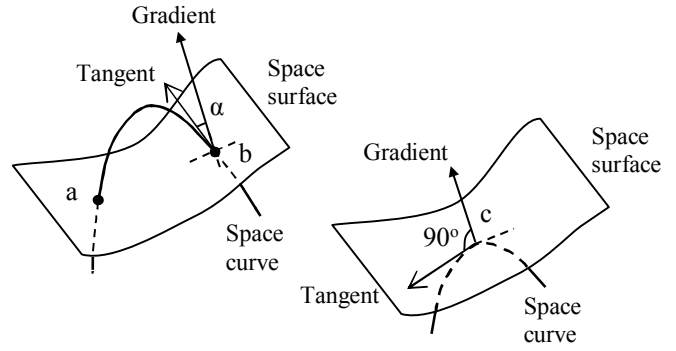
với:

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_{2n-s})^t$$

$$X = (\dots \delta_i \dots, \dots U_i \dots)^t$$

$$\lambda = (\dots P_i \dots, \dots Q_i \dots)^t$$

Cách viết trên tương ứng với dạng (2-2), sẽ cho phép ứng dụng trực tiếp các kết quả phân tích trong mục A.



Hình 5. Vị trí tương đối giữa đường cong và mặt cong trong không gian

Hình 5 thể hiện trạng thái ban đầu và trạng thái giới hạn khi hệ phương trình chỉ còn một nghiệm. Với hệ phương trình CĐXL của HTĐ thì đó cũng là trạng thái giới hạn ổn định. Rõ ràng có thể nhận dạng trạng thái giới hạn qua trị số của góc  $\alpha$  giữa vector pháp tuyến (gradient vector) của mặt cong và vector tiếp tuyến (tangent vector) của đường cong tại điểm cắt: lúc  $\alpha = 90^\circ$ .

### C. Tính toán góc $\alpha$ và chỉ số ổn định

Xét hệ phương trình (2-3) (2-4), với ma trận Jacobi thiết lập được:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{2n-s}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_{2n-s}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{2n-s}}{\partial x_1} & \frac{\partial f_{2n-s}}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_{2n-s}}{\partial x_{2n-s}} \end{bmatrix}$$

Theo lí thuyết hình giải tích không gian, vector pháp tuyến của mặt không gian  $Sf_i$  có các thành phần tỉ lệ với đạo hàm riêng của hàm  $f_i$  theo các hướng [5]:

$$\nabla f_i = \left( \frac{\partial f_i}{\partial x_1}, \frac{\partial f_i}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f_i}{\partial x_{2n-s}} \right)^t$$

Tiếp tuyến với đường cong không gian  $Cf_i$  có các thành phần tỉ lệ với các phần phụ đại số của các phần tử trên hàng i của ma trận Jacobi [5]:

$$\text{Tag}_i = (M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{i(2N-m)})^t.$$

Cũng theo lí thuyết hình giải tích không gian, góc giữa 2 vector không gian có cosin tính được theo biểu thức sau:

$$\cos \alpha = \frac{\nabla f_i * \text{Tag}_i}{\|\nabla f_i\| \|\text{Tag}_i\|}$$

Trong đó dấu "\*" biểu thị tích vô hướng của 2

vector còn dấu  $\| \cdot \|$  biểu thị chuẩn Ôclid của vector. Ta có:

$$\|\nabla f_i\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_{2N-s}}\right)^2}$$

$$\|\text{Tag}_i\| = \sqrt{(M_{i1})^2 + (M_{i2})^2 + \dots + (M_{i(2N-s)})^2}$$

Mặt khác, theo công thức tính định thức thì  $\nabla f_i \cdot \text{Tag}_i = \det(J)$ . Như vậy, khi  $\alpha=90^\circ$  hay  $\nabla f_i \cdot \text{Tag}_i = 0$ , cũng chính là lúc định thức Jacobi triệt tiêu.

Ý tưởng sử dụng góc  $\alpha$  làm chỉ dấu đánh giá ổn định đã được đề xuất bởi Adly A. Girgis và Liancheng Wang [2].

#### D. Phương pháp ngoại suy tiệm cận tìm giới hạn ổn định

Xét hệ (2-3) (2-4) với  $\lambda$  của mọi phương trình giữ cố định (nhận các giá trị  $P_j^*$  và  $Q_j^*$ ) trừ một trị số  $\lambda_i = P_i$  thay đổi. Ta có thể coi như bổ sung 1 biến vào hệ phương trình, với phương trình bổ sung  $x_{i+1} = P_i$ . Khi đó phương trình  $x_{i+1} = P_i^*$  xác định mặt phẳng trong không gian  $N+1$  chiều (chỉ để tiện khảo sát, không làm thay đổi định thức Jacobi).

Từ (2-3) có thể thấy các hàm  $f_i$  tương ứng với phương trình cân bằng CSTD của nút là tổng của các hàm hình sin theo các góc lệch  $\delta$  (khi coi các điện áp  $U$  ít thay đổi theo CSTD). Hơn nữa, chỉ có thành phần tính theo  $\delta_i$  là thay đổi mạnh nhất theo  $P_i$ . Thật vậy, với giả thiết công suất ở tất cả các nút không thay đổi, thì khi  $P_i$  thay đổi chỉ có nút cân bằng có biến động công suất. Góc lệch  $\delta_i$  tương ứng với thành phần trao đổi công suất giữa nút  $i$  và nút cân bằng, do đó sẽ thay đổi mạnh. Các góc pha còn lại, tương ứng với trao đổi công suất giữa các nút khác với nút cân bằng, chỉ biến động rất nhỏ. Nói khác đi có thể coi gần đúng phương trình tương ứng với biến  $\delta_i$  ở dạng:

$$P_i = P_{ii} + P_m \sin(\delta_i - \varphi). \quad (2-6)$$

Trong đó, thành phần  $P_{ii} = y_{ii} U_i^2 \cos \psi_{ii}$  không đổi. Góc  $\psi_{ii} \approx -90^\circ$  nên  $P_{ii}$  có giá trị rất nhỏ.

$P_m$  và  $\varphi$  là biên độ và góc dịch pha của hàm sin tiệm cận, cần xác định theo thông số trạng thái.

Tương tự, có thể coi góc  $\delta$  ít thay đổi theo CSPK, hơn nữa công suất phản kháng  $Q_i$  thay đổi chủ yếu chỉ làm thay đổi điện áp  $U_i$  của nút  $i$ . Từ (2-4) ta nhận thấy  $Q_i$  có dạng bậc 2 theo  $U_i$ .

Giả thiết này hoàn toàn tương ứng với cách chấp nhận khi áp dụng tiêu chuẩn Markovits cho từng nút [8].

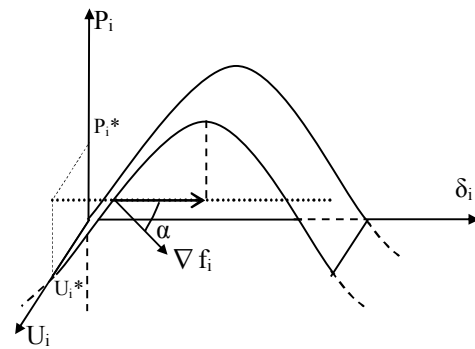
#### a) Tìm giới hạn công suất tác dụng

Như đã nhận xét trong phần trên, nghiệm CĐXL có thể xác định tương ứng với giao điểm của mặt cong  $P_i(\delta_i)$  và đường cong của các phương trình còn lại. Với những chấp nhận như vừa nêu thì đường cong sẽ có dạng gần với đường thẳng song song với trục  $\delta_i$  (hình 6). Theo lý thuyết hình giải tích, đạo hàm của hàm  $P_i$  theo  $\delta_i$  chính bằng hình chiếu của vectơ pháp tuyến của mặt cong lên trục  $\delta_i$ . Nghĩa là  $dP_i(\delta_i)/d\delta_i = \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha)$ .

Theo (2-6) ta giả thiết tiệm cận hàm  $P_i(\delta_i)$  ở dạng:

$$y = P_m \sin(\delta - \varphi) + P_{ii}$$

Các tham số cần tìm là  $P_m$ , và  $\varphi$ .



Hình 6. Mặt cong  $P_i(\delta_i)$  cắt đường thẳng của các phương trình còn lại

Ta có các phương trình sau, đúng với thông số CĐXL hiện hành (khi CSTD nút xét có trị số  $P^*$ ):

$$y = P_m \sin(\delta - \varphi) + P_{ii} = P^* \quad (2-7)$$

$$y' = P_m \cos(\delta - \varphi) \quad (2-8)$$

Như trên ta có trị số đạo hàm:

$$y' = \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha)$$

Do đó:  $P_m \cos(\delta - \varphi) = \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha)$

Bình phương 2 vế các phương trình (2-7), (2-8) cộng lại ta được:

$$P_m^2 = (P^* - P_{ii})^2 + [\|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha)]^2$$

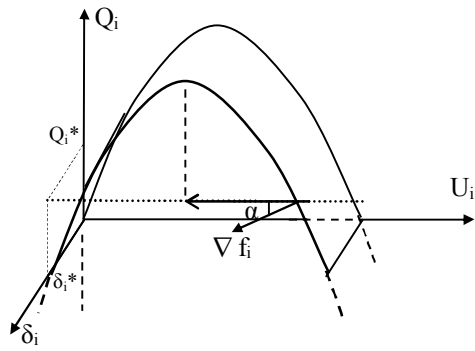
$$P_m = \sqrt{(P^* - P_{ii})^2 + [\|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha)]^2}$$

Coi gần đúng:  $P_{ii} = 0$ , ta tính được công suất giới hạn  $P_m$  (không phụ thuộc góc  $\varphi$ ):

$$P_m = \sqrt{P^{*2} + [\|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha)]^2} \quad (2-9)$$

#### b) Tìm giới hạn công suất phản kháng

Ta cũng giả thiết phương trình viết cho CSPK nút có dạng gần đúng bậc hai theo điện áp nút. Dạng tổng quát của hàm bậc 2 có dạng  $y = aX^2 + bX + c$ . Tuy nhiên, theo (2-4), khi  $U = 0$  thì công suất nút tải cũng bằng 0 nên ta có thể xét hàm ở dạng:  $y = aU^2 + bU$  (hình 7).



Hình 7. Mặt cong  $Q_i(U_i)$  cắt đường thẳng của các phương trình còn lại

Các tham số cần xác định là a và b.

Giả thiết đã biết  $U_1$  ở CĐXL (tương ứng với lúc CSPK nút  $Q = Q^*$ ).

Các phương trình có được như sau:

$$y = aU_1^2 + bU_1 = Q^* \quad (2-10)$$

$$y' = 2aU_1 + b = \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha) \quad (2-11)$$

Từ phương trình (2-11) ta có:

$$b = \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha) - 2aU_1$$

Thay vào (2-10) ta có:

$$aU_1^2 + [\|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha) - 2aU_1] \cdot U_1 = Q^*$$

$$-aU_1^2 + \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha) \cdot U_1 = Q^*$$

Suy ra:

$$a = \frac{\|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha) \cdot U_1 - Q^*}{U_1^2}$$

$$b = \|\nabla f_i\| \cdot \cos(\alpha) - 2aU_1$$

Điện áp giới hạn (lúc  $y'=0$ ):  $U = -b/2a$

Thay vào biểu thức y ta nhận được giá trị cực đại:  $y_{\max} = -b^2/4a = Q_m$  (2-12) chính là giới hạn CSPK nút.

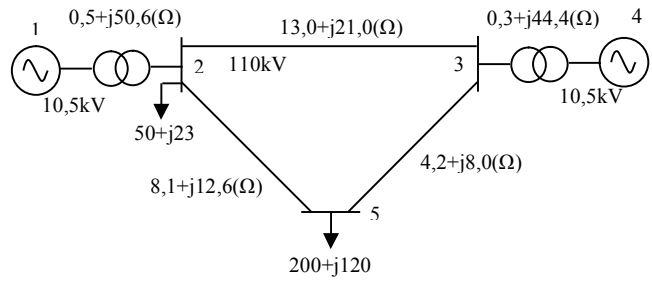
Dễ thấy, sai số của phép tiệm cận có thể mắc phải là do đã coi gần đúng các thông số ít biến động là hằng số khi hệ thống chuyển từ chế độ đầu đến chế độ giới hạn. Như vậy, càng ở xa chế độ giới hạn sai số sẽ càng lớn, tuy nhiên, đó lại là chế độ an toàn.

### III. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Xét hệ thống điện đơn giản như hình 8, trong đó có 2 nút nguồn (nút 1, 4), hai nút tải (nút 2, 5). Nút 3 là nút trung gian (không có tải hay nguồn đầu trực tiếp). Có thể đặt ra các bài toán sau:

- Tính giới hạn truyền tải công suất nhận về các nút tải khi công suất cung cấp từ nguồn 1 hoặc từ nguồn 4, so sánh ảnh hưởng của phương thức cung cấp nguồn đến mức độ ổn định.

- So sánh ảnh hưởng đến các giới hạn ổn định khi đặt thêm dung lượng bù tại nút 5.



Hình 8. Sơ đồ hệ thống điện đơn giản 5 nút

Do sơ đồ khá đơn giản, ta có thể tính được các giới hạn trên cho mọi nút bằng cả phương pháp lập (gọi là tính off-line) và phương pháp NSTC. Mục đích là để đánh giá sai số của phương pháp NSTC, đồng thời thấy rõ được ảnh hưởng của phương thức cấp nguồn. Với phương pháp lập, trong bài báo sử dụng chương trình CONUS (của ĐHBK HN) có chức năng tìm giới hạn ÔDT theo các kịch bản khác nhau.

#### 1. Sai số phương pháp NSTC

Trước hết tìm giới hạn nhận công suất cho các nút tải từ nguồn cung cấp là NMD tại nút 4 (NMD4). Kết quả tính bằng 2 phương pháp được liệt kê trong bảng 1. Trong phương thức này NMD1 giữ nguyên công suất là 100MW.

Bảng 1. So sánh giới hạn khi cung cấp từ NMD4

Hàng	Thông số	Tính theo NSTC			Tính off-line		
		$\alpha$	$P_m Q_m$	$K_{dt}\%$	$P_0 Q_0$	$P_m Q_m$	$K_{dt}\%$
1	$P_2$	86.1°	4.69	89.3%	0.5	3.73	86.6%
2	$P_5$	87.2°	5.19	61.5%	2	5.21	61.6%
3	$P_3$	86.7°	5.39	100.0%	0	4.28	100.0%
4	$Q_2$	81.5°	2.63	91.3%	0.23	2.34	90.2%
5	$Q_5$	84.7°	3.09	61.2%	1.2	3.22	62.7%
6	$Q_3$	84.2°	2.38	100.0%	0	2.38	100.0%

Có các nhận xét sau:

- Nếu coi phương pháp tính lập (tính off-line) là chính xác thì sai số của phương pháp NSTC không phải là lớn. Hệ số dự trữ có sai số dưới 2,7%, còn sai số tuyệt đối (tính theo trị số giới hạn) có lớn hơn, tuy nhiên sai số nhỏ hơn rất nhiều so với cách ước lượng trong [2].

- Sai số tuyệt đối có trị số lớn hơn thuộc về các nút có công suất vận hành đang ở xa giới hạn (nút 2 và 3) và ngược lại. Điều này dễ giải thích vì phương pháp đề xuất có ý nghĩa ngoại suy tiệm cận. Đối với nút có dự trữ nhỏ, phương pháp NSTC cho kết quả chính xác hơn. Điều này phù hợp với mong muốn kiểm tra nút yếu, đảm bảo độ tin cậy cao hơn cho các ứng dụng.

#### 2. So sánh ảnh hưởng của nguồn cung cấp

Vấn xét giới hạn công suất nhận về cho các nút tải nhưng thay đổi phương thức cung cấp từ nguồn là NMĐ tại nút 1 (NMĐ1). Trong phương thức này NMĐ4 được giữ nguyên công suất phát, sự thay đổi phụ tải sẽ được đáp ứng từ NMĐ 1 (đôi nút cân bằng). Kết quả so sánh với phương thức cung cấp từ NMĐ4, được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. So sánh ảnh hưởng phương thức cung cấp

Hàng	Thông số	Nhận từ nguồn 4			Nhận từ nguồn 1		
		$\alpha$	$P_m Q_m$	$K_{dt}\%$	$\alpha$	$P_m Q_m$	$K_{dt}\%$
1	$P_2$	86.1	4.69	89.3	85.9	4.83	89.6
2	$P_5$	87.2	5.19	61.4	87.5	4.61	56.6
3	$P_3$	86.7	5.39	100	87.5	4.16	100
4	$Q_2$	81.5	2.63	91.3	81.8	2.55	91
5	$Q_5$	84.7	3.09	61.2	84.7	3.09	61.2
6	$Q_3$	84.2	2.38	100	84	2.45	100

Nhận xét:

- Khi thay đổi phương thức cung cấp nguồn, giới hạn truyền tải có thay đổi đáng kể. Với sơ đồ trên, tải nút 2 nhận công suất từ NMĐ1 có giới hạn cao hơn từ NMĐ4. Trong khi đó nút 3 và nút 5 nhận từ nguồn nút 4 có giới hạn cao hơn. Điều này có thể giải thích qua khoảng cách cung cấp từ tải đến nguồn (tính theo tổng trở). Nhận công suất qua khoảng cách xa, giới hạn ổn định sẽ thấp hơn. Tuy nhiên, với sơ đồ phức tạp giới hạn ổn định chỉ có thể căn cứ vào kết quả tính toán.

- Giới hạn CSPK ít phụ thuộc hơn vào phương thức cung cấp nguồn.

### 3. So sánh ảnh hưởng của thiết bị bù

Vấn sơ đồ hệ thống điện trên, lắp thêm một bộ tụ bù tĩnh tại nút 5 với dung lượng 100 MVar. Ta vẫn tính bằng cả 2 phương pháp nhưng chỉ với 1 phương thức cung cấp nguồn từ nút 4. Kết quả nhận được ghi trong bảng 3.

Bảng 3 Kết quả tính toán khi có thêm thiết bị bù

Hàng	Thông số	Tính on-line			Tính off-line		
		$\alpha$	$P_m Q_m$	$K_{dt}\%$	$P_0 Q_0$	$P_m Q_m$	$K_{dt}\%$
1	$P_2$	86.2	5.0	90.0%	0.5	4.3	88.4%
2	$P_5$	87.3	5.5	63.6%	2.0	5.8	65.6%
3	$P_3$	86.9	5.7	100.0%	0.0	4.9	100.0%
4	$Q_2$	82.0	2.8	91.8%	0.2	2.7	91.4%
5	$Q_5$	85.0	3.3	63.6%	1.2	3.6	66.3%
6	$Q_3$	84.5	2.6	100.0%	0.0	2.5	100.0%

Nhận xét:

- Thiết bị bù tĩnh có ảnh hưởng rõ rệt trong việc nâng cao giới hạn ổn định của công suất nút

tải, đồng thời nâng giới hạn ổn định chung cho toàn hệ thống.

- Kết quả tính toán theo phương pháp đề xuất (NSTC) vẫn có sai số nhỏ so với tính toán trực tiếp (off-line).

### III. KẾT LUẬN

- Phương pháp NSTC cho phép dự báo nhanh công suất truyền tải giới hạn theo điều kiện ổn định HTĐ với sai số đủ nhỏ cho các ứng dụng thực tế. Nút có dự trữ ổn định càng thấp, phương pháp cho kết quả với độ chính xác càng cao. Đây là một thuận lợi cho các ứng dụng.

- Khi thay đổi phương thức nguồn cung cấp, độ dự trữ ổn định thay đổi đáng kể. Do đó, việc tính toán phân tích giới hạn công suất truyền tải theo điều kiện ổn định (khi thay đổi phương thức huy động nguồn) là rất cần thiết. Kết quả sẽ cho phép lựa chọn nguồn cung cấp hợp lý, đặc biệt là trong các hoạt động của thị trường điện.

- Áp dụng biện pháp bù tĩnh tại nút tải có thể cải thiện giới hạn truyền tải công suất cho nút, đồng thời nâng cao được mức độ ổn định chung cho toàn hệ thống.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Kessel and H. Glavitsch, "Estimating the voltage stability of a power system," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 1, pp. 346-354, 1986.
- [2] L. Wang and A. A. Girgis, "On-line detection of power system small disturbance voltage instability," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 11, pp. 1304-1313, 1996.
- [3] Жданов П. С., *Устойчивость электрических систем*. Москва: Государственное Энергетическое издательство, 1948.
- [4] Y. Tamura, et al., "Relationship between voltage instability and multiple load flow solutions in electric power systems," *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, pp. 1115-1125, 1983.
- [5] C. G. Cullen, *Matrices and linear transformations*: Courier Dover Publications, 2012.
- [6] P. Kundur, *Power system stability and Control*. California: McGraw-Hill, Inc., 2008.
- [7] L. V. Út, *Phân tích & Điều khiển ổn định hệ thống điện*: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2011.
- [8] И. М. Маркович, *Режим энергетических систем*. Москва: Энергия, 1969.

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Mạnh Cường, phòng Phát triển Hệ thống điện, Viện Năng lượng, địa chỉ: số 6, phố Tôn Thất Tùng, quận Đống Đa, TP. Hà Nội. SĐT: 04.38523742, email: cuongoe@gmail.com.