

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TIẾP TUYẾN LIÊN TỤC PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

THE USE OF CONTINUATION POWER FLOW METHOD FOR VOLTAGE STABILITY ASSESSMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEM

Trịnh Trọng Chương
ĐH Công Nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu phương pháp tiếp tuyến liên tục để phân tích ổn định điện áp trong các hệ thống điện. Phương pháp được bắt đầu từ việc xác định điểm vận hành và các cơ chế dẫn đến mất ổn định điện áp của hệ thống điện. Kết quả phương pháp được thể hiện qua đường đặc tính ổn định P-U tại các nút khi mô phỏng cho một hệ thống điện mẫu 30 nút của IEEE, đã cho kết quả ban đầu khá chính xác, thuận tiện và nhanh chóng.

Từ khoá: Ổn định điện áp, phương pháp tiếp tuyến liên tục,...

ABSTRACT

This paper introduces the concept of the continuation power flow analysis to be used in voltage stability analysis of power systems. It starts at some base values of the system, leading to the critical point. It uses the P-U curves to find the knee point of a certain bus. Method results are shown in curve PU stable at the nodes when simulation models for a 30 node system of the IEEE, the initial results were quite accurate, convenient and fast.

Keywords: Voltage stability, continuation power flow,...

I. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển mạnh mẽ của nền kinh tế và áp lực gia tăng phụ tải một cách nhanh chóng trong những năm gần đây đã khiến cho các hệ thống điện (HTĐ) vận hành gần với giới hạn về an toàn. Kết quả là các HTĐ đã yếu đi, ngày càng đối mặt với vấn đề ổn định, nhất là ổn định điện áp. Rất nhiều nghiên cứu đã được tiến hành, chủ yếu tập trung vào các vấn đề [1-6]:

- Công cụ và phương pháp: Lựa chọn các công cụ và phương pháp mà có thể hiểu cơ chế của hiện tượng sụp đổ điện áp và cung cấp các công cụ mô phỏng chính xác để trợ giúp, cho việc tính toán thiết kế, qui hoạch HTĐ.
- Mô hình hóa: Lựa chọn các mô hình phù hợp với việc nghiên cứu ổn định điện áp, đặc biệt là các thiết bị như máy phát, bộ

điều áp dưới tải (ULTC), bộ giới hạn kích từ (OEL), tải động cơ...

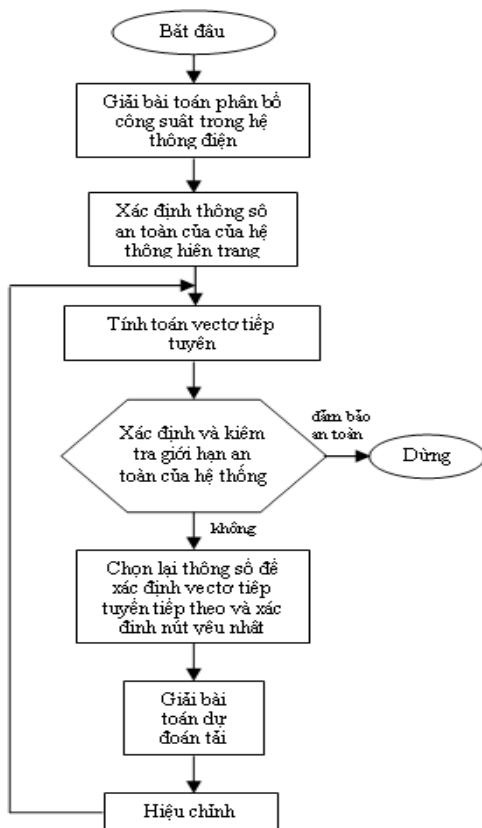
- Các chỉ số: để giúp cho người vận hành đánh giá được tình trạng làm việc của hệ thống, xác định được đó là chế độ an toàn hay không. Hơn nữa, nó còn là tiêu chuẩn để đánh giá độ dự trữ ổn định điện áp của hệ thống.
- Chiến lược điều khiển: Cuối cùng là đề nghị các chiến lược về phòng ngừa và ngăn chặn các sự cố sụp đổ điện áp

Đối với một HTĐ thực tế, người ta cần có một công cụ tin cậy cho việc đánh giá mức độ ổn định điện áp (VSA). Để HTĐ vận hành tin cậy, an toàn, và kinh tế, thì người vận hành cần phải biết hệ thống cung cấp điện đang ở đâu, chế độ đang vận hành là an toàn hay không, khi nào thì HTĐ sẽ đi vào vùng nguy hiểm. Đối với trường hợp nguy hiểm, người vận hành cần phải có những biện pháp đối phó

thích hợp để ngăn chặn sự mất ổn định hay sụp đổ điện áp. Trong bài báo này, tác giả sẽ giới thiệu việc sử dụng công cụ VSA dựa trên phương pháp tiếp tuyến liên tục (CPF) để đánh giá về ổn định điện áp của một HTĐ phức tạp. Một số vấn đề như xác định trường hợp nguy hiểm nhất, nút có điện áp thấp nhất, vùng nguy hiểm nhất sẽ được thảo luận chi tiết.

II. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

Mô hình cho việc đánh giá ổn định điện áp được mô tả trên hình 1.



Hình 1. Thuật toán của CPF

Nhiệm vụ đầu tiên trong VSA là đánh giá mức độ an toàn của điểm làm việc hiện tại dưới quan điểm ổn định điện áp. Dựa vào kết quả, các phân tích được tiến hành để xác định một chiến lược phòng ngừa thích hợp trong trường hợp nguy hiểm, hoặc có những nghiên cứu khác trong trường hợp không nguy hiểm. Mục đích của việc nghiên cứu này là để xác định một sự cố nguy hiểm nhất từ một bộ các

sự cố mà có thể dẫn đến mất ổn định điện áp.

1. Phương pháp tuyến tính liên tục và độ dự trữ tải

Một trong những nhiệm vụ của VSA là để xác định độ dự trữ tải (hay là: khả năng mang thêm tải). CPF [6] đã được đánh giá là một phương pháp cho kết quả chính xác và tin cậy. Theo CPF, các phương trình mô tả HTĐ được viết như sau:

$$\begin{aligned} P_{Gi} - P_{Li} - \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) &= 0 \\ Q_{Gi} - Q_{Li} - \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

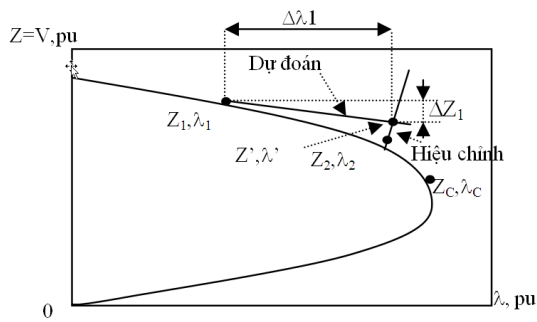
Với: P_{Gi} và Q_{Gi} là công suất tác dụng và phản kháng của máy phát tại nút i ; P_{Li} và Q_{Li} là công suất tác dụng và phản kháng của tải tại nút i ; V_i và θ_i là biên độ và góc pha của điện áp tại nút i ; G_{ij} và B_{ij} là thành phần thực và ảo của phần tử ij trong ma trận tổng dẫn.

$$\begin{aligned} P_{Li} &= P_{Li0} (1 + \lambda K_{LPi}) \\ Q_{Li} &= Q_{Li0} (1 + \lambda K_{LQi}) \\ P_{Gi} &= P_{Gi0} (1 + \lambda K_{Gi}) \end{aligned} \quad (2)$$

Khi nó được dùng để phân tích ổn định điện áp, ma trận Jacobian có thể suy biến tại điểm xảy ra sụp đổ điện áp. Do đó, những phương trình này có xu hướng không hội tụ tại gần điểm sụp đổ điện áp. Đối với mô hình tải công suất không đổi thì sự thay đổi P_{Li} , Q_{Li} và P_{Gi} có thể được biểu diễn như sau:

với P_{Li0} , Q_{Li0} , P_{Gi0} là tải cơ bản và công suất phát tại nút i và K_{LPi} , K_{LQi} , K_{Gi} xác định hướng của phụ tải và máy phát tăng lên theo sự thay đổi của thông số λ .

Phương pháp CPF tính toán lại trào lưu công suất bằng cách cộng thêm một phương trình liên quan đến λ , theo sự tăng của phụ tải cho đến khi vẫn còn giữ được sự hội tụ [6].



Hình 2. Quy trình chính của phương pháp CPF chỉ bởi đặc tính P-U

Một qui trình CPF điển hình được vẽ trên hình 2. Bắt đầu từ một điểm vận hành đã biết, sau đó dùng quá trình lặp bao gồm các bước dự đoán, hiệu chỉnh để tìm các điểm vận hành tiếp theo với sự tăng của phụ tải

a. Bước dự đoán

Sự hiệu chỉnh tạo ra một đánh giá ban đầu của các biến trạng thái cho bước tiếp theo khi λ tăng theo tiếp tuyến với đường cong P-U. Do đó, với một điểm cân bằng đã biết (z_1, λ_1) , như hình 2, được dùng để tính hướng của véc tơ Δz_1 và sự thay đổi $\Delta \lambda_1$ của các thông số HTĐ như sau:

$$\frac{dF}{d\lambda}(z_1, \lambda_1) = D_z F(z_1, \lambda_1) \frac{dz}{d\lambda} \Big|_1 + \frac{\partial F}{\partial \lambda} \Big|_1 = 0$$

$$\Rightarrow D_z F(z_1, \lambda_1) \frac{dz}{d\lambda} \Big|_1 = - \frac{\partial F}{\partial \lambda} \Big|_1 \quad (3)$$

$$\Delta \lambda_1 = \frac{k}{\left\| \frac{dz}{d\lambda} \Big|_1 \right\|} \quad \text{và} \quad \Delta z_1 = \Delta \lambda_1 \frac{dz}{d\lambda} \Big|_1$$

Trong đó, k là một số vô hướng, dương, được chọn để mà điều khiển độ lớn của các bước lặp. Do đó, các bước dự đoán nhận được một điểm mới (z', λ') như sau:

$$\begin{bmatrix} z' \\ \lambda' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ \lambda_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta \lambda_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

b. Bước hiệu chỉnh

Điểm cân bằng thực tế (z_2, λ_2) , như hình 2, được xác định bằng cách giải phương trình trào lưu công suất đã hiệu chỉnh dựa trên điểm dự đoán (z', λ') trong bước dự đoán. Phương trình dùng để giải bài toán này là:

$$F(z, \lambda) = 0; \quad \varphi(z, \lambda) = 0 \quad (5)$$

Cách đơn giản nhất cho việc chọn $\varphi(z, \lambda)$ là cố định một biến trong 2 biến z hoặc λ tại giá trị tính được trong bước dự đoán. Thông thường để lấy $\varphi(z, \lambda)$ để tránh sự mất hội tụ tại những điểm gần với điểm sụp đổ. Cần phải chú ý rằng độ dự trữ tải ảnh hưởng bởi sự thay đổi của các yếu tố sau [7], [9], [10]:

- Sa thải phụ tải trong trường hợp khẩn cấp
- Công suất phản kháng cung cấp hoặc bù
- Sự thay đổi hướng tăng hay giảm phụ tải
- Sự phân bố lại dòng công suất từ điều độ
- Thay đổi mô hình và thành phần của tải
- Thay đổi điện dẫn của đường dây, FACTS

2. Vectơ tiếp tuyến và nút yếu nhất

Một trong những chức năng quan trọng của VSA là chỉ ra nút và vùng nguy hiểm nhất. Những vấn đề này có thể được giải quyết bằng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp véc tơ tiếp tuyến, [8], véc tơ riêng phải, các chỉ số độ nhạy [3], phân tích giá trị suy biến ... Sự thay đổi về điện áp tại mỗi nút đối với một sự thay đổi tải trong hệ thống cho trước được biểu diễn trong véc tơ tiếp tuyến. Sử dụng phương trình hiệu chỉnh mô tả trào lưu công suất đối với sự thay đổi tải như sau:

$$dP_{TOTAL} = \sum_n dP_{L_i} = \sum_n (k_{L_i} S_{BASE} \cos \psi_i) d\lambda$$

$$= \left(S_{BASE} \sum_n k_{L_i} \cos \psi_i \right) d\lambda = C d\lambda \quad (6)$$

với Ψ là hệ số góc công suất của tải thay đổi của nút i.

Vì vậy, nút nguy hiểm nhất có thể là nút j nếu nó thỏa mãn điều kiện sau:

$$\text{nút } j: \quad \left| \frac{dV_j}{C d\lambda} \right| = \max \left(\left| \frac{dV_1}{C d\lambda} \right|, \left| \frac{dV_2}{C d\lambda} \right|, \dots, \left| \frac{dV_n}{C d\lambda} \right| \right)$$

Vì giá trị của $C d\lambda$ là giống nhau ở các nút, do đó nút nguy hiểm nhất có thành phần dV lớn nhất. Ưu điểm của phương pháp này là nút nguy hiểm nhất có thể xác định khi hệ thống vẫn chưa đạt đến điểm mất ổn định vì vậy

cho phép người vận hành có thời gian thực hiện các biện pháp phòng ngừa kịp thời nhằm tránh sự cố sụp đổ điện áp.

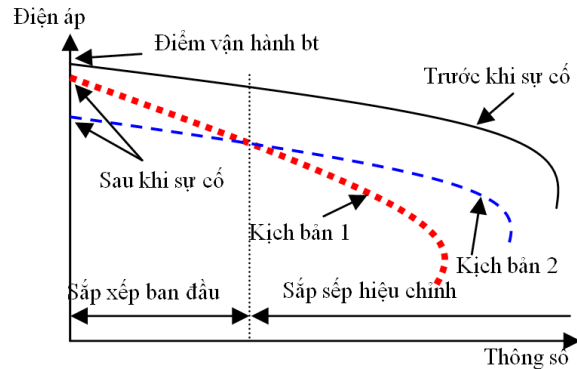
3. Phân tích các kịch bản sự cố

Một HTĐ được coi là “an toàn” nếu sau mỗi kịch bản sự cố có thể xảy ra, nó vẫn còn giữ được trạng thái vận hành thỏa mãn các ràng buộc về tải và vận hành. Các kịch bản sự cố tăng lên do các tình trạng đóng cắt theo kế hoạch, đóng cắt các phần tử của HTĐ, hoặc do các sự cố ngắn mạch. Kết quả của việc phân tích kịch bản sự cố là để phân loại HTĐ thành chế độ an toàn và không an toàn và để cảnh báo người vận hành cũng như những người quy hoạch HTĐ những tình trạng quá tải hay quá giới hạn về điện áp [10]. Để tăng tốc quá trình thực hiện việc phân tích kịch bản sự cố ta dùng mô hình gần đúng của HTĐ. Vì yêu cầu tính toán nhanh, phương pháp tính trào lưu công suất đối với HTĐ một chiều có thể được dùng để phân tích các kịch bản sự cố. Tuy nhiên, các phương pháp tính trào lưu công suất của mạch xoay chiều thì phù hợp hơn cho việc nghiên cứu ổn định điện áp và phân bố công suất phản kháng [11], [12], [13], [14].

4. Lựa chọn kịch bản sự cố

Việc lựa chọn các kịch bản sự cố là cần thiết để giảm thời gian tính toán. Các nhà vận hành biết từ kinh nghiệm vận hành thực tế là những sự cố nào có thể dẫn đến nguy hiểm cho HTĐ. Một vấn đề nguy hiểm là những kinh nghiệm trong quá khứ có thể không còn đúng, phù hợp với những thay đổi nhanh chóng trong HTĐ. Vì vậy mà các kịch bản sự cố phải phụ thuộc vào HTĐ đang vận hành và cần phải được cập nhật liên tục. Hai phương pháp có thể được dùng để lựa chọn kịch bản là: phương pháp xếp hạng sự cố và quét nhanh sự cố. Trong khi phương pháp xếp hạng sự cố đưa ra một danh sách các sự kiện theo trình tự của mức độ nguy hiểm, rủi ro có thể dẫn đến những

sự vi phạm về điện áp, ràng buộc về tải,... thì phương pháp quét nhanh sự cố lại chỉ ra sự cố nào sẽ gây lên sự vi phạm các tiêu chuẩn về điện áp, và vận hành. Để giảm số lượng các kịch bản, thì cần phải lựa chọn các kịch bản trước khi tiến hành các phân tích tiếp theo [10], [15].

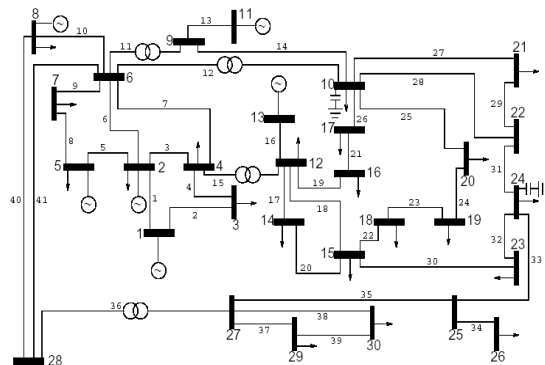


Hình 3: Các kịch bản và sắp xếp kịch bản trên đường cong PU

Mục đích của việc sắp xếp kịch bản sự cố là để xác định các kịch bản mà có độ dự trữ ổn định thấp nhất. Sự sắp xếp cần phải tính đến sự cố và chiều hướng của HTĐ sau khi xảy ra sự cố (hình 3)

III. KẾT QUẢ ÁP DỤNG

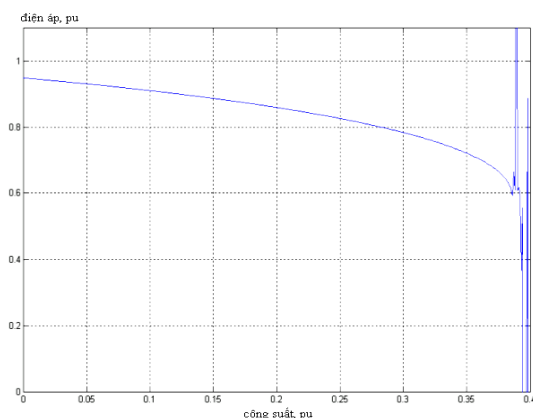
Một hệ thống điện IEEE 30 nút được cho trong hình 4, chi tiết số liệu tham khảo ở tài liệu [8]. Ở điều kiện ban đầu, điện áp đặt và góc pha ở tất cả các nút đều có giá trị bằng $1 \angle 0$ pu.



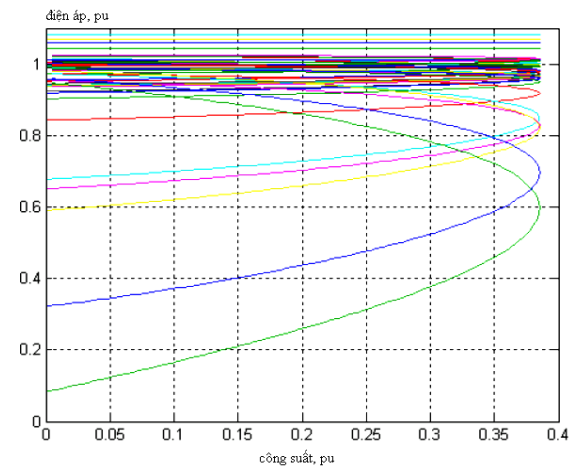
Hình 4. Hệ thống điện IEEE 30 nút
Từ kết quả tính toán phân bố công suất, sẽ

xác định được dữ liệu về công suất trong hệ thống (dòng công suất nhánh, công suất tại nút phát, nút tải...). Tiếp theo cho tăng dần công suất các nút tải (giữ nguyên hệ số công suất các nút) sẽ thu được đặc tính quan hệ giữa công suất tải và điện áp của hệ thống như hình 5. Theo hình này, gần điểm giá trị giới hạn thì công suất tác dụng dao động mạnh và nếu vượt qua giá trị này sẽ dẫn đến sụp đổ điện áp (cặp giá trị giới hạn của công suất là 0,38pu, điện áp giới hạn tương ứng là 0,6pu), điểm giới hạn vừa xác định là nghiệm duy nhất của ma trận Jacobian. Trong hình 6 là đồ thị đặc tính P-U thu được của tất cả các nút, có thể dễ dàng nhận thấy là đặc tính này tương tự như đặc tính được xác định trong hình 5, trong đó giới hạn tải cực đại của hệ thống bằng 0,38 pu.

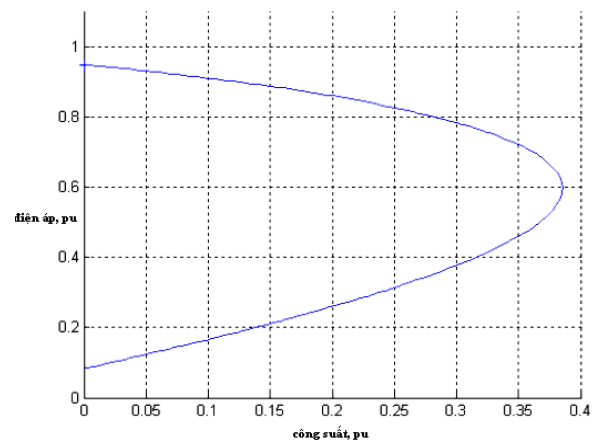
Nút yếu nhất trong hệ thống được xác định là nút 30 (có giá trị dU lớn nhất). Nút này được xác định như một nút mà có tốc độ tiến đến giới hạn mất ổn định nhanh nhất (hình 7). Có thể nhận thấy rằng giá trị công suất tối đa trước khi mất ổn định điện áp là 0,38pu. Sau giá trị này nút 30 sẽ mất ổn định điện áp. Kết quả thu được này cũng hoàn toàn trùng với kết quả được xác định trong [8] khi sử dụng đặc tính U-I để xác định giới hạn ổn định điện áp của nút 30. Trong hình 8 là kết quả tính toán của [8] khi xác định giới hạn này.



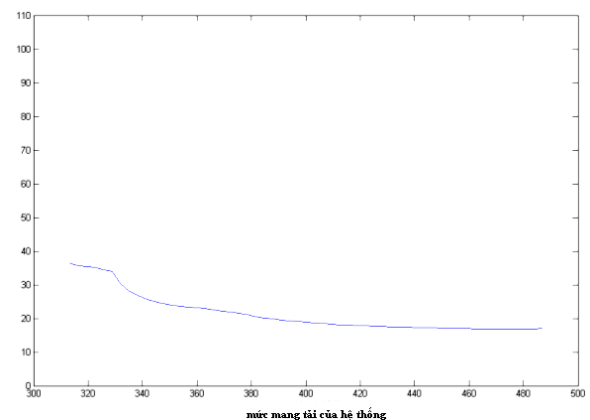
Hình 5. Đặc tính P-U khi cho tăng dần tải tĩnh



Hình 6. Đặc tính P-U của tất cả các nút



Hình 7. Đặc tính P-U nút 30



Hình 8. Đặc tính U-I nút 30 trong [8]

IV. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Bài báo đã thảo luận về việc dùng phương pháp tiếp tuyến liên tục để đánh giá ổn định điện áp của hệ thống điện. Một số vấn đề chính như xác định nút yếu nhất, các giới hạn ổn định về công suất và điện áp cũng được thảo luận chi tiết trong bài báo. Kết quả bài báo cũng đã được kiểm chứng với các nghiên cứu khác trong cùng sơ đồ IEEE 30 nút.

Việc ứng dụng phương pháp tiếp tuyến liên tục cho phép xác định một cách nhanh chóng các phần tử yếu trong HTĐ, có thể xem như một chỉ số ổn định điện áp rất hữu ích khi muốn đánh giá trạng thái ổn định của HTĐ. Trước hết nó cho phép phát hiện được các khâu yếu của HTĐ về phương diện ổn định, từ đó có biện pháp cải thiện. Thứ đến, nó chỉ ra các vị trí cần thiết phải quan sát cảnh báo mất ổn định nếu có thể áp dụng các phương tiện mất ổn định on-line.

Để nâng cao mức ổn định của HTĐ, cần trang bị các thiết bị bù: tụ bù ngang, SVC, STATCOM... cho các nút yếu. Việc dùng tụ bù ngang là một cách truyền thống hay dùng để nâng cao ổn định điện áp. Tuy nhiên khả năng tự động điều chỉnh thì bị hạn chế. Trong khi đó, việc dùng SVC thì đắt tiền hơn, nhưng thiết bị này có thể nhanh chóng điều khiển điện áp và hạn chế quá điện áp trong trường hợp tải nhẹ hoặc khi có sự cố trên hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- C.W. Taylor, "Power System Voltage Stability", Mc Graw Hill, New York, 1994
- T. Van Cutsem and C.Vournas, "Voltage Stability of Electric Power Systems", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998
- P. Kundur, "Power System Stability and Control", Mc Graw Hill, New York, 1994
- IEEE committee Report, "Voltage Stability of Power Systems: Concepts, Analytical Tools and Industry Experience", IEEE PES publication, 90th 0358-2- PWR
- G.C. Ejebe and G.D. Irisarri, "Method for contingency screening and ranking for voltage stability analysis of power system", IEEE Trans. on Power System, Feb 1996, pp 350-356
- V. Ajjarpu, C. Christy, "The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis", IEEE Trans. on Power System, Feb 1992
- S. Greene, I. Dobson, F.L. Alvarado, "Sensitivity of Loading Margin to Voltage Collapse with respect to arbitrary parameter", IEEE Trans. on Power System, Feb 1999
- Haque, M. H., 'Use of $V-I$ characteristic as a tool to assess the static voltage stability limit of a power system' IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No. 1, January 2004
- C.A. Canizares and F.L. Alvarado, "UWPFLOW: Continuation and Direct Methods to Locate Fold Bifurcations in AC/DC/FACTS Power Systems". This is available at website: <http://www.power.uwaterloo.ca>
- Zhihong Jia and B. Jeyasurya, "Contingency Ranking for On-line Voltage Stability Assessment", IEEE Trans. on Power System, August 2000
- A.J. Wood and B.F.Wollenberg, "Power generation, operation and control", John Wiley & Sons, NewYork, USA, 1996
- Master Plan on Power Development of Vietnam in period 2001 – 2010 with the vision 2020, Hanoi, June 2000
- National Load Dispatch Center – Electricity of Vietnam, "Annual Reports 2001, 2002, 2003"
- G.Trudel and S.Bernard, "Hydro Quebec's Defense Plan against Extreme Contingencies", IEEE Trans. on Power System, August 1999
- T.Vancutsem and R. Maihot, "Variations of a Fast Voltage Stability Assessment Method on the Hydro Quebec System", IEEE Trans. on Power System, Feb 1999, pp 282-291