

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN CÓ KẾT NỐI CÁC MÁY PHÁT PHÂN TÁN

Trịnh Trọng Chương
 Đại học Công Nghiệp Hà Nội

ABSTRACT

It is very common today to find renewable energy resources connected to distribution systems. The impact of this DG on voltage distribution levels has been addressed in the literature. Distributed generation is electric power source sited close to electricity consumption places thus eliminating the unnecessary transmission and distribution costs. In addition, DG can reduce the use of fossil fuels, add versatility of source and reliability of power supply, reduce power losses and improve the distribution feeder voltage conditions. This paper presents a method to study the relationship between the active power and voltage (PU) at the Point of Common Coupling to identify the voltage stability limit. It is a foundation to build a permitted working operation region in complying with the voltage stability limit at the load bus. This method can be used in teaching to students at the Faculty of Electrical Engineering

TÓM TẮT

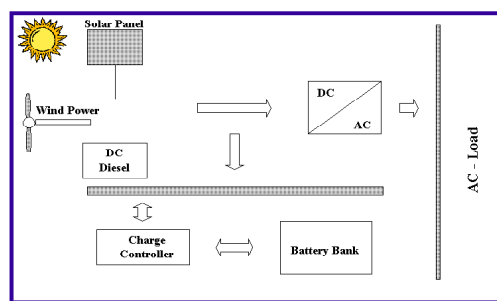
Nguồn điện phân tán DG (Distributed Generation) là nguồn phát được lắp đặt gần nơi tiêu thụ điện năng nên loại trừ được những chi phí truyền tải và phân phối không cần thiết. Hơn nữa, nó có thể giảm việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch, tăng cường tính linh hoạt của nguồn điện và độ tin cậy cấp điện, giảm tổn thất và cải thiện điều kiện điện áp đường dây phân phối. Bài báo này sẽ trình bày một phương pháp đánh giá ổn định điện áp của hệ thống cung cấp điện khi kết nối một nguồn DG dựa trên việc phân tích biểu đồ pha điện áp và sơ đồ thay thế mạng điện; sau đó thành lập biểu thức quan hệ giữa công suất và điện áp tại nút tải để xây dựng miền ổn định điện áp bằng đặc tính P-U. Phương pháp đề xuất có thể áp dụng giảng dạy cho sinh viên chuyên ngành Kỹ thuật Điện trong các tính toán phân tích ổn định điện áp và phân tích chất lượng điện năng trong hệ thống điện.

I. GIỚI THIỆU

Nguồn điện phân tán (DG) sẽ ngày càng được ứng dụng nhiều trong lưới điện phân phối tương lai vì những lý do chính sau: thứ nhất là do việc thị trường điện đã mở cửa cho các nhà đầu tư tham gia ở tất cả các dạng nguồn năng lượng, thứ hai đó là các nguồn năng lượng hóa thạch đang ngày càng cạn kiệt trong khi ý thức bảo vệ môi trường của người dân tăng lên. Một lý do nữa đó là tình trạng bão hòa của các mạng điện hiện có cùng với sự phát triển rất nhanh của nhu cầu phụ tải trong khi việc xây dựng các nguồn truyền thống công suất lớn cần nhiều thời gian. Khuynh hướng này được tạo ra còn bởi những hiệu quả chính mà DG mang lại khi tham gia vào lưới phân phối.

Khách hàng sử dụng DG để giảm bớt gánh nặng công suất vào giờ cao điểm, giảm tổn hao đường dây, cải thiện chất lượng điện năng, tăng cường độ tin cậy và thân thiện với môi trường. Nhà cung cấp sử dụng DG để giảm áp lực về đầu tư cải tạo

lưới điện, giảm chi phí nhiên liệu, chi phí vận hành và các yêu cầu dự phòng. Tùy thuộc vào cấu trúc của lưới điện và công nghệ máy phát DG mà sự ảnh hưởng của DG là khác nhau: Thứ nhất, lưới điện phân phối bị giới hạn bởi những ràng buộc về ổn định điện áp và khả năng tải của đường dây, thiết bị. Thứ hai đó là các tiêu chuẩn cơ bản cho phép kết nối vào lưới điện phân phối (tiêu chuẩn về cấp điện áp, tần số...) bị ảnh hưởng bởi kỹ thuật và công nghệ chế tạo DG.



Hình 1: Các loại DG kết nối vào hệ thống điện

Khi số lượng DG tham gia nhiều trong lưới điện sẽ có thể nâng cao chất lượng điện áp vận hành, cung cấp điện áp hỗ trợ trong suốt quá trình sự cố để cải thiện độ võng điện áp trên đường dây. Hơn nữa, DG nâng cao được độ tin cậy cấp điện rõ rệt khi một máy phát dự phòng khởi động chỉ trong vòng 2 phút. Tuy nhiên, những vấn đề khác có thể nảy sinh như:

- Gây ra sự gia tăng độ lớn toàn bộ các dòng điện chảy trong mạng, điều này dẫn đến những phần tử trong mạng sẽ gần đạt đến giới hạn nhiệt độ của chúng.
- Gây ra các dao động điện áp, độ võng điện áp và điện áp bước có giá trị lớn trên lưới điện trong suốt quá trình vận hành, khởi động hay dừng do sự cố của DG.
- Tạo ra sự méo dạng sóng hài trên lưới điện do các bộ biến đổi điện tử công suất giao tiếp với lưới điện.
- Làm tăng mức độ dòng sự cố do tổng trở sự cố bị giảm khi DG mắc song song với lưới điện. Role của máy cắt bảo vệ đường dây không đo lường đúng dòng sự cố thực; Phạm vi hoạt động của Role tổng trở bị giảm [2].
- Dòng chảy công suất trên lưới thay đổi hướng của nó so với ban đầu nếu công suất phát của nguồn phát lớn hơn công suất phụ tải cục bộ tại nơi nó được gắn vào. Việc cắt không cần thiết đối với DG do ảnh hưởng của những sự cố ngắn mạch trên đường dây liên kề.
- Tình trạng vận hành cô lập của một phần lưới với lưới điện chính đang cung cấp, phần lưới bị cô lập vẫn tiếp tục vận hành và được cung cấp bởi nguồn phát DG kết nối với nó. Tuy nhiên, đây là tình trạng vận hành không đảm bảo ổn định được cả tần số và điện áp.

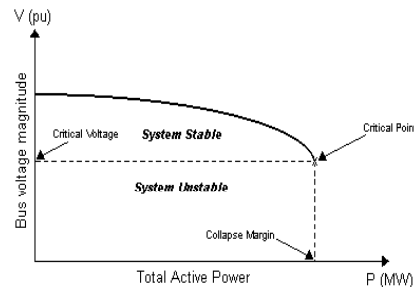
Trong phạm vi bài báo không thể đề cập hết các nội dung nêu trên mà chỉ đi sâu nghiên cứu một nội dung quan trọng là: phân tích ảnh hưởng của DG đến giới hạn ổn định điện áp của mạng điện. Phương pháp nghiên cứu được thực hiện bằng việc thành lập mối quan hệ giữa công suất và điện áp thông qua sơ đồ thay thế Thevenin, sau đó xác định giới hạn ổn định điện áp khi thay đổi hệ số công suất tại nút kết nối. Kết quả của phương pháp được đề xuất ứng dụng tính toán cho một mạng điện trung áp 22kV kết nối một nhà máy điện gió (WF).

2. MÔ TẢ GIỚI HẠN ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP BẰNG CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH P-U VÀ Q-U

Một hệ thống điện bị mất ổn định khi điện áp gia tăng quá phạm vi cho phép hoặc không thể khôi phục được điện áp trở về giá trị ban đầu khi xảy ra hiện tượng suy giảm điện áp; khi công suất phụ tải gia tăng hoặc khi thay đổi các điều kiện vận hành. Khi vận hành bình thường, điện áp tại nút sẽ tăng khi lượng công suất phản kháng Q bơm vào nút tăng lên. Tuy nhiên khi điện áp của một nút nào đó trong hệ thống giảm khi vẫn tăng công suất phản kháng, thì hệ thống là không cân bằng.

Khác với ổn định tần số, ổn định điện áp là hiện tượng mang tính địa phương, ảnh hưởng của nó đến hệ thống điện phụ thuộc vào mối quan hệ giữa công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q và điện áp nút U. Mối quan hệ này đóng vai trò quan trọng trong việc phân tích ổn định, được biểu diễn bởi các đặc tính PU, QU, hay PQ [1].

2.1. Đặc tính P-U



Hình 2: Đặc tính P-U

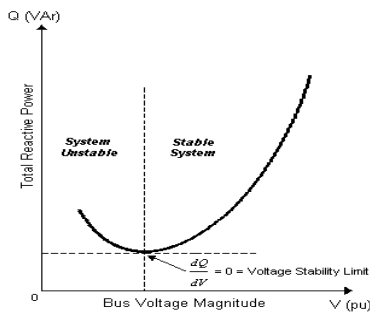
Khi xét đến ổn định điện áp, mối quan hệ giữa công suất tải P và điện áp nút U được quan tâm hơn cả. Quá trình phân tích ổn định điện áp thực chất là cho tăng dần công suất tác dụng P tại nút cần nghiên cứu và nghiên cứu diễn biến điện áp, xác định điểm giới hạn U_{gh} cho đến khi điện áp tại nút đó sụp đổ.

Trong hình 2 biểu diễn đường đặc tính P-U. Nó mô tả sự thay đổi của điện áp nút phụ thuộc vào công suất tác dụng của nút đó. Điện áp sẽ suy giảm khi cho tăng dần công suất tác dụng P (như cầu phụ tải). Khảo sát quan hệ giữa điện áp và công suất nút tải (PU) cho thấy tồn tại điểm (P_{gh}, U_{gh}) , đây chính là điểm giới hạn ổn định điện áp nút tải. Điện áp giới hạn U_{gh} chỉ phụ thuộc vào hệ số công suất của phụ tải mà không phụ thuộc vào điện kháng của đường dây. Trong khi đó công suất giới hạn P_{gh} phụ thuộc vào hệ số công suất

của phụ tải đồng thời tỉ lệ nghịch với điện kháng của đường dây. Hệ số công suất càng bé thì công suất tác dụng giới hạn P_{gh} sẽ càng giảm, như vậy sử dụng tụ bù ngang có thể nâng cao công suất giới hạn của phụ tải.

2.2. Đặc tính Q-U

Trên hình 3, trục Q biểu diễn công suất phản kháng cần được thêm vào hay bớt đi tại một nút nào đó để có thể duy trì điện áp ở một mức độ ổn định cho phép. Giới hạn công suất phản kháng là khoảng cách công suất phản kháng MVAR từ điểm vận hành đến đáy của đường cong, điểm tới hạn của công suất phản kháng. Đường cong có thể được sử dụng như là một chỉ tiêu cho việc đánh giá mất ổn định điện áp (khi ấy dQ/dU sẽ đi đến giá trị âm). Gần đỉnh của đường cong QU, độ nhạy rất lớn và sau đó đổi dấu.

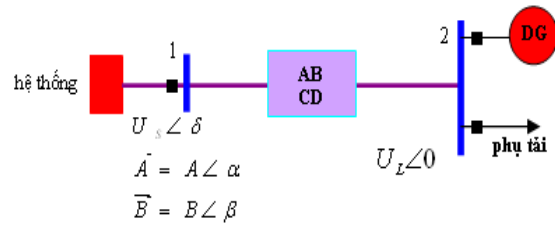


Hình 3: Đặc tính Q-U

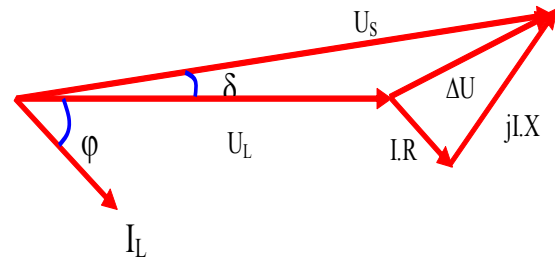
Cũng có thể thấy rằng đường cong có thể biểu diễn 2 giá trị điện áp dương tại cùng một giá trị công suất phản kháng Q. Hệ thống vận hành ở giá trị điện áp thấp hơn sẽ phải đòi hỏi một dòng điện cao để phát ra công suất. Đó là lý do tại sao phần đáy của đường cong được phân chia thuộc vào vùng không ổn định, hệ thống không thể hoạt động bền vững tại điểm này. Từ giao điểm của đường giới hạn ổn định và đường cong Q-U ta có thể nhận ra rằng phần trên của đồ thị là vùng ổn định và giao điểm này cũng chính là điểm giới hạn ổn định. Hệ thống sẽ hoạt động ổn định hơn nếu điểm vận hành xa với điểm giới hạn ổn định [1].

3. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG MẠNG ĐIỆN KẾT NỐI DG

Một hệ thống điện kết nối máy phát DG có thể được mô tả tổng quát như trong hình 4 [1].



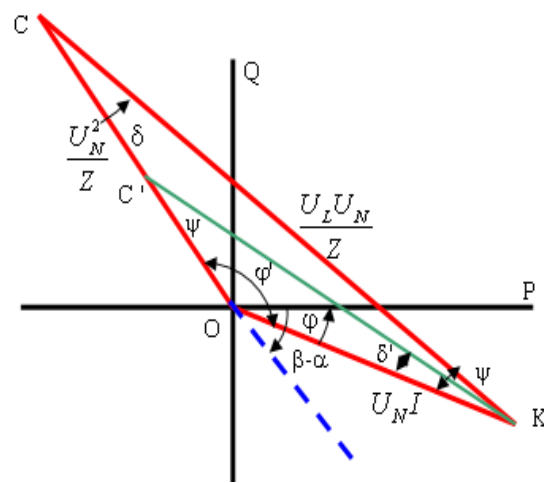
Hình 4: Hệ thống điện kết nối DG



Hình 5: Biểu đồ pha điện áp

Trong hình 4, một nguồn phát tương đương phía hệ thống có điện áp $U_s \angle \delta$ cung cấp điện cho một nút tải kết nối DG có điện áp danh định $U_L \angle 0$ qua một đường dây tải điện có thông số đặc trưng ABCD trong sơ đồ thay thế Thevenin.

Các giá trị môđul điện áp pha của biểu đồ vector trong hình 5 sau khi nhân với cùng giá trị (U_L/Z) sẽ được xoay đi một góc $-\varphi$ (φ là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện ở nút 2) được biểu đồ vector như hình 6 [3].



Hình 6: Biểu đồ vector trên mặt phẳng công suất

Công suất tại nút 2 được mô tả bởi phương trình [4]:

Từ tam giác OCK cũng cho thấy:

$$\psi = 180^\circ - (\varphi' + \delta') \quad (8)$$

CHO TRONG HÌNH 4. TỰ HÌNH 6 Ế THAY TANG.

$$O = \frac{W^2}{B} \quad (2)$$

$$R = S_L \quad (3)$$

$$K = \frac{U_S U_L}{B} \quad (4)$$

$$j' = 180^\circ - (b - a) + j \quad (5)$$

ở đây ω là góc lệch công suất tại nút 2. Từ tam

$$\text{Do đó: } S_L = \frac{U_s^2 \sin(\varphi' + \delta') \sin \delta'}{AB \sin^2 \varphi'} \quad (9)$$

Giá trị S_L đạt giá trị cực đại khi:

$$\frac{dS_L}{d\delta} = \frac{dS_L}{d\delta'} = 0 \quad (10)$$

Để thấy rằng S_L đạt giá trị cực đại bằng:

$$S_{L-\max} = \frac{U_s^2}{4AB \sin^2 \varphi' / 2} \quad (11)$$

$$\text{khi } \delta'_h = 90^\circ - \frac{\varphi'}{2} \text{ và } \delta_h = 90^\circ - \frac{\varphi}{2} + \alpha \quad (12)$$

$$U_L^h = \frac{U_s}{2A \sin \varphi' / 2}$$

Từ (7) và (12) xác định được:

$$S_L = \frac{S_{L-\max} [\sin(\varphi' + \delta') \sin \delta']}{\cos^2 \varphi' / 2} \quad (13)$$

$$S_{L-\max} = \frac{U_s^2}{4AB \sin^2 j' / 2}$$

$$\text{khi } d'_h = 90^\circ - \frac{j'}{2} \text{ và } d_h = 90^\circ - \frac{j}{2} + a$$

$$U_L^h = \frac{U_s}{2A \sin j' / 2}$$

Từ (7) và (12) xác định được:

$$S_L = \frac{S_{L-\max} [\sin(j' + d') \sin d']}{\cos^2 j' / 2}$$

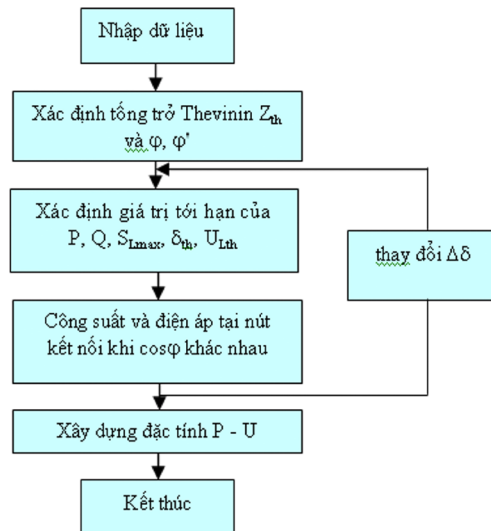
Giá trị cực đại của công suất tác dụng, phản kháng tại nút 2 được xác định bởi:

$$P_{L-\max} = S_{L-\max} \cdot \cos j \quad (14)$$

$$Q_{L-\lim} = S_{L-\max} \cdot \sin j$$

$$\text{Suy ra: } U_L = \frac{U_s \cdot \sin(j' + d')}{A \cdot \sin j'}$$

$$\text{Suy ra: } U_L = \frac{U_s \cdot \sin(\varphi' + \delta')}{A \cdot \sin \varphi'} \quad (15)$$



Hình 7: Các bước xác định miền ổn định điện áp theo phương pháp đề nghị.

Như vậy, đã xây dựng được mối quan hệ giữa công suất và điện áp tại nút tải thông qua các thông số của mạng điện và điện áp nguồn. Từ các biểu thức trên nhận thấy: công suất giới hạn tại nút 2 phụ thuộc vào $\cos \varphi$, $\sin \varphi$, Z , nghĩa là phụ thuộc tính chất của nút kết nối và thông số đường dây. Các bước xác định miền ổn định điện áp của máy phát điện gió nối lưới cho trong hình 7. Trong thuật toán trên, bước quan trọng là xác định mức thay đổi của $\Delta \delta$, khi $\Delta \delta$ trong khoảng giá trị hợp lý sẽ xác định được 2 giá trị của điện áp U đối xứng nhau ứng với mỗi giá trị của công suất tác dụng P . Nối các điểm này trên mặt phẳng sẽ xây dựng được đặc tính P-U cho

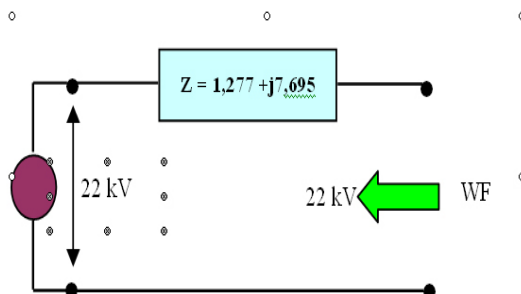
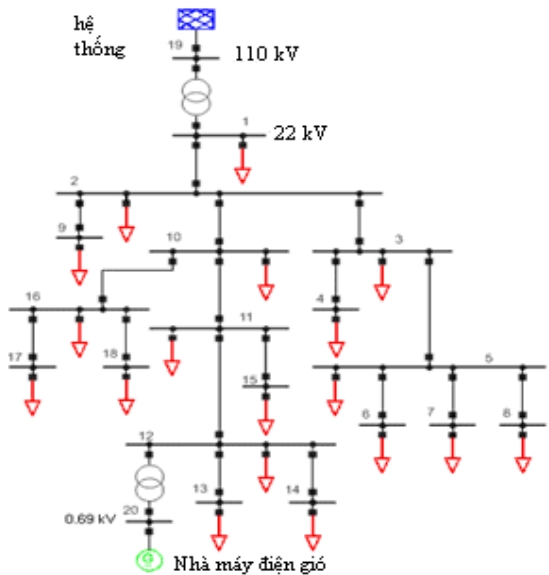
mỗi sơ đồ cụ thể. Ưu điểm của phương pháp này là dễ thực hiện, kết quả chính xác và dễ hội tụ.

3. ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN

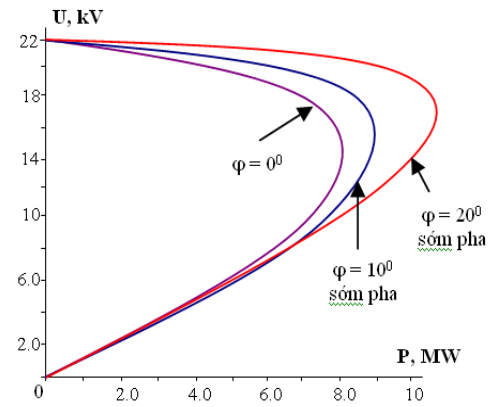
Một lưới điện trung áp kết nối một nhà máy điện gió (WF) công suất 7,5 MW như hình 8. Lưới điện gồm 20 nút, vận hành ở cấp điện áp danh định 22 kV, có 19 nhánh đường dây. WF kết nối tại nút 20, điện áp đầu cực máy phát là 0,69 kV và được nâng áp bởi một máy biến áp 0,69/22 kV công suất 10 MVA. Tổng trở Thevenin tính đến điểm kết nối WF là $Z = 1,277 + j7,695 \Omega$ (trường hợp có WF) - hình 9. Chi tiết thông số của mạng điện cho trong [1].

Hệ thống được mô phỏng qua 2 kịch bản:

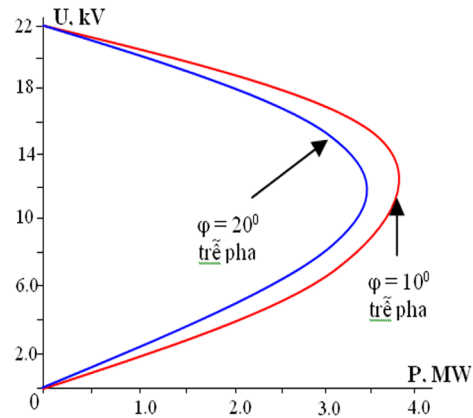
- Thứ nhất: cho WF nối lưới và phát công suất. Giữ công suất phát P cố định bằng 7,5 MW, cho thay đổi lượng phát công suất phản kháng Q vào lưới, theo dõi giá trị ổn định điện áp tại các nút tải.
- Thứ hai: không có kết nối WF trong lưới điện.



Hình 9: Mạng 2 cửa tương đương nhìn từ nút kết nối.



Hình 10: Miền ổn định điện áp nút 12 khi kết nối WF



Hình 11: Miền ổn định điện áp nút 12 không kết nối WF

Nhận xét:

Sự tham gia của máy phát điện gió có ảnh hưởng đáng kể đến giới hạn ổn định điện áp của lưới điện. Trong hầu hết các trường hợp, chúng đều có tác dụng mở rộng miền ổn định của lưới điện.

Trong trường hợp WF chỉ phát công suất tác dụng, giá trị công suất giới hạn tại nút 12 bằng 8,2 MW (hình 10). Sau giá trị này nếu tiếp tục tăng công suất phụ tải tại nút 12 sẽ dẫn đến sụp đổ điện áp. Đây cũng là một trường hợp thực tế khi WF là các máy phát điện gió tốc độ cố định không được trang bị thiết bị bù công suất phản kháng. Khi có bù công suất phản kháng (trường hợp $\varphi = 10^\circ$ sớm pha) cho thấy giá trị công suất và điện áp giới hạn tăng lên đến 9,2 MW. Khi tăng công suất bù (ứng với $\varphi = 20^\circ$ sớm pha), công suất giới hạn tại các nút tải cũng được nâng lên rõ rệt (11,5 MW), tuy nhiên độ dự trữ ổn định thấp, mức điện áp giới hạn khá gần với mức điện áp vận hành.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất một phương pháp xác định giới hạn ổn định điện áp trong mạng điện kết nối nguồn điện phân tán. Kết quả của phương pháp đã so sánh với kết quả mô phỏng của một hệ thống điện 2 nút [3], sai số tương đối giữa hai phương pháp chỉ là 2,5%. Phương pháp này đặc biệt hiệu quả khi áp dụng cho các lưới điện kín; hơn nữa trong quá trình nghiên cứu ổn định điện áp không cần cho tăng dần công suất tại nút tải như các phương pháp truyền thống khác [4, 5].

Qua khảo sát quan hệ công suất và điện áp tại nút kết nối cho thấy luôn tồn tại một cặp nghiệm (P_{gh} , U_{gh}). Đây chính là điểm giới hạn ổn định điện áp, nó cho biết khả năng phát công suất cực đại của WF ứng với các điều kiện huy động công suất phản kháng khác nhau. Điện áp giới hạn U_{gh} chỉ phụ thuộc vào hệ số công suất của phụ tải mà không phụ thuộc vào tổng trở của đường dây. Trong khi đó công suất giới hạn P_{gh} phụ thuộc vào hệ số công suất của phụ tải đồng thời tỉ lệ nghịch với tổng trở của đường dây. Hệ số công suất càng bé thì công suất tác dụng giới hạn P_{gh} sẽ càng giảm, như vậy sử dụng tụ bù ngang tại nút kết nối có thể nâng cao khả năng phát của WF và cải thiện chất lượng điện áp của mạng điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trinh Trong Chuong, "Voltage stability analysis of grid connected wind generators," International Conference on Electrical Engineering. Okinawa-Japan, 06-10 July 2008.
- [2] Martin Geidl, "Protection of Power Systems with Distributed Generation": State of the Art, Power Systems Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 20th July 2005.
- [3] M.H. Haque, "Determination of Steady-State Voltage Stability Limit Using P-Q Curve," IEEE Power Engineering Review, April 2002.
- [4] Lã Văn Út, Phân tích và điều khiển ổn định hệ, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật. Hà nội, 2000.
- [5] [5] Milanovic, J.V., David, T.M., Stability of Distribution Networks with Embedded Generators and Induction Motors, PES Winter Meeting, IEEE, 2002. Vol. 2, pp.1023 -1028.
- [6] Teaching to students at the Faculty of Electrical Engineering.