

NGHIÊN CỨU KẾT NỐI NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ DÙNG MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU VỚI LƯỚI ĐIỆN

Phan Thị Nguyệt Nga^{1,3*}, Nguyễn Đăng Toàn²

¹*Học viên cao học, Khoa Cơ điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

²*Khoa Hệ thống điện, Trường Đại học Điện lực Hà Nội*

³*Khoa Điện, Trường cao đẳng Nghề điện Tân Dân, Sóc Sơn*

Email*: nguyetngaevc@gmail.com

Ngày gửi bài: 15.10.2014

Ngày chấp nhận: 25.11.2014

TÓM TẮT

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu mô hình nhà máy điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu để kết nối với lưới điện. Một số vấn đề cần quan tâm là khả năng vượt qua sự cố và quá trình làm việc sau sự cố phải thỏa mãn các tiêu chuẩn kết nối lưới điện. Nhà máy điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu có khả năng cung cấp một lượng công suất phản kháng nhất định vào lưới điện tùy thuộc vào mức điện áp tức thời của điểm kết nối và nhanh chóng phục hồi nhanh chế độ làm việc bình thường. Các mô phỏng được thực hiện bởi phần mềm PSS/E.

Từ khóa: Năng lượng gió, máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu, mô phỏng động PSS/E, tiêu chuẩn kết nối điện gió với lưới.

Research on Connection of Wind Farm Using Permanent Magnetic Synchronous Generator to Main Grid

ABSTRACT

This paper studied the connection of wind farm using permanent magnet synchronous generators model to the main grid. The interests were the fault ride through capability and the ability to recover operation of wind turbines according to the wind grid code requirements. Wind turbine generators using permanent magnet synchronous potentially provide a definite reactive power depending on the instantaneous voltage level of connection point and they must return quickly to normal operation. Simulations were conducted by PSS/E.

Keywords: Permanent magnet synchronous generators, wind farm energy, wind grid code requirements, PSS/E dynamic simulation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc sử dụng năng lượng gió đang là một xu thế trên thế giới do: giảm chi phí nhiên liệu, khả năng sản xuất trên qui mô lớn và kết nối được với lưới điện chính. Việt Nam là một trong số rất nhiều quốc gia có tiềm năng để phát triển điện gió, đây sẽ là nguồn năng lượng lớn có thể khai thác bổ sung cho nguồn điện lưới quốc gia, thay thế các nguồn năng lượng hóa thạch đang

ngày càng cạn kiệt và cải thiện môi trường. Nghiên cứu các tiêu chuẩn kết nối điện gió với lưới điện, đặc biệt là các tính chất động khi kết nối với lưới điện chính là một yêu cầu hết sức cần thiết đối với các cơ quan thiết kế, vận hành hệ thống điện. Bài báo giới thiệu vấn đề mô hình nhà máy điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu và mô phỏng động để xem xét, đánh giá một số tiêu chuẩn kết nối với lưới điện thông qua phần mềm PSS/E.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Kết nối nhà máy điện gió kiểu máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu với lưới điện

Phương pháp nghiên cứu tài liệu tham khảo chuyên ngành, nghiên cứu nhà máy phát điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu kết nối với lưới điện.

Nghiên cứu tập trung phân tích mô hình tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu, đánh giá kết quả mô phỏng mô hình tuabin gió khi kết nối với lưới điện như:

- Tuabin gió và máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu;
- Các tiêu chuẩn kết nối tuabin gió với lưới điện;
- Mô hình tuabin gió kết nối với lưới điện;
- Mô phỏng kết nối tuabin gió với lưới điện.

2.2. Phương pháp phân tích

Nghiên cứu được tìm hiểu, phân tích nhà máy phát điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu kết nối với lưới điện như: tuabin gió, máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu, các tiêu chuẩn kết nối lưới điện, mô hình tuabin gió trong mô phỏng kết nối với lưới điện chính.

Từ kết quả mô phỏng đánh giá khả năng vượt qua sự cố và quá trình làm việc sau sự cố của một nhà máy điện gió khi kết nối với lưới điện có thỏa mãn các yêu cầu kết nối điện gió với lưới điện chính.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nhà máy phát điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu

3.1.1. Cấu trúc của nhà máy điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Hình 1 thể hiện sơ đồ cấu trúc cơ bản của một máy phát điện (MPĐ) gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu khi kết nối với lưới điện. MPĐ sử dụng hộp số nối với lưới điện chính thông qua bộ biến đổi công suất. Bộ chuyển đổi này được đặt giữa máy phát và lưới điện xoay chiều nên hoàn toàn không phụ thuộc vào tần số lưới.

3.1.2. Tuabin gió

Công suất đầu ra của tuabin gió được tính theo công thức (Alejandro et al., 2009; Molina et al., 2011):

$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} v^3 \quad (1)$$

Trong đó:

P_m : Công suất đầu ra của tuabin (W)

$C_p(\lambda, \beta)$: Hệ số biến đổi năng lượng (là tỷ số giữa tốc độ đầu cánh λ và góc cánh β)

A: Tiết diện vòng quay của cánh quạt (m^2)

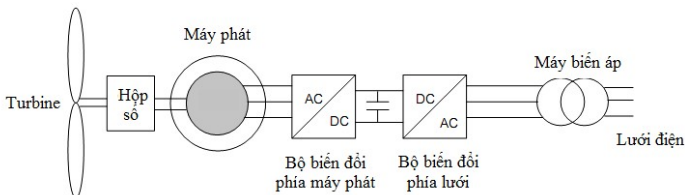
ρ : Mật độ của không khí (kg/m)

v : Vận tốc gió

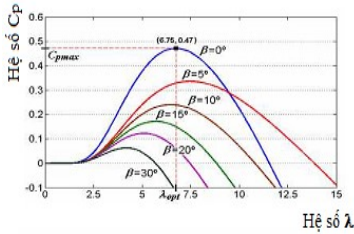
Hệ số biến đổi năng lượng C_p được tính theo công thức (2) (Ranjan et al., 2009; Saikuma et al., 2011):

$$C_p(\lambda, \beta) = 0,5176 \left(\frac{116}{\lambda} - 0,4\beta - 5 \right) e^{\frac{21}{\lambda}} + 0,0068 \lambda$$

$$\text{Với } \frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{1 + \beta^3} \quad (3)$$



Hình 1. Sơ đồ MPĐ gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu



Hình 2. Đặc tính quan hệ giữa C_p và λ của tuabin gió

Hình 2 là đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa C_p và λ .

Tỷ số tốc độ đầu cánh tuabin gió và tốc độ gió là:

$$\lambda = \frac{R\omega}{v} \quad (4)$$

Trong đó: ω : Tốc độ quay của tuabin; R : Bán kính của tuabin

Mặt khác tuabin gió có thể vận hành theo các quy tắc điều khiển khác nhau tùy thuộc vào tốc độ gió. Hình 3 là đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa công suất của tuabin gió với tốc độ gió.

3.1.3. Máy phát điện đồng bộ từ trường vĩnh cửu

Các phương trình toán học đặc trưng cho máy phát điện trên hệ tọa độ quay (dq) (Ranjan et al., 2009; Saikuma et al., 2011):

- Phương trình dòng và áp (8), (9):

$$\begin{aligned} \frac{di_{sd}}{dt} &= \frac{1}{T_{sd}} i_{sd} + \omega_s \frac{L_{sq}}{L_{sd}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sd}} u_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} &= -\frac{1}{T_{sq}} i_{sq} - \omega_s \frac{L_{sq}}{L_{sq}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sq}} u_{sq} - \omega_s \frac{\psi_p}{L_{sq}} \end{aligned}$$

Trong đó:

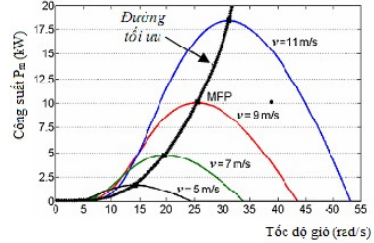
L_{sd}, L_{sq} là điện cảm của cuộn dây stato máy phát điện biểu diễn trên trục d và q (H).

ψ_p là từ thông cực từ của nam châm vĩnh cửu (Wb).

T_{sd}, T_{sq} là hằng số thời gian của stato.

- Phương trình mômen:

$$m_M = \frac{3}{2} P_c [\psi_p i_{sq} + i_{sd} i_{sq} (L_{sd} - L_{sq})] \quad (10)$$



Hình 3. Đường đặc tính công suất - tốc độ gió của tuabin gió

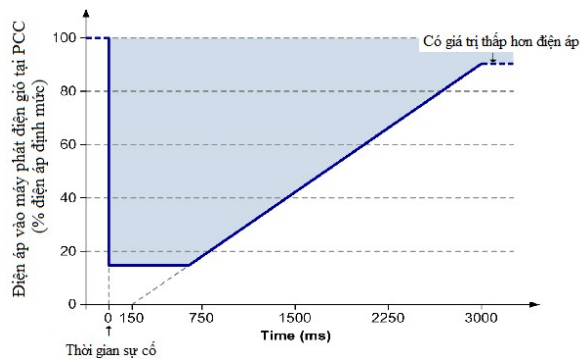
Để điều khiển máy phát điện nối lưới sử dụng hai bộ chỉnh lưu (chỉnh lưu phía máy phát và nghịch lưu phía lưới). Năng lượng gió thông qua máy phát chuyển thành dòng điện xoay chiều trong cuộn dây stato được đưa vào bộ chỉnh lưu phía máy phát. Ở đây nó được chỉnh lưu thành dòng điện một chiều qua bộ biến đổi AC/DC, sau đó thông qua bộ biến đổi nghịch lưu phía lưới DC/AC để biến đổi thành dòng điện xoay chiều với tần số công nghiệp phát lên lưới.

3.2. Tiêu chuẩn kết nối nhà máy điện gió với lưới điện

Các giá trị điện áp thấp nhất đạt được trong quá trình làm việc không bình thường, thường không thấp hơn 90% của điện áp danh định truyền tải và có thể được giảm ở một số nước đến 70% của điện áp ban đầu trong thời gian lên đến 10 giây mà không ảnh hưởng tới tính ổn định của nhà máy điện gió. Điện áp vượt quá giới hạn thường hiếm xảy ra nhưng giá trị cao nhất thường không cao hơn 113% của điện áp danh định truyền tải. Hình 4 thể hiện giá trị điện áp phục hồi sau sự cố của tuabin gió.

Các máy phát điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu có các lợi thế hơn hẳn là hệ thống chuyển đổi năng lượng hoàn toàn tách riêng với máy phát điện nối lưới điện. Do đó, nếu có sự cố trên lưới điện thì không tác dụng trực tiếp lên các máy phát điện và khi điện áp giảm xuống thấp thì mômen xoắn biến thiên thấp hơn nên khả năng phục hồi nhanh hơn (Marcelo Gustavo et al., 2011).

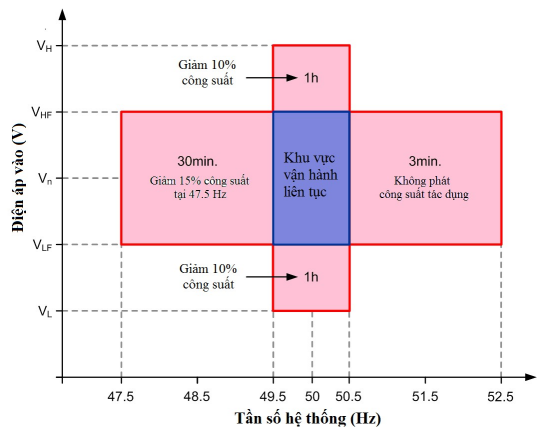
Các máy phát điện gió phải có khả năng số theo quy định như bảng 1 (Alejandro et al., 2009; Marcelo Gustavo et al., 2011).



Hình 4. Khả năng phục hồi sau sự cố của một tuabin gió

Bảng 1. Khả năng vận hành của máy phát điện gió

Điện áp	Tần số	Vận hành
90-105%	49,5-50,5	Liên tục
90-105%	48-49,5	Khả năng vận hành trong 10 phút
90-105%	50,5-52	Khả năng vận hành trong 1 phút



Hình 5. Điện áp - tần số làm việc của MPĐ gió

Ghi chú: V_H là giới hạn điện áp cao; V_{HF} là giới hạn điện áp cao với đầy tải; V_n là điện áp danh định; V_{LF} là giới hạn điện áp thấp với đầy tải; V_L là giới hạn điện áp thấp.

Việc kiểm soát công suất phản kháng là rất quan trọng cho các nhà máy điện gió. Hình 5 thể hiện mối quan hệ điện áp tần số làm việc và việc kiểm soát công suất của tuabin gió. Việc điều khiển công suất phản kháng liên quan đến nhiều vấn đề như công nghệ thể hệ gió, đặc điểm lưới điện, cấp điện áp và các trở kháng (Marcelo Gustavo et al., 2011).

3.3. Xây dựng và kết quả mô phỏng

3.3.1. Mô hình nhà máy điện gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu

Mô hình nhà máy điện gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu trong phần mềm PSS/E (<http://www.energy.siemens.com>) có hai mô hình thiết bị được sử dụng: mô hình chuyển đổi máy phát điện (WT4G) và mô hình điều khiển điện (WT4E). Số liệu động của các mô hình được trình bày trong bảng 2 và 3 (WECC, 2010).

Bảng 2 và 3 là mô hình thông số động của máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu trong phần mềm PSS/E, các thông số này đã được chứng minh và đưa vào áp dụng.

3.3.2. Mô hình nhà máy điện gió nối với lưới điện

Dựa theo dữ liệu từ trung tâm năng lượng gió New Mexico, một nhà máy điện gió được kết nối với một đường dây truyền tải riêng và được vận hành bởi công ty dịch vụ công cộng của New Mexico, tác giả dựa theo mô hình đó để nghiên cứu mô phỏng. Mô hình nhà máy điện gió trong mô phỏng gồm 18 tuabin-máy phát, công suất của một tuabin gió là 2MW, mỗi tuabin có một máy biến áp được nối với đường dây chính ở cấp điện áp trung áp 34,5kV, một máy biến áp ở cấp điện áp cao áp 230/34,5kV và một đường dây truyền tải nối với hệ thống có công suất vô cùng lớn. Vì khoảng cách giữa các máy phát trong nhà máy là nhỏ, công suất của máy phát nhỏ, cùng loại nên để đơn giản, ta tương đương hóa thành một máy phát điện như hình 8.

Theo phương pháp tương đương hóa sơ đồ hoàn chỉnh thì thông số của các phần tử trong sơ đồ được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 2. Thông số mô hình máy phát điện (WT4G)

Ký hiệu	Giá trị
T_{IQcmd} (s)	0,02
T_{IPCmd} (s)	0,02
V_{LVPL1} (pu)	0,40
V_{LVPL2} (pu)	0,90
G_{LVPL} (pu)	1,11
V_{HVRGR} (pu)	1,20
CUR_{HVRGR} (pu)	2,00
R_{IP_LVPL} (pu)	2,00
T_{LVPL} (pu)	0,02

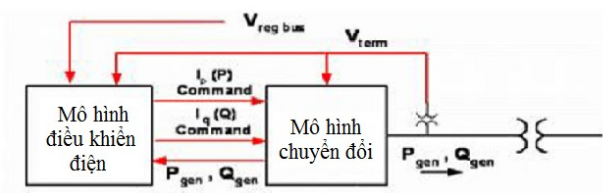
Bảng 3. Thông số điện của mô hình máy phát (WT4E)

Ký hiệu	Giá trị	Ký hiệu	Giá trị
T_{IVB} (s)	0,15	d_{PMN} (pu)	-0,5
K_{PV}	18,0	T_{POWER}	0,05
K_{IV}	5,00	K_{OI}	0,10
K_{PP}	0,05	V_{MINCL} (pu)	0,90
K_{IP}	0,10	V_{MAXCL} (pu)	1,10
K_I	0,00	K_{VI}	120,0
T_I (s)	0,08	T_v (s)	0,05
Q_{MX} (pu)	0,47	T_p (s)	0,05
Q_{MN} (pu)	-0,47	I_{maxTD} (pu)	1,70
I_{pmax} (pu)	1,10	I_{phi} (pu)	1,11
T_{RV} (s)	0,00	I_{qhi} (pu)	1,11
d_{PMX} (pu)	0,5		

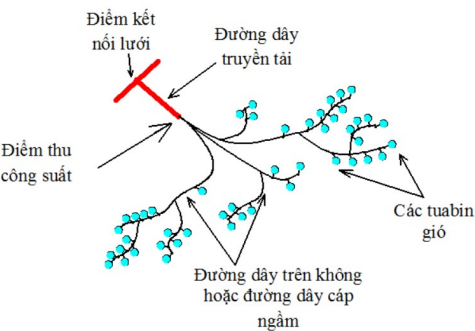
Với bộ thông số các phần tử tác giả sử dụng phần mềm PSS/E để chạy trào lưu công suất thì kết quả thu được dòng công suất chạy trên các phần tử tại các nút được biểu diễn như hình 9. Với đường màu xanh là dòng công suất tác dụng còn đường màu vàng là dòng công suất phản kháng

3.3.3. Kết quả mô phỏng

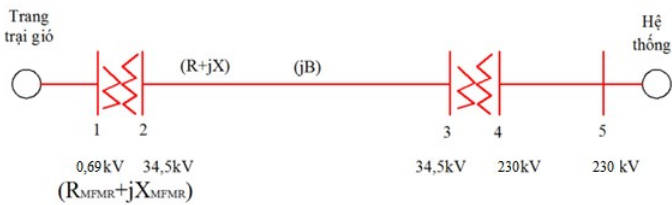
Theo tiêu chuẩn đầu nối điện gió vào lưới điện Việt Nam (Tập đoàn điện lực Việt Nam, 2013), có đánh giá khả năng vượt qua sự cố và quá trình phục hồi sự cố khi xảy ra sự cố đường dây điện áp 230kV với thời gian sự cố là 70ms và đến 140ms. Trong mô phỏng này tác giả đã



Hình 6. Mô hình động máy phát điện gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu



Hình 7. Mô hình đơn giản của một nhà máy điện gió kết nối lưới điện



Hình 8. Sơ đồ một sợi tương đương của một nhà máy điện gió kết nối lưới điện

Bảng 4. Thông số các phần tử trong sơ đồ tương đương

	R (pu)	X (pu)	B (pu)
Máy phát điện gió	0,0027	0,0245	
Đường dây trung áp	0,01345	0,0497	0,1004
Đường dây truyền tải	0,0133	0,066	0,000
Máy biến áp cao áp	0,014	0,0828	
Máy biến áp đầu cực máy phát	0,0026	0,0245	

Ghi chú: R, X, B lần lượt là điện trở, điện kháng, điện dẫn quy đổi về hệ đơn vị tương đối (pu)



Hình 9. Sơ đồ tương đương hóa của một nhà máy điện gió kết nối lưới điện trong PSS/E

giả sử với mô phỏng 1 là xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha đối xứng đường dây 230kV từ điểm kết nối chung với lưới điện có công suất vô cùng lớn và sự cố kéo dài trong 100ms và được xóa bằng cách ngắt dòng sự cố.

3.3.3. Kết quả mô phỏng

Theo tiêu chuẩn đấu nối điện gió vào lưới điện Việt Nam (Tập đoàn điện lực Việt Nam, 2013), có đánh giá khả năng vượt qua sự cố và quá trình phục hồi sự cố khi xảy ra sự cố đường dây điện áp 230kV với thời gian sự cố là 70ms và đến 140ms. Trong mô phỏng này tác giả đã giả sử với mô phỏng 1 là xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha đối xứng đường dây 230kV từ điểm kết nối chung với lưới điện có công suất vô cùng lớn và sự cố kéo dài trong 100ms và được xóa bằng cách ngắt dòng sự cố.

Hình 10 cho thấy khi xảy ra ngắn mạch trên đường dây 230kV, điện áp trên tại điểm kết nối chung giảm xuống bằng 0, sau khi loại trừ sự cố, điện áp dần phục hồi khoảng 1,05pu với thời gian phục hồi khoảng 0,3 giây. Tương ứng với các yêu cầu kỹ thuật kết nối tuabin gió vào lưới điện thì tuabin gió dừng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu có khả năng làm việc sau khi loại bỏ điểm ngắn mạch.

Trong hình 11 cho thấy lượng công suất phản kháng phát ra của tuabin gió và sau 0,5 giây thì sự cố được loại bỏ và công suất điện phục hồi ở giá trị lớn hơn là 30MW (0,3pu).

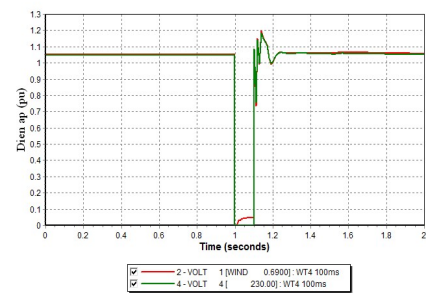
Sau khi sự cố được loại bỏ, trong mô phỏng thì khả năng vượt qua sự cố và phục hồi điện áp ở mức điện áp làm việc như trước khi bị sự cố của tuabin-máy phát gió vẫn đảm bảo yêu cầu kết nối. Tác giả tiếp tục mô phỏng 2 với sự cố như trên nhưng thời gian sự cố dài hơn là 140ms. Kết quả của mô phỏng 2 được trình bày ở hình 12, 13, 14.

Khi thời gian sự cố dài hơn, sau khi sự cố được loại bỏ thì tuabin gió dừng máy phát điện đồng bộ cảm ứng vĩnh cửu có khả năng vượt qua sự cố và phục hồi nhanh các thông số ban đầu đảm bảo yêu cầu kết nối như hình 12, 13, 14. Nhưng trên hình 15, nếu so sánh lượng công suất phát ra của tuabin gió trong mô phỏng 1 và mô phỏng 2, với thời gian sự cố tăng lên từ 100 đến 140ms thì lượng công suất phản kháng phát ra tăng từ 0,085 lên 0,45 (pu) tương ứng là 45Mvar và sau khi sự cố bị loại bỏ thì vẫn phải phát công suất phản kháng để ổn định điện áp.

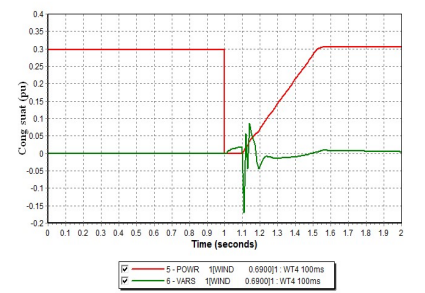
Từ kết quả mô phỏng cho thấy nhà máy điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu nối với lưới điện chính khi xảy ra sự cố tại điểm kết nối chung, sau khi sự cố được loại bỏ thì máy phát điện phát ra một lượng công suất phản kháng nhất định để điều chỉnh điện áp và tần số. Theo tiêu chuẩn kết nối điện gió vào lưới điện và các chỉ số điện áp, tần số của máy phát điện gió, khả năng vượt qua sự cố, khả năng phục hồi điện áp thấp của máy phát điện gió là thỏa mãn yêu cầu kết nối.

4. KẾT LUẬN

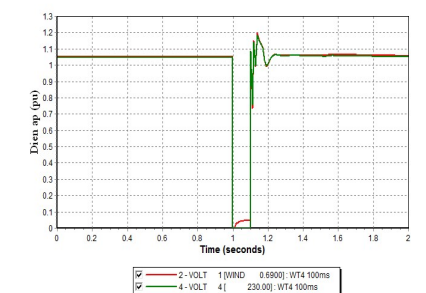
Bài báo trình bày về tuabin - máy phát điện gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu, mô hình nhà máy điện gió nối với lưới điện. Kết quả mô phỏng sơ bộ cho thấy với mô hình chung của tuabin gió dùng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu có thể thay thế cho các tuabin gió trong thực tế trong điều kiện làm việc. Khả năng phục hồi, quá trình làm việc sau sự cố của tuabin gió đều thỏa mãn yêu cầu kết nối điện gió với lưới điện. Các kết quả mô phỏng có thể được ứng dụng cho các lưới điện trong thực tế, để kiểm tra, đánh giá các tính chất động khi kết nối với lưới điện chính.



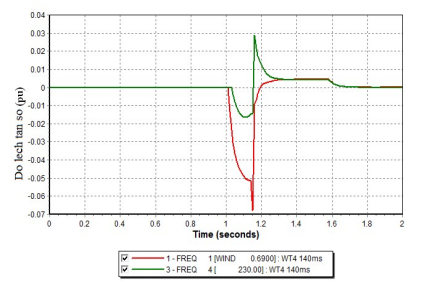
Hình 10. Điện áp trong mô phỏng 1 (pu)



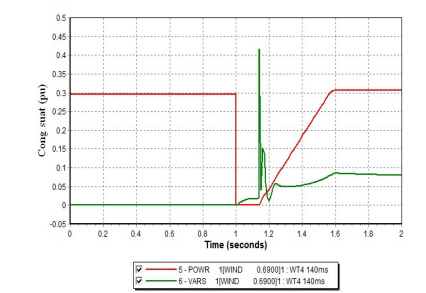
Hình 11. Công suất phát trong mô phỏng 1 (pu)



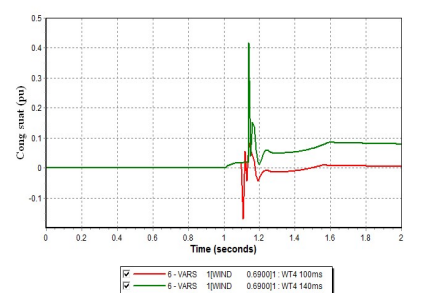
Hình 12. Điện áp trong mô phỏng 2 (pu)



Hình 13. Độ lệch tần số trong mô phỏng 2 (pu)



Hình 14. Công suất phát trong mô phỏng 2 (pu)



Hình 15. So sánh lượng công suất phản kháng (pu)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alejandro Rolán, Álvaro Luna, Gerardo Vázquez, Daniel Aguilar (2009). Modeling of variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator, IEEE Intermation Symposium on Industrial Electronics.
- <http://www.energy.siemens.com>, PSS/E, truy cập ngày 13/05/2014.
- Marcelo Gustavo Molina and Juan Manuel Gimenez Alvarez (2011). Technical and Regulatory Exigencies for Grid Connection of Wind Generation, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, pp. 16-24.
- Molina M.G, Sanchez A.G and Rizzato Lede A.M (2011). Modeling and simulation of wind farm with variable speed wind turbines using full scale converters for power system dynamic studies, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- Ranjan K. Behera, Wenzhong Gao and Olorunfemi Ojo (2009). Simulation study of permanent magnet synchronous machine direct drive wind power generator using three level NPC converter system, IEEE.
- Saikumar, Saravanan, R.v.Sandip, vijaysridhar (2011). Modelling and control of a wind turbine using permanent magnet synchronous generator, International journal of engineeering science technology.
- WECC (2010). WECC wind power plant dynamic modeling guide, August, pp. 38 - 42.
- Tập đoàn điện lực Việt Nam (2013). Sổ tay kỹ thuật về đầu nối điện gió vào lưới điện Việt Nam.