

NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TÍNH QUÁ ĐỘ CỦA NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ KẾT NỐI CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN

A STUDY OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF WIND POWER PLANT CONNECTED TO ELECTRIC POWER SYSTEMS

Trịnh Trọng Chương
ĐH Công Nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Hệ thống điện Việt Nam đang trong giai đoạn phát triển với việc gia tăng một số lượng lớn các nhà máy điện và đường dây truyền tải, trong số đó có các nhà máy điện gió. Tuy nhiên khi sử dụng loại nguồn điện này có thể gây ảnh hưởng nhất định đến các vấn đề về ổn định của hệ thống điện. Với các công nghệ máy phát khác nhau thì những ảnh hưởng này cũng khác nhau. Trong bài báo này sẽ nghiên cứu ổn định của lưới điện Ninh Thuận năm 2015 khi có kết nối một nhà máy điện gió công suất 20 MW khi xảy ra sự cố tại điểm kết nối chung (PCC) giữa nhà máy với hệ thống điện - phía thanh cái 22 kV. Quá trình nghiên cứu được thực hiện trên chương trình PSCAD/EMTDC 4.2.

ABSTRACT

The power system of Vietnam is in its development phase. Due to the increasing number of new power plants in Vietnam power system such as wind power, the stability of this system has become more complex. This is because of interactions of different power plants and the oscillations of generators and lines. This paper presents the stability of the Ninh Thuan 2015 connected Wind Power Plant (20MW) power system with different short-circuit times on the 22kV line and their impact on the system stability. The Electromagnetic Transient simulator PSCAD/EMTDC 4.2 has been used to carry-out the reported case studies.

1. GIỚI THIỆU

Máy phát điện gió sử dụng chủ yếu loại máy phát không đồng bộ. Do đó, trong quá trình vận hành chúng thường không phát ra được công suất phản kháng hoặc phát ra với lượng công suất phản kháng hạn chế. Chính vì lẽ đó, khi kết nối với các lưới điện thì bản thân nút kết nối chung với lưới điện (PCC) thường là các nút yếu trên phương diện ổn định điện áp, các nhánh liên kề sẽ "yếu" trên phương diện ổn định tĩnh, đồng thời khi đưa thêm điện gió vào mạng điện thì hệ số dự trữ ổn định tĩnh có thể giảm xuống mặc dù chất lượng điện áp có thể được cải thiện. Ngoài ra trong quá trình diễn ra sự cố, điện áp tại PCC sẽ bị suy giảm mạnh dẫn đến có thể phải cắt máy phát điện gió ra khỏi lưới điện, điều này làm ảnh hưởng đến tính làm việc ổn định và độ tin cậy cung cấp điện. Do đó việc khảo sát dao động công suất cũng như phân tích ổn định điện áp trong các lưới điện có điện gió khi xảy ra ngắn mạch gần nhà máy là bài toán có nhiều ý nghĩa.

Để đánh giá dao động công suất và mức độ ổn định của lưới điện kết nối điện gió có thể sử dụng nhiều phương pháp và tiêu chuẩn khác nhau. Trong hầu hết các nghiên cứu đều ứng dụng các chương trình mô phỏng sau khi đã xây dựng mô hình chi tiết các phần tử của nguồn điện gió. Dựa trên kết quả mô phỏng, các nghiên cứu đó đã chỉ ra phương án vận hành hợp lý cũng như giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành và cải thiện độ tin cậy. Tuy nhiên các nghiên cứu này không thiết lập được các giá trị cài đặt cho các hệ thống bảo vệ khi điện áp đầu cực máy phát suy giảm khi có ngắn mạch. Thực tế cho thấy đây là một khâu trọng yếu trong quá trình vận hành do hiện nay vẫn chưa có chuẩn chung áp dụng cho các hệ thống role loại kém áp của điện gió. Vì vậy trong bài báo này sẽ đề xuất thiết lập một giá trị chỉnh định áp dụng máy phát điện gió. Kết quả bài toán được áp dụng cho lưới điện tỉnh Ninh Thuận năm 2015 khi có kết nối một nhà máy điện

gió công suất 20 MW sử dụng máy điện không đồng bộ nguồn kép DFIG (Doubly Fed Induction Generator).

2. MÔ HÌNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN GIÓ TRONG PSCAD 4.2

2.1. Mô hình DFIG trong hệ tọa độ quay dq

Kỹ thuật này dựa trên phương pháp phân tích tính phi tuyến được sử dụng trong sơ điều khiển các hệ thống phi tuyến để cho sự phân lập tối ưu giữa sơ đồ điều khiển từ thông và điều khiển mômen bởi các thành phần dòng điện stator trục d và trục q. Trong hệ trục tham chiếu dq, các phương trình điện áp được viết như sau:

$$\begin{cases} u_s = R_s i_s + j \omega_s \psi_s + \frac{d}{dt} \psi_s \\ u_r = R_r i_r + j(\omega_s - \omega_r) \psi_r + \frac{d}{dt} \psi_r \end{cases} \quad (1)$$

Công suất biểu kiến tức thời đầu cực stator được cho bởi:

$$S_s = \frac{3}{2} \begin{pmatrix} u_s^* \\ i_s \end{pmatrix} \quad (2)$$

Công suất tác dụng và công suất phản kháng tức thời:

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{3}{2} \operatorname{Re} [u_s i_s^*] = \frac{3}{2} (u_{ds} i_{ds} + u_{qs} i_{qs}) \\ Q_s &= \frac{3}{2} \operatorname{Im} [u_s i_s^*] = \frac{3}{2} (u_{qs} i_{qs} - u_{ds} i_{ds}) \end{aligned} \quad (3)$$

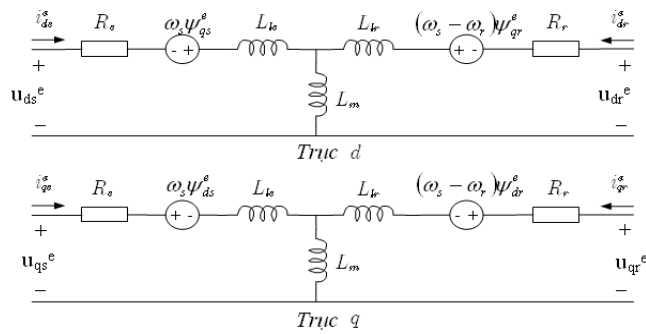
Trong bài toán mô phỏng này thì thành phần máy biến áp của bộ biến đổi có thể được bỏ qua, vì tác động của nó lên kết quả cuối cùng không đáng kể, công suất tác dụng và công suất phản kháng được viết lại một cách đơn giản do $u_{qs}^e = 0$ trong hệ tọa độ quay là:

$$\begin{cases} P_s = \frac{3}{2} u_{ds} i_{ds} = \frac{3}{2} u_s i_{ds} \\ Q_s = -\frac{3}{2} u_{ds} i_{ds} = -\frac{3}{2} u_s i_{qs} \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó:

- $u_{ds}, u_{qs}, u_{dr}, u_{qr}$: các thành phần điện áp stato và rôto trên hệ tọa độ quay;
- $\psi_{ds}, \psi_{qs}, \psi_{dr}, \psi_{qr}$: các thành phần từ thông stato và rôto trên hệ tọa độ quay;
- $i_{qs}, i_{ds}, i_{dr}, i_{qr}$: các thành phần dòng điện stato và rôto trên hệ tọa độ quay;
- $\omega_r, \omega_s, \omega_b, \omega$: vận tốc góc mạch rôto, stato;

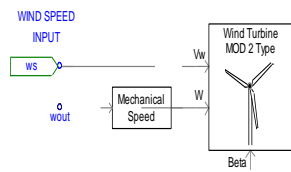
Từ (4) ta thấy công suất tác dụng và công suất phản kháng đầu cực stator DFIG có thể được điều khiển độc lập thông qua i_{ds} và i_{qs} . Phân bố công suất tác dụng giữa các cuộn dây stator và rotor của máy phát DFIG phụ thuộc vào hệ số trượt. Công suất qua mạch rotor (qua bộ biến đổi công suất) ngược dấu và xấp xỉ bằng công suất cuộn stator nhân với hệ số trượt, $P_r = -s.P_s$, còn được gọi là công suất trượt. Tùy thuộc vào điều kiện vận hành của hệ thống, công suất qua rotor có thể đi theo hai chiều: từ lưới qua bộ biến đổi đến rotor, $P_r < 0$, ở chế độ dưới đồng bộ và ngược lại từ rotor qua bộ biến đổi đến lưới, $P_r > 0$, ở chế độ trên đồng bộ. Trong các trường hợp trên, mạch stator đều phát công suất về lưới, $P_s > 0$. Mô hình DFIG trong hệ tọa độ quay như hình 1.



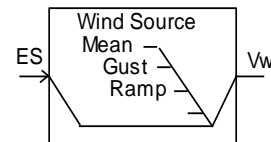
Hình 1. Mạch điện tương đương mô hình động DFIG trong hệ tọa độ quay dq

2.2. Cấu trúc các phần tử trong chương trình mô phỏng quá trình quá độ

Chương trình mô phỏng hệ thống điện PSCAD do Trung tâm nghiên cứu Manitoba-HVDC xây dựng. Đây là một chương trình cho phép nghiên cứu các công nghệ mới hiện nay như: các công nghệ điều khiển số, công nghệ truyền tải điện một chiều, mô phỏng các chế độ vận hành của máy phát điện gió với các loại máy phát khác nhau... Các thuật toán sử dụng trong giải tích hệ thống cũng dựa trên các lý thuyết thống nhất trên thế giới là ma trận tổng dẫn và các phương pháp lặp, ổn định quá độ, lý thuyết phép phân tích trị riêng. Trong mô tả nhà máy điện gió kết nối lưới điện, mô hình tuabin gió được chương trình PSCAD/EMTDC yêu cầu mô tả bởi các đặc tính vật lý như: công suất định mức, số cánh tuabin gió, chiều dài sải cánh, mật độ không khí, tốc độ gió đầu vào... Trong hình 2 minh họa mô hình một tuabin gió trong PSCAD.

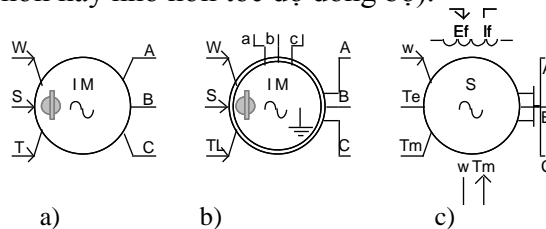


Hình 2. Mô hình của một tuabin gió



Hình 3. Mô hình nguồn năng lượng gió

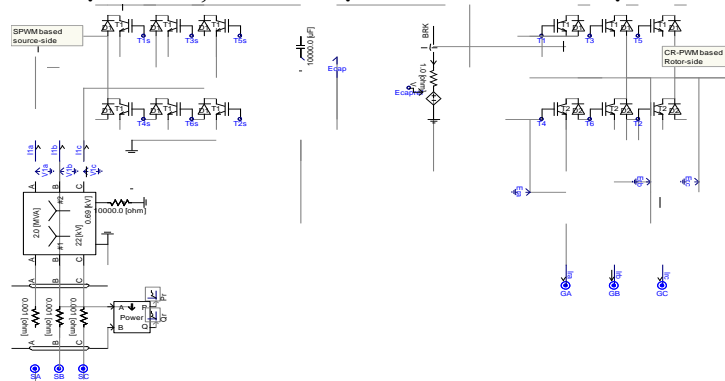
Trong thực tế tốc độ gió đầu vào cung cấp năng lượng cho tuabin gió luôn thay đổi theo thời gian. Do đó một mô hình được gọi là "nguồn gió" được thiết lập trong PSCAD để mô tả đặc tính của tốc độ gió biến thiên, trong mô hình này cũng minh họa xung lực tác động lên hệ thống khi tốc độ gió thay đổi, độ ồn khi tuabin quay...(hình 3). Ngoài ra, trong thư viện của PSCAD còn cung cấp 3 loại máy phát dùng cho hệ thống phát điện sức gió: máy phát không đồng bộ rôto lồng sóc, máy phát không đồng bộ rôto dây quấn và máy phát điện đồng bộ như hình 4. Tùy thuộc vào việc sử dụng công nghệ máy phát sẽ có các phương thức kết nối khác nhau với hệ thống điện. Nếu sử dụng loại máy điện DFIG thì một bộ biến đổi công suất sẽ được sử dụng để kết nối rôto máy phát với lưới điện. Tốc độ quay của máy phát được điều chỉnh cho phù hợp với đặc tính vận hành của tuabin gió (để tốc độ rôto lớn hơn hay nhỏ hơn tốc độ đồng bộ).



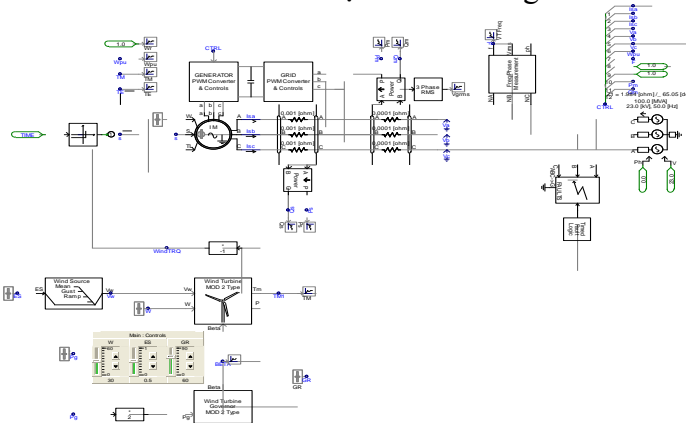
Hình 4. Các loại máy phát điện gió trong PSCAD: a) loại rôto lồng sóc; b) loại rôto dây quấn; c) loại máy phát đồng bộ

Bộ biến đổi công suất gồm hai bộ biến đổi: bộ biến đổi phía máy phát RSC (Rotor Side Converter) và bộ biến đổi phía lưới GSC (Grid Side Converter), được kết nối theo dạng "back-to-back" như hình 5. Mạch rotor được cấp nguồn từ bộ nghịch lưu nguồn áp VSC (Voltage Source Converter) có biên độ và tần số thay đổi, thường sử dụng linh kiện điện tử công suất IGBT. Một tụ điện "dc-link" được đặt ở giữa hai bộ biến đổi đóng vai trò tích trữ năng lượng. Trong khi đó, mục

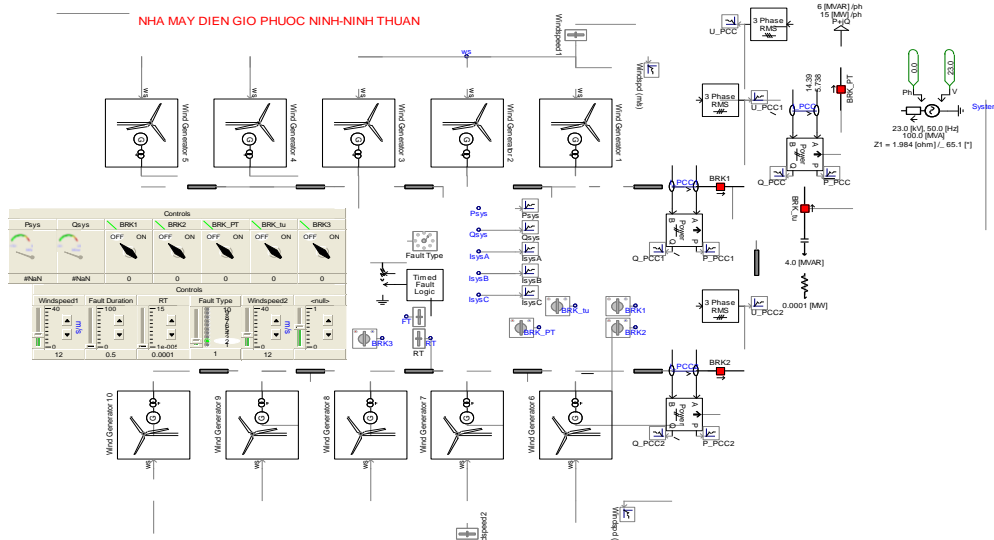
đích chính của bộ converter phía lưới GSC là để giữ cho điện áp dc-link không đổi. Cấu trúc chi tiết của một máy phát điện DFIG cho trong hình 6. Trong hình 7 mô tả cấu trúc nhà máy điện gió Phước Ninh kết nối lưới điện 22 kV, sau đó được kết nối với lưới điện 110 kV Ninh Thuận.



Hình 5. Mô hình bộ biến đổi công suất



Hình 6. Xây dựng mô hình máy phát điện gió DFIG - 2 MW trong PSCAD/EMTDC



Hình 7. Xây dựng cấu trúc nhà máy điện gió Phước Ninh bằng PSCAD

3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CỦA NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ

Trong phần này trình bày kết quả tính toán mô phỏng hiện tượng quá độ xảy ra khi lưới điện kết nối nhà máy điện gió theo thời gian. Mục đích nghiên cứu là khảo sát phản ứng của nhà máy điện gió trước những dạng sự cố khác nhau trong hệ thống điện và các ảnh hưởng đến lưới điện địa phương. Theo đó sẽ theo dõi được diễn biến của quá trình quá độ các máy phát điện gió và đề xuất chế độ vận hành phù hợp. Ngoài ra, dựa vào các đặc tính từ kết quả mô phỏng sẽ thiết lập các giá trị bảo vệ của role nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện. Tổng trở của hệ thống tính đến

điểm PCC kết nối cụm các máy phát điện gió được lấy từ Trung tâm điều độ hệ thống điện Quốc gia A₀ ($Z = 1,984 \angle 65,1 \Omega$) Thông số của máy phát và tuabin trong tính toán cho trong bảng 1 và 2.

Bảng 1. Thông số máy phát điện DFIG - 2MW-VESTAS-Đan Mạch

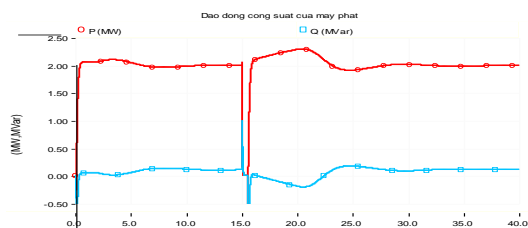
Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
U_{dd} , V	690	X_m (pu)	3.29
R_s , (pu)	0.006931	n, (v/phút)	1500
R_r , (pu)	0.00906	H(s)	3,5
X_s , (pu)	0.08083	f, hz	50
X_r , (pu)	0.09934	p	4

Bảng 2. Thông số tuabin

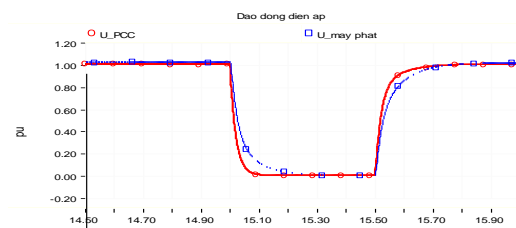
Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Đường kính roto	70m	Tốc độ gió định mức, m/s	12,2
Số cánh	3	Tốc độ "cut out", m/s	25
Chiều dài sải cánh	34m	Tốc độ "cut in"	4 m/s

3.1. Dao động công suất của nhà máy khi xảy ra ngắn mạch ở các vị trí khác nhau với thời gian tồn tại sự cố 0,5s

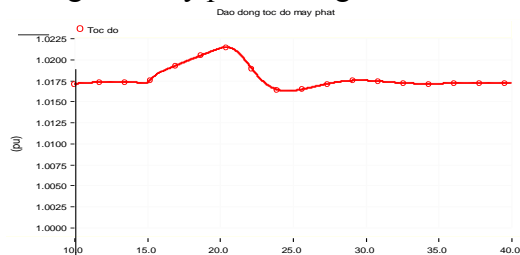
Công suất phát tác dụng giảm mạnh còn 0,3 MW trong quá trình diễn ra sự cố. Công suất phản kháng lấy về từ phía hệ thống tăng, sau đó giảm dần về trị số định mức sau 6s (hình 8). Thời gian tắt dần dao động khoảng 4,s khi thời gian tồn tại sự cố bằng 0,5s. Khi đó điện áp giảm xuống còn 0,049 pu tại thanh cái kết nối chung PCC và 0,048 tại đầu cực máy phát. Rôto máy phát bị tăng tốc đến 1,0221pu, thời gian tắt dần dao động khoảng 9s.



Hình 8. Dao động công suất tác dụng, phản kháng của máy phát khi ngắn mạch tại PCC



Hình 9. Dao động điện áp tại đầu cực máy phát và tại PCC khi ngắn mạch tại PCC



Hình 10. Dao động tốc độ máy phát khi ngắn mạch tại PCC

Quá trình này có thể được giải thích như sau: trong quá trình sự cố điện áp đầu cực máy phát cũng sụt giảm nghiêm trọng và kết quả là công suất điện do máy phát điện phát ra sụt giảm mạnh, trong khi đó công suất cơ của tuabin vẫn được duy trì. Khi đó để cân bằng năng lượng thì rôto của máy phát sẽ bắt đầu được gia tốc và tăng tốc. Khi sự cố được loại trừ, điện áp đầu cực máy phát sẽ tăng trở lại nhưng do máy phát bắt đầu tiêu thụ trở lại một lượng lớn công suất phản kháng của hệ thống để khôi phục lại từ trường quay, và do lượng công suất phản kháng tiêu thụ tăng đột biến sẽ làm điện áp đầu cực máy phát không thể hồi phục ngay được. Trong khi đó máy phát bắt đầu phát công suất tác dụng trở lại và phát sinh ra các mô men điện cơ trên trục rôto, mô men này có tác

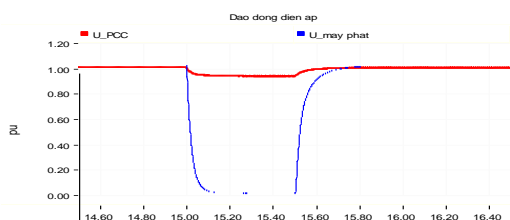
dụng hãm tốc làm chậm tốc độ rôto. Nếu lúc này năng lượng tích lũy trong rôto dưới dạng động năng chưa lớn hơn so với mô men cản thì tốc độ rôto sẽ từ từ giảm dần về tốc độ làm việc bình thường, trường hợp ngược lại thì tốc độ rôto sẽ tiếp tục tăng lên, lượng công suất phản kháng tiêu thụ tăng nhanh và sẽ làm giảm điện áp đầu cực cho đến khi nào các thiết bị bảo vệ rơle làm việc sẽ cắt máy phát ra khỏi lưới. Sau khi hồi phục sự cố, công suất phát ra của mỗi máy phát vẫn đạt giá trị ổn định ở mức xấp xỉ 2 MW. Kết quả mô phỏng tính toán điện áp, công suất phản kháng trong các chế độ xác lập và sự cố ngắn mạch 3 pha ở các vị trí khác nhau trên lưới cho trong bảng 1.

Kết quả mô phỏng trong bảng 1 cho thấy rằng: trong hầu hết các trường hợp sự cố thì công suất phát nhà máy điện gió đều giảm mạnh, lượng công suất phản kháng lấy về từ phía hệ thống tăng đáng kể khi vị trí ngắn mạch càng gần điểm kết nối chung PCC. Vị trí ngắn mạch càng gần PCC, điện áp trên PCC càng giảm mạnh và khả năng phục hồi sau sự cố càng khó khăn hơn. Để khôi phục nhanh chế độ xác lập sau sự cố cần áp dụng các giải pháp mạnh như: sa thải bớt phụ tải địa phương tại PCC hay sử dụng thiết bị bù công suất phản kháng ngay tại PCC hoặc tại đầu cực máy phát điện gió.

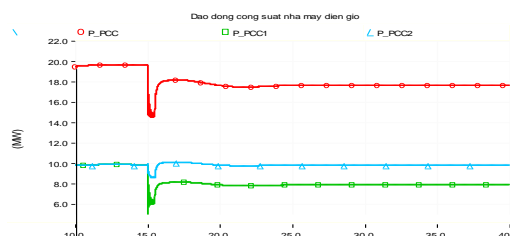
Bảng 1: Điện áp và công suất phản kháng tại các vị trí ngắn mạch khác nhau trên lưới điện

Vị trí sự cố cách PCC, km	Điện áp, pu						Q, pu	
	0,69 kV		22 kV		110 kV		xác lập	sự cố
	xác lập	sự cố	xác lập	sự cố	xác lập	sự cố		
0,1	+1.11	+0.21	+1.06	+0.11	+1.02	+0.008	+0.14	-0.83
0,5	+1.10	+0.22	+1.05	+0.12	+1.01	+0.01	+0.12	-0.80
1,0	+1.10	+0.24	+1.05	+0.11	+1.01	+0.02	+0.12	-0.80
5,0	+1.08	+0.26	+1.03	+0.16	+1.00	+0.08	+0.07	-0.79
10	+1.06	+0.32	+1.02	+0.23	+0.99	+0.15	+0.05	-0.78
20	+1.04	+0.39	+1.01	+0.31	+0.98	+0.26	0.00	-0.76

3.2. Trường hợp ngắn mạch 3 pha tại máy phát số 1, thời gian tồn tại sự cố kéo dài dẫn đến phải tách máy phát gặp sự cố ra khỏi lưới điện



Hình 11. Dao động điện áp tại máy phát và tại PCC khi thời gian tồn tại sự cố lâu dài

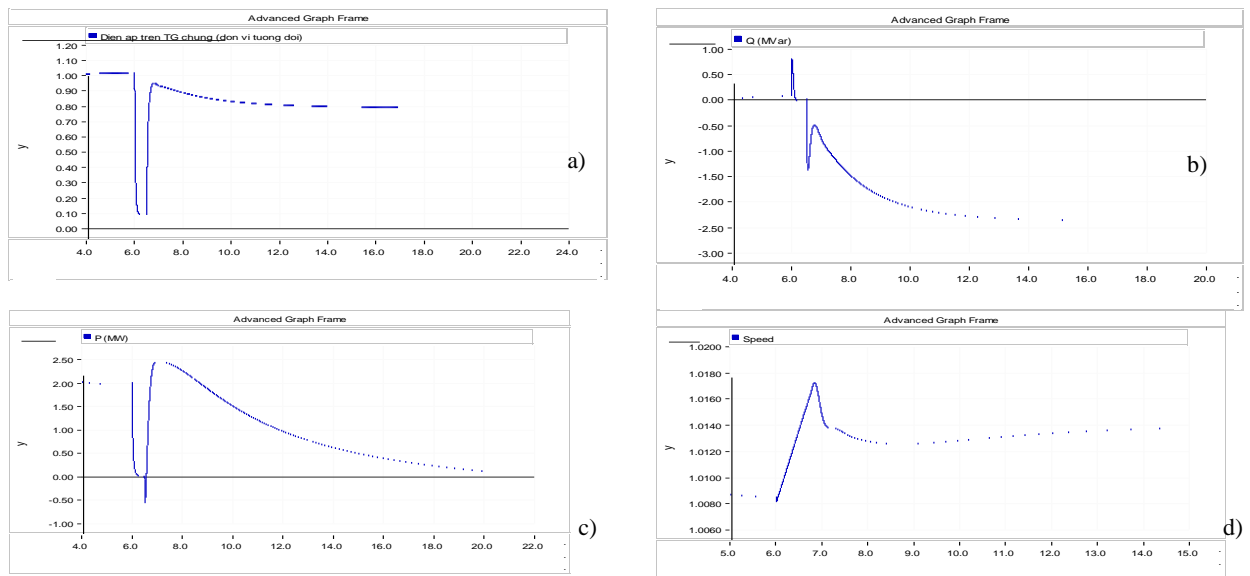


Hình 12. Dao động tốc độ máy phát và dao động công suất tác dụng của nhà máy

Vào thời điểm $t = 15s$, giả thiết xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha tại đầu cực “Máy phát tuabin gió 1” của dãy tuabin gió thứ nhất. Trong quá trình diễn ra sự cố, điện áp trên đầu cực tuabin gió thứ nhất đến giảm còn 0,09pu (hình 11), nhỏ hơn ngưỡng dưới điện áp cho phép, nên hệ thống bảo vệ sẽ cho “Máy phát tuabin gió 1” dừng vào lúc 15,4s. Sau khi Máy phát tuabin gió 1 dừng thì các máy phát còn lại vẫn tiếp tục phát ra công suất 1,98 MW cho mỗi máy. Tổng công suất phát của nhà máy đạt 17,54 MW, trong đó dãy tuabin gió chứa máy phát bị sự cố phát công suất 7,75 MW và dãy còn lại đạt công suất 9,78 MW sau sự cố (hình 12). Khi thời gian tồn tại sự cố là 0,5s thời gian hồi phục công suất tác dụng của máy phát khoảng 0,6s. Các máy phát khác công suất phát giảm xuống còn 1,8MW và hồi phục sau 0,3s. Tốc độ máy phát bị sự cố tăng lên đến 1.022pu so với 1.0175 lúc trước khi sự cố với thời gian dao động khoảng 10s. Các máy phát khác, tốc độ máy phát tăng lên không đáng kể (1.0176 pu) và hồi phục nhanh (sau 0,2s).

4. ẢNH HƯỞNG CỦA SUY GIẢM ĐIỆN ÁP ĐẾN QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ MÁY PHÁT ĐIỆN GIÓ VÀ CÀI ĐẶT GIÁ TRỊ CHỈNH ĐỊNH CHO HỆ THỐNG BẢO VỆ KÉM ÁP

Như trình bày ở trên, các máy phát điện gió sẽ rất dễ rơi vào trạng thái mất ổn định khi xuất hiện các trường hợp sự cố gần máy phát. Nguy hiểm nhất là các trường hợp ngắn mạch 3 pha tại đầu cực máy phát hay tại PCC. Khi đó máy phát sẽ mất ổn định do điện áp máy phát bị suy giảm nghiêm trọng, lượng công suất tác dụng phát ra giảm và tiêu thụ một lượng công suất phản kháng khá lớn từ phía lưới. Mức độ suy giảm điện áp cũng là vấn đề chính yếu cần quan tâm vì mức độ mất cân bằng công suất trên trục máy phát tùy thuộc vào lượng công suất tác dụng phát ra khi điện áp suy giảm, một cách tổng quát có thể thấy rằng nếu điện áp suy giảm càng nhiều thì mức độ mất cân bằng công suất trên trục máy phát cũng tăng nhanh và rôto càng dễ dàng bị gia tốc hơn. Do việc máy phát có thể trở lại làm việc ổn định hay không sau sự cố tùy thuộc vào cả hai yếu tố: thời gian tồn tại sự cố và mức độ suy giảm điện áp nên có thể đề xuất một phương án chỉnh định các role điện áp thấp bảo vệ cho cho máy phát theo một đặc tính phụ thuộc thay vì cài đặt đặc tính độc lập.

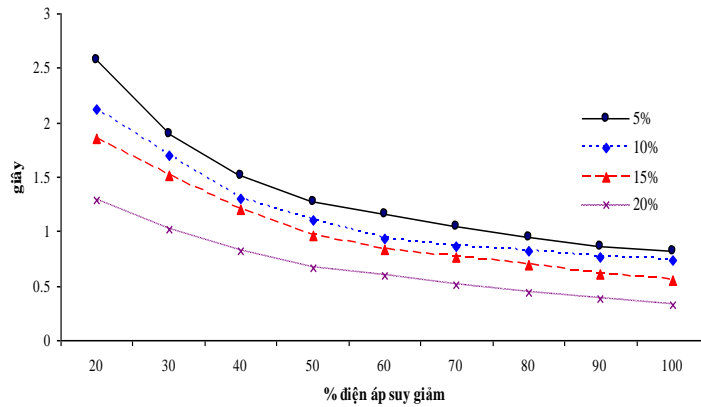


Hình 13. Dao động điện áp, công suất phản kháng, công suất tác dụng và tốc độ máy phát khi sự cố kéo dài

Khi xuất hiện sự cố kéo dài, lúc này:

- Điện áp trên thanh góp chung không thể hồi phục về giá trị ban đầu do các máy phát điện gió tiêu thụ quá nhiều công suất phản kháng từ phía hệ thống (hình 13a). Công suất phản kháng lấy từ phía hệ thống tăng đáng kể sau khi sự cố được loại trừ (hình 13b). Công suất tác dụng do các máy phát phát ra giảm đi sau khi cắt sự cố vì điện áp trên thanh góp chung vẫn tiếp tục bị giảm (hình 13c). Do sự cố tồn tại quá lâu nên tốc độ của máy phát không thể khôi phục lại giá trị ban đầu sau khi sự cố đã bị loại trừ. Đây là trường hợp làm việc mất ổn định (hình 13d) và *role kém áp phải tác động trong trường hợp này*.

Trong hình 14 là kết quả tính toán giá trị tác động của hệ thống role kém áp từ quá trình mô phỏng chế độ sự cố ngắn mạch 3 pha tại PCC khi thời gian tồn tại sự cố quá lâu, dẫn đến phải cắt toàn bộ các tuabin gió ra khỏi lưới điện. Kết quả này được tính toán ứng với các tỷ số công suất ngắn mạch khác nhau theo trị số % điện áp suy giảm. Phương pháp luận và kết quả tính toán này là một tham khảo tốt khi đầu nối nguồn điện phân tán nói chung và nhà máy điện gió nói riêng với hệ thống điện.



Hình 14. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa mức độ suy giảm điện áp và thời gian tồn tại cho phép tối đa đối với nhà máy điện gió Ninh Thuận sử dụng máy phát DFIG 2 MW (VESTAS - Đan Mạch).

5. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Căn cứ theo kết quả mô phỏng thấy rằng:

– Đặc tính làm việc của các role kém áp nên chọn là loại đặc tính phụ thuộc, với các role số hiện đại hoàn toàn cho phép người dùng tạo ra các đường đặc tính làm việc tùy chọn sao cho độ dốc của các đặc tính này bám sát, phù hợp với kết quả mô phỏng trên.

– Thời gian làm việc chỉnh định cho các role kém áp phụ thuộc vào tỷ số công suất ngắn mạch tại điểm kết nối chung, với công suất ngắn mạch của hệ thống càng lớn thì thời gian làm việc của các role càng được phép kéo dài và như vậy cũng làm giảm xác suất phải cắt máy phát do các sự cố lân cận điểm kết nối cụm máy phát điện gió.

– Để nâng cao khả năng làm việc ổn định của hệ thống các máy phát điện gió thì cần có các biện pháp khác kết hợp như trang bị thêm các thiết bị có khả năng phát công suất phản kháng không phụ thuộc nhiều vào điện áp (SVC, STACOM) để trợ giúp với hệ thống khi các máy phát điện trong quá trình hồi phục trở lại sau sự cố.

– Các thông số chỉnh định cho hệ thống role kém áp nên được tính toán dựa theo các kết quả mô phỏng vì hiện tại chưa có một chuẩn chung cho các loại role này khi áp dụng đối với các loại máy phát điện gió.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Akhmatov, V. *Analysis of Dynamic Behaviour of Electric Power Systems with Large Amount of Wind Power*; PhD. Thesis, Technical University of Denmark, April 2003.
2. Akhmatov, V. *Modeling of Variable-speed Wind Turbines with Doubly-Fed Induction Generators in Short-Term Stability Investigations*; Proc. of Workshop on Transmission Networks for offshore wind farms, Stockholm. April 2002.
3. Chuong, T.T. *Voltage Stability Investigation of Grid Connected WF*; Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology; Singapore, August 30-31/2008.
4. Heier, S. *Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems*. JohnWiley & Sons Ltd. 1998
5. <http://www.pscad.com>
6. Najafi, Hamid Reza, Samadi, Ali Asghar and Dastyar, Farshad. *The Impact of a Wind Farm with Doubly-Fed Induction Generator on the Power Grid*; The International Conference on Electrical Engineering, 6-10 July, Japan 2008.
7. Slootweg, J.G. *Wind Power: Modelling and Impact on Power System Dynamics*; PhD thesis, Delft, October 2003.

