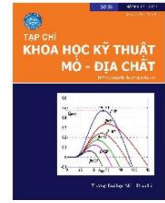




Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn/>



Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới cho Tuabin gió

Lê Kim Anh *

Khoa Điện-Điện tử, Trường Cao Đẳng Công nghiệp Tuy Hòa, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 06/9/2016

Chấp nhận 01/12/2016

Đăng online 28/02/2017

Từ khóa:

Năng lượng tái tạo

VOC

DPC

VFVOC

VFDPC

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng và khai thác hiệu quả nguồn năng lượng gió để phát điện có ý nghĩa thiết thực đến việc giảm biến đổi khí hậu và giảm sự phụ thuộc vào các nguồn nhiên liệu hóa thạch có nguy cơ cạn kiệt, gây ô nhiễm môi trường. Nối lưới tuabin gió sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất có những ưu điểm như: khả năng truyền năng lượng theo cả 2 hướng, kết hợp với mạch lọc sẽ giảm sóng hài qua lưới và loại trừ các sóng hài bậc cao, điều này có ý nghĩa lớn đến việc cải thiện chất lượng điện năng. Bài báo đã đưa ra được kết quả mô phỏng điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất. Ở đây sử dụng giải thuật hệ bám điểm công suất cực đại nhằm đảm bảo rằng tuabin gió sẽ luôn luôn làm việc ở điểm cực đại khi tải thay đổi.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Ngày nay, cùng với sự phát mạnh mẽ của thế giới, nhu cầu sử dụng năng lượng của con người ngày càng tăng. Nguồn năng lượng tái tạo nói chung, nguồn năng lượng gió nói riêng là dạng nguồn năng lượng sạch, không gây ô nhiễm môi trường, đồng thời tiềm năng về trữ lượng năng gió ở nước ta rất lớn. Tuy nhiên, để khai thác, sử dụng nguồn năng lượng gió sao cho hiệu quả, giảm phát thải các chất gây ô nhiễm môi trường, đặc biệt là khí (CO₂) đang là mục tiêu nghiên cứu của nhiều quốc gia. Bộ chỉnh lưu (AC/DC) phía máy phát điện dùng điều chỉnh hòa đồng bộ cho máy phát điện cũng như tách máy phát điện ra khỏi lưới khi

cần thiết. Bộ nghịch lưu (DC/AC) phía lưới nhằm giữ ổn định điện áp mạch một chiều trung gian, đồng thời đưa ra điện áp (AC) nối lưới. Các bộ biến đổi điện tử công suất giữ vai trò rất quan trọng trong các hệ thống điều khiển năng lượng tái tạo (Renewable Energy sources - RES). Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất, nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển linh hoạt các nguồn năng lượng tái tạo.

2. Các bộ biến đổi điện tử công suất

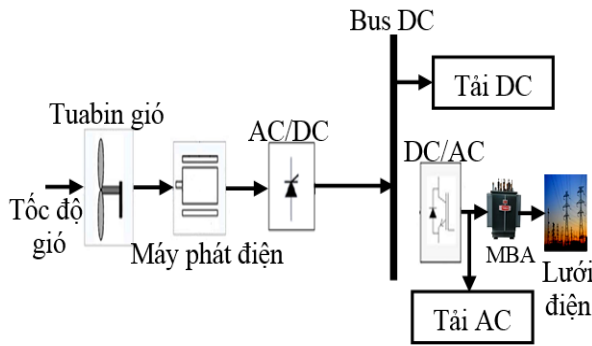
Hệ thống điều khiển nối lưới các nguồn điện phân tán (Distributed Energy Resources - DER) nói chung và tuabin gió với pin nhiên liệu nói riêng. Theo (Onar, Uzunoglu, Alam, 2006) tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (Permanent magnetic synchronous

*Tác giả liên hệ

E-mail: tdhlekimanh@gmail.com

generator - PMSG) bao gồm các thành phần cơ bản, như Hình 1. Các bộ biến đổi điện tử công suất thực hiện nhiệm vụ như sau: Tuabin gió qua máy phát điện cho ra điện áp (AC), qua bộ chỉnh lưu (AC/DC) đưa ra điện áp một chiều (DC). Tất cả các điện áp một chiều (DC) này qua bộ nghịch lưu (DC/AC) đưa ra điện áp (AC) nối lưới.

2.1. Bộ chỉnh lưu và bộ nghịch lưu

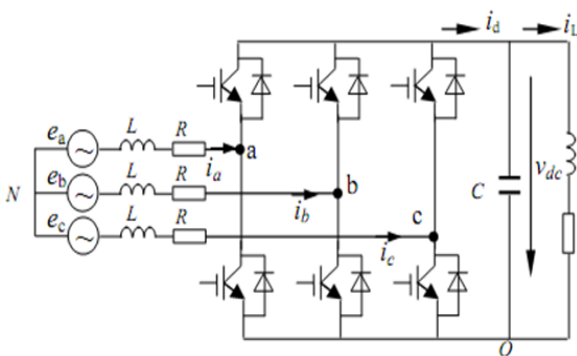


Hình 1. Sơ đồ điều khiển tuabin gió nối lưới

Việc nghiên cứu các bộ chỉnh lưu (AC/DC) và bộ nghịch lưu (DC/AC) điều chế theo phương pháp độ rộng xung (Pulse Width Modulation - PWM) hoặc điều chế theo vector không gian (Space Vector Modulation) được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu trong những năm gần đây với những ưu điểm vượt trội như: khả năng truyền năng lượng theo cả 2 hướng, với góc điều khiển thay đổi được (góc điện), dung lượng sóng hài thấp..v.v.

2.1.1. Mô hình toán học cho bộ chỉnh lưu

Sơ đồ bộ chỉnh lưu điều chế theo phương pháp độ rộng xung (PWM), như Hình 2. Theo (Bai, Wang, Xing, 2007) để đạt được mục tiêu là điều



Hình 2. Sơ đồ dòng điện và điện áp của bộ chỉnh lưu

khiến các thành phần công suất phát vào lưới từ tuabin gió thì hiện nay có nhiều phương pháp để điều khiển cho bộ chỉnh lưu PWM như phương pháp: VOC, DPC, VFVOC, VFDPC.

Dựa vào sơ đồ Hình 2, ta xây dựng biểu thức điện áp của bộ chỉnh lưu PWM như sau:

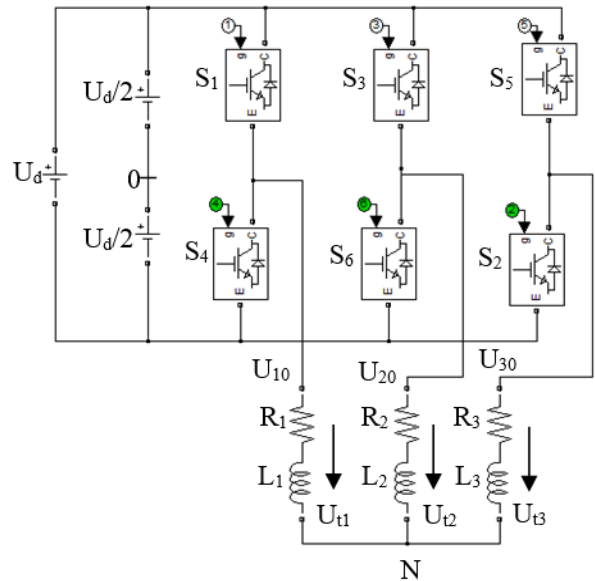
$$\begin{cases} L \frac{di_a}{dt} + Ri_a = e_a - (S_a u_{dc} + u_{N0}) \\ L \frac{di_b}{dt} + Ri_b = e_b - (S_b u_{dc} + u_{N0}) \\ L \frac{di_c}{dt} + Ri_c = e_c - (S_c u_{dc} + u_{N0}) \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = i_d - i_L \end{cases} \quad (1)$$

Biểu thức (1) chuyển sang hệ tọa độ dq được viết lại như sau:

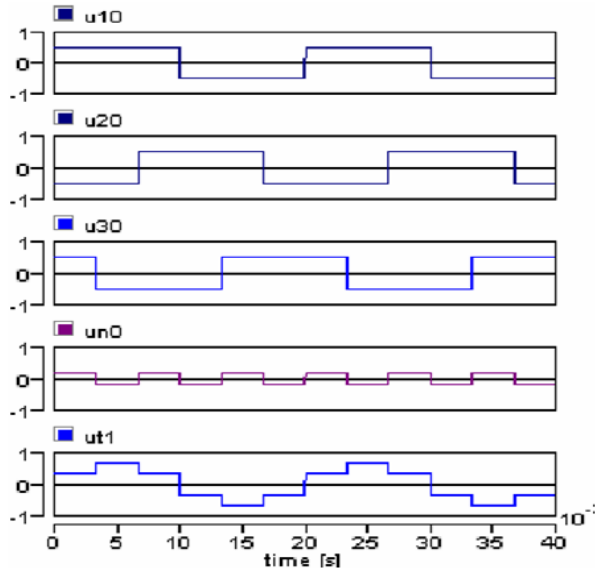
$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = e_d - Ri_d - S_d u_{dc} + \omega Li_q \\ L \frac{di_q}{dt} = e_q - Ri_q - S_q u_{dc} - \omega Li_d \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3S_d}{2} i_d + \frac{3S_q}{2} i_q - i_L \end{cases} \quad (2)$$

2.1.2. Mô hình toán học cho bộ nghịch lưu

Theo (Nguyễn Văn Nhờ, 2015) bộ nghịch lưu dùng để biến đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều ba pha có thể thay đổi được tần số nhờ việc thay đổi qui luật đóng cắt của các van, như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ bộ nghịch lưu



Hình 4. Giản đồ xung đóng ngắt bộ nghịch lưu

Ta giả thiết tải 3 pha đối xứng nên điện áp:

$$u_{t1} + u_{t2} + u_{t3} = 0 \quad (3)$$

Gọi N là điểm nút của tải 3 pha dạng hình (Y). Dựa vào sơ đồ hình 3, điện áp pha của các tải được tính như sau:

$$\begin{cases} u_{t1} = u_{10} - u_{N0} \\ u_{t2} = u_{20} - u_{N0} \\ u_{t3} = u_{30} - u_{N0} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Với } u_{N0} = \frac{u_{10} + u_{20} + u_{30}}{3} \quad (5)$$

Thay biểu thức (5) vào biểu thức (4) ta có phương trình điện áp ở mỗi pha của tải như sau:

$$\begin{cases} u_{t1} = \frac{2u_{10} - u_{20} - u_{30}}{3} \\ u_{t2} = \frac{2u_{20} - u_{30} - u_{10}}{3} \\ u_{t3} = \frac{2u_{30} - u_{10} - u_{20}}{3} \end{cases} \quad (6)$$

Điện áp dây trên tải được tính như sau:

$$\begin{cases} u_{t12} = u_{10} - u_{20} \\ u_{t23} = u_{20} - u_{30} \\ u_{t31} = u_{30} - u_{10} \end{cases} \quad (7)$$

Thành phần điện áp thứ tự không có thể bỏ qua vì giả thiết tải đối xứng, nên điện áp thứ tự không sẽ không tạo ra dòng điện. Tuy nhiên nếu trong trường hợp có hai bộ nghịch lưu nối song song với các điểm nối trực tiếp ở cả phía xoay chiều và một chiều sẽ gây ra dòng điện thứ tự không chạy vòng, vì xuất hiện đường dẫn của nó,

khi đó ta không thể bỏ qua dòng điện thứ tự không.

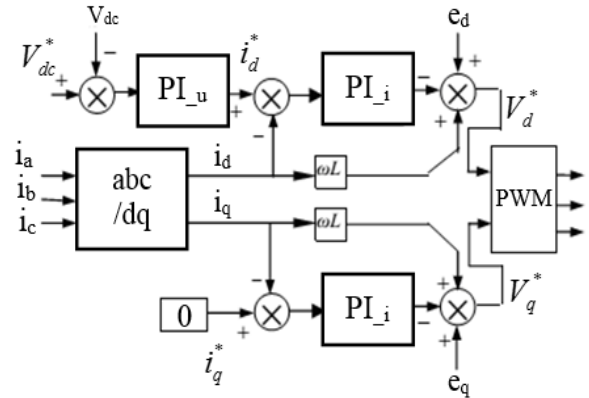
2.2. Cấu trúc điều khiển cho bộ chỉnh lưu và nghịch lưu

Theo (Yang, Zhao, Liu, 1999) giá trị đầu ra của điện áp qua bộ chỉnh lưu và nghịch lưu, chuyển sang hệ tọa độ dq được tính như sau: Từ biểu thức (2) của mô hình toán học bộ chỉnh lưu đã phân tích ở trên. Ở đây $V_d = S_d u_{dc}$, $V_q = S_q u_{dc}$, S_d , S_q là các điện áp vào của bộ chỉnh lưu, biểu thức (2) được viết lại như sau:

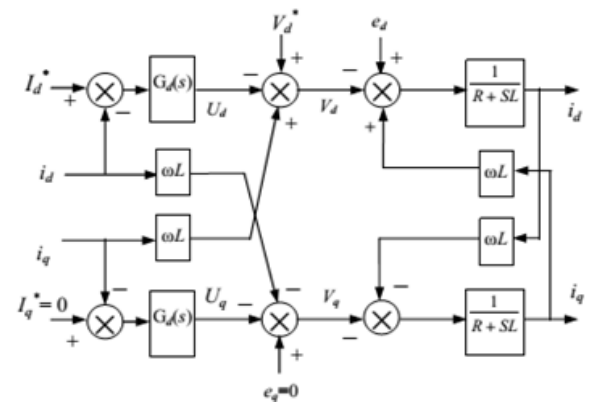
$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = e_d - Ri_d - V_d + \omega Li_q \\ L \frac{di_q}{dt} = e_q - Ri_q - V_q - \omega Li_d \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = -\frac{u_{dc}}{R_L} + \frac{3}{2} (S_d i_d + S_q i_q) \end{cases} \quad (8)$$

$$V_d^* = -\left(K_{dp} + \frac{K_{di}}{S}\right)(i_d^* - i_d) + e_d + \omega Li_q \quad (9)$$

$$V_q^* = -\left(K_{qp} + \frac{K_{qi}}{S}\right)(i_q^* - i_q) + e_q - \omega Li_d \quad (10)$$



Hình 5. Sơ đồ điều khiển cho mạch vòng điện áp



Hình 6. Điều khiển mạch vòng trong của dòng điện

Mặt khác theo (Kazmierkowski, Krishnan, Blaabjerg, 2002) hàm truyền của mạch lọc được tính như sau:

$$G_f(s) = \frac{i(s)}{u(s)} = \frac{1}{R + SL} \quad (11)$$

Hàm truyền của PWM

$$G_d(s) = \frac{1}{1 + 1.5T_s S} \quad (12)$$

Từ các biểu thức (8), (9), (10), (11) và (12) cấu trúc điều khiển mạch vòng điện áp và mạch vòng dòng điện cho bộ chỉnh lưu và nghịch lưu được mô tả, như Hình 5 và Hình 6.

3. Mô hình tuabin gió

3.1. Mô hình tuabin gió

Theo (Lê Kim Anh, 2013) công suất của tuabin gió được tính theo biểu thức:

$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} v^3 \quad (13)$$

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, $\rho = 1.255$ (kg/m^3).

Từ biểu thức (13) ta thấy vận tốc gió là yếu tố quan trọng nhất của công suất; công suất đầu ra tăng theo lũy thừa 3 của vận tốc. Hệ số biến đổi năng lượng $C_p(\lambda, \beta)$ của biểu thức (13) được tính như sau:

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5176 \left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (14)$$

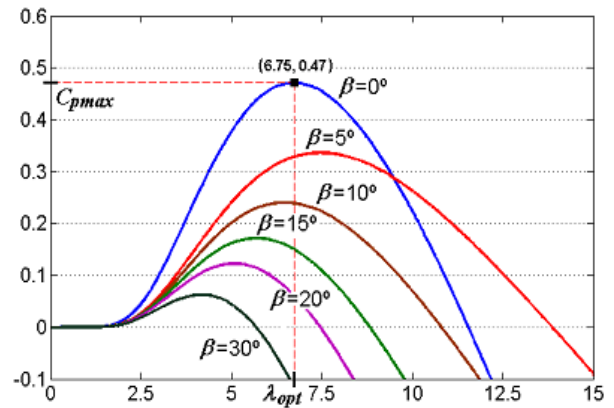
$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (15)$$

Như ta đã biết tỷ số tốc độ đầu cánh tuabin gió và tốc độ là: $\lambda = \frac{R\omega}{v}$ trong đó ω tốc độ quay của tuabin, R bán kính của tuabin, v vận tốc của gió. Do vậy mômen của tuabin gió được tính như sau:

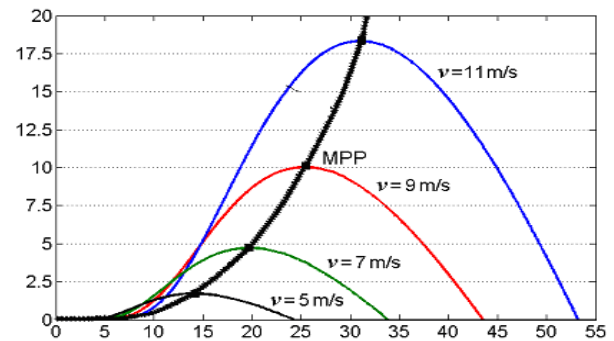
$$T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \rho R^5 C_p \frac{\omega^3}{\lambda^3} \quad (16)$$

Mặt khác tuabin gió có thể vận hành theo các quy tắc điều khiển khác nhau tùy thuộc vào tốc độ của gió. Đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa P_m và tốc độ gió, như Hình 8.

Từ các biểu thức (13), (14), (15), (16) đã phân tích ở trên, mô hình tuabin gió được xây dựng trên Matlab/Simulink với thông số đầu vào tốc độ gió,



Hình 7. Đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa C_p và λ



Hình 8. Đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa P_m và tốc độ gió

tốc độ của máy phát điện và thông số đầu ra mômen, như Hình 9.

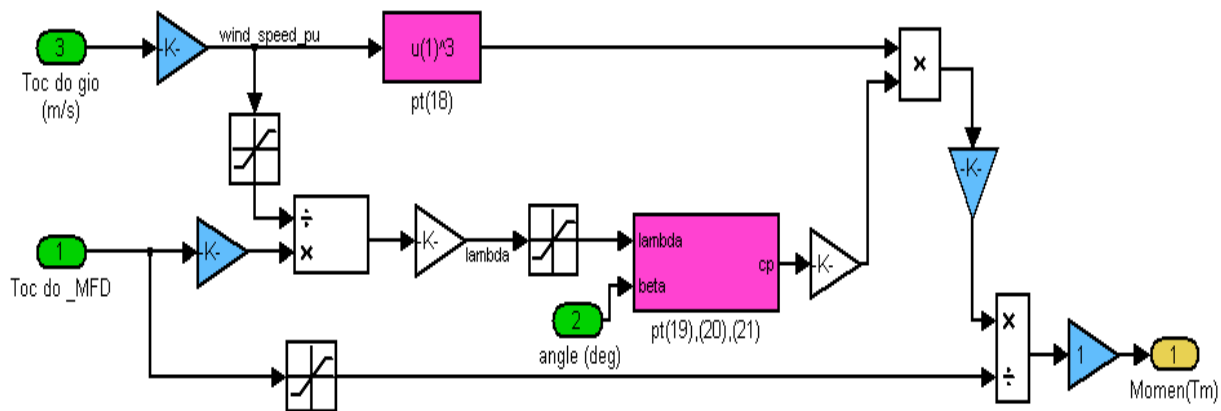
3.2. Mô hình máy phát điện (PMSG)

Mô hình máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) có hai loại hệ trục tọa độ được sử dụng: hệ tọa độ $\alpha\beta$ gắn cố định với Stator và hệ tọa độ dq còn gọi là hệ tọa độ tựa hướng từ thông rotor, như Hình 10. Theo Nguyễn Phùng Quang.(2006) phương trình dòng điện và điện áp của PMSG biểu diễn trên hệ tọa độ dq như sau:

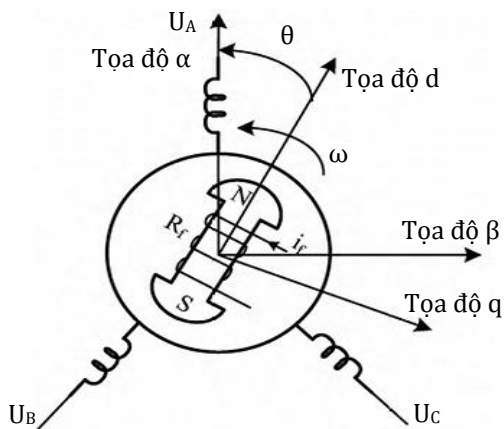
$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{T_{sd}} i_{sd} + \omega_s \frac{L_{sq}}{L_{sd}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sd}} u_{sd} \quad (17)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s \frac{L_{sd}}{L_{sq}} i_{sd} - \frac{1}{T_{sq}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sq}} u_{sq} - \omega_s \frac{\psi_p}{L_{sq}} \quad (18)$$

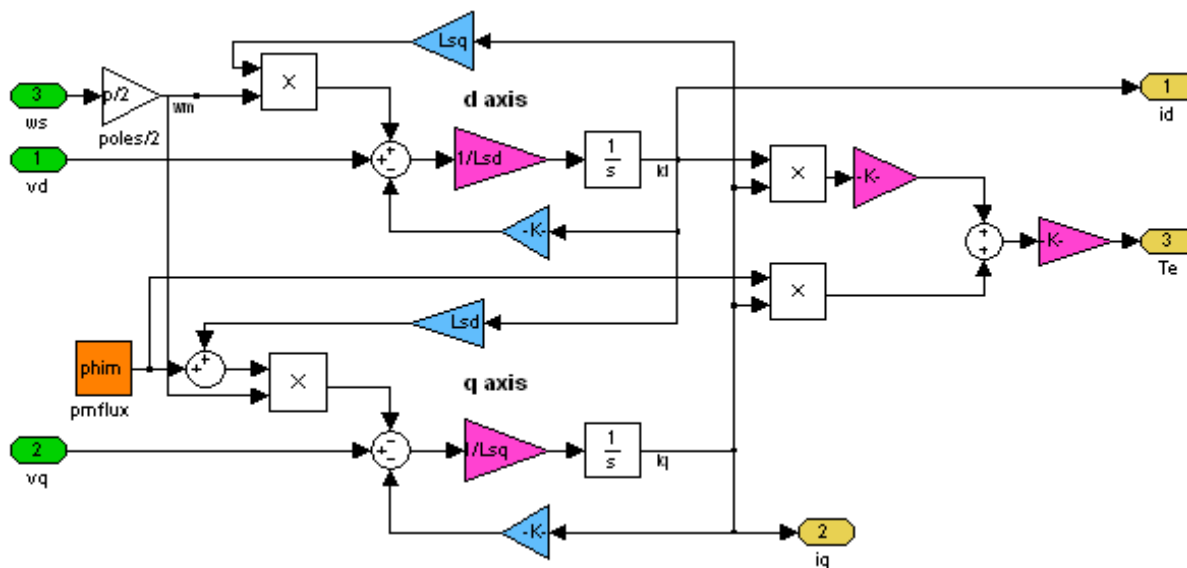
Trong đó: L_{sd} điện cảm Stator đo ở vị trí đỉnh cực; L_{sq} điện cảm Stator đo ở vị trí ngang cực; ψ_p từ thông cực (vĩnh cửu); T_{sd}, T_{sq} là hằng số thời gian Stator tại vị trí đỉnh cực. Phương trình mômen tính như sau:



Hình 9. Mô hình tuabin gió



Hình 10. Hệ trục tọa độ $\alpha\beta$ và dq

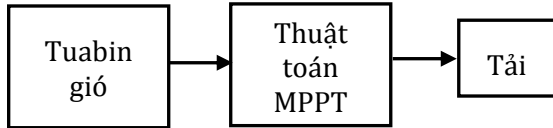


Hình 11. Mô hình máy phát điện PMSG

$$m_M = \frac{3}{2} P_c [\psi_p i_{sq} + i_{sd} i_{sq} (L_{sd} - L_{sq})] \quad (19)$$

Để xây dựng mô hình PMSG trên matlab/simulink dựa vào biểu thức (17), (18), (19), như Hình 11.

3.4. Phương pháp điều khiển bám điểm công suất cực đại



Hình 12. Sơ đồ nguyên lý điều khiển trực tiếp theo phương pháp MPPT

Hiện nay có nhiều kỹ thuật để điều khiển tuabin gió theo phương pháp bám điểm công suất cực đại (Maximum Point Power Tracking, MPPT). Ở mỗi kỹ thuật điều khiển đều có những ưu và nhược điểm khác nhau. Hình 12 sơ đồ nguyên lý điều khiển trực tiếp theo phương pháp MPPT.

Các kỹ thuật này có thể phân thành 2 nhóm

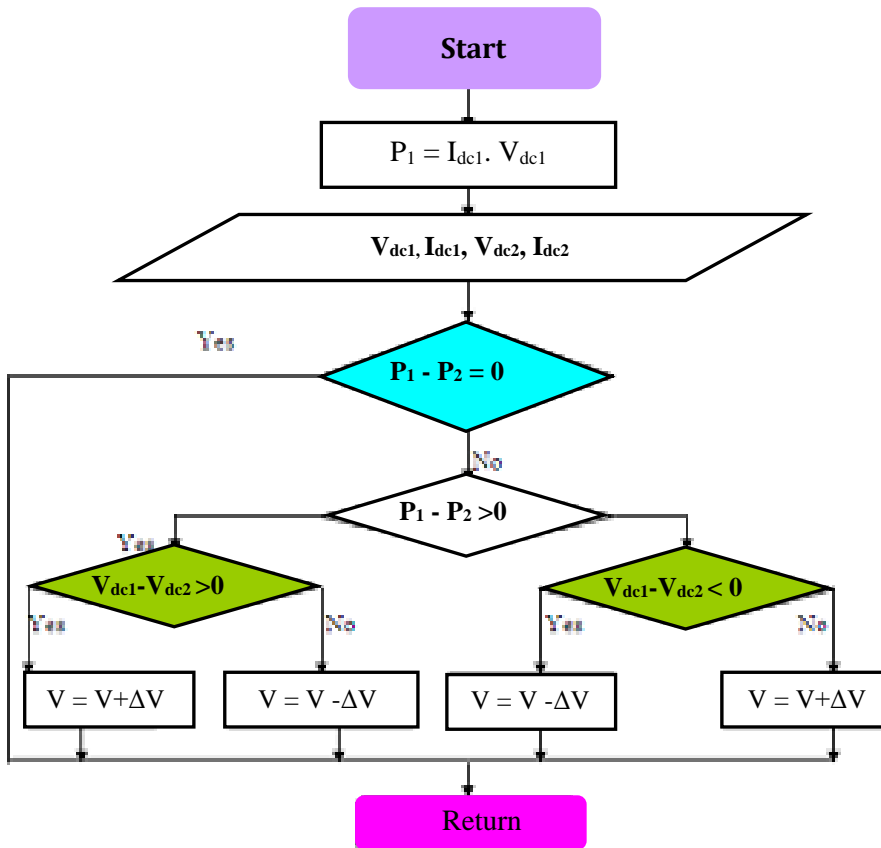
chính như sau: kỹ thuật tìm kiếm và kỹ thuật tìm kiếm dựa trên mô hình. Ở kỹ thuật tìm kiếm để thực hiện nhưng đòi hỏi một số bước lớn mới hội tụ được điểm cực đại (Maximum Point Power, MPP) trong khi đó sẽ hội tụ rất nhanh điểm MPP với kỹ thuật tìm kiếm dựa trên mô hình. Hình 13, lưu đồ thuật toán P&O điều khiển trực tiếp theo phương pháp MPPT. Trong Hình 13, Bộ điều khiển MPPT sẽ đo các giá trị dòng điện I và điện áp V, sau đó tính toán độ sai lệch $\Delta P = P_1 - P_2$, $\Delta V = V_{dc1} - V_{dc2}$.

4. Xây dựng mô hình trên Matlab-Simulink

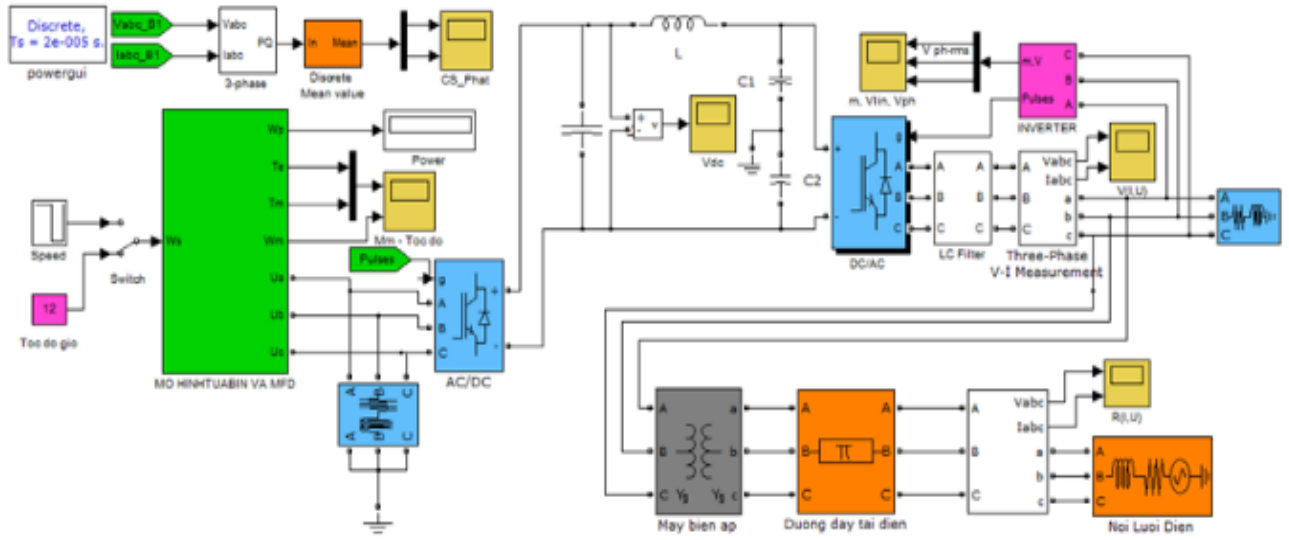
4.1. Xây dựng mô hình trên Matlab-Simulink

Mô hình được xây dựng dựa trên sơ đồ cấu trúc điều khiển nối lưới cho tuabin gió và ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất như đã phân tích ở Hình 1, mục 2. Sơ đồ mô phỏng trên Matlab - Simulink như Hình 14.

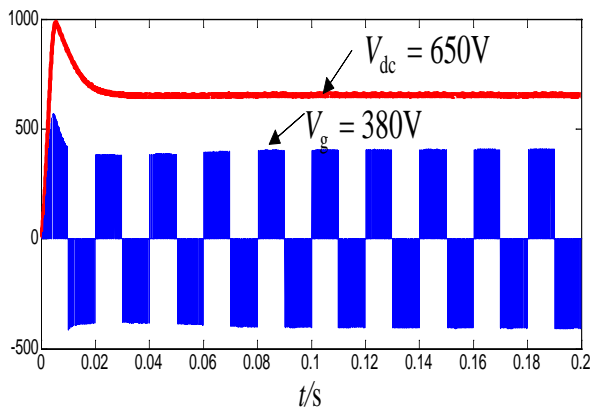
4.2. Kết quả mô phỏng trên Matlab - Simulink



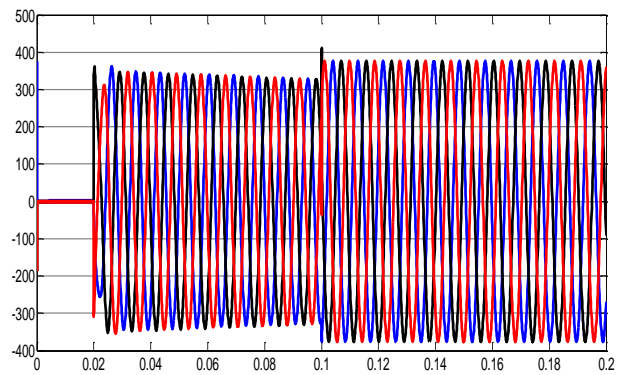
Hình 13. Lưu đồ thuật toán P&O điều khiển trực tiếp theo phương pháp MPPT



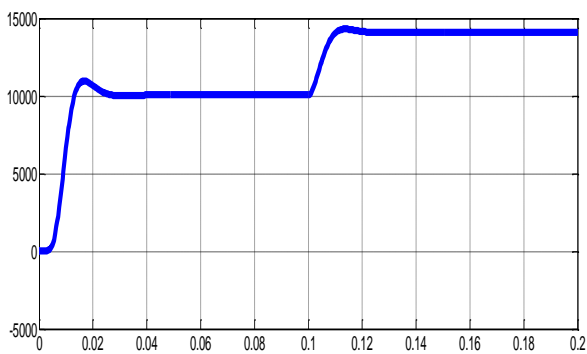
Hình 14. Mô hình điều khiển tuabin gió nối lưới



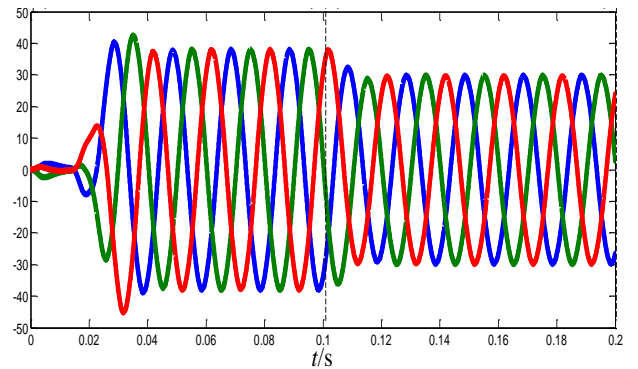
Hình 15. Điện áp ra của chỉnh lưu và nghịch lưu (V)



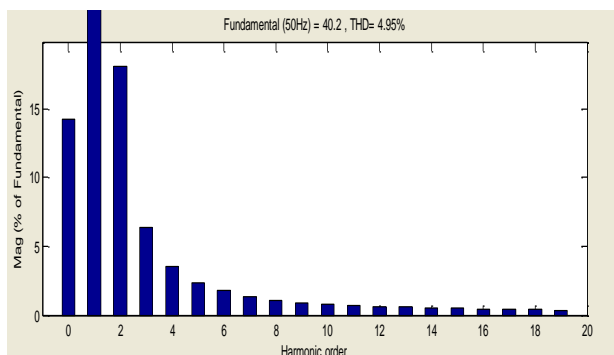
Hình 17. Điện áp ngõ ra U_{abc} (V)



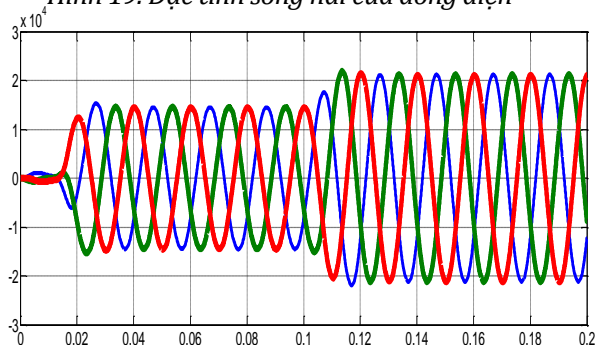
Hình 16. Công suất của tuabin gió (W)



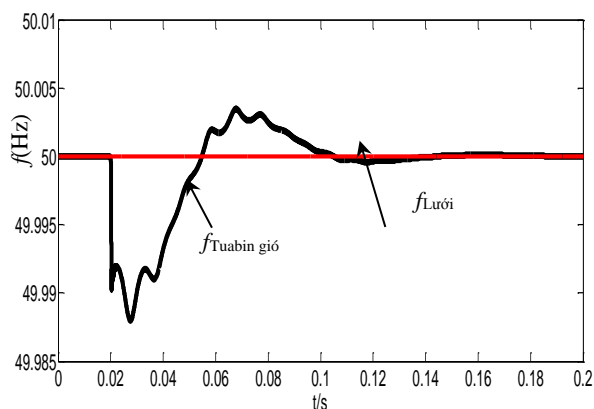
Hình 18. Dòng điện ngõ ra I_{abc} (A)



Hình 19. Đặc tính sóng hài của dòng điện



Hình 20. Điện áp nối lưới U_{abc} (V)



Hình 21. Đáp ứng tần số

Bảng 1. Các thông số cơ bản của PMSG

| | |
|---------------------------|----------------|
| Công suất máy phát | 12kW |
| Số cực (p) | 2 |
| Tốc độ rotor (ω) | 175 rad/s |
| Điện trở stator (R_s) | 0.425 Ω |
| Điện cảm stator (L_s) | 8.4mH |
| Mô men | 40Nm |
| Từ thông | 0.433Wb |

Nhận xét: Trong Hình 15 thể hiện điện áp ra của bộ chỉnh lưu là điện áp một chiều $V_{dc} = 650V$, điện áp ra bộ nghịch lưu $V_g = 380V$. Ở thời điểm $t < 0.02s$, hệ thống làm việc không tải, lúc này tuabin gió bắt đầu phát ra công suất được thể hiện trên Hình 16. Đồng thời điện áp và dòng điện ra được thể hiện trên Hình 17 và Hình 18. Trong khoảng thời gian 0.02s đến 0.1s, hệ thống điều khiển tuabin gió vận hành mang tải, lúc này điện áp và đáp ứng của tần số có dao động, nhưng nằm trong phạm vi cho phép theo tiêu chuẩn IEEE 1547 thể hiện trên Hình 17 và Hình 21. Sử dụng giải thuật điều khiển MPPT tại thời điểm $t = 0.1s$ hệ thống bắt đầu nối với lưới và công suất phát đạt giá trị lớn nhất thể hiện trên Hình 16. Khi thực hiện đồng bộ với lưới các giá trị điện áp, tần số và công suất đều ra luôn bằng giá trị đặt, hệ thống làm việc luôn ở trạng thái ổn định.

5. Kết luận

Điều khiển nối lưới cho tuabin gió ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất và sử dụng giải thuật điều khiển MPPT đã phát huy tối đa công suất phát ra của hệ thống. Hệ thống điều khiển nối lưới thông qua máy biến áp 400V/22kV và đường dây tải điện. Việc ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới cho tuabin gió là nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển nối lưới linh hoạt cho các nguồn năng lượng tái tạo.

Tài liệu tham khảo

Degang Yang, Liangbing Zhao, Runsheng Liu, 1999. Modeling and closed - loop controller design of three - phase high power factor Rectifier. *Power Electronics*, 49 - 52.

Haoran Bai, Fengxiang Wang, Junqiang Xing, 2007. Control Strategy of Combined PWM Rectifier/ Inverter for a High Speed Generator Power System. *Conference on Industrial Electronics and Applications*, Harbor, China.

Kazmierkowski. M., Krishnan, R., Blaabjerg, F., 2002. *Control in Power Electronics - Selected Problems*. Academic Press, New York.

Lê Kim Anh, 2013. Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới các nguồn phân tán. *Tạp chí khoa học, Đại Học Cần Thơ* 28, 1-8.

Nguyễn Phùng Quang, 2006. *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

Nguyễn Văn Nhò, 2015. *Giáo trình Điện tử công suất 1*. NXB Đại học Quốc gia, Hà Nội.

Onar, O.C., Uzunoglu, M., Alam, M.S., 2006. Dynamic modeling, design and simulation of a wind/fuel cell/ultra -capacitor-based hybrid power generation system. *Journal of Power Sources* 161, 707 - 722.

ABSTRACT

Application of power electronic converters in grid-connected control of wind turbine

Anh Kim Le

Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Tuy Hoa Industrial College, Vietnam

Doing research to efficiently exploit the wind power for electricity generation plays an important role to reducing climate change as well as lessening the reliance on the fossil fuels which are at high risks of exhaustion, causing environmental pollution. The advantageous point of connecting wind turbines by using the capacity electronic shifting sets is two-directional energy transmission. Especially, as connected with the filtering net, it will surely reduce harmonics via nets except for high level harmonics, which is greatly meaningful towards improving electricity power quality. The article presents the results of modeling and monitoring connecting nets to wind turbines by using the capacity electronic conversion of electrical energy. The algorithm of maximum point power tracking system are applied to ensure wind turbines to be constantly working of maximum point power when changing at the changes of transmission.

Keywords: Power Electronic Converter, Grid-connected control, renewable energy, VOC, DPC, VFVOC, VFDPC