

# ỨNG DỤNG PHẦN MỀM PLECS MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN NÓI LƯỚI CHO TUABIN GIÓ SỬ DỤNG MÁY PHÁT ĐIỆN DFIG

Application of Plecs in modelling grid-connected control for wind turbines using Dfig

Lê Kim Anh<sup>1</sup>

Huỳnh Dương Khánh Linh<sup>2</sup>

## 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. Để điều khiển tuabin gió vận hành được tối ưu với vận tốc gió nhất định, hệ thống phải tự điều chỉnh theo sự thay đổi của vận tốc và hướng gió. Ưu điểm của hệ thống là khả năng truyền năng lượng theo cả hai hướng nhờ các bộ biến đổi điện tử công suất và kết hợp với mạch lọc để loại trừ các sóng hài bậc cao, điều này có ý nghĩa lớn đến việc cải thiện chất lượng điện năng. Bài báo đưa ra kết quả mô phỏng hệ thống điều khiển nối lưới ứng dụng phần mềm Plecs cho tuabin gió sử dụng máy phát điện không đồng bộ nguồn kép (Doubly Fed Induction Generator – Dfig) nhằm duy trì công suất phát tối đa của hệ thống bất chấp tải nối với hệ thống.

Từ khóa: năng lượng gió, tuabin gió, Dfig; các bộ biến đổi điện tử công suất, Plecs.

## Abstract

Researching the effective use and exploitation of the wind energy to generate electricity is meaningful. This contributes to reduce climate change and energy dependence on fossil energy sources which are at risk of both exhausting and causing environmental pollution. In order to efficiently operate wind turbines at a defined wind velocity, the rotor system must be functioned and be self-adjusted to the change of wind speed and direction. The positive side of the system is able to transfer power in both directions thanks to the use of power electronic converters and the combination of harmonic filter circuits in order to filter out high level harmonics on the grid. This will also have a significant effect on power quality improvement. The article showed the result of modulating grid-connected control system in Plecs applied for wind turbine using Doubly Fed Induction Generator – Dfig in order to maintain maximum capacity of the system regardless of connected power loads.

Key words: Wind energy, Wind Turbine, Dfig, Power electronic converters, Plecs.

## 1. Đặt vấn đề

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 (Renewable Energy sources – RES) nói chung và nguồn năng lượng gió nói riêng là nguồn năng lượng sạch, không gây ô nhiễm môi trường, đồng thời tiềm năng về trữ lượng năng lượng gió ở nước ta rất lớn. Theo số liệu của Ngân hàng Thế giới, tiềm năng gió của Việt Nam (ở độ cao 65m) rất khả quan, ước đạt 513.360MW, lớn hơn 200 lần công suất nhà máy thủy điện Sơn La và hơn 10 lần tổng công suất dự báo của ngành điện đến năm 2020. Theo Lê Danh Liên (2008), đây sẽ là nguồn năng lượng tiềm năng đáng kể có thể khai thác và bổ sung cho nguồn điện lưới quốc gia, thay thế dần các nguồn năng lượng hóa thạch ngày càng

cạn kiệt, cải thiện được môi trường sống đang là mục tiêu nghiên cứu của nhiều quốc gia. Việc ứng dụng phần mềm Plecs mô phỏng hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện Dfig nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển linh hoạt các nguồn năng lượng tái tạo.

Quốc gia	Yếu tố	Trung bình				Lý tưởng	Tổng
		< 6 m/s	6-7 m/s	7-8 m/s	8-9 m/s		
Campuchia	Diện tích	175.460	6.075	315	30	0	
	% diện tích	96,4%	3,4%	0,2%	0%	0%	
	Tiềm năng (MW)	NA	24.620	1.260	120	0	26.000
Lào	Diện tích	184.511	38.797	6.070	671	35	
	% diện tích	80,2%	16,9%	2,6%	0,3%	0%	
	Tiềm năng (MW)	NA	155.140	24.200	2.680	140	182.252
Thái Lan	Diện tích	477.857	37.337	748	13	0	
	% diện tích	92,4%	7,2%	0,2%	0%	0%	
	Tiềm năng (MW)	NA	140.048	2.902	52	0	152.992
Việt Nam	Diện tích	157.362	100.360	25.679	2.187	113	
	% diện tích	60,6%	30,8%	7,9%	0,7%	0,00%	
	Tiềm năng (MW)	NA	401.444	102.715	3748	452	513.360

Bảng 1: Tiềm năng gió của Đông Nam Á (cao 65m)

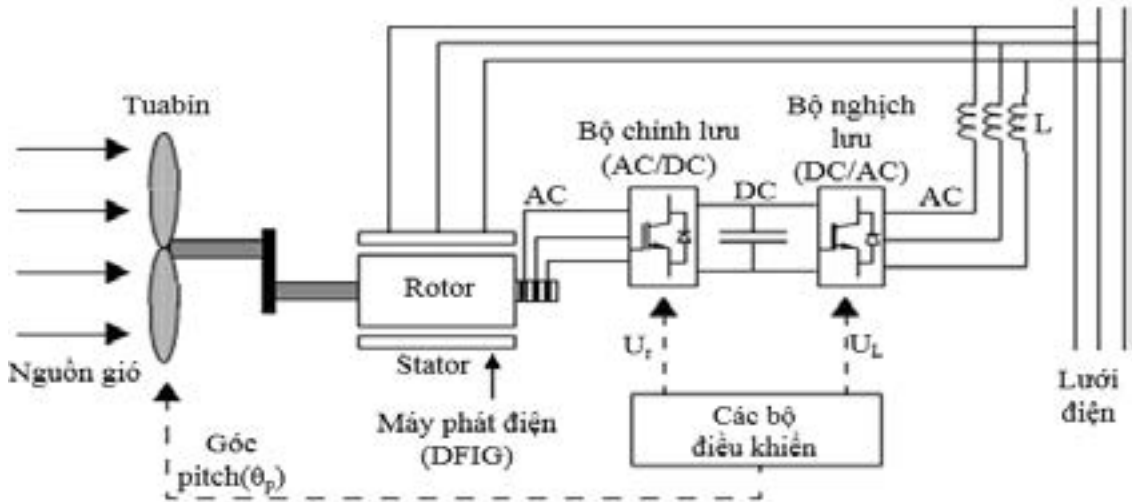
Nguồn: Ngân hàng Thế giới

<sup>1,2</sup> Trường Cao đẳng Công nghiệp Tuy Hòa

## 2. Hệ thống điều khiển nối lưới tuabin gió sử dụng máy phát điện Dfig

Theo (Martin Kanálik, Frantisek Lizák 2005), hệ thống điều khiển nối lưới tuabin gió sử dụng máy phát điện không đồng bộ nguồn kép (Doubly Fed Induction Generator, Dfig) bao gồm các thành phần cơ bản, như Hình 1. Hệ thống tuabin gió, với

phía stator được nối trực tiếp lưới điện, phía rotor được nối qua hai bộ biến đổi. Bộ biến đổi chỉnh lưu gọi là (AC/DC) được đặt ở phía rotor cho điện áp ra một chiều (DC), bộ biến đổi nghịch lưu gọi là (DC/AC) được đặt ở phía lưới cho ra điện áp xoay chiều (AC) nối lưới, hai bộ biến đổi liên hệ với nhau thông qua mạch một chiều trung gian.



Hình 1: Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện

### 2.1. Mô hình tuabin gió

Theo Roohollah Fadaeinedjad, Gerry Moschopoulost, Mehrdad Moallem (2006), công suất của tuabin gió được tính theo biểu thức:

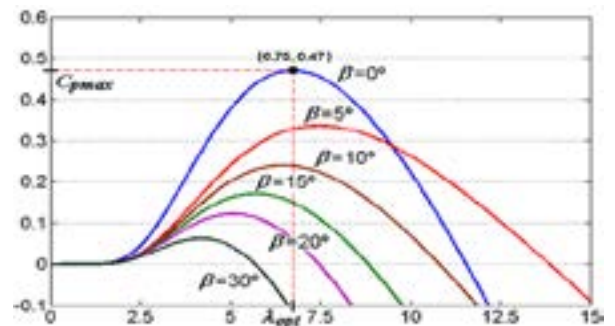
$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} v^3 \quad (1)$$

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  $\lambda$  và góc cánh  $\beta$ );  $A$ : Tiết diện vòng quay của cánh quạt ( $m^2$ );  $\rho$ : Mật độ của không khí,  $\rho = 1.255$  ( $kg/m^3$ ). Từ biểu thức (1) ta thấy vận tốc gió là yếu tố quan trọng nhất của công suất; công suất đầu ra tăng theo lũy thừa 3 vận tốc. Hệ số biến đổi năng lượng  $C_p(\lambda, \beta)$  của biểu thức (1) theo (Tao Sun 2004), được tính như sau:

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5176 \left( \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{1}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (2)$$

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

Đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa  $C_p$  và  $\lambda$ , như Hình 2.



Hình 2: Mối quan hệ giữa  $C_p$  và  $\lambda$

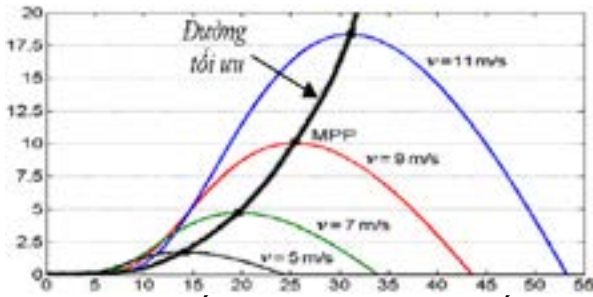
Như ta đã biết tỷ số tốc độ đầu cánh tuabin gió và tốc độ là:

$$\lambda = \frac{R\omega}{v}$$

trong đó  $\omega$  tốc độ quay của tuabin,  $R$  bán kính của tuabin,  $v$  vận tốc của gió. Mômen của tuabin gió được tính như sau:

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \rho R^3 C_p \frac{\omega^3}{\lambda^3} \quad (4)$$

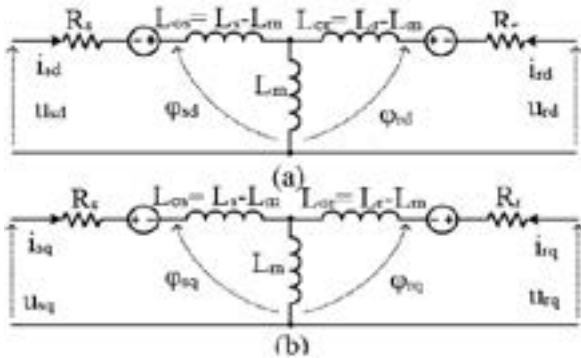
Mặt khác, tuabin gió có thể vận hành theo các quy tắc điều khiển khác nhau tùy thuộc vào tốc độ của gió. Đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa  $P_m$  và vận tốc gió ( $v$ ), như Hình 3.



Hình 3. Mối quan hệ giữa  $P_m$  và vận tốc

**2.2. Mô hình máy phát điện Dfig**

Mô hình máy phát điện không đồng bộ nguồn kép (Dfig) có hai loại hệ 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 theo điện áp stator, được lựa chọn để phát triển mô hình cũng như phát triển các thuật toán điều khiển cho máy phát điện không đồng bộ nguồn kép.



Hình 4: Mô hình (DFIG) trên hệ tọa độ dq

Theo Lei Yazhou, Mullane Alan, Lightbody Gordon (et al 2006), phương trình điện áp trên stator và rotor trong hệ tọa độ dq được tính như sau:

$$\begin{cases} u_s = R_s i_s + \frac{d\psi_s}{dt} + j\omega_s \psi_s & (5) \\ u_r = R_r i_r + \frac{d\psi_r}{dt} + j\omega_r \psi_r & (6) \end{cases}$$

Trong đó,  $\omega_s$ : là tốc độ góc của stator,  $\omega_r$ : là tốc độ góc mạch điện rotor ( $\omega_r = \omega_s - \omega_m$ ),  $\omega_m$ : là tốc độ góc cơ của rotor. Mặt khác, từ thông của stator và rotor ở biểu thức (5) và (6) được tính như sau:

$$\psi_s = i_s L_s + i_r L_m \quad (7)$$

$$\psi_r = i_r L_r + i_s L_m \quad (8)$$

với  $L_m$ : là hồ cảm giữa hai cuộn dây stator và rotor và  $L_s, L_r$ : là các điện cảm của stator và rotor. Từ các biểu thức (5), (6), (7) và (8) đã phân tích ở trên, ta viết lại như sau:

$$\begin{cases} \frac{di_r}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_r} \left( R_r + \frac{R_s L_m^2}{L_s^2} \right) i_r - \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} u_s + \frac{1}{\sigma L_s} \left( \frac{L_m R_s}{L_s^2} + j\omega_s \frac{L_m}{L_s} \right) \psi_s - \frac{j\omega_r}{\sigma L_r} \psi_r + \frac{1}{\sigma L_s} u_r & (9) \\ \frac{d\psi_s}{dt} = u_s - \frac{R_s}{L_s} \psi_s + \frac{R_s L_m}{L_s} i_r - j\omega_s \psi_s & (10) \end{cases}$$

với

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \quad (11)$$

là hệ số tản toàn phần. Các biểu thức (9), (10) viết theo các thành phần d và q cho dòng điện và từ thông stator như sau:

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -\left( \frac{a+1}{T_r} + \frac{a}{T_s} \right) i_{sd} + (\omega_s - \omega_m) i_{rq} + \frac{a}{L_m T_s} \psi_{sd} - \frac{a\omega_m}{L_m} \psi_{sq} - \frac{a}{L_m} u_{sd} + \frac{a+1}{L_r} u_{rd} \quad (12)$$

$$\frac{di_{rq}}{dt} = (\omega_m - \omega_s) i_{rd} - \left( \frac{a+1}{T_r} + \frac{a}{T_s} \right) i_{rq} + \frac{a\omega_m}{L_m} \psi_{sd} + \frac{a}{L_m T_s} \psi_{sq} - \frac{a}{L_m} u_{sq} + \frac{a+1}{L_r} u_{rd} \quad (13)$$

$$\frac{d\psi_{sd}}{dt} = \frac{L_m}{T_s} i_{sd} - \frac{1}{T_s} \psi_{sd} + \omega_s \psi_{sq} + u_{sd} \quad (14)$$

$$\frac{d\psi_{sq}}{dt} = \frac{L_m}{T_s} i_{sq} - \omega_s \psi_{sd} - \frac{1}{T_s} \psi_{sq} + u_{sq} \quad (15)$$

Với:

$$a = \frac{1 - \sigma}{\sigma}$$

Theo B.Chitti Babu, K.B.Mohanty (2010), mômen của máy phát điện (DFIG) trong hệ tọa độ dq tựa theo điện áp stator ( $\psi_{sd} = 0$ ) được tính như sau:

$$m_M = -\frac{3}{2} P_c \frac{L_m}{L_s} \psi_{sq} i_{rd} \quad (16)$$

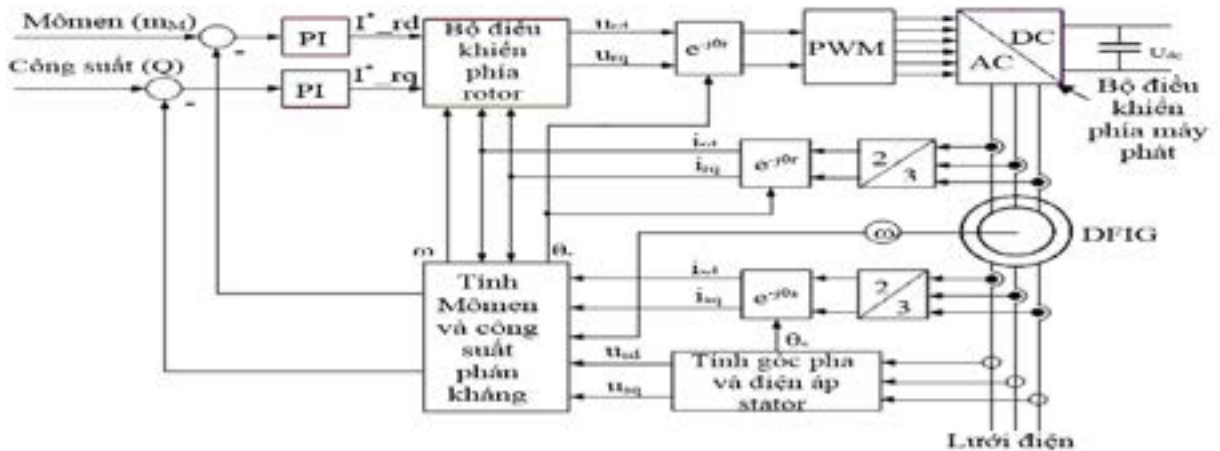
với  $P_c$ : số đôi cực. Công suất phản kháng

$$Q = -3u_{sd} \frac{\psi_{sq} - i_{rq} L_m}{L_s} \quad (17)$$

Mặt khác, việc hiệu chỉnh công suất phản kháng cũng có thể thực hiện hiệu chỉnh hệ số công suất.

$$\varphi = \arcsin \frac{i_{sq}}{\sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}} \quad (18)$$

Từ các biểu thức (16), (17) và (18) ta thấy mômen điện từ và công suất phản kháng được điều chỉnh thông qua dòng điện ở rotor ( $i_{rd}$ ,  $i_{rq}$ ), Hình 5 là sơ đồ hệ thống điều khiển nối lưới sử dụng máy phát điện không đồng bộ nguồn kép (Dfig).

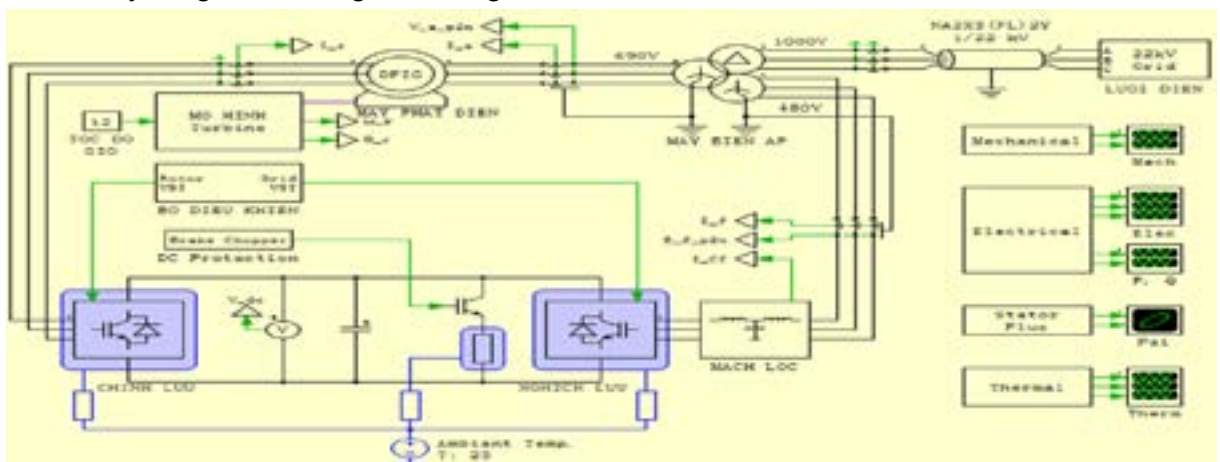


Hình 5: Sơ đồ hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện Dfig

### 3.1. Xây dựng mô hình trên Plecs

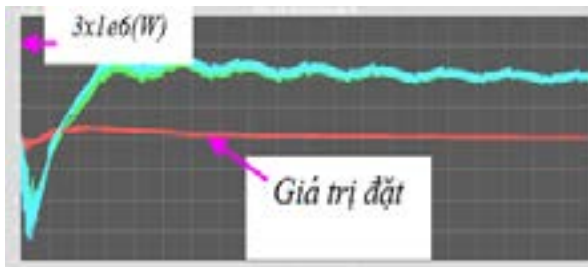
Plecs là một toolbox làm việc tương thích với môi trường Simulink trong Matlab. Toolbox này cung cấp cho người sử dụng thư viện về điện tử công suất và hệ truyền động rất phong phú, dễ dàng mô hình vật lý đối tượng, sau đó áp dụng thuật toán đã xây dựng cho tuabin gió loại Dfig để điều

khiển mô hình này. Điều này cho phép mô hình hóa gần với thực tế. Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện Dfig được mô phỏng bằng phần mềm Matlab/simulink/Plecs, dựa vào sơ đồ Hình 5, đã phân tích ở trên. Sơ đồ hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện Dfig được xây dựng, như Hình 6.

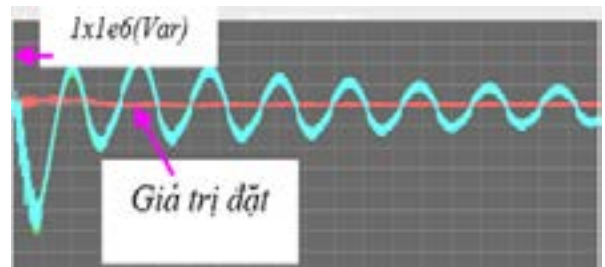


Hình 6: Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện Dfig ứng dụng phần mềm Plecs

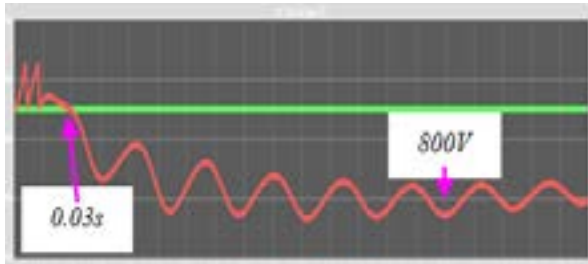




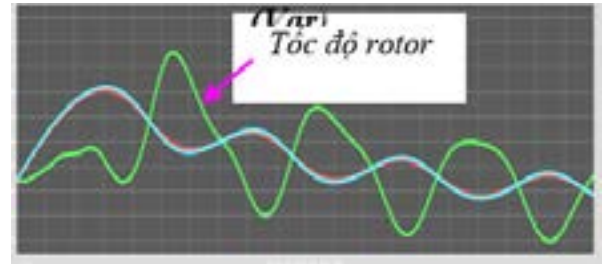
Hình 7: Công suất tác dụng (W)



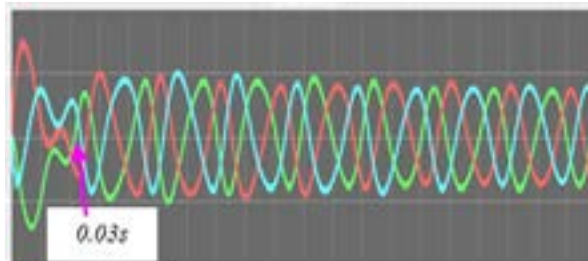
Hình 8: Công suất phản kháng



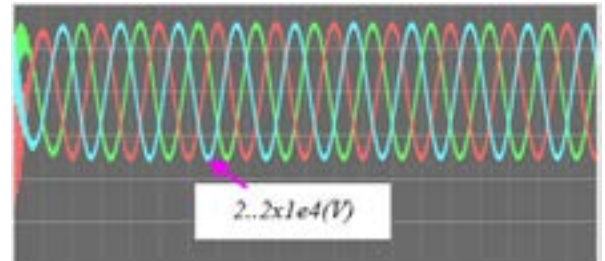
Hình 9: Điện áp một chiều  $U_{dc}$  (V)



Hình 10: Tốc độ rotor (rad/s)



Hình 11: Dòng điện nối lưới  $I_{abc}$  (A)



Hình 12: Điện áp nối lưới  $U_{abc}$  (V)

Nhận xét: Thời gian mô phỏng của mô hình [t = 0.2s], qua kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm PLECS, ta thấy các giá trị dòng điện, điện áp và công suất tại thời điểm t = 0.03s dao động, nhưng khi t > 0.03s thì hệ thống làm việc ở trạng thái ổn định và lúc này thực hiện đồng bộ nối lưới.

#### 4. Kết luận

Ứng dụng phần mềm PLECS mô phỏng hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện DFIG đã phát huy đối đa công suất phát

ra của tuabin, ở thời điểm t > 0.03s đồng bộ nối lưới, hệ thống luôn làm việc ở trạng thái ổn định. Sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất như AC/DC, DC/AC và kết hợp với mạch lọc để loại trừ các sóng hài bậc cao, điều này có ý nghĩa hết sức quan trọng trong việc cải thiện chất lượng điện năng. Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện DFIG nhằm hướng đến việc phát triển lưới điện thông minh và điều khiển nối lưới linh hoạt cho các nguồn năng lượng tái tạo.

#### Tài liệu tham khảo

- Lê, Danh Liên. 2008. *Tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam và khả năng ứng dụng*. Trung tâm nghiên cứu năng lượng mới, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Kanálík, M., Lizák, F. 2005. *Possibilities of Distributed Generation Simulations Using by Matlab*. 51707-IC-1.
- Fadaeinedjad, R., Moschopoulou, G., Moallem, M. 2006. *Simulation of a Wind Turbine with Doubly-Fed Induction Machine Using FAST and Simulink*. IEEE.
- Sun, Tao. 2004. *Power Quality of Grid-Connected Wind Turbines with DFIG and Their Interaction with the Grid*. Institute of Energy Technology Aalborg University, Denmark May.
- Lei, Yazhou, Mullane, Alan, Lightbody, Gordon, et al. 2006. *Modeling of the Wind Turbine With a Doubly Fed Induction Generator for Grid Integration Studies*. IEEE.
- Chitti Babu, B., Mohanty, K.B. 2010. "Doubly-Fed Induction Generator for Variable Speed Wind Energy Conversion Systems - Modeling & Simulation", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 2, No. 1.