

# ĐIỀU KHIỂN NỐI LƯỚI CHO TUABIN GIÓ KẾT HỢP VỚI NGUỒN ĐIỆN PIN NHIÊN LIỆU

ThS. Lê Kim Anh\*

## Tóm tắt

*Nghiên cứu sử dụng và khai thác hiệu quả nguồn năng lượng gió cũng như nguồn điện pin nhiên liệu 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. Công nghệ pin nhiên liệu đang sử dụng chủ yếu pin nhiên liệu màng trao đổi proton hoặc pin nhiên liệu Oxit rắn. Việc kết hợp tuabin gió với nguồn điện pin nhiên liệu nối lưới có được ưu điểm của hệ thống là sự chủ động nguồn nhiên liệu đầu vào. Để tuabin gió vận hành tối ưu với vận tốc gió nhất định, thì hệ thống phải tự điều chỉnh theo sự thay đổi của vận tốc và hướng gió. Bài báo đã đưa ra được kết quả mô phỏng điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn điện pin nhiên liệu nhằm duy trì công suất phát tối đa của hệ thống bất chấp tải nối với hệ thống.*

*Từ khóa: năng lượng tái tạo; pin nhiên liệu; tuabin gió; tuabin gió nối lưới; pin nhiên liệu nối lưới.*

## Abstract

*Researching on the effective usage and exploitation of wind energy as well as fuel fuel cells to generate electricity has a practical meaning in reducing climate change and the dependance on fossil fuel which is at risk of being exhausted and is the cause of environmental pollution. The current fuel cell technology uses mainly proton exchanging membrane fuel cell and solid oxide one. With the combination between wind turbine and grid-connected fuel cell, there will be less depend on input fuel. To operate efficiently the wind turbine at a certain velocity, the system should be able to adjust to the change of wind speed and direction. The paper shows the result of simulating grid-connected control of the wind turbine combined with fuel cells to maintain the maximum capacity of the system with disregard of connected loading power.*

*Key words: renewable; fuel cells; wind turbines; grid-connected wind turbines; grid-connected fuel cells.*

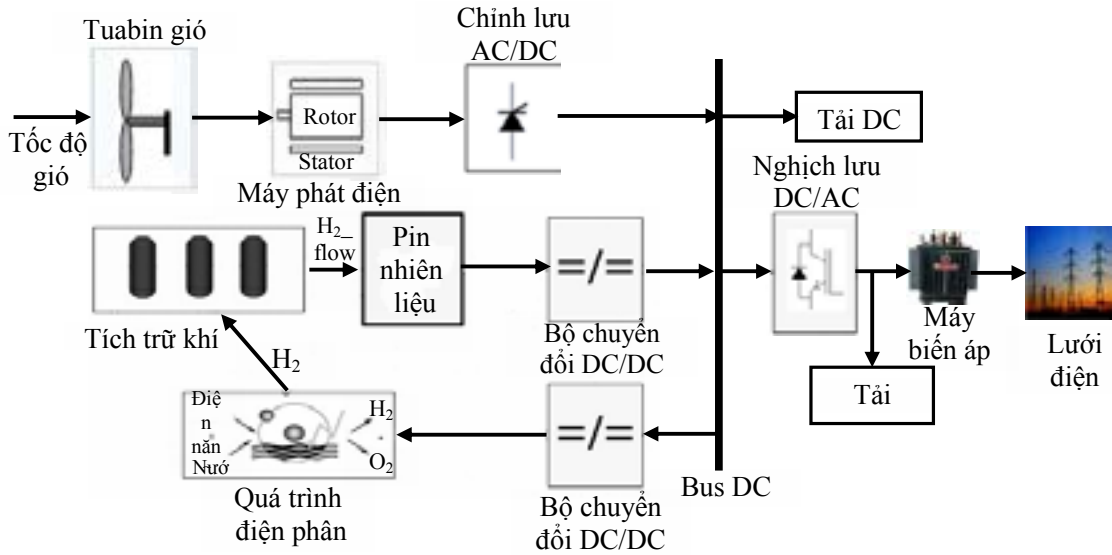
## 1. Đặt vấn đề

Ngày nay cùng với sự phát triển 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 và nguồn pin nhiên liệu nói riêng là dạng nguồn năng lượng sạch, không gây ô nhiễm môi trường, đồng thời tiềm năng về trữ lượng các loại năng lượng này 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. Công nghệ pin nhiên liệu sử dụng để phát điện có thể đạt hiệu suất khoảng 47% so với việc dùng các nguồn nhiên liệu hóa thạch, hiệu suất đạt khoảng 35%. Tuy nhiên, để khai thác, sử dụng nguồn năng lượng gió và nguồn điện pin nhiên liệu sao cho

hiệu quả, giảm phát thải các chất gây ô nhiễm môi trường, đặc biệt là khí (CO<sub>2</sub>) đang là mục tiêu nghiên cứu của nhiều quốc gia. Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn điện pin nhiên liệu nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển linh hoạt các nguồn năng lượng tái tạo.

## 2. Xây dựng mô hình điều khiển

Hệ thống nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn điện pin nhiên liệu bao gồm các thành phần cơ bản, như hình 1. Hệ thống tuabin gió qua máy phát điện cho ra điện áp (AC), qua bộ chỉnh lưu điện áp ra một chiều (DC). Pin nhiên liệu cho ra điện áp một chiều (DC). Các điện áp một chiều (DC) này qua bộ nghịch lưu (DC/AC) đưa ra điện áp (AC) nối lưới.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn điện pin nhiên liệu

2.1. Mô hình tuabin gió

Theo [1], công suất của tuabin gió được tính theo biểu thức:  $P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} v^3$  (1);

Trong đó:

P<sub>m</sub>: Công suất đầu ra của tuabin (W).

C<sub>p</sub>(λ,β): 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<sup>2</sup>); ρ: Mật độ của không khí, ρ = 1.255 (kg/m<sup>3</sup>). 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<sub>p</sub>(λ, β) của biểu thức (1) theo [2], được tính như sau:

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5176 \left( \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (2);$$

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

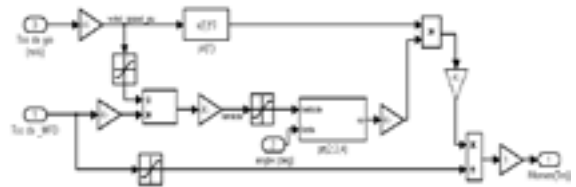
Như ta đã biết tỷ số tốc độ đầu cánh tuabin gió và tốc độ là:  $\lambda = \frac{R\omega}{v}$

Trong đó, ω tốc độ quay của tuabin, R bán kính của tuabin, v vận tốc của gió. Theo [2], mômen của tuabin gió được tính như sau:

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \rho R^5 C_p \frac{\omega^3}{\lambda^3} \quad (4);$$

Từ các biểu thức (1), (2), (3), (4) đã phân tích

ở trên, mô hình tuabin gió được xây dựng trên Matlab/Simulink với thông số đầu vào tốc độ gió, tốc độ của máy phát điện và thông số đầu ra mômen, như hình 2.



Hình 2. Mô hình tuabin gió

2.2. Máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG)

Theo [3], phương trình dòng và áp trên hệ tọa độ dq:

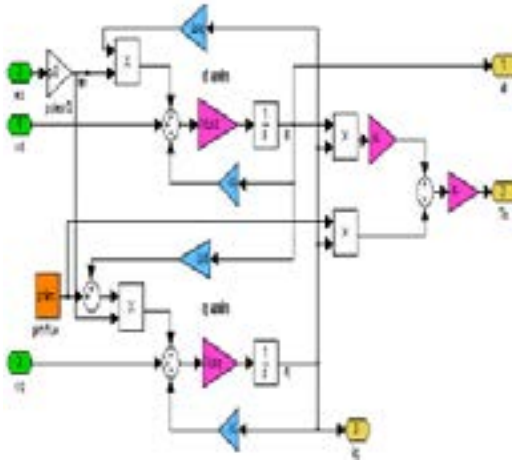
$$\frac{di_{sd}}{dt} - \frac{1}{T_{sd}} i_{sd} - \omega_s \frac{L_{sq}}{L_{sd}} i_{sq} - \frac{1}{L_{sd}} u_{sd} \quad (5)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s \frac{L_{sd}}{L_{sq}} i_{sd} - \frac{1}{T_{sq}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sq}} u_{sq} - \omega_s \frac{\psi_p}{L_{sq}} \quad (6)$$

Trong đó: L<sub>sd</sub> điện cảm Stator đo ở vị trí đỉnh cực; L<sub>sq</sub> điện cảm Stator đo ở vị trí ngang cực; từ thông cực (vĩnh cửu); T<sub>sd</sub>, T<sub>sq</sub> là hằng số thời gian Stator tại vị trí đỉnh cực. Phương trình mômen tính như sau:

$$m_{el} = \frac{3}{2} P_c [\psi_p i_{sq} + i_{sd} i_{sq} (L_{sd} - L_{sq})] \quad (7)$$

Để xây dựng mô hình máy phát điện PMSG trên matlab/ simulink ta dựa vào các biểu thức (5), (6), (7), như hình 3.



Hình 3. Mô hình máy phát điện PMSG

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

Bảng 1: Thông số cơ bản của PMSG

### 2.3. Mô hình pin nhiên liệu

\* Dựa vào mối quan hệ giữa điện áp đầu ra và áp suất riêng phần của hydro, oxy và nước theo [4], mô hình pin nhiên liệu màng trao đổi proton – PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) được tính như sau:

$$\frac{q_{H_2}}{P_{H_2}} = \frac{K_{an}}{\sqrt{M_{H_2}}} K_{H_2} \quad (8);$$

$$\text{Và } \frac{q_{H_2O}}{P_{H_2O}} = \frac{K_{an}}{\sqrt{M_{H_2O}}} K_{H_2O} \quad (9)$$

Trong đó:  $q_{H_2}$  : dòng chảy đầu vào của hydro (kmol/s);  $P_{H_2}$  : áp suất riêng phần của hydro (atm);  $K_{an}$ : hằng số van anốt  $\left[ \sqrt{\frac{kmol \cdot kg}{(atm \cdot s)}} \right]$ ;  $M_{H_2}$ : khối lượng phân tử hydro (kg/kmol);  $K_{H_2}$  : hằng số phân tử van hydro [kmol/(atm.s)].

\* Đối với dòng chảy hydro phân tử, có ba yếu tố quan trọng: dòng chảy đầu vào hydro, dòng

chảy đầu ra hydro và dòng chảy hydro trong phản ứng. Mối quan hệ giữa các yếu tố này có thể được biểu diễn như sau:

$$\frac{d}{dt} P_{H_2} = \frac{RT}{V_{an}} (q_{H_2}^{in} - q_{H_2}^{out} - q_{H_2}^r) \quad (10)$$

Trong đó T: nhiệt độ tuyệt đối (K); R: hằng số khí lý tưởng [1 atm/(kmol.K)]; Van: thể tích anốt ( $m^3$ );  $q_{H_2}^{in}$  : dòng chảy đầu vào hydro (kmol/s);  $q_{H_2}^{out}$  : dòng chảy đầu ra hydro (kmol/s);  $q_{H_2}^r$  : dòng chảy hydro trong phản ứng (kmol/s). Biểu thức (10)  $q_{H_2}^r$  được tính như sau:

$$q_{H_2}^r = \frac{N_0 N_s I_{FC}}{2F} = 2K_r I_{FC} \quad (11)$$

Với:  $N_0$ : số lượng của pin nhiên liệu trong ngăn xếp;  $N_s$ : số ngăn xếp được sử dụng trong nhà máy điện;  $I_{FC}$ : dòng điện pin nhiên liệu (A);  $K_r$ : hằng số mô hình [kmol/(s.A)]; F: hằng số Faraday (C/kmol). Từ biểu thức (8),(11) ta biến đổi Laplace, áp suất hydro được viết lại như sau:

$$P_{H_2} = \frac{1}{1 + \tau_{H_2} s} (q_{H_2}^{in} - 2K_r I_{FC}) \quad (12)$$

Với:  $\tau_{H_2}$  : hằng số thời gian của hydro (s) và  $\tau_{H_2} = \frac{V_{an}}{K_{H_2} RT}$  (13). Điện áp của hệ thống pin nhiên liệu được tính như sau:  $V_{cell} = E + \eta_{act} + \eta_{ohmic}$  (14) ở đây:  $\eta_{act} = B \ln(CI_{FC})$  (15);

và  $\eta_{ohmic} = R^{int} I_{FC}$  (16) Trong đó:  $R^{int}$ : nội trở của pin nhiên liệu ( $\Omega$ ); B,C: hằng số để mô phỏng quá điện áp kích hoạt trong hệ thống PEMFC ( $A^{-1}$ ) và (V); E: điện áp tức thời (V);  $\eta_{act}$ : quá điện áp kích hoạt (V);  $\eta_{ohmic}$ : quá áp nội trở (V);  $V_{cell}$ : điện áp đầu ra của hệ thống pin nhiên liệu(V).

Điện áp tức thời được xác định như sau:

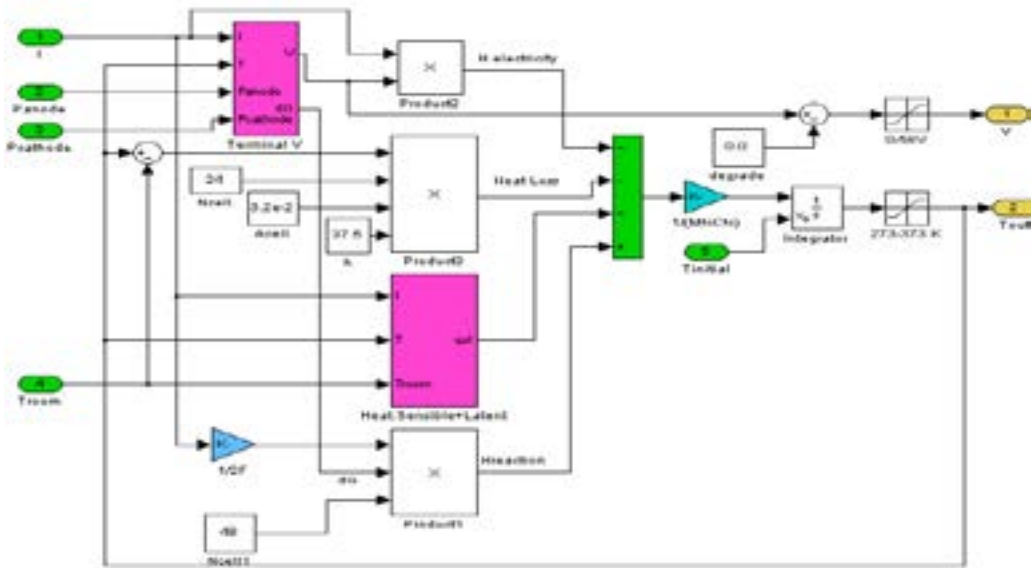
$$E = N_o \left[ E_o + \frac{RT}{2F} \log \left| \frac{P_{H_2} \sqrt{P_{O_2}}}{P_{H_2O}} \right| \right] \quad (17)$$

Trong đó:  $E_o$ : điện áp chuẩn khi không tải (V);  $P_{O_2}$ : áp suất riêng phần của oxy (atm);  $P_{H_2O}$ : áp suất riêng phần của nước (atm). Hệ thống pin nhiên liệu tiêu thụ lượng khí hydro theo nhu cầu của phụ tải điện. Theo [5], lượng khí hydro có sẵn từ thùng chứa hydro được tính như sau:

$$q_{H_2}^{req} = \frac{N_0 N_s I_{FC}}{2FU} \quad (18).$$

Trong đó:  $q_{H_2}^{req}$  : số lượng khí hydro cần thiết để đáp ứng sự thay đổi tải (kmol/s); U: hệ số sử

dụng, tùy thuộc vào cấu hình hệ thống pin nhiên liệu, dòng chảy của khí hydro và oxy. Mô hình pin nhiên liệu (PEMFC) được xây dựng trên matlab/simulink như hình 4.



Hình 4. Mô hình nguồn pin nhiên liệu

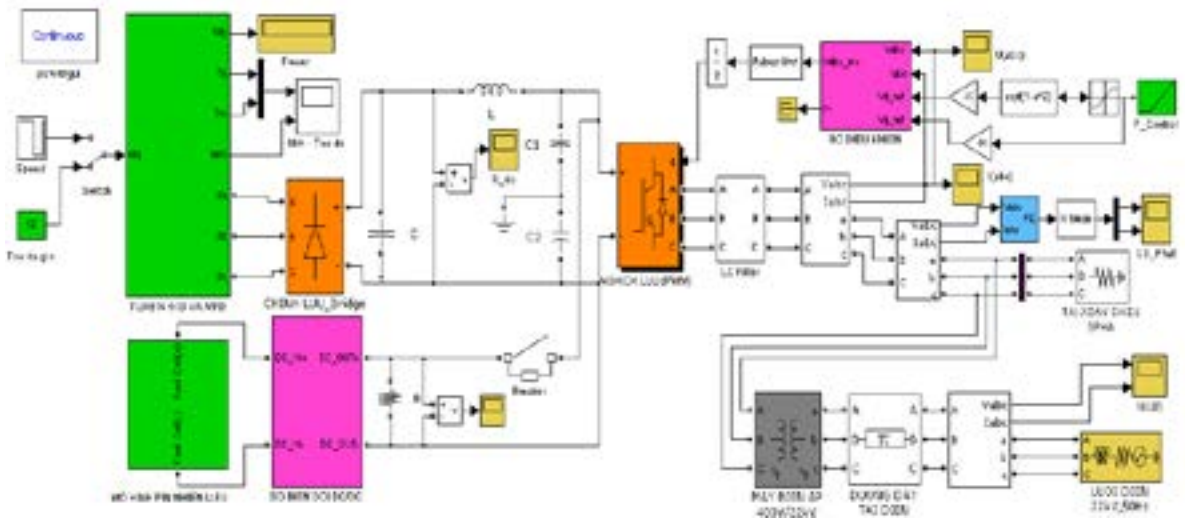
Bảng 2: Thông số của pin nhiên liệu

Hằng số Faraday (F)	96485 (C/mol)
Hằng số thời gian của hydro ( $\tau_H$ )	3.37 (s)
Hằng số phân tử của hydro ( $R_H$ )	4.22e-09 (kmol/(atm.s))
Hằng số mô hình ( $Z_0$ )	1.8459e10 (kmol/(s.A))
Số lượng pin nhiên liệu trong ngăn xếp (N <sub>fc</sub> )	72
Môi trường của pin nhiên liệu ( $R^{*}$ )	0.00303 (Ω)
Nhiệt độ tuyệt đối (T)	343 (K)
Hằng số khí lý tưởng (R)	8314.47 (J atm/(kmol.K))
Hệ số sử dụng (U)	0.8
Quá điện áp kích hoạt PEMFC (B)	0.0477 (A <sup>-2</sup> )
Quá điện áp kích hoạt PEMFC (C)	0.0134 (V)
Điện áp chuẩn khi không tải (E <sub>0</sub> )	0.6 (V)

### 3. Mô phỏng trên Matlab/Simulink

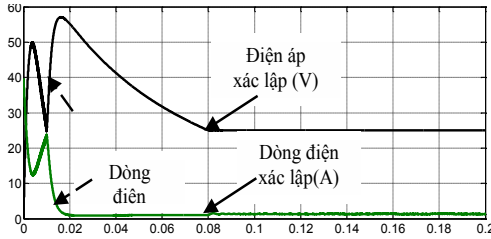
#### 3.1. Mô hình trên Matlab/Simulink

Mô hình điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn pin nhiên liệu, được xây dựng trên matlab/simulink như hình 5.

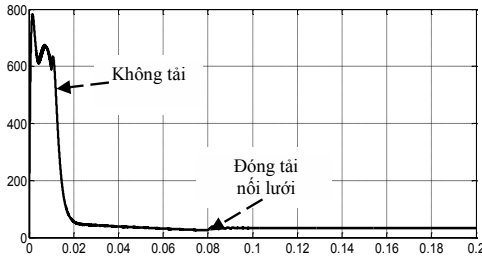


Hình 5. Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió và nguồn pin nhiên liệu

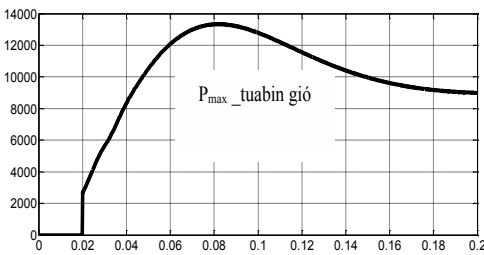
2. Kết quả mô phỏng



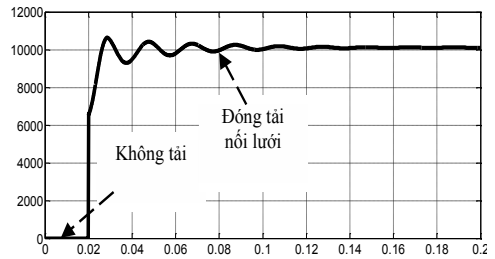
Hình 6. Dòng điện và điện áp của pin nhiên liệu



Hình 7. Công suất của pin nhiên liệu (W)



Hình 8. Công suất của tuabin gió (W)



Hình 9. P<sub>tổng</sub> (tuabin gió+pin nhiên liệu) (W)

Nhận xét: Qua kết quả mô phỏng cho thấy tại thời điểm  $t < 0.02s$  các giá trị dòng điện, điện áp và công suất dao động, nhưng khi  $t \geq 0.02s$  hệ thống bắt đầu làm việc ổn định.

4. Kết luận

Điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp với nguồn điện pin nhiên liệu đã phát huy được công suất phát ra. Tại thời điểm  $t = 0.08s$  đóng tải thực hiện nối lưới, dòng và điện áp cũng như công suất đầu ra luôn đạt giá trị ổn định và bằng giá trị đặt. Hệ thống nối lưới thông qua máy biến áp 400V/22kV và đường dây tải điện. Mô hình điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp nguồn điện pin nhiên liệu 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

Alejandro Rolán, Álvaro Luna, Daniel Aguilar, Gerardo Vázquez. 2009. *Modeling of Variable Speed Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator*. IEEE International Symposium on Industrial Electronics.

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.

Victor M.F.Mendes, Rui Melicio, and Joao P.S.Catalao. 2011. *Wind Turbines with Permanent Magnet Synchronous Generator and Full-Power Converters*. Books in the Intech.

Caisheng Wang, M. Hashem Nehrir. 2009. *Modeling and control of fuel cells*. Books in the IEEE press series on power engineering.

HalukGorg. 2006. *Dynamic modelling of a proton exchange membrane (PEM) electrolyzer*. International Journal of Hydrogen Energy.