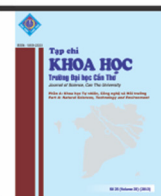




Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ
website: sj.ctu.edu.vn



ỨNG DỤNG CÁC BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT TRONG ĐIỀU KHIỂN NỖI LƯỚI CÁC NGUỒN PHÂN TÁN

Lê Kim Anh¹

¹ Trường Cao đẳng Công Nghiệp Tuy Hòa, tỉnh Phú Yên

Thông tin chung:

Ngày nhận: 08/05/2013

Ngày chấp nhận: 29/10/2013

Title:

Application of power electronic converters in grid connection control of distributed generations

Từ khóa:

Bộ chỉnh lưu; nghịch lưu; năng lượng tái tạo; năng lượng mới; nối lưới các nguồn phân tán

Keywords:

Rectifier; inverter; renewable energy; new energy; grid-connected distributed energy resources

ABSTRACT

The research on using and exploiting effectively small and scattered capacity renewable energy sources, named Distributed Energy Resources (DER), to generate electricity is meaningful to reduce the climate change and dependence of power demand on fossil energy sources, which are at risk of being exhausted and cause environmental pollution. Using power electronic converters for grid connection control of distributed generators has some advantages such as capability of power transferring in both directions. The grid integration of DER can help them to achieve equivalent scale and stable power supply as that of traditional power plants. The combination of harmonic filter circuits to suppress high order harmonics on the grid will also have a significant effect on improving power quality. The article presented the simulation result of the grid-connected control model of DER using power electronic converters, which maintains maximum capacity of the system irrespective of connected power loads.

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng và khai thác hiệu quả các nguồn năng lượng tái tạo có công suất nhỏ và phân tán (Distributed Energy Resources - DER) 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. Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới các nguồn phân tán có những ưu điểm như: Khả năng truyền năng lượng theo cả 2 hướng. Các DER nối lưới cho phép chúng đạt được quy mô tương đương và mức độ cung cấp điện ổn định như các nhà máy điện truyền thống. 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 đã đưa ra được kết quả mô phỏng điều khiển nối lưới các nguồn phân tán sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất, nhằm duy trì công suất phát tối đa của hệ thống bất chấp tải nối với hệ thống.

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 (Renewable Energy sources - RES) nói chung, nguồn năng lượng phân tán (Distributed Energy

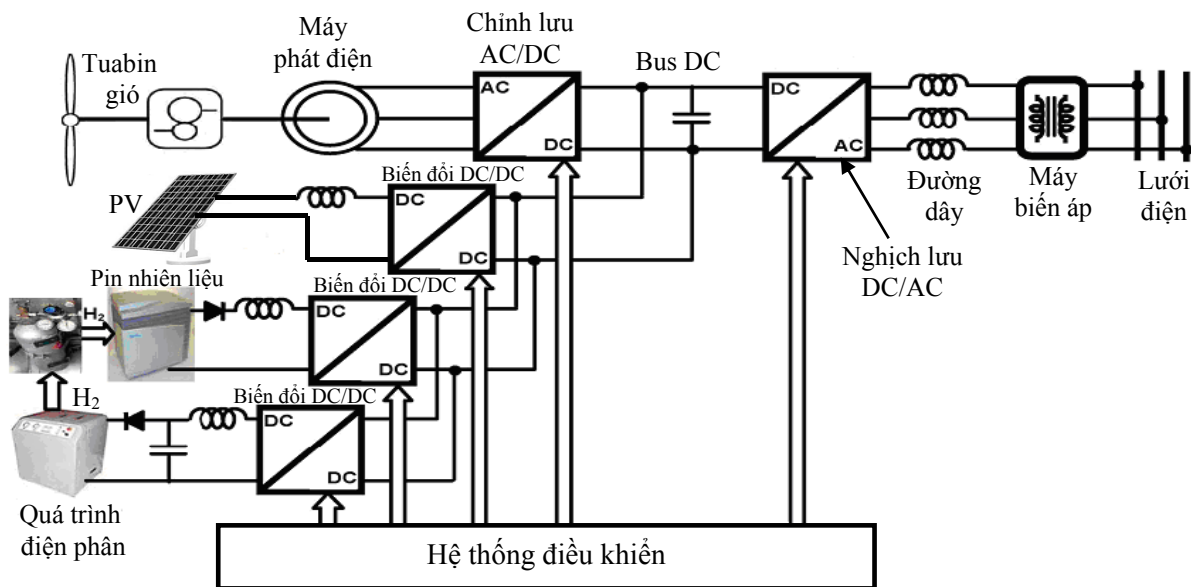
Resources - DER) nói riêng như: nguồn năng lượng gió, pin mặt trời, pin nhiên liệu... là các dạng nguồn năng lượng sạch, không gây ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên, để khai thác và sử dụng các nguồn phân tán này sao cho hiệu quả vẫn là mục tiêu nghiên cứu của các cơ quan quản lý. Hiện nay

có nhiều công trình nghiên cứu điều khiển nổi lưới nhưng ở góc độ nghiên cứu là các nguồn độc lập như tuabin gió hoặc nguồn pin mặt trời. Bài viết dưới đây đề xuất điều khiển nổi lưới 3 nguồn phân tán (Distributed Generation - DG) là tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (Permanent magnetic synchronous generator - PMSG), nguồn pin mặt trời (Photovoltaic cell) và pin nhiên liệu màng trao đổi proton (Proton Exchange Membrane Fuel Cell - PEMFC). Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất như: Bộ biến đổi 2 trạng thái DC/DC dùng để điều chỉnh và cung cấp cho các tải thay đổi là nguồn pin mặt trời và pin nhiên liệu. Bộ chỉnh lưu (AC/DC) phía máy phát điện dùng để 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 đồng bộ với lưới và giữ ổn định điện áp mạch một chiều trung gian. Trong hệ thống điều khiển năng lượng tái tạo các bộ biến đổi điện tử công suất giữ vai trò rất quan trọng, việc ứng dụng

các bộ biến đổi điện tử công suất này trong điều khiển nổi lưới các nguồn phân tán, nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển linh hoạt các dạng nguồn năng lượng.

2 CÁC BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Hệ thống điều khiển nổi lưới các nguồn phân tán (DG) như: tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (Permanent magnetic synchronous generator - PMSG), nguồn pin mặt trời (Photovoltaic cell) và pin nhiên liệu màng trao đổi proton (Proton Exchange Membrane Fuel Cell - PEMFC) theo Tao Zhou, Bruno François (2010), hệ thống bao gồm các thành phần cơ bản như Hình 1. Các bộ biến đổi điện tử công suất thực hiện nhiệm vụ như: Tuabin gió sử dụng máy phát điện (PMSG) phát ra điện áp (AC), qua bộ chỉnh lưu (AC/DC) đưa ra điện áp một chiều (DC). Nguồn pin mặt trời và pin nhiên liệu điều chỉnh cho 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.

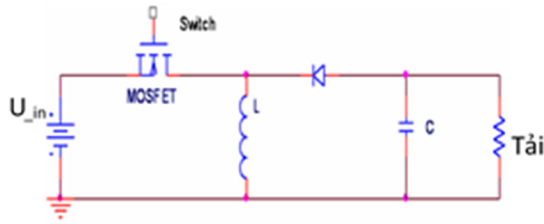


Hình 1: Sơ đồ điều khiển nổi lưới các nguồn phân tán sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất

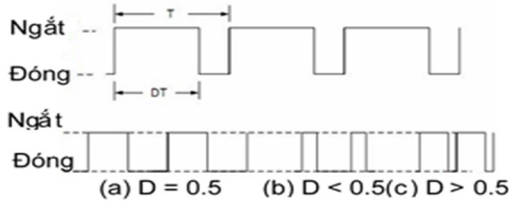
2.1 Bộ biến đổi 2 trạng thái DC/DC

Mục đích của bộ biến đổi 2 trạng thái DC/DC là tạo ra điện áp một chiều (DC) được điều chỉnh để cung cấp cho các tải thay đổi, bộ biến đổi 2 trạng thái DC/DC giữ vai trò rất quan trọng trong các hệ thống điều khiển năng lượng tái tạo (Renewable Energy sources - RES). Để ổn định điện áp đầu ra cho bộ biến đổi thì đòi hỏi các bộ

điều khiển phải hoạt động một cách tin cậy, do điện áp ở đầu ra của pin mặt trời và pin nhiên liệu không đủ lớn để có thể cung cấp cho đầu vào của bộ nghịch lưu (DC/AC). Do đó ta phải sử dụng bộ biến đổi 2 trạng thái DC/DC để nâng điện áp đầu ra đạt yêu cầu. Theo Bengt Johansson (2003), bộ biến đổi 2 trạng thái DC/DC (Buck – Boost Converter) như Hình 2, với giản đồ xung đóng ngắt như Hình 3.



Hình 2: Sơ đồ bộ biến đổi DC/DC



Hình 3: Xung đóng ngắt của bộ biến đổi DC/DC

2.1.1 Khi Switch ở trạng thái ngắt

Ta xét trong khoảng thời gian $t = 0$ đến $t = DT$, điện áp trên cuộn dây L là U_i . Khi đó công suất trên cuộn dây L được tính như sau:

$$P_{in} = \frac{1}{T} \int_0^{DT} U_i I_L dt = \frac{1}{T} U_i \int_0^{DT} I_L dt \quad (1)$$

Với điều kiện dòng qua cuộn dây L là hằng số, công suất qua cuộn dây L được viết lại như sau:

$$P_{in} = \frac{1}{T} U_i I_L \int_0^{DT} dt = U_i I_L D \quad (2)$$

2.1.2 Khi Switch ở trạng thái ngắt

Ta thấy năng lượng trên cuộn dây L bắt đầu xả ra, Diode bắt đầu dẫn điện áp trên cuộn dây L cung cấp cho tải U_0 . Khi đó ta có công suất trên tải:

$$P_{out} = \frac{1}{T} \int_0^{DT} U_L I_L dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} U_0 I_L dt \quad (3)$$

Với điều kiện lý tưởng thì U_0 và I_L là hằng số lúc đó công suất đầu ra được viết lại như sau:

$$P_{out} = \frac{1}{T} U_0 I_L (T - DT) = U_0 I_L (1 - D) \quad (4)$$

Từ phương trình (2) và (4) ta viết lại như sau:

$$\frac{U_0}{U_i} = \left(\frac{D}{1 - D} \right) \quad (5)$$

Điện áp sau khi qua bộ biến đổi công suất sẽ tăng lên, nhờ bộ điều khiển xung kích ta có thể

điều chỉnh điện áp ra mong muốn bằng việc điều chỉnh D .

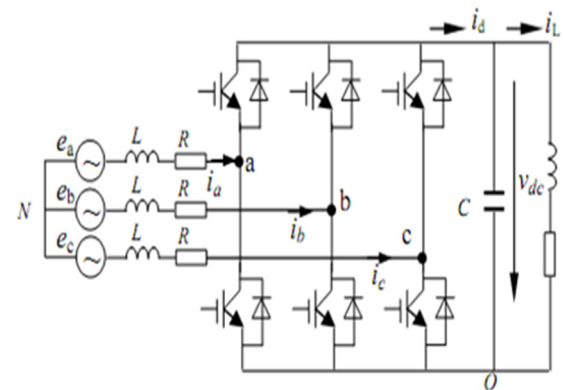
2.2 Bộ chỉnh lưu và bộ nghịch lưu

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, dung lượng sóng hài thấp...

2.2.1 Mô hình toán học cho bộ chỉnh lưu

Sơ đồ bộ chỉnh lưu điều chế theo phương pháp độ rộng xung (PWM), như Hình 4. Theo Haoran Bai *et al.* (2007), để đạt được mục tiêu là điều khiển các thành phần công suất phát vào lưới từ các nguồn phân tán, 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 4, ta xây dựng biểu thức điện áp của bộ chỉnh lưu PWM như sau:



Hình 4: Sơ đồ dòng điện và điện áp của bộ chỉnh lưu

$$\left\{ \begin{array}{l} L \frac{di_a}{dt} + Ri_a = e_a - (S_a u_{dc} + u_{N0}) \\ L \frac{di_b}{dt} + Ri_b = e_b - (S_b u_{dc} + u_{N0}) \\ L \frac{di_c}{dt} + Ri_c = e_c - (S_c u_{dc} + u_{N0}) \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = i_d - i_L \end{array} \right. \quad (6)$$

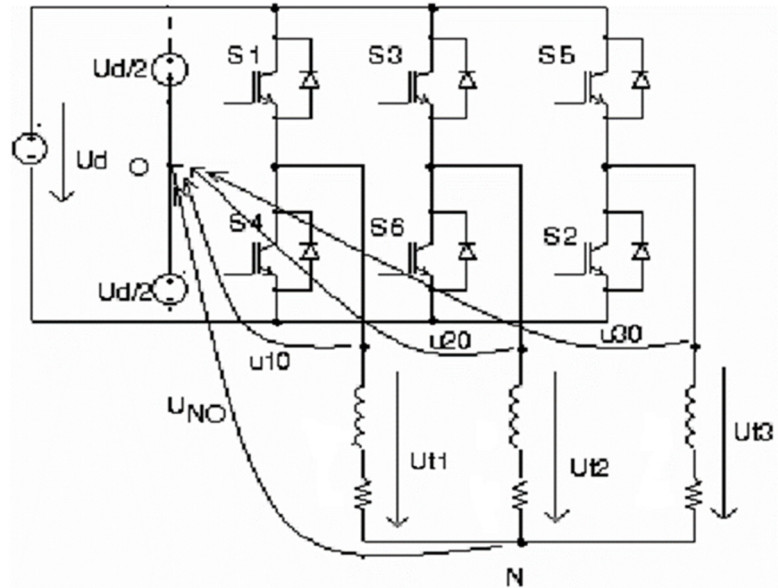
Biểu thức (6) chuyển sang hệ tọa độ dq được viết lại như sau:

$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = e_d - Ri_d - S_d u_{dc} + \omega Li_q \\ L \frac{di_q}{dt} = e_q - Ri_q - S_q u_{dc} - \omega Li_d \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3 S_d}{2} i_d + \frac{3 S_q}{2} i_q - i_L \end{cases} \quad (7)$$

2.2.2 Mô hình toán học cho bộ nghịch lưu

Theo Ngô Đức Minh, 2007, 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 5.

Hình 5: Sơ đồ điều khiển bộ nghịch lưu



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

$$u_{t1} + u_{t2} + u_{t3} = 0 \quad (8)$$

Gọi N là điểm nút của tải 3 pha dạng hình (Y). Dựa vào sơ đồ Hình 5, điện áp pha của các tải được tính như sau:

$$\begin{cases} u_{t1} = u_{10} - u_{N0} \\ u_{t2} = u_{20} - u_{N0} \\ u_{t3} = u_{30} - u_{N0} \end{cases} \quad (9)$$

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

Thay biểu thức (10) vào biểu thức (9) ta có phương trình điện áp ở mỗi pha của tải như sau:

$$\begin{cases} u_{t1} = \frac{2u_{10} - u_{20} - u_{30}}{3} \\ u_{t2} = \frac{2u_{20} - u_{30} - u_{10}}{3} \\ u_{t3} = \frac{2u_{30} - u_{10} - u_{20}}{3} \end{cases} \quad (11)$$

Điện áp dây trên tải được tính như sau:

$$\begin{cases} u_{t12} = u_{10} - u_{20} \\ u_{t23} = u_{20} - u_{30} \\ u_{t31} = u_{30} - u_{10} \end{cases} \quad (12)$$

Biên độ sóng hài có thể xác định dựa theo khai triển chuỗi Fourier của điện áp ngõ ra như sau:

$$u_t = U_{tAV} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin(k.x) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cos(k.x) \quad (13)$$

$$\text{Với: } \begin{cases} a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u_t \sin(k.x) dx \\ b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u_t \cos(k.x) dx \\ U_{tAV} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_t dx \end{cases}$$

Biên độ sóng hài bậc k: A_k

$$A_k = \left(a_k^2 + b_k^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Thông thường dạng áp của tải có tính chất của hàm lẻ, do đó: $b_k=0$, $A_k=a_k$.

Biên độ sóng hài cơ bản $U_{(1)m}$:

$$U_{(1)m} = A_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u_t \sin x \cdot dx \quad (15)$$

Và biên độ sóng hài bậc k:

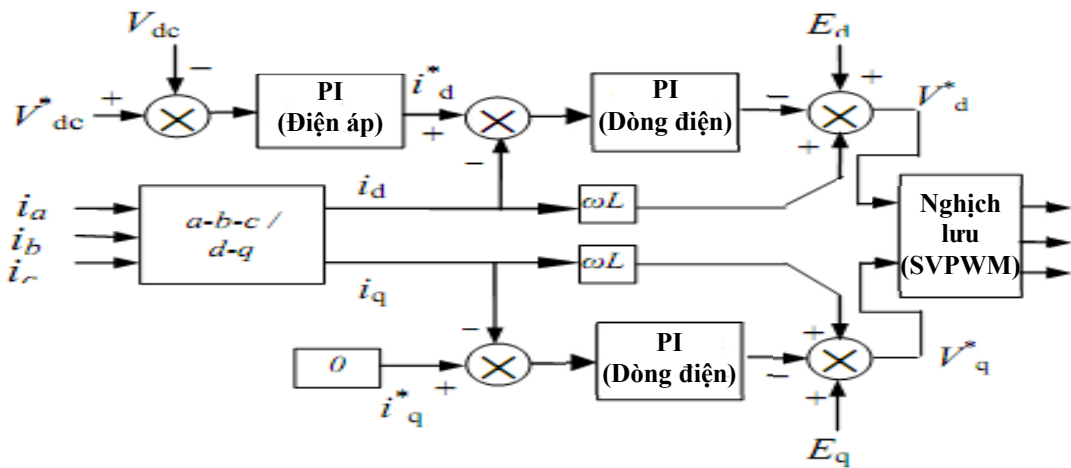
$$U_{(k)m} = A_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u_t \sin(k \cdot x) \cdot dx \quad (16)$$

2.2.3 Cấu trúc điều khiển cho bộ chỉnh lưu và nghịch lưu

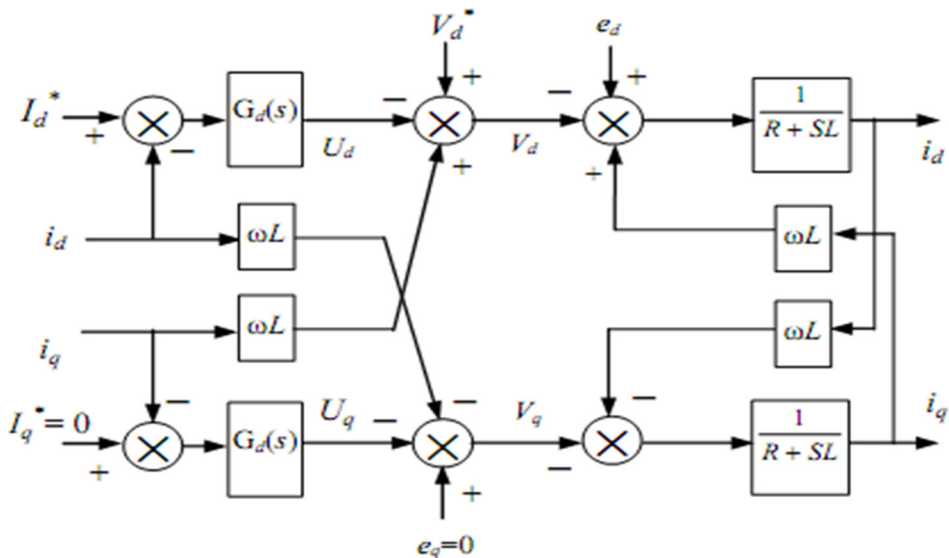
Theo Degang Yang *et al.* (1999), giá trị đầu ra của điện áp qua bộ chỉnh lưu và bộ nghịch lưu, chuyển sang hệ tọa độ dq được xác định như sau:

$$V_d^* = - \left(K_{dp} + \frac{K_{di}}{S} \right) (i_d^* - i_d) + e_d + \omega L i_q \quad (17)$$

$$V_q^* = - \left(K_{qp} + \frac{K_{qi}}{S} \right) (i_q^* - i_q) + e_q - \omega L i_d \quad (18)$$



Hình 6: Sơ đồ điều khiển cho 2 mạch vòng dòng điện



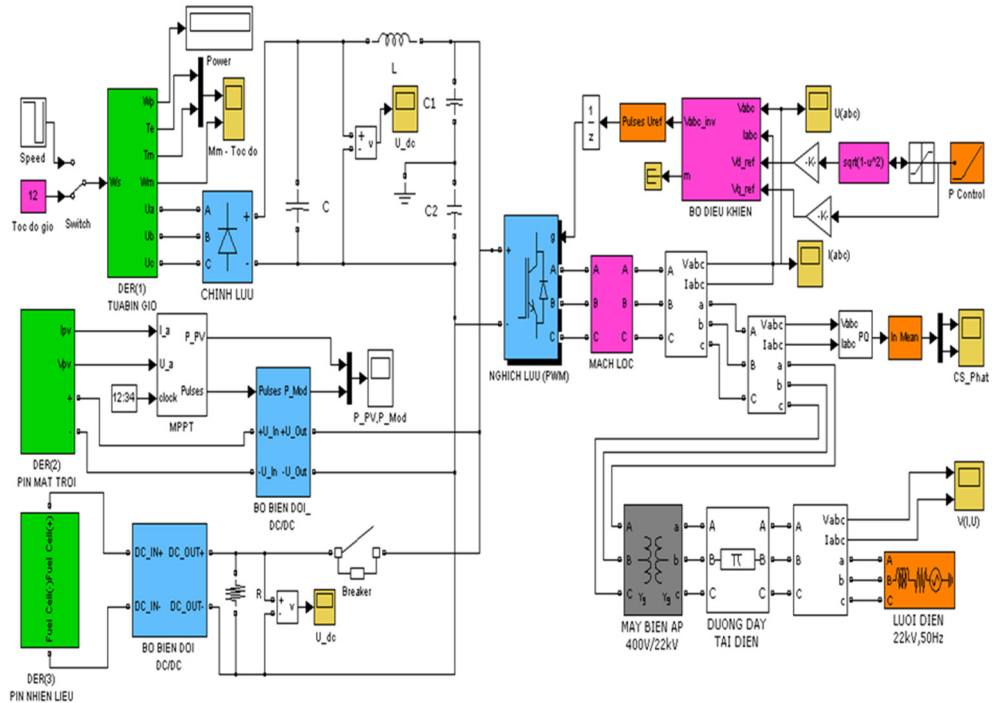
Hình 7: Điều khiển mạch vòng trong của dòng điện

3 XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG TRÊN MATLAB – SIMULINK

3.1 Xây dựng mô hình trên matlab - simulink

Theo Ngô Đức Minh (2007), việc xây dựng mô hình trên Matlab – Simulink, ứng dụng các bộ biến

đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới cho 3 nguồn phân tán (DG) như: tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG), nguồn pin mặt trời (PV) và pin nhiên liệu màng trao đổi proton (Proton Exchange Membrane Fuel Cell - PEMFC) như Hình 8.



Hình 8: Sơ đồ điều khiển nối lưới các nguồn phân tán (DG) ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất

Bảng 1: Các thông số cơ bản của pin nhiên liệu

| | |
|--|--------------------------------------|
| Hằng số Faraday (F) | 9.6484.600 (C/kmol) |
| Hằng số thời gian của hydro (τ_{H_2}) | 3,37 (s) |
| Hằng số phân tử van hydro (K_{H_2}) | $4,22 \times 10^{-5}$ [kmol/(atm.s)] |
| Hằng số mô hình (K_r) | $1,8499 \times 10^{-6}$ [kmol/(s.A)] |
| Số lượng pin nhiên liệu trong ngăn xếp (N_0) | 72 |
| Nội trở của pin nhiên liệu (R^{int}) | 0,00303 (Ω) |
| Nhiệt độ tuyệt đối (T) | 343 (K) |
| Hằng số khí lý tưởng \mathcal{R} | 8314,47 [1 atm/(kmol.K)] |
| Hệ số sử dụng (U) | 0,8 |
| Quá điện áp kích hoạt PEMFC (B) | 0,04777 (A^{-1}) |
| Quá điện áp kích hoạt PEMFC (C) | 0,0136 (V) |
| Điện áp chuẩn khi không tải (E_0) | 0,6 (V) |

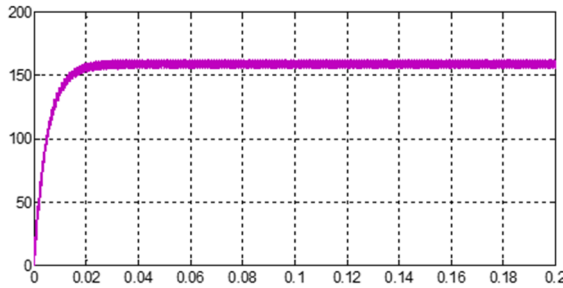
Bảng 2: Các thông số cơ bản của PMSG

| | |
|---------------------------|----------------|
| Công suất máy phát | 12 kW |
| Số cực (p) | 2 |
| Tốc độ rotor (ω) | 175 rad/s |
| Điện trở stator (R_s) | 0,425 Ω |
| Điện cảm stator (L_s) | 8,4 mH |
| Mô men | 40 Nm |
| Từ thông | 0,433 Wb |

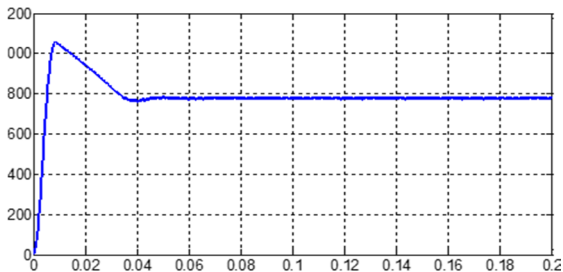
Bảng 3: Các thông số cơ bản của pin mặt trời

| | |
|--|---------|
| Công suất 1 tấm pin mặt trời (P_{max}) | 260 W |
| Điện áp (U_{max}) | 35 V |
| Dòng điện (I_{max}) | 10 A |
| Dòng dòng ngắn mạch ở nhiệt độ 25°C (L_{sc}) | 10,75 A |
| Điện áp hở mạch (U_{oc}) | 40 V |

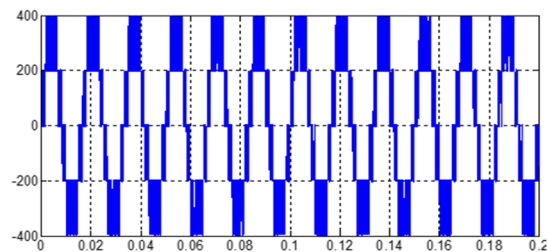
3.2 Kết quả mô phỏng



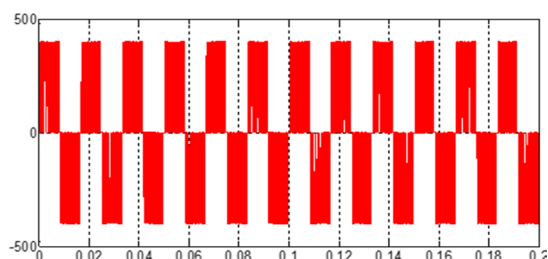
Hình 9: Điện áp ra DC bộ biến đổi DC/DC (V)



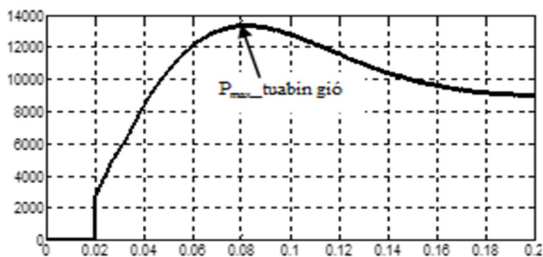
Hình 10: Điện áp ra DC bộ chỉnh lưu (V)



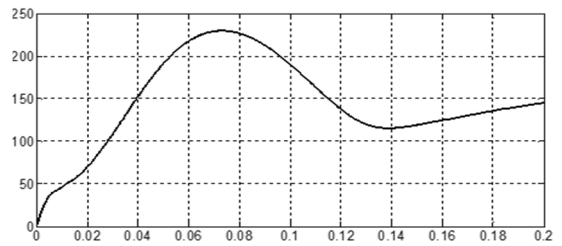
Hình 11: Điện áp AC bộ chỉnh lưu (V)



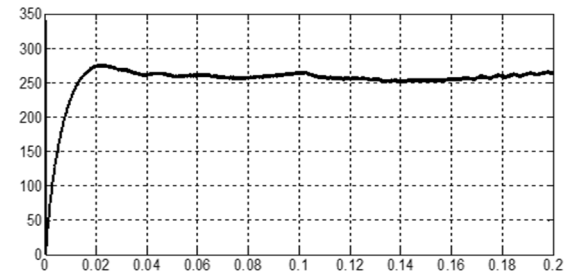
Hình 12: Điện áp ra bộ nghịch lưu (V)



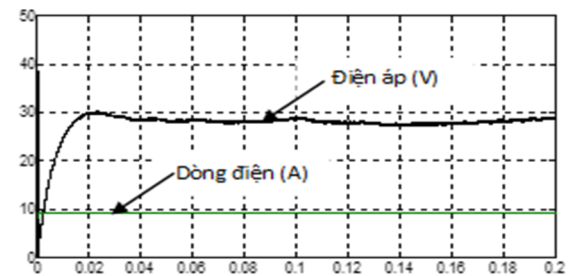
Hình 13: Công suất tuabin gió (W)



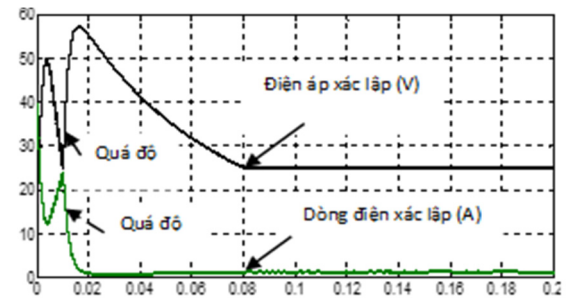
Hình 14: Tốc độ tuabin gió (rad/s)



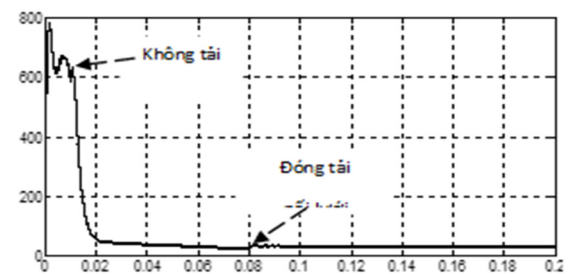
Hình 15: Công suất của pin mặt trời (W)



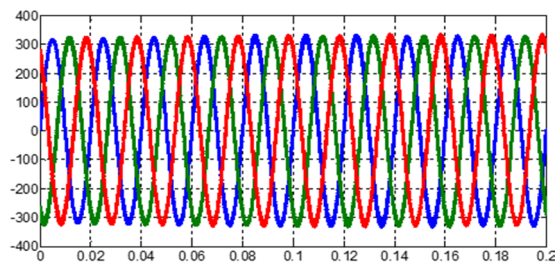
Hình 16: Dòng điện và điện áp của pin mặt trời



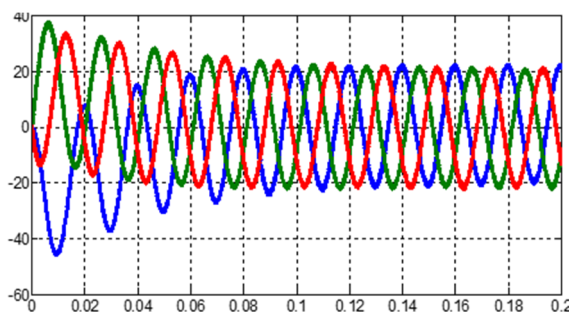
Hình 17: Dòng điện và điện áp của pin nhiên liệu



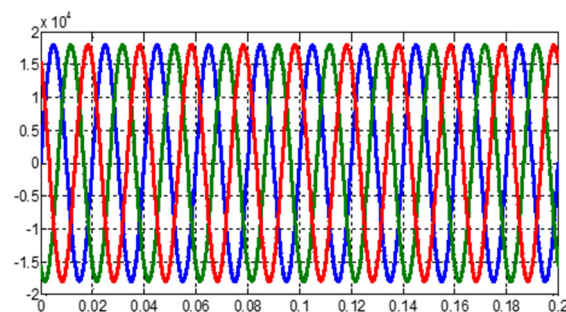
Hình 18: Công suất của pin nhiên liệu (W)



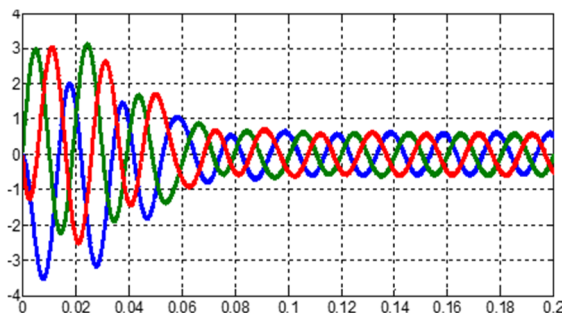
Hình 19: Điện áp ngõ ra U_{abc} (V)



Hình 20: Dòng điện ngõ ra I_{abc} (A)



Hình 21: Điện áp nối lưới U_{abc} (V)



Hình 22: Dòng điện nối lưới I_{abc} (A)

4 KẾT LUẬN

Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều khiển nối lưới các nguồn phân tán mang lại hiệu quả cao về tính kinh tế so với điều khiển các nguồn điện độc lập, đồng thời phân bố được công suất phát ra trên hệ thống. Các nguồn phân tán nối lưới cho phép chúng đạt được quy mô tương đương và mức độ cung cấp điện ổn định như các nhà máy điện truyền thống. Tại thời điểm $t = 0.08$ s đóng tải thực hiện nối lưới, dòng điện và điện áp cũng như công suất đầu ra luôn đạt giá trị bằng giá trị đặt và hệ thống làm việc ở trạng thái ổn định. Hệ thống nối lưới thông qua máy biến áp 400V/22kV và đường dây tải điện. Hệ thống điều khiển nối lưới các nguồn phân tán sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất, 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

1. Bengt Johansson, 2003, Improved Models for DC-DC Converters, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University.
2. Degang Yang, Liangbing Zhao, Runsheng Liu, 1999, Modeling and closed – loop cotroller design of three – phase high power factor Rectifier, power Electronics, 49 – 52.
3. Haoran Bai, Fengxiang Wang, Junqiang Xing, 2007, Control Strategy of Combined PWM Rectifier/ Inverter for a High Speed Generator Power System, IEEE.
4. Ngô Đức Minh, 2007, Ứng dụng bộ biến đổi PWM trong điều khiển công suất giữa các nguồn cục bộ, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên, số 4(44).
5. Nguyễn Văn Nhờ, Điện tử công suất, Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh.
6. Tao Zhou, Bruno François, 2010, Energy Management and Power Control of a Hybrid Active Wind Generator for Distributed Power Generation and Grid Integration, IEEE.