



ĐIỀU KHIỂN CÁC NGUỒN PHÂN TÁN THEO MÔ HÌNH PHÂN TẦNG

Lê Kim Anh

Trường Cao đẳng Công Thương miền Trung

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng các nguồn phân tán (Distributed generations, DG) để phát điện có ý nghĩa thiết thực đến việc giảm sự phụ thuộc vào các nguồn nhiên liệu hóa thạch. Mặc dù sử dụng các DG có thể giảm sự phụ thuộc vào các nhà máy điện truyền thống, tuy nhiên việc kết hợp chúng vào hệ thống cung cấp điện là một vấn đề lớn. Vì khi kết hợp các DG vào lưới điện thường xuất hiện các dao động về điện áp và tần số. Sử dụng mô hình phân tầng để điều khiển các DG với ưu điểm là tần số, biên độ và độ lệch điện áp luôn đạt giá trị ổn định. Ngoài ra giảm được các sóng hài bậc cao, điều này có ý nghĩa lớn đến việc nâng cao chất lượng điện năng. Bài báo đã đưa ra được kết quả mô phỏng điều khiển các DG theo mô hình phân tầng sử dụng phương pháp điều khiển theo độ trượt (Droop control method, DCM) nhằm duy trì công suất phát tối đa của hệ thống bất chấp tải nối với hệ thống.

Từ khóa: Mô hình phân tầng; phương pháp điều khiển theo độ trượt; năng lượng tái tạo; nguồn công suất nhỏ; nguồn phân tán.

1. Đặt vấn đề

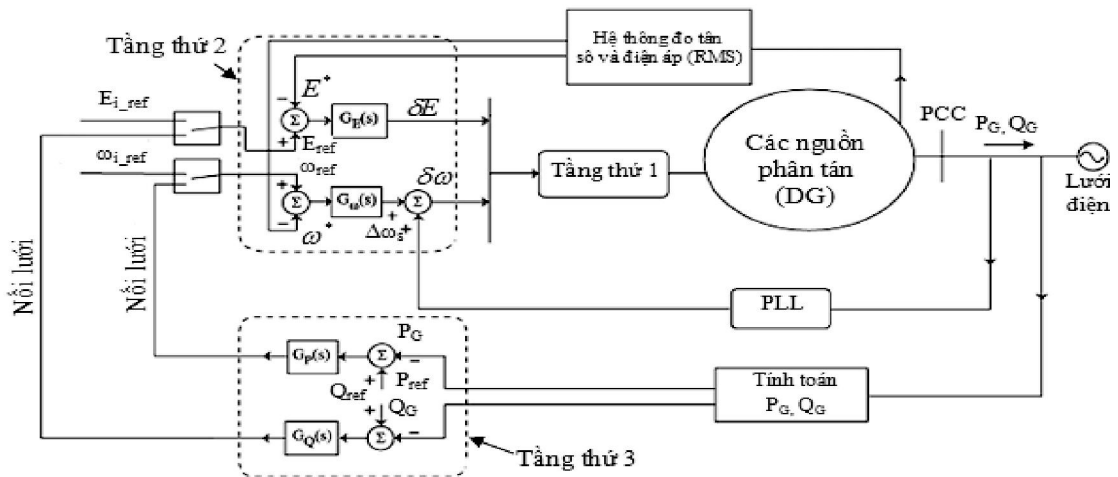
Ngày nay, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của thế giới, nhu cầu sử dụng năng lượng của con người ngày càng tăng. Theo [1], [2], nguồn năng lượng tái tạo (Renewable Energy sources, RES) nói chung, nguồn phân tán (Distributed generation, DG) nói riêng như: nguồn năng lượng gió, pin mặt trời, pin nhiên liệu...v.v. là dạng nguồn năng lượng sạch, không gây ô nhiễm môi trường, đồng thời tiềm năng về trữ lượng của các nguồn phân tán ở nước ta rất lớn. Tuy nhiên, để khai thác và sử dụng các nguồn phân tán này sao cho hiệu quả, giảm phát thải các chất gây ô nhiễm môi trường, như nitrogen oxit (NOx), sunfua oxit (SOx), và đặc biệt là carbon dioxide (CO₂) đang là mục tiêu nghiên

cứ của các nhà quản lý. Mô hình điều khiển phân tầng, bao gồm 3 tầng điều khiển: Tầng điều khiển thứ 1, dùng để điều khiển giữa tải với bộ nghịch lưu, sử dụng phương pháp điều khiển theo độ trượt (độ dốc). Tầng điều khiển thứ 2, dùng để đồng bộ với lưới và đưa tín hiệu độ lệch tần số ($\delta\omega$), độ lệch điện áp (δE) đến tầng điều khiển thứ 1. Tầng điều khiển thứ 3, dùng để trao đổi giữa công suất của các nguồn phân tán với công suất của lưới, đồng thời đưa tín hiệu biên độ tần số (ω_{ref}) và biên độ điện áp (E_{ref}) đến tầng điều khiển thứ 2. Điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển nối lưới linh hoạt.

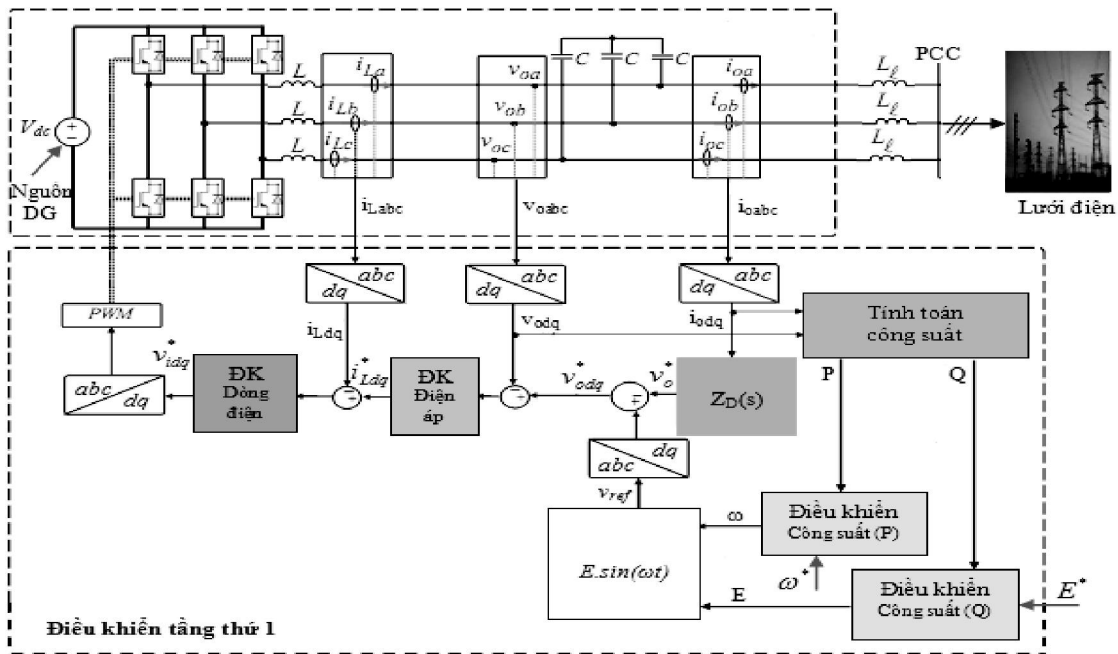
2. Xây dựng mô hình điều khiển phân tầng

Mô hình điều khiển phân tầng (Hierarchical Control) theo [3], bao gồm 3 tầng điều khiển cơ bản sau: Tầng điều khiển thứ 1 (Primary Control) dùng để điều khiển dòng điện, điện áp và công suất giữa tải với bộ nghịch lưu (biến tần). Tầng điều khiển thứ 2

(Secondary Control) dùng để đồng bộ với lưới. Tầng điều khiển thứ 3 (Tertiary Control) dùng để trao đổi công suất của các nguồn phân tán với lưới. Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng, như hình 1 và 2.



Hình 1. Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng



Hình 2. Sơ đồ mô hình điều khiển tầng thứ 1

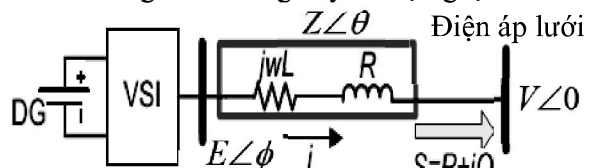
3. Điều khiển cho các tầng

3.1. Điều khiển tầng thứ 1

3.1.1. Điều khiển P, Q theo phương pháp độ trượt (độ dốc)

Phương pháp điều khiển theo độ trượt (Droop control method, DCM) thường sử dụng trong điều khiển cho các DG như: điều khiển giữa tải với bộ nghịch lưu, ở đây sử dụng bộ nghịch lưu nguồn áp (Voltage source inverter, VSI). Trong phương pháp điều khiển này công suất tác dụng được điều khiển theo độ trượt của tần số và công suất phản kháng điều khiển theo độ trượt của biên độ điện áp. Ưu điểm của phương pháp DCM là giảm các sóng hài bậc

cao, điều này có ý nghĩa lớn đến việc nâng cao chất lượng điện năng. Theo [4], sơ đồ mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu, như hình 3. Ở đây: i và $E \angle \phi$: dòng điện và điện áp ra của bộ nghịch lưu; $V \angle 0$: điện áp lưới và $Z \angle \theta$: trở kháng của đường dây và bộ nghịch lưu.



Hình 3. Sơ đồ mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu

Từ sơ đồ hình 3, phương trình cho công suất được tính như sau:

$$S = V.I^* = \frac{V.E\angle\theta - \phi}{Z} - \frac{V^2\angle\theta}{Z} \quad (1)$$

Từ biểu thức (1) công suất tác dụng và công suất phản kháng được tính như sau:

$$\begin{cases} P = \frac{V.E}{Z} \cos(\theta - \phi) - \frac{V^2}{Z} \cos \theta \\ Q = \frac{V.E}{Z} \sin(\theta - \phi) - \frac{V^2}{Z} \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

Giả sử trở kháng trên đường dây $Z\angle\theta$ là thuần cảm thì $\theta = 90^\circ$, biểu thức (2) được viết lại như sau:

$$\begin{cases} P = \frac{V.E}{Z} \sin \phi \\ Q = \frac{V.E \cos \phi - V^2}{Z} \end{cases} \quad (3)$$

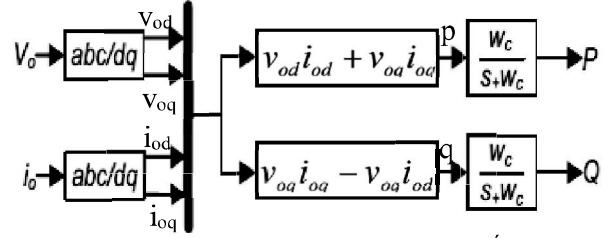
Nếu sự khác biệt giữa điện áp ra của bộ nghịch lưu với điện áp lưới không đủ lớn thì $\sin \phi \approx \phi$ và $\cos \phi \approx 1$, biểu thức (3) viết lại là:

$$\begin{cases} P = \frac{V.E}{Z} \phi \\ Q = \frac{V.E - V^2}{Z} \end{cases} \quad (4)$$

Theo [5], biểu thức (4) khi chuyển sang hệ tọa độ dq tính toán cho công suất tác dụng, công suất phản kháng và kết hợp với mạch lọc thông thấp được tính như sau:

$$\begin{cases} P = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} (v_{od}i_{od} + v_{oq}i_{oq}) \\ Q = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} (v_{oq}i_{od} - v_{od}i_{oq}) \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó: ω_c : tần số cắt của bộ lọc thông thấp; v_{od}, v_{oq} : là điện áp của v_{odq} ở hệ trục tọa độ dp; i_{od}, i_{oq} : là dòng điện của i_{odq} ở hệ trục tọa độ dp. Hình 4. Mô hình tính toán công suất tác dụng và công suất phản kháng kết hợp với mạch lọc thông thấp.

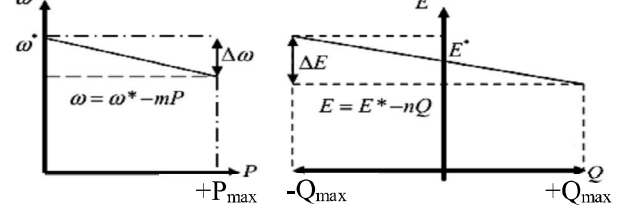


Hình 4. Mô hình tính toán công suất P, Q

Tần số và điện áp ra theo [6], điều khiển sử dụng phương pháp DCM được tính như sau:

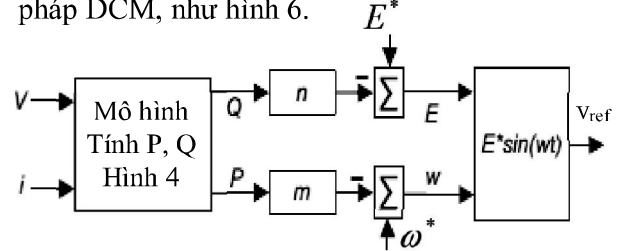
$$\begin{cases} \omega = \omega^* - m.P \\ E = E^* - n.Q \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó: ω^*, E^* là các giá trị hằng số của tần số và điện áp từ hệ thống đo tần số và điện áp (RMS); $m = \Delta\omega / P_{\max}$, $n = \Delta E / 2Q_{\max}$: là hệ số của tần số và biên độ điện áp khi điều khiển theo phương pháp điều



Hình 5. Điều khiển P, Q theo độ trượt

Từ biểu thức (5) và (6) xây dựng sơ đồ mô hình điều khiển công suất P, Q theo phương pháp DCM, như hình 6.



Hình 6. Mô hình điều khiển công suất P, Q theo phương pháp DCM

3.1.2. Điều khiển điện áp và dòng điện

Theo [7], phương trình của điện áp và dòng điện điều khiển theo mạch vòng khi chuyển sang hệ tọa độ dq được tính như sau:

* Phương trình điều khiển mạch vòng ngoài của điện áp sử dụng bộ điều khiển PI

$$\begin{cases} i_{Ld}^* = i_{od} - \omega C v_{oq} + (v_{od}^* - v_{od})(k_{vp} + k_{vi}/s) \\ i_{Lq}^* = i_{oq} + \omega C v_{od} + (v_{oq}^* - v_{oq})(k_{vp} + k_{vi}/s) \end{cases} \quad (7)$$

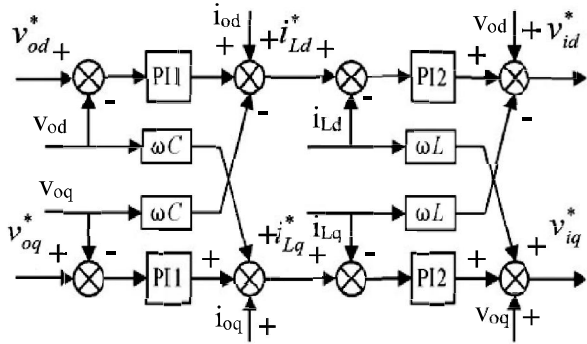
Trong đó: i_{Ld}^*, i_{Lq}^* : là dòng điện của i_{Ldq}^* ở hệ trục tọa độ dp; v_{od}^*, v_{oq}^* : là điện áp của v_{odq}^* ở hệ trục tọa độ dp; ω : tần số góc; k_{vp}, k_{vi} : các thông số của bộ điều khiển; s : toán tử Laplace; C : điện dung mạch lọc.

* Phương trình điều khiển mạch vòng trong của dòng điện sử dụng bộ điều khiển PI

$$\begin{cases} v_{id}^* = v_{od} - \omega L i_{Lq} + (i_{Ld}^* - i_{Ld})(k_{ip} + k_{ii}/s) \\ v_{iq}^* = v_{oq} + \omega L i_{Ld} + (i_{Lq}^* - i_{Lq})(k_{ip} + k_{ii}/s) \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: v_{id}^*, v_{iq}^* : là điện áp của v_{idq}^* ở hệ trục tọa độ dp; i_{Ld}, i_{Lq} : là dòng điện của i_{Ldq} ở hệ trục tọa độ dp; k_{ip}, k_{ii} : các thông số của bộ điều khiển; L : điện cảm mạch lọc.

Sơ đồ điều khiển mạch vòng của điện áp và dòng điện, như hình 7.

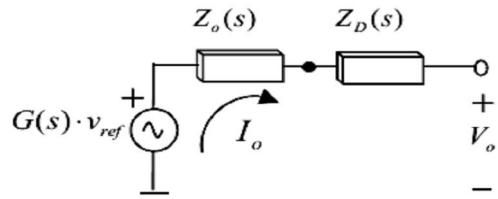


Hình 7. Điều khiển mạch vòng của điện áp và dòng điện

3.1.3. Điều khiển điện áp ra mạch trở kháng $Z_D(s)$

Trong mô hình điều khiển tầng thứ 1, sử dụng phương pháp điều khiển DCM. Đối với các nguồn DG có công suất lớn, theo [8], trở kháng đầu ra của các nguồn DG cũng như trở kháng trên đường dây chủ yếu là cảm kháng. Tuy nhiên khi sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất như: DC/DC, AC/DC và DC/AC thì trở kháng đầu ra phụ thuộc vào các bộ điều khiển dòng điện, điện áp. Đối với điều khiển các DG điện áp thấp thì trở kháng trên đường dây xem như thuần trở, điện áp đầu ra của mạch trở kháng được tính như sau:

$$v_o^* = v_{ref} - Z_D(s) \cdot i_o \quad (9)$$



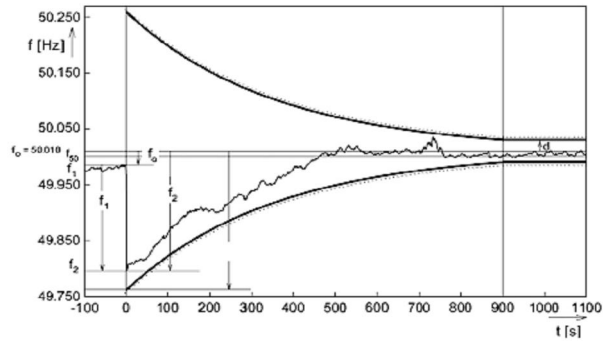
Hình 8. Sơ đồ điện áp đầu ra của mạch trở kháng

3.2. Điều khiển tầng thứ 2

Theo [9], điều khiển tầng thứ 2 dùng để điều khiển tần số và biên độ, cũng như độ lệch điện áp khi tải nối với lưới thay đổi. Đồng thời thực hiện đồng bộ với lưới, như hình 1. Phương trình giới hạn độ lệch tần số và điện áp được tính như sau:

$$\begin{cases} \delta\omega = k_{p\omega}(\omega_{ref} - \omega^*) + k_{i\omega} \int (\omega_{ref} - \omega^*) dt + \Delta\omega_s \\ \delta E = k_{pE}(E_{ref} - E^*) + k_{iE} \int (E_{ref} - E^*) dt \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó: $k_{p\omega}, k_{i\omega}, k_{pE}$ và k_{iE} : là các thông số của bộ điều khiển tầng thứ 2; $\Delta\omega_s$: hệ số đồng bộ lưới theo tần số lấy từ tín hiệu PLL; $\delta\omega$ và δE : tín hiệu để điều khiển tầng 1. Hình 9. Giới hạn và khả năng phục hồi của tần số.



Hình 9. Giới hạn và khả năng phục hồi của tần số

3.3. Điều khiển tầng thứ 3

Theo [10], điều khiển tầng thứ 3 dùng để điều khiển công suất giữa các nguồn DG với công suất của lưới bằng cách điều chỉnh tần số (hoặc độ lệch pha) và biên độ điện áp, như hình 1. Phương trình tần số và biên độ điện áp được tính như sau:

$$\begin{cases} \omega_{ref} = k_{pP}(P_{ref} - P_G) + k_{iP} \int (P_{ref} - P_G) dt \\ E_{ref} = k_{pQ}(Q_{ref} - Q_G) + k_{iQ} \int (Q_{ref} - Q_G) dt \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó: k_{pP}, k_{iP}, k_{pQ} và k_{iQ} : là các thông số của bộ điều khiển tầng thứ 3; P_G và Q_G : công suất tác dụng và công suất phản kháng của lưới;

P_{ref} và Q_{ref} : công suất đặt; ω_{ref} và E_{ref} : tín hiệu

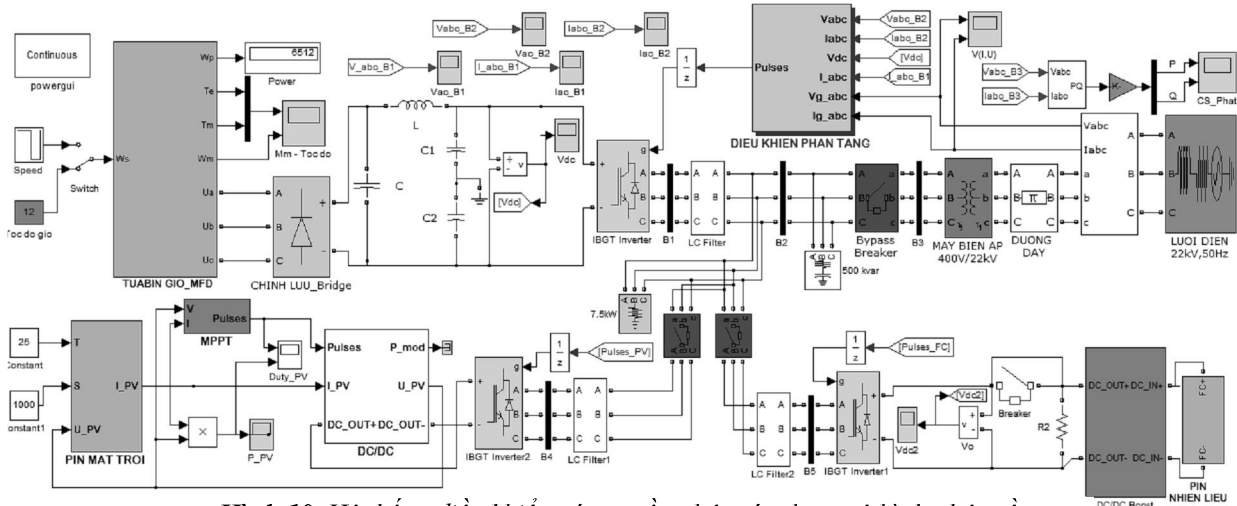
để điều khiển tầng thứ 2.

4. Xây dựng mô hình và mô phỏng trên matlab/simulink

4.1. Xây dựng mô hình trên matlab/simulink

Mô hình được xây dựng dựa trên sơ đồ mô hình điều khiển các nguồn phân tán như hình 1, mục 2. Theo [11], [12] và [13] các nguồn phân tán (DG) bao gồm: DG₁: tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG);

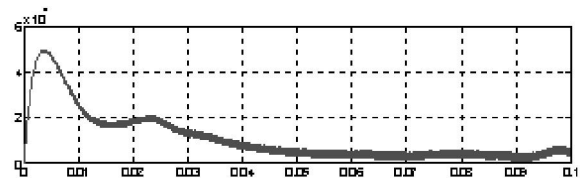
DG₂: nguồn pin mặt trời (PV); DG₃: nguồn pin nhiên liệu (FC). Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng được xây dựng trên matlab/ simulink, như hình 10.



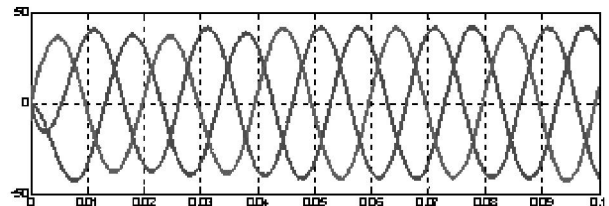
Hình 10. Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng

4.2. Kết quả mô phỏng

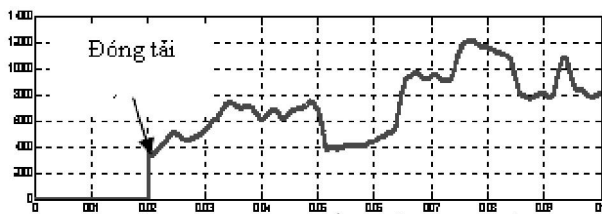
Nhận xét: Qua kết quả mô phỏng, ta thấy tại thời điểm $t = 0.02s$ đóng tải thực hiện nối lưới, dòng điện và điện áp cũng như công suất đầu ra luôn bằng giá trị đặt. Biên độ và độ lệch của tần số tại thời điểm này dao động nhưng nằm trong phạm vi cho phép ($\pm 0.2Hz$, trong điều khiển làm việc bình thường, $\pm 0.5Hz$ khi sự cố). Đặc tính sóng hài của điện áp (THD < 5%), khi $t > 0.02s$ hệ thống nối lưới ở trạng thái làm việc ổn định.



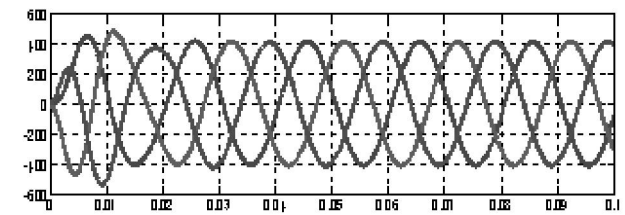
Hình 13. Công suất của pin nhiên liệu (W)



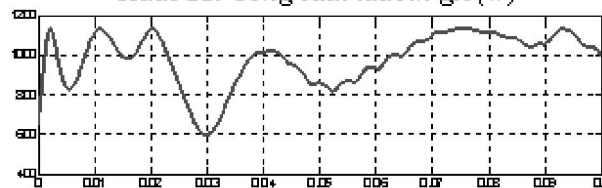
Hình 14. Dòng điện ngõ ra I_{abc} (A)



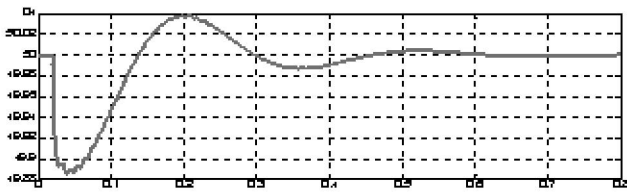
Hình 11. Công suất tuabin gió (W)



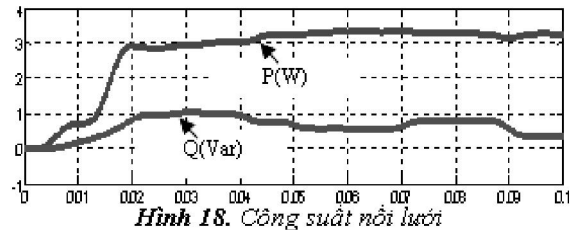
Hình 15. Điện áp ngõ ra U_{abc} (V)



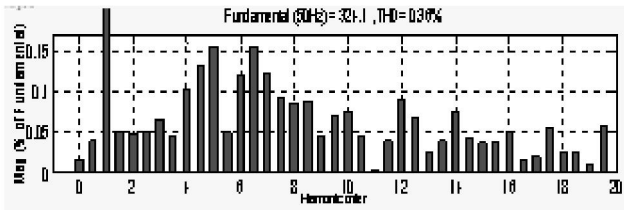
Hình 12. Công suất của pin mặt trời (W)



Hình 16. Đáp ứng của tần số



Hình 18. Công suất nối lưới



Hình 17. Đặc tính sóng hài điện áp

5. Kết luận

Điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng đã phát huy đôi đa công suất phát ra của hệ thống, bắt chấp tải nối với hệ thống. Sử dụng các nguồn phân tán (tuabin gió, pin mặt trời và pin nhiên liệu) nhằm giảm sự phụ thuộc vào lưới điện truyền thống, các DG

kết hợp với hệ thống nối lưới thông qua máy biến áp 400V/22kV và đường dây tải điện. Tần số và độ lệch điện áp luôn đạt giá trị ổn định. Điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình phân tầng 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] Lê Kim Anh, Công nghệ điều khiển nối lưới cho lưới điện nhỏ, <http://nangluongvietnam.vn>, 2013.
- [2] Lê Kim Anh, Võ Như Tiên, Xin Ai, Điều khiển các nguồn phân tán theo mô hình nhà máy điện ảo, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại Học Đà Nẵng, số 3(64), 2013.
- [3] Chaoyong Hou, Xuehao Hu, Dong Hui, Hierarchical Control Techniques Applied in Microgrid, IEEE, 2010.
- [4] Xiaochun Mou, Xue Zhao, Xin Zhao, Study on the Control Strategies of Low Voltage Microgrid, International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems, 2012.
- [5] Yasser Abdel-Rady I. Mohamed, Amr A. Radwan, Hierarchical Control System for Robust Microgrid Operation and Seamless Mode Transfer in Active Distribution Systems, IEEE, 2011.
- [6] K. De Brabandere, B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen and R. Belmans, A Voltage and Frequency Droop Control Method for Parallel Inverters, IEEE, 2004.
- [7] M. Kohansal, G. B. Gharehpetian, M. Abedi and M. J. Sanjari, Droop Controller Limitation for Voltage Stability in Islanded Microgrid, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012.
- [8] Junping He, Ning Wu, Liang Liang, Dynamic Virtual Resistance Droop Control Scheme for Distributed Generation System, TELKOMNIKA, Vol.11, No.3, March 2013.
- [9] Alireza Raghimi, Mohammad Taghi Ameli, Mohsen Hamzeh, Primary and Secondary Frequency Control in an Autonomous Microgrid Supported by a Load-Shedding Strategy, IEEE, 2013.

- [10] Josep M. Guerrero, Juan C. Vásquez, Remus Teodorescu, Hierarchical Control of Droop-Controlled DC and AC Microgrids – A General Approach Towards Standardization, IEEE, 2009.
- [11] Đặng Ngọc Huy, Lê Kim Anh, *Nghiên cứu mô hình tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu*, Tạp san khoa học và công nghệ, Đại Học Công Nghiệp Quảng Ninh, 2012.
- [12] Lê Kim Anh, Võ Như Tiến, Đặng Ngọc Huy, *Mô hình điều khiển nối lưới cho nguồn điện mặt trời*, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 11(60), quyển 2, 2012.
- [13] Lê Kim Anh, *Xây dựng mô hình điều khiển nối lưới sử dụng nguồn pin nhiên liệu*, Tạp chí khoa học và công nghệ, Đại học công nghiệp Hà Nội, số 12, 2012.

HIERARCHICAL CONTROL MODEL FOR CONTROLLING DISTRIBUTED GENERATIONS

Le Kim Anh

Mien Trung Industry And Trade College

ABSTRACT

The research of using effectively distributed generations(DG) to generate electricity is meaningful to decrease the dependance on fossil energy sources. Although the power dependance on conventional power plants could be reduced because of DG penetration, the integration of these sources into electric power distribution networks is still a big issue. This is because of voltage and frequency fluctuations. The using of hierarchical control structure in controlling of DG gives some advantages as stable operating frequency, voltage magnitude and voltage deviation. Besides, the elimination of high order harmonics will also have a significant effect on power quality improvement. The article gives simulation results of applying hierarchical model in controlling of DG using droop control method (DCM) in order to maintain maximum generating capacity of the system, irrespective of connected power loads.

Key words: *Model; droop control method; renewable energy; small power sources; distributed generation.*