ĐIỀU KHIỂN CÁC NGUỒN PHÂN TÁN THEO CẤU TRÚC PHÂN TẦNG

HIERARCHICAL CONTROL STRUCTURE IN CONTROLLING DISTRIBUTED GENERATIONS

Lê Kim Anh

Trường Cao đẳng Công nghiệp Tuy Hòa

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 cấu trúc 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 cấu trúc 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:

Cấu trúc phân tầng, phương pháp điều khiển theo độ trượt, năng lượng tái tạo, nguồn công suất nhỏ, nguồn phân tán.

Abstract:

The research of using distributed generations(DGs) to generate electricity is meaningful in terms of lessening the dependence on fossil energy sources. Although the power dependence on conventional power plants could be reduced because of DGs 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 use of hierarchical control structure in controlling DGs has the advantage of 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. This article provides simulation results of applying hierarchical structure in controlling DGs using droop control method (DCM) in order to maintain maximum generating capacity of the system, irrespective of connected loads.

Keywords:

Hierarchical structure, droop control method, renewable energy, small power sources, distributed generation.

Ngày nhận bài: 12/12/2014; Ngày chấp nhận: 12/01/2015; Phản biện: PGS.TS Bạch Quốc Khánh.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dựa theo [1], [2], [3], [4] 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... 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 dioxit (CO_2) đang là mục tiêu nghiên cứu của các nhà quản lý. Hiện nay có nhiều tác giả đưa ra các chiến thuật điều khiển như điều khiển dòng điện theo công suất hoặc điều khiển điện áp theo công suất, thông qua các bộ biến đổi điện tử công suất, như DC/DC hoặc DC/AC nhưng bị ảnh hưởng của sóng hài, dao động điện áp và dao động tần số. Bài viết này tác giả đề xuất 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 cấu trúc phân tầng nhằm hướng đến phát triển lưới điện thông minh và điều khiển nối lưới linh hoạt.

2. CÁC NGUỒN PHÂN TÁN

2.1. Mô hình tuabin gió

Theo [5] công suất của tuabin gió được tính theo biểu thức:

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

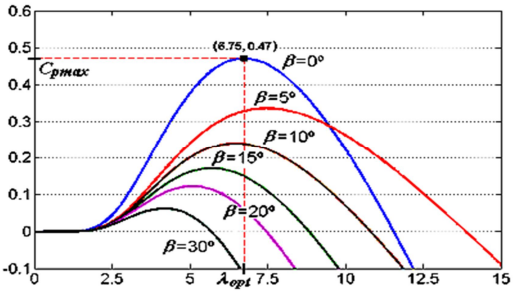
Trong đó: P_m: công suất đầu ra của tuabin (W); $C_p(\lambda,\beta)$: hệ số biến đổi năng lượng (là tỷ số giữa tốc độ đầu cánh λ và góc cánh β); A: tiết diện vòng quay của cánh quạt (m^2); ρ: mật độ của không khí, $\rho = 1.255$ (kg/m^3).

Từ biểu thức (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 [6] được tính như sau:

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

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 λ, như hình 1.

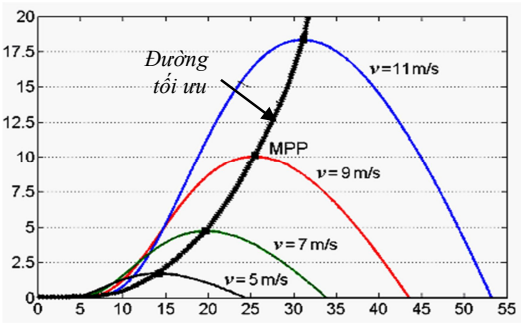


Hình 1. Đường cong mối quan hệ giữa C_p và λ

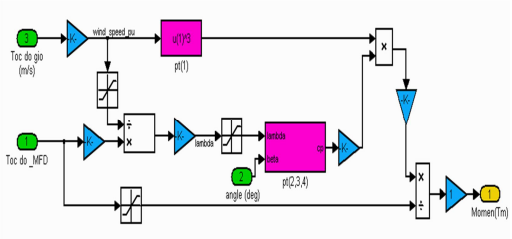
Như ta đã biết tỷ số tốc độ đầu cánh tuabin gió và tốc độ là: $\lambda = \frac{R\omega}{v}$, trong đó ω: tốc độ quay của tuabin, R: bán kính của tuabin, v: vận tốc của gió. Mômen của tuabin gió được tính như sau:

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

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 giữa P_m và tốc độ gió, như hình 2. 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 3.



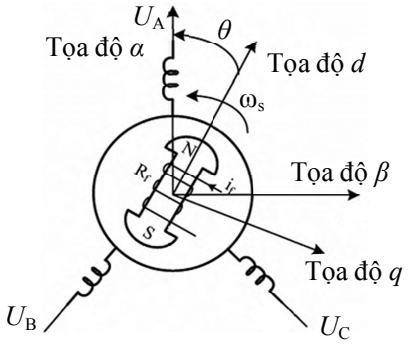
Hình 2. Đường cong mối quan hệ giữa P_m và tốc độ gió



Hình 3. Mô hình tuabin gió

2.2. Máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (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 4. Theo [7] phương trình dòng điện và điện áp của PMSG biểu diễn trên hệ tọa độ dq như sau:



Hình 4. Hệ trục tọa độ αβ và dq

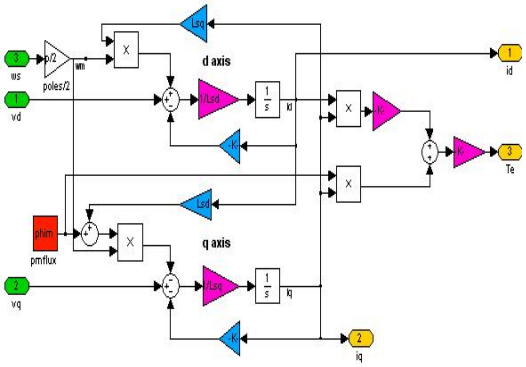
$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{T_{sd}} i_{sd} + \omega_s \frac{L_{sq}}{L_{sd}} i_{sq} + \frac{1}{L_{sd}} u_{sd} \quad (5)$$

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

Trong đó: L_{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}: hằng số thời gian Stator tại vị trí đỉnh cực. Phương trình mômen tính như sau:

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

Để xây dựng mô hình PMSG trên matlab / simulink dựa vào biểu thức (5), (6), (7).



Hình 5. Mô hình máy phát điện PMSG băng thông BW = 164,28MHz (S11<-10dB)

2.3. Mô hình pin mặt trời

Dòng điện đầu ra của pin theo [8] được tính như sau:

$$I = I_{ph} - I_s\left[exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{KT_cA}\right)-1\right]-\left(\frac{V+IR_s}{R_{sh}}\right) \quad (8)$$

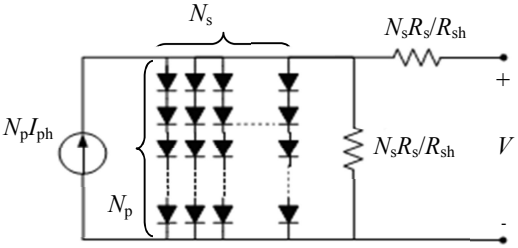
Trong đó: q: điện tích electron =1.6 x10^{-19} C, k: hằng số Boltzmann' s = 1.38 x10^{-23} J/K, I_s: dòng điện bão hòa của pin, I_{ph}: dòng quang điện, T_c: nhiệt độ làm việc của pin, R_{sh}: điện trở shunt, R_s: điện trở của pin, A: hệ số lý tưởng. Theo biểu thức (8) dòng quang điện phụ thuộc vào năng lượng mặt trời và nhiệt độ làm việc của pin do đó:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I(T_c - T_{ref})].H \quad (9)$$

với: I_{sc}: dòng ngắn mạch ở nhiệt độ 25^oC, K_I: hệ số nhiệt độ của dòng điện ngắn mạch, T_{ref}: nhiệt độ của bề mặt pin (nhiệt độ tham chiếu), H: bức xạ của mặt trời, kW/m^2. Ở đây giá trị dòng điện bão hòa của pin với nhiệt độ của pin được tính như sau:

$$I_s = I_{RS}\left(\frac{T_c}{T_{ref}}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_G(T_c - T_{ref}}{T_{ref}T_ckA}\right] \quad (10)$$

Trong đó: I_{RS}: dòng bão hòa ngược ở bề mặt nhiệt độ và bức xạ của mặt trời, E_G: năng lượng vùng cấp của chất bán dẫn, phụ thuộc vào hệ số lý trưởng và công nghệ làm pin. Mặt khác một pin mặt trời có điện áp khoảng 0.6 V, do đó muốn có điện áp làm việc cao thì ta mắc nối tiếp các pin, muốn có dòng điện lớn thì mắc song song, như hình 6.

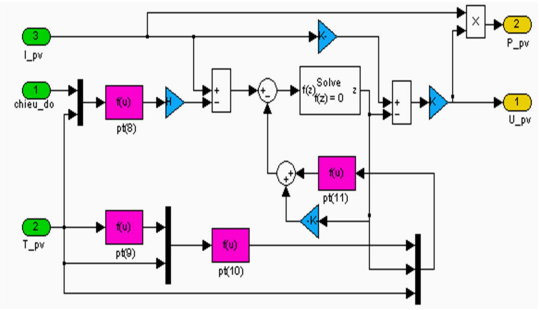


Hình 6. Dòng điện 1 modul tấm pin

Vậy dòng điện một modul tấm pin sẽ là:

$$I = N_pI_{ph} - N_pI_s\left[exp\left(\frac{q\frac{V}{N_s}+\frac{IR_s}{N_p}}{kT_cA}\right)-1\right]-\left(\frac{\frac{N_pV}{N_s}+IR_s}{R_{sh}}\right) \quad (11)$$

Từ các biểu thức (8), (9), (10), (11) đã phân tích ở trên, mô hình pin mặt trời được xây dựng trên Matlab/Simulink với các ngõ vào là dòng điện, nhiệt độ. Ngõ ra là công suất và điện áp của pin, như hình 7.



Hình 7. Mô hình pin mặt trời

2.4. Mô hình pin nhiên liệu

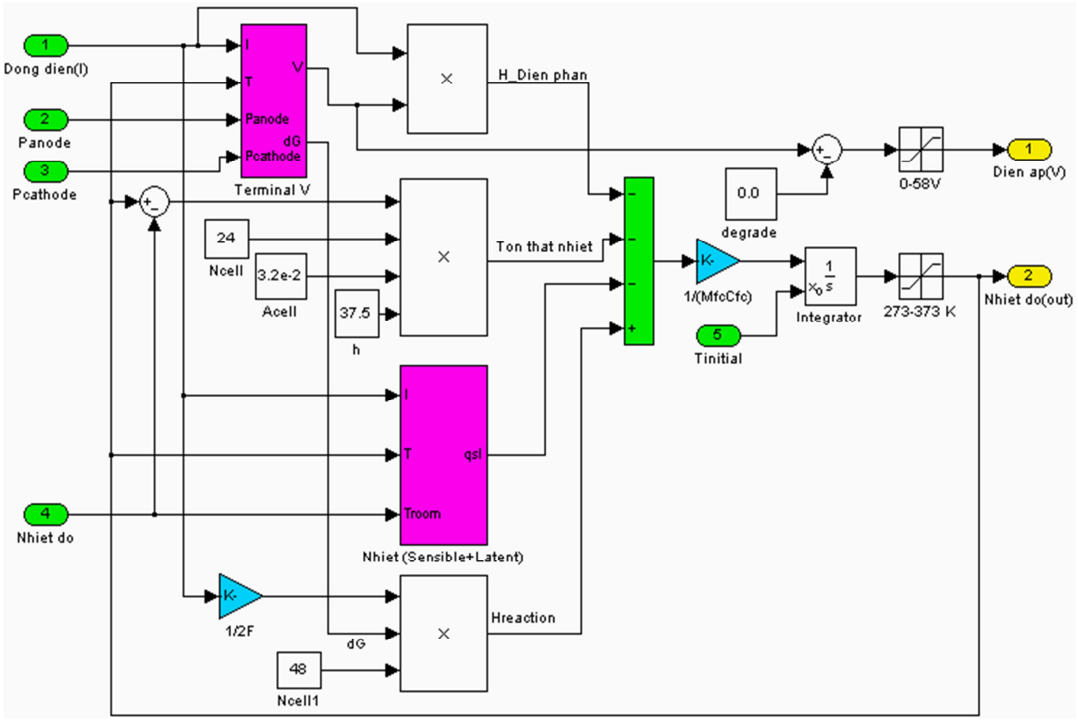
Dựa vào mối quan hệ giữa điện áp đầu ra và áp suất riêng phần của hydro, oxi và nước theo [9] mô hình pin nhiên liệu màng trao đổi proton - PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) được tính như sau:

$$\frac{q_{H_2}}{p_{H_2}} = \frac{K_{an}}{\sqrt{M_{H_2}}} = K_{H_2} \quad (12)$$

$$\text{Và } \frac{q_{H_2O}}{p_{H_2O}} = \frac{K_{an}}{\sqrt{M_{H_2O}}} = K_{H_2O} \quad (13)$$

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 $\left[\sqrt{kmol.kg}/(atm.s)\right]$; 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.



Hình 8. Mô hình pin nhiên liệu

Mối quan hệ giữa các yếu tố này có thể được biểu diễn như sau:

$$\frac{d}{dt}p_{H_2} = \frac{RT}{V_{an}}(q_{H_2}^{in} - q_{H_2}^{out} - q_{H_2}^{r}) \quad (14)$$

Trong đó T: nhiệt độ tuyệt đối (K); V_{an}: 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 (14) $q_{H_2}^{r}$ được tính như sau:

$$q_{H_2}^{r} = \frac{N_o N_s I_{FC}}{2F} = 2K_r I_{FC} \quad (15)$$

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 (12),(15) ta biến đổi Laplace, áp suất hydro được viết lại như sau:

$$q_{H_2} = \frac{\frac{1}{K_{H_2}}}{1+\tau_{H_2}s}(q_{H_2}^{in} - 2K_r I_{FC}) \quad (16)$$

Với: τ_{H_2} : hằng số thời gian của hydro (s)

và $\tau_{H_2} = \frac{V_{an}}{K_{H_2}RT}$ (17)

Điện áp của hệ thống pin nhiên liệu được tính như sau:

$$V_{cell} = E + \eta_{act} + \eta_{ohmic} \quad (18)$$

ở đây:

$$\eta_{act} = -B\ln(CI_{FC}) \quad (19)$$

Và $\eta_{ohmic} = -R^{int}I_{FC}$ (20)

Trong đó: R^{int}: nội trở của pin nhiên liệu (Ω); 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); η_{act}: quá điện áp kích hoạt (V); η_{ohmic}: quá áp nội trở (V); V_{cell}: điện áp đầu ra của hệ thống pin nhiên liệu (V).

Theo [10] điện áp tức thời được xác định như sau:

$$E = N_o\left[E_o + \frac{RT}{2F}log\left[\frac{P_{H_2}\sqrt{P_{O_2}}}{P_{H_2O}}\right]\right] \quad (21)$$

Trong đó: E_0: điện áp chuẩn khi không tải (V); P_{O2}: áp suất riêng phần của oxi (atm); P_{H2O}: 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 [11] lượng khí hydro có sẵn từ thùng chứa hydro được tính như sau:

$$q_{H_2}^{req} = \frac{N_0 N_s I_{FC}}{2FU} \quad (22)$$

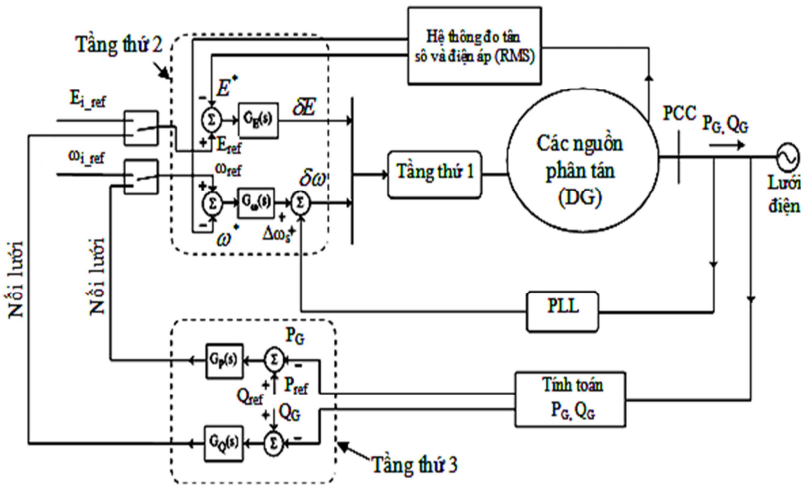
Trong đó:

$q_{H_2}^{req}$: 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 oxi. Từ các biểu thức đã phân tích ở trên, mô hình pin nhiên liệu xây dựng trên Matlab/simulink, như hình 8.

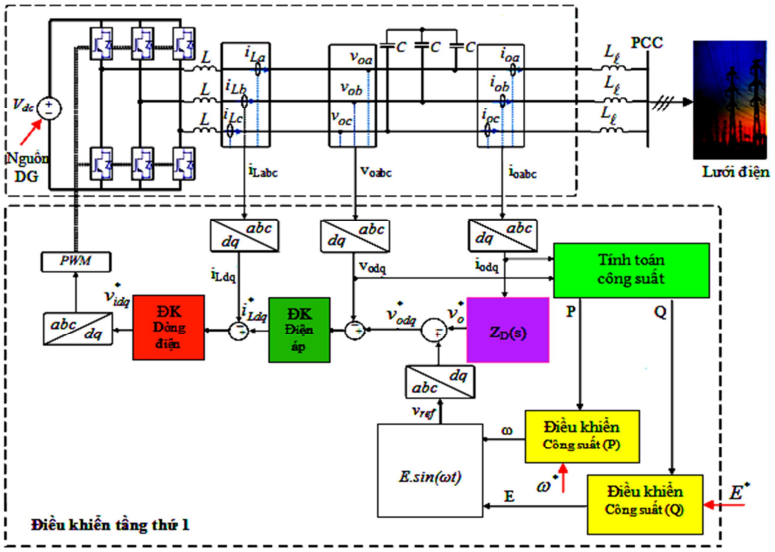
3. XÂY DỰNG CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN PHÂN TẦNG

Cấu trúc điều khiển phân tầng (Hierarchical Control) theo [12], 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 các nguồn phân tán theo cấu trúc phân tầng, như hình 9 và 10.



Hình 9. Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo cấu trúc phân tầng



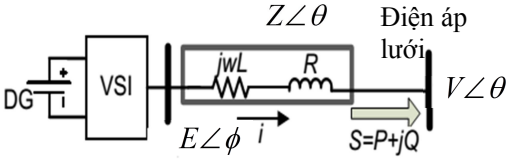
Hình 10. Sơ đồ cấu trúc điều khiển tầng thứ 1

4. ĐIỀU KHIỂN CHO CÁC TẦNG

4.1. Điều khiển tầng thứ 1

4.1.1. 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 [13], sơ đồ mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu, như hình 11. Ở đây: i và $E\angle\phi$: dòng điện và điện áp ra của bộ nghịch lưu; $V\angle\theta$: điện áp lưới và $Z\angle\theta$: trở kháng của đường dây và bộ nghịch lưu.



Hình 11. Sơ đồ mạch điện tương đương của bộ nghịch lưu

Từ sơ đồ hình 11, phương trình cho công suất được tính như sau:

$$S = V.I^* = \frac{V.E\angle\theta - \phi}{Z} - \frac{V^2\angle\theta}{Z} \qquad (23)$$

Từ biểu thức (23) công suất tác dụng và công suất phản kháng được tính như sau:

$$\begin{cases} P = \dfrac{V.E}{Z}\cos(\theta-\phi) - \dfrac{V^2}{Z}\cos\theta \\ Q = \dfrac{V.E}{Z}\sin(\theta-\phi) - \dfrac{V^2}{Z}\sin\theta \end{cases} \qquad (24)$$

Giả sử trở kháng trên đường dây $Z\angle\theta$ là thuần cảm thì $\theta = 90^0$, biểu thức (24) được viết lại như sau:

$$\begin{cases} P = \dfrac{V.E}{Z}\sin\phi \\ Q = \dfrac{V.E\cos\phi - V^2}{Z} \end{cases} \qquad (25)$$

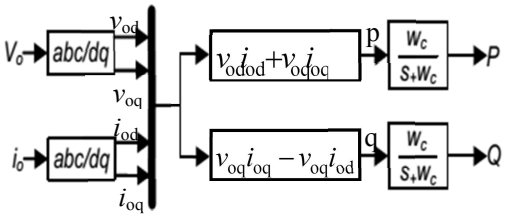
Nếu sự khác biệt giữa điện áp ra của bộ nghịch lưu với điện áp lưới không đủ lớn thì $\sin\phi \approx \phi$ và $\cos\phi \approx 1$, biểu thức (25) viết lại là:

$$\begin{cases} P = \dfrac{V.E}{Z}\phi \\ Q = \dfrac{V.E - V^2}{Z} \end{cases} \qquad (26)$$

biểu thức (26) 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:

$$\begin{cases} P = \dfrac{\omega_c}{s+\omega_c}(v_{od}i_{od} + v_{oq}i_{oq}) \\ Q = \dfrac{\omega_c}{s+\omega_c}(v_{oq}i_{od} - v_{od}i_{oq}) \end{cases} \qquad (27)$$

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 12. Mô hình tính toán công suất tác dụng và công suất phản kháng kết hợp với mạch lọc thông thấp.

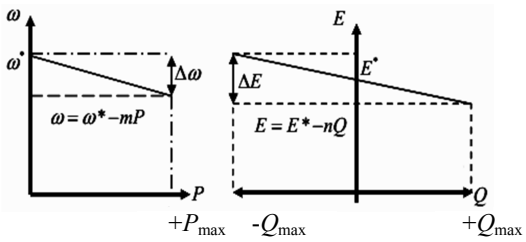


Hình 12. Mô hình tính toán công suất P,Q

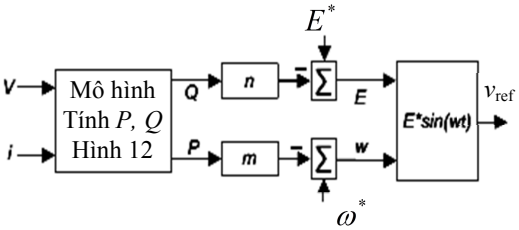
Tần số và điện áp ra theo [14], điều khiển sử dụng phương pháp DCM được tính như sau:

$$\begin{cases} \omega = \omega^* - m.P \\ E = E^* - n.Q \end{cases} \quad (28)$$

Trong đó: ω^*, E^*: các giá trị hằng số của tần số và điện áp từ hệ thống đo tần số và điện áp (RMS); $m = \Delta\omega / P_{max}$, $n = \Delta E / 2Q_{max}$: hệ số của tần số và biên độ điện áp khi điều khiển theo phương pháp điều khiển DCM, như hình 13.



Hình 13. Điều khiển P,Q theo độ trượt của tần số và điện áp



Hình 14. Mô hình điều khiển công suất P,Q theo phương pháp DCM

Từ biểu thức (27) và (28) xây dựng sơ đồ cấu trúc điều khiển công suất *P, Q* theo phương pháp DCM như hình 14.

4.1.2. Điều khiển điện áp và dòng điện

Theo [15], 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

$$\begin{cases} i_{Ld}^* = i_{od} - \omega C v_{oq} + (v_{od}^* - v_{od})(k_{vp} + k_{vi}/s) \\ i_{Lq}^* = i_{oq} + \omega C v_{od} + (v_{oq}^* - v_{oq})(k_{vp} + k_{vi}/s) \end{cases} \quad (29)$$

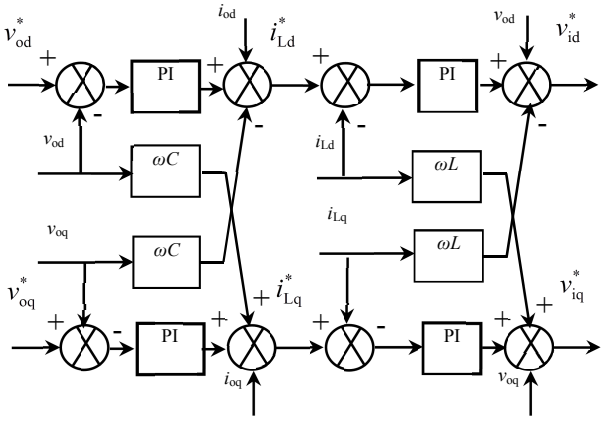
Trong đó: i_{Ld}^*, i_{Lq}^*: dòng điện của i_{Ldq}^* ở hệ trục tọa độ dp; v_{od}^*, v_{oq}^*: điện áp của v_{odq}^* ở hệ trục tọa độ dp; ω: tần số góc; k_{vp}, k_{vi}: các thông số của bộ điều khiển; s: toán tử Laplace; C: điện dung mạch lọc.

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

$$\begin{cases} v_{id}^* = v_{od} - \omega L i_{Lq} + (i_{Ld}^* - i_{Ld})(k_{ip} + k_{ii}/s) \\ v_{iq}^* = v_{oq} + \omega L i_{Ld} + (i_{Lq}^* - i_{Lq})(k_{ip} + k_{ii}/s) \end{cases} \quad (30)$$

Trong đó: v_{id}^*, v_{iq}^*: điện áp của v_{idq}^* ở hệ trục tọa độ dp; i_{Ld}, i_{Lq}: 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 15.

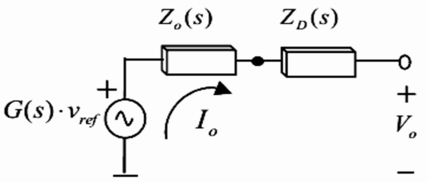


Hình 15. Điều khiển mạch vòng của điện áp và dòng điện

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

Trong cấu trúc điều khiển tầng thứ 1, sử dụng phương pháp điều khiển DCM. Đối với các nguồn DG có công suất lớn, theo [16], 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:

$$v^*_o = v_{ref} - Z_D(s).i_o \quad (31)$$



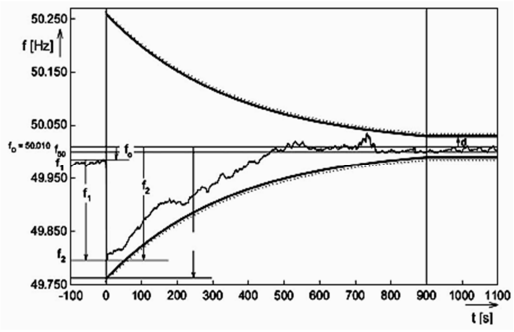
Hình 16. Sơ đồ điện áp đầu ra của mạch trở kháng

4.2. Điều khiển tầng thứ 2

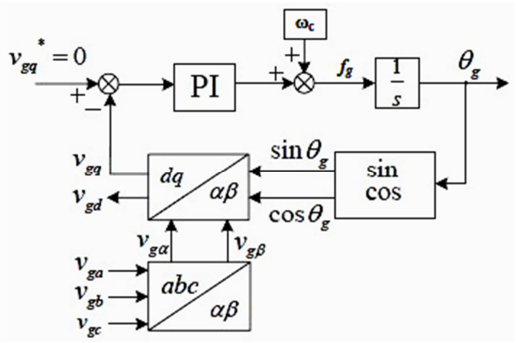
Theo [17], Trong tầng điều khiển thứ 1 để điều khiển tần số và điện áp thông qua điều chỉnh công suất ra của biến tần, nhưng điều này dẫn đến tần số và điện áp sẽ dao động. Để bù lại sự dao động của tần số và điện áp, đồng thời đưa ra giá trị định mức mới, thì phương pháp điều khiển tầng 2 được đưa ra. Trong điều khiển tầng này, các nguồn phát điện phân tán đưa ra tần số ω^* và biên độ điện áp E^*, sau đó tiến hành so sánh với các giá trị tham khảo ω_{ref} và E_{ref}, đưa ra được sai lệch của tần số $\delta\omega$ và sai lệch điện áp δE. Các sai lệch này được đưa đến các bộ điều khiển của DG ở tầng điều khiển thứ 1, như vậy tần số và biên độ điện áp của DG sau khi so sánh sẽ đạt được giá trị ổn định. Sai lệch của tần số và sai lệch của điện áp thể hiện bằng công thức sau:

$$\begin{cases} \delta\omega = k_{p\omega}(\omega_{ref} - \omega^*) + k_{i\omega}\int(\omega_{ref} - \omega^*)dt + \Delta\omega_s \\ \delta E = k_{pE}(E_{ref} - E^*) + k_{iE}\int(E_{ref} - E^*)dt \end{cases} \quad (32)$$

Trong đó: $k_{p\omega}$, $k_{i\omega}$, k_{pE} và k_{iE} : 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. Sai lệch tần số cho phép trong điều kiện lưới điện vận hành bình thường ±0.2Hz. Trong trường hợp lưới điện xảy ra sự cố thì tần số sai lệch cho phép ±0.5Hz. Hình 17 trình bày giới hạn và khả năng phục hồi của tần số.



Hình 17. Giới hạn và khả năng phục hồi của tần số



Hình 18. Đồng bộ lưới PLL

4.3. Điều khiển tầng thứ 3

Theo [18], 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:

$$\begin{cases} \omega_{ref} = k_{pP}(P_{ref} - P_G) + k_{iP}\int (P_{ref} - P_G)dt \\ E_{ref} = k_{pQ}(Q_{ref} - Q_G) + k_{iQ}\int (Q_{ref} - Q_G)dt \end{cases} \quad (33)$$

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.

5. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG TRÊN MATLAB/SIMULINK

5.1. Xây dựng mô hình trên matlab /simulink

Mô hình được xây dựng dựa trên sơ đồ cấu trúc điều khiển các nguồn phân tán như hình 9, mục 3. các nguồn phân tán (DG) bao gồm: DG_1: tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG); DG_2: nguồn pin mặt trời (PV); DG_3: nguồn pin nhiên liệu (FC). Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo cấu trúc phân tầng được xây dựng trên matlab/ simulink như hình 19.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của PMSG

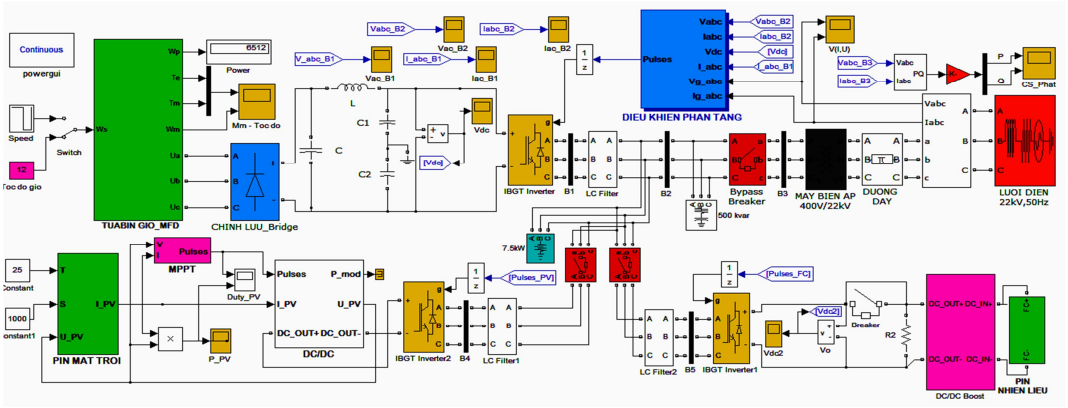
Công suất máy phát	12kW
Số cực (p)	2
Tốc độ robot (ω)	175 rad/s
Điện trở stator (R_5)	0.425 Ω
Điện cảm stator (L_5)	8.4 mH
Momen	40 Nm
Từ thông	0.433 Wb

Bảng 2. Các thông số cơ bản của pin nhiên liệu

Hằng số Faraday (F)	96484600 (C/kmol)
Hằng số thời gian của hydro (τ_{H_2})	337 (s)
Hằng số phân tử van hydro (τ_{H_2})	$4.22x10^{-5}$ [kmol/(atm.s)]
Hằng số mô hình (K_r)	$1.8499x10^{-6}$ [kmol/(s.A)]
Số lượng pin nhiên liệu trong ngăn xếp (No)	72
Nội trở của pin nhiên liệu (R^{int})	0.00303 (Ω)
Nhiệt độ tuyệt đối (T)	343 (K)
Hằng số khí lý tưởng (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)

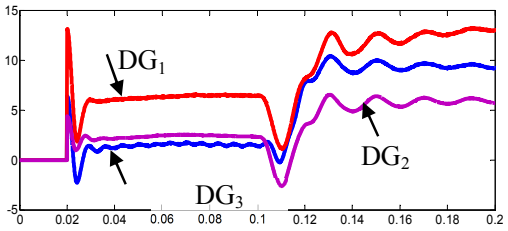
Bảng 3. Các thông số cơ bản của pin mặt trời

Công suất 1 tấm pin mặt trời (P_{max})	260 W
Điện áp (U_{max})	35 V
Dòng điện (I_{max})	10 A
Dòng ngắn mạch ở nhiệt độ 25°C (I_{SC})	10.75 A
Điện áp hở mạch (U_{OC})	40 V

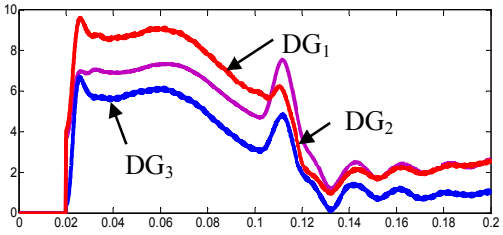


Hình 19. Hệ thống điều khiển các nguồn phân tán theo cấu trúc phân tầng

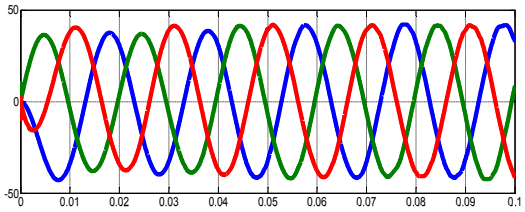
5.2. Kết quả mô phỏng



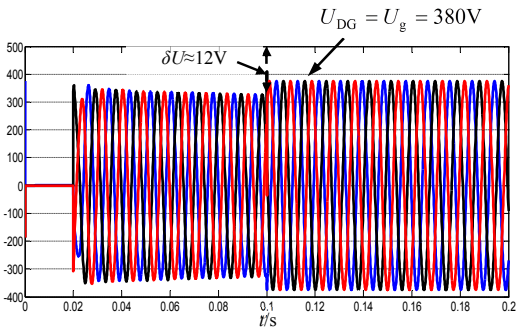
Hình 20. Công suất tác dụng của các nguồn phân tán (kW)



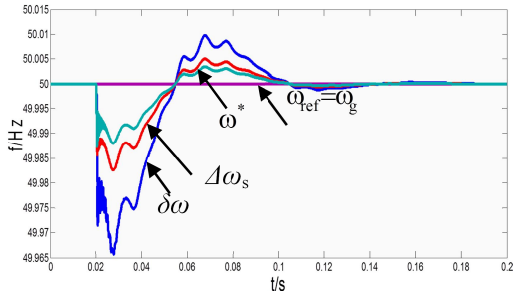
Hình 21. Công suất phản kháng của các nguồn phân tán (kVar)



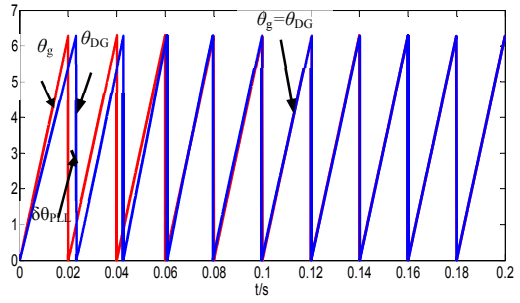
Hình 22. Dòng điện ngõ ra I_{abc} (A)



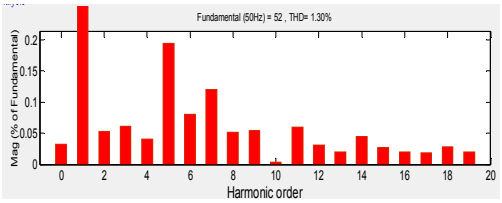
Hình 23. Điện áp ngõ ra U_{abc} (V)



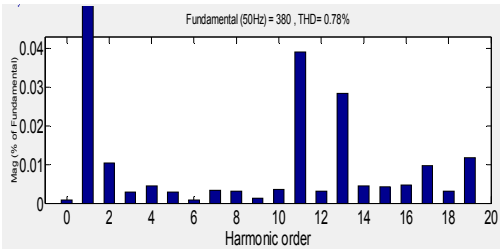
Hình 24. Đáp ứng của tần số



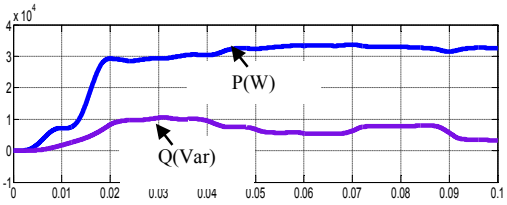
Hình 25. Đáp ứng góc điện áp



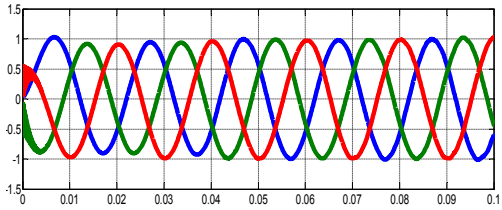
Hình 26. Sóng hài dòng điện



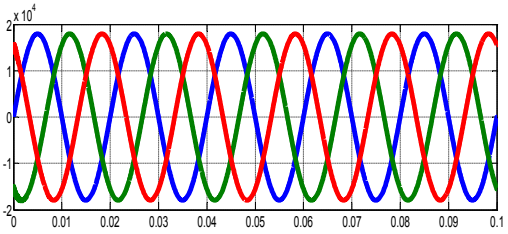
Hình 27. Sóng hài điện áp



Hình 28. Công suất nối lưới



Hình 29. Dòng điện nối lưới I_{abc} (p.u)



Hình 30. Điện áp nối lưới U_{abc} (V)

Nhận xét: Qua kết quả mô phỏng, ta thấy tại thời điểm t = 0.02 s đóng tải thực hiện nối lưới, công suất tác dụng của các DG lần lượt là: DG_1 = 6 kW, DG_2 = 3 kW, DG_3 = 2 kW. Công suất phản kháng của các DG lần lượt là: DG_1 = 9 kVar, DG_2 = 7 kVar, DG_3 = 5 kVar điều này thể hiện trên hình 19 và 20. Điện áp ngõ ra thể hiện hình 22, điện áp ra sai lệch so với điện áp lưới (U = 380 V) là $\delta U = 12$ V. Đồng thời tần số của các DG thể hiện trên hình 24. Dựa theo [19] tiêu chuẩn IEEE 1547, đối với các DG có dung lượng (0∽500 kVA) khi thực hiện nối lưới thì sai lệch tần số cho phép ±0.3Hz, sai lệch điện áp ±10% và sai lệch góc pha điện áp là 20^o. Góc pha điện áp thể hiện trên hình 24. Như vậy dựa theo tiêu chuẩn IEEE 1547 khi các DG thực hiện nối lưới, các sai lệch điều nằm trong phạm vi cho phép, thỏa mãn tiêu chuẩn. Tại thời điểm t = 0.1 s, công suất của các DG thay đổi, lúc này công suất tác dụng DG_1 = 12 kW, DG_2 = 10 kW, DG_3 = 5 kW, công suất phản kháng DG_1 = 2 kVar, DG_2 = 2 kVar, DG_3 = 1 kVar, điều này thể hiện trên hình 20 và 21. Lúc này điện áp ra của các DG bằng điện áp lưới $U_{DG} = U_g$= 380 V, tần số các DG bằng tần số lưới và bằng 50Hz, góc điện áp của các DG bằng góc điện áp của lưới, thể hiện hình 23, 24 và 25. Ngoài ra đặc tính sóng hài của điện áp và sóng hài của dòng điện (THD < 5%), điều này thể hiện hình 26 và 27. Như vậy qua các kết quả mô phỏng trên, có thể thấy rằng, các sai lệch tần số và điện áp, góc pha không vượt quá giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn IEEE 1547, nghĩa là thõa mản theo tiêu chuẩn, hệ thống nối lưới ở trạng thái làm việc ổn định, thể hiện hình 28, 29 và 30.

5. KẾT LUẬN

Thông qua kết quả mô phỏng bài báo đã giải quyết được những vấn đề sau: Các nguồn phát điện phân tán khi kết nối lưới điện sử dụng phương pháp điều khiển theo độ dốc thông qua điều chỉnh của biến tần, công suất của các nguồn phân tán được phân phối cân bằng và tối ưu. Khi phụ tải thay đổi thì tần số và biên độ điện áp , góc pha trong hệ thống nối lưới luôn luôn ổn định, các sai lệch tần số, điện áp, góc pha và sóng hài điều nằm trong phạm vi cho phép và thõa mản theo tiêu chuẩn IEEE 1547. Điều khiển các nguồn phân tán theo cấu trúc phân tầng đã phát huy đối đa công suất phát ra của hệ thống, bất 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 400 V/22 kV 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 cấu trúc 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, 2013, Công nghệ điều khiển nối lưới cho lưới điện nhỏ, http://nangluongvietnam.vn

[2] Lê Kim Anh, Võ Như Tiến, Xin Ai, 2013, 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).

[3] Đinh Đăng Định, Lê Kim Anh, Nguyễn Văn Tiếm, 2014, Ứng dụng cấu trúc phân tầng trong điều khiển nối lưới cho tuabin gió sử dụng máy phát điện loại PMSG, Kỷ yếu hội nghị khoa học lần 3, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh, 78-85.

[4] Lê Kim Anh, 2014, Nghiên cứu mô hình điều khiển phân tầng và ứng dụng cho các nguồn phát có công suất nhỏ, Tạp chí Kinh tế Kỹ thuật, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Bình Dương, số 7 (T9), 112-119.

[5] Đặng Ngọc Huy, Lê Kim Anh,2012, Nghiên cứu mô hình tuabin gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu, Tạp san Khoa học và Công nghệ, Trường Đại Học công nghiệp Quảng Ninh.

[6] Lê Kim Anh, 2013, Điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp nguồn pin nhiên liệu, Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Trà Vinh, số 9(T6),5-9.

[7] Lê Kim Anh, Xin Ai, 2013, Ứng dụng các bộ biến đổi điện tử công suất trong điều kiện nối lưới cho tuabin gió và nguồn pin mặt trời, Tạp chí Kinh tế Kỹ thuật, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Bình Dương, số 3 (T9), 57-68.

[8] Lê Kim Anh, Võ Như Tiến, Đặng Ngọc Huy, 2012, Mô hình điều khiển nối lưới cho nguồn điện mặt trời, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Đà Nẵng, số 11(60), quyển 2.

[9] Lê Kim Anh, 2012, Xây dựng mô hình điều khiển nối lưới sử dụng nguồn pin nhiên liệu, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 12.

[10] Lê Kim Anh, Đặng Ngọc Huy, Xin Ai, 2013, Hệ thống điều khiển nối lưới cho tuabin gió kết hợp nguồn pin mặt trời và pin nhiên liệu, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Đà Nẵng, số 10(71).

[11] 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, Trường Đại học Cần Thơ, số (28), 1-8.

[12] Chaoyong Hou, Xuehao Hu, Dong Hui, 2010, Hierarchical Control Techniques Applied in Microgrid, IEEE.

[13] Xiaochun Mou, Xue Zhao, Xin Zhao, 2012, Study on the Control Strategies of Low Voltage Microgrid, International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems.

[14] K. De Brabandere, B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen and R. Belmans, 2004, A Voltage and Frequency Droop Control Method for Parallel Inverters, IEEE.

[15] M. Kohansal, G. B. Gharehpetian, M. Abedi and M. J. Sanjari, 2012, 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.

[16] Junping He, Ning Wu, Liang Liang,2013, Dynamic Virtual Resistance Droop Control Scheme for Distributed Generation System, TELKOMNIKA, Vol.11, No.3, March.

[17] Alireza Raghami, Mohammad Taghi Ameli, Mohsen Hamzeh, 2013, Primary and Secondary Frequency Control in an Autonomous Microgrid Supported by a Load-Shedding Strategy, IEEE.

[18] Josep M. Guerrero, Juan C. Vásquez, Remus Teodorescu,2009, Hierarchical Control of Droop-Controlled DC and AC Microgrids - A General Approach Towards Standardization, IEEE.

[19] IEEE 1547, 2008, Application guide for IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power system.

Giới thiệu tác giả:

Tác giả Lê Kim Anh sinh năm 1979, nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành Tự động hóa trong hệ thống điện. Tác giả hiện đang công tác tại Phòng thanh tra và Kiểm định chất lượng giáo dục - Trường Cao đẳng Công nghiệp Tuy Hòa - tỉnh Phú Yên. Lĩnh vực nghiên cứu chính: các nguồn phát điện phân tán, năng lượng tái tạo, nhà máy điện ảo, chất lượng điện năng.