

MÔ HÌNH CÁC PHẦN TỬ TRONG LƯỚI ĐIỆN NHỎ

MODELING OF THE MICROGRID COMPONENTS

Lưu Ngọc An

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; lnan@dut.udn.vn

Tóm tắt - Trong bài báo này, mô hình các phần tử trong lưới điện nhỏ bao gồm hệ thống pin mặt trời (Photovoltaic-PV), bộ dự trữ (battery energy storage system-BESS), diesel được thể hiện. Các phần tử được mô hình hóa với mục đích nhằm nghiên cứu các vấn đề về điều khiển trong lưới điện nhỏ (microgrid-MG). Trong đó, PV được mô hình hóa như nguồn dòng với điều khiển PQ; trong khi đó bộ BESS được kết nối với hệ thống qua bộ chuyển đổi (inverter) được điều khiển theo kiểu V/f, và mô hình máy phát diesel với bộ điều khiển của hệ thống điều tốc và bộ điều chỉnh điện áp. Các mô hình của các phần tử được mô hình hóa bằng phần mềm Matlab-Simulink. Kết quả mô phỏng các quá trình vận hành điều khiển trong các hệ thống để chứng minh tính đúng đắn của mô hình các phần tử đã được xây dựng.

Từ khóa - hệ thống năng lượng mặt trời; bộ dự trữ năng lượng; diesel; điều khiển PQ; lưới điện nhỏ.

Abstract - In this paper, the modelization of components of a microgrid that includes Photovoltaic system, battery energy storage system (BESS), diesel is taken into account for analyzing some control problems for microgrid. Particularly, PV system is modeled as a current source with PQ control, while BESS is connected with system via inverter, which is controlled by V/f controller, and modelling of diesel with the controller of speed governing system and voltage regulator. As a result, these models are simulated by Matlab/Simulink through the operations and control of a system to evaluate the accuracy as well as the effectiveness of the proposed component models of a microgrid.

Key words - PV system; battery energy storage system; diesel; PQ control; microgrid.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, với sự nóng lên của khí hậu toàn cầu gây ra bởi hiệu ứng nhà kính cùng với sản lượng của nhiên liệu hóa thạch ngày càng giảm và giá thành ngày càng tăng, việc sử dụng năng lượng thay thế, tái tạo là một giải pháp đã và đang được sử dụng rộng rãi ở các nước trên thế giới. Do vậy, việc tích hợp các nguồn này vào lưới điện truyền thống là một vấn đề đang được quan tâm nghiên cứu và ứng dụng. Hơn thế nữa, với việc lưới điện được tích hợp các nguồn tái tạo sẽ làm lưới điện trở nên thông minh (smart grid), tức là điện năng lúc này sẽ được truyền từ 2 phía, có nghĩa là điện năng từ các nguồn tái tạo có thể cung cấp cho tải và có thể bán trở lại cho lưới điện hệ thống. Từ đây, một khái niệm mới gọi là lưới điện nhỏ (Microgrid) ra đời. Microgrid được định nghĩa là một lưới điện tích hợp các nguồn năng lượng phân tán (gió, mặt trời, ...), bộ dự trữ và tải, nó có thể hoạt động kết nối với lưới điện hoặc trong chế độ độc lập [1]. Tuy nhiên, vì trong lưới điện nhỏ gồm các nguồn tái tạo không ổn định (phụ thuộc vào thời tiết khí hậu), do vậy những vấn đề về điều khiển vận hành và xây dựng chiến lược quản lý tối ưu năng lượng cần được nghiên cứu và giải quyết.

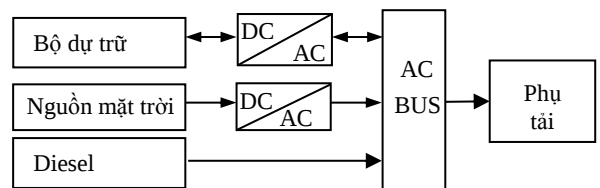
Để nghiên cứu và xây dựng chiến lược điều khiển, kết nối và vận hành các hệ thống Microgrid thì vấn đề mô hình hóa các phần tử trong lưới điện này đã được nghiên cứu trong thời gian gần đây. Trong đó, 2 vấn đề đáng quan tâm là mô hình hóa các phần tử với mục đích điều khiển và mục đích thiết kế. Để tính toán thiết kế tối ưu một lưới điện nhỏ, các mô hình phần tử của nó có thể được mô tả theo [2]-[4]. Trong đó, các phần tử được mô tả theo các hàm toán học cùng với các ràng buộc vật lý của nó. Từ đó, sẽ xây dựng các thuật toán tối ưu dựa trên những yếu tố đó. Trong [5]-[7], mô hình điều khiển các phần tử được đưa ra để xây dựng các phương pháp điều khiển cho bộ chuyển đổi DC/AC như: điều khiển PI [5], điều khiển lặp [6]; điều khiển H_∞ trong [7].

Trong bài báo này, mô hình các phần tử trong microgrid gồm hệ thống năng lượng mặt trời kết hợp với diesel và bộ

dự trữ được giới thiệu. Trong đó, tác giả sử dụng mô hình điều khiển PQ trong mô phỏng hệ thống mặt trời và mô hình VSI cho phần tử diesel và BESS. Để kiểm chứng tính chính xác của mô hình các phần tử, phần mềm Matlab/Simulink được sử dụng để mô phỏng hệ thống gồm các phần tử đã được mô hình hóa trong các trường hợp làm việc khác nhau của một lưới điện nhỏ.

2. Mô hình các phần tử trong lưới điện nhỏ

Một lưới điện nhỏ được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Lưới điện nhỏ bao gồm PV-Diesel-BESS

2.1. Nguồn mặt trời (PV)

Một hệ thống PV được mô hình như một nguồn dòng mà có thể điều khiển công suất. Để đơn giản, ta có thể mô hình PV là nguồn dòng với bộ điều khiển P/Q. Mục đích của việc điều khiển này là luôn giữ cho công suất tác dụng và phản kháng đầu không đổi theo giá trị cho trước. Mô hình của PV được thể hiện trong Hình 2

Công suất tác dụng và phản kháng tính toán P_{tt} , Q_{tt}

Giá trị công suất P, Q được tính toán từ điện áp giữa 2 pha và dòng điện đo được tức thời.

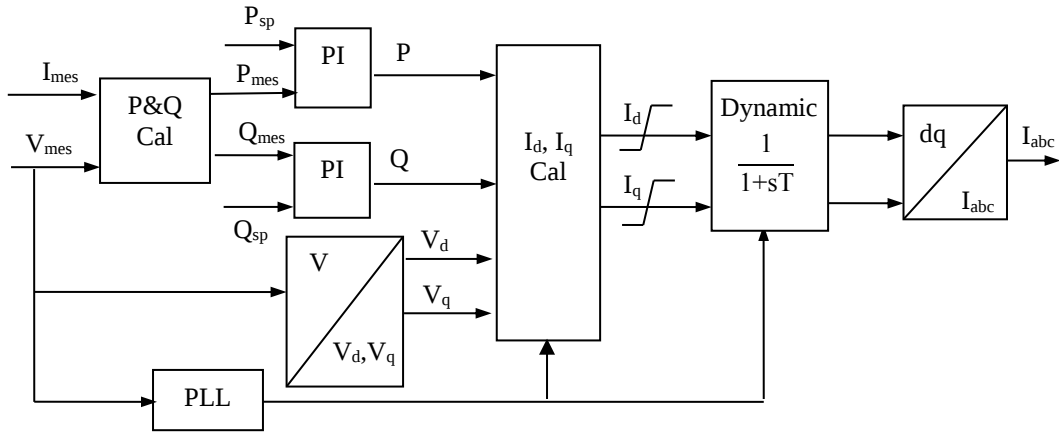
$$P_{tt} = V_{bc1c} \cdot V_{ab1a} \quad (1)$$

$$Q_{tt} = \frac{V_{bc} (2i_a + i_b) + V_{ca} (2i_b + i_a)}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Hoặc tính theo thành phần dọc, ngang trục như sau:

$$P_{mes} = \frac{3}{2} (V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q) \quad (3)$$

$$Q_{mes} = -\frac{3}{2} (V_q \cdot I_d - V_d \cdot I_q) \quad (4)$$



Hình 2. Mô hình điều khiển của hệ thống mặt trời

- Điện áp V_d, V_q

Thành phần điện áp dọc và ngang trục được tính như sau:

$$V_d = \frac{V_c - V_b}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

$$V_q = \frac{2}{3} \left(V_a - \frac{1}{2} V_b - \frac{1}{2} V_c \right) \quad (6)$$

- Dòng Điện I_d, I_q

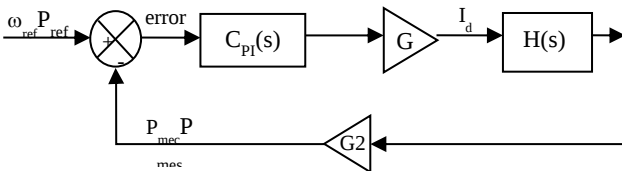
Thành phần dòng điện dọc và ngang trục được tính như sau:

$$I_d = \frac{2}{3} \frac{(P \cdot V_d + Q \cdot V_q)}{(V_d^2 + V_q^2)} \quad (7)$$

$$I_q = \frac{2}{3} \frac{(P \cdot V_q - Q \cdot V_d)}{(V_d^2 + V_q^2)} \quad (8)$$

- Khối PI

Hai khối PI đóng vai trò điều chỉnh sao cho công suất tác dụng và phản kháng theo giá trị định sẵn. Để tính toán giá trị k_i and k_p , ta có vòng điều khiển công suất tác dụng như Hình 3.



Hình 3. Vòng điều khiển của điều khiển công suất tác dụng

Hàm truyền G_1 được tính như sau:

$$G_1 = \frac{2}{3 \cdot V_d} \quad (9)$$

Hàm truyền G_2 được xác định như sau:

$$G_2 = \frac{3}{2} \cdot V_d \cdot I_d \quad (10)$$

Các công thức (10) và (11) được viết lại từ (8), (9), tương ứng với $V_q=0, V_d=\text{constant}$.

Hàm truyền PI thông thường được biểu diễn:

$$C_{PI}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (11)$$

Hàm truyền đạt $H(s)$ được cho bởi như sau:

$$H(s) = \frac{1}{1 + \tau \cdot s} \quad (12)$$

Hàm truyền của vòng điều khiển trong hình là một

truyền bậc 2 được xác định như sau :

$$K(s) = \frac{N(s)}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot s + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2} = \frac{C_{PI}(s) \cdot G_1 \cdot H(s)}{1 + C_{PI}(s) \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot H(s)} \\ = \frac{G_1 \cdot (k_p \cdot s + k_i)}{1 + \frac{G_1 \cdot G_2 \cdot k_p + 1}{k_i \cdot G_1 \cdot G_2} s + \frac{\tau}{k_i \cdot G_1 \cdot G_2} s^2} \quad (13)$$

Do đó

$$\frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{G_1 \cdot G_2 \cdot k_p + 1}{k_i \cdot G_1 \cdot G_2} \quad (14)$$

và

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{\tau}{k_i \cdot G_1 \cdot G_2} \quad (15)$$

Chúng ta có $\omega_n = \frac{1}{\tau}$ và $\xi < 1$, các hệ số k_i, k_p được xác định như sau:

$$k_i = \omega_n; \quad k_p = 2 \cdot \xi - 1$$

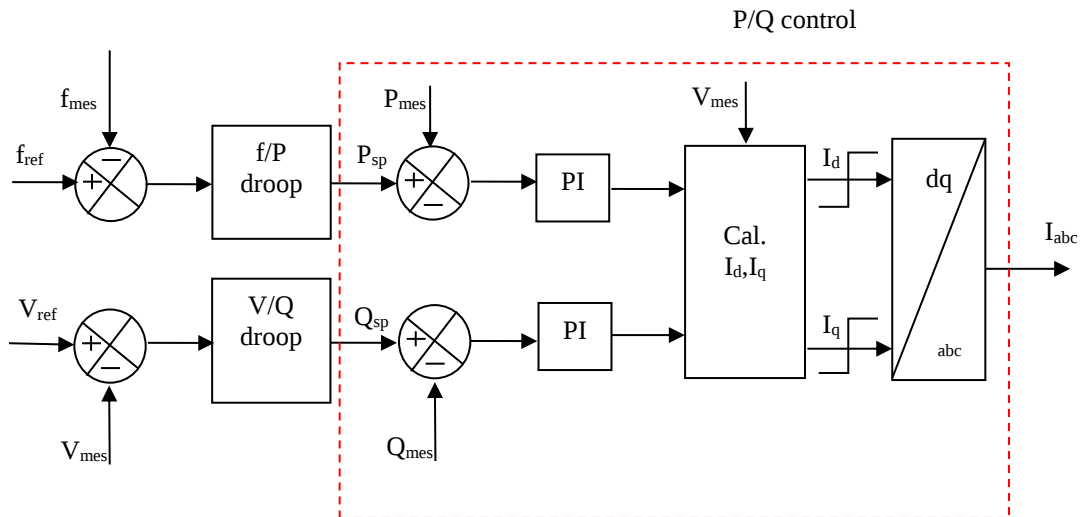
Tương tự với vòng điều khiển công suất phản kháng chúng ta cũng xác định được các hệ số điều khiển k_i, k_p tương ứng.

2.2. Bộ dự trữ (BESS)

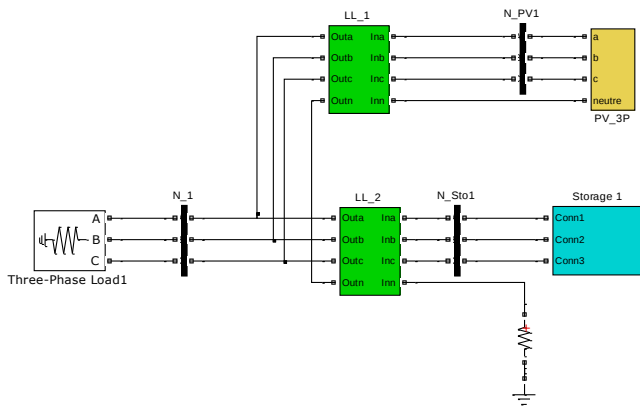
Trong phần này, tác giả chỉ đề cập đến giao diện của bộ dự trữ với hệ thống. BESS được kết nối với lưới thông qua bộ giao diện điện tử công suất mà nó có thể trao đổi công suất qua lại trực tiếp với hệ thống. Trong phần này bộ chuyển đổi inverter được điều khiển theo kiểu V/f, tức là điện áp và tần số phải được điều chỉnh theo giá trị định trước P_{sp}, Q_{sp} . Bộ điều khiển V/f của bộ chuyển đổi được thể hiện như trong Hình 4.

Khối điều khiển bộ inverter thực hiện các đặc tính droop được xác định bởi các hằng số droop. Giá trị P_{sp} và Q_{sp} được cho là đầu ra của khối điều khiển droop, và đáp ứng với sai lệch điện áp và tần số. Điều này đảm bảo rằng tần số và điện áp vẫn gần với giá trị đã định trước. Các P_{sp}, Q_{sp} được cho là đầu vào của các điều khiển P / Q được trình bày ở phần trên.

Để kiểm chứng tính đúng đắn của các mô hình đã trình bày ở trên, ta xét ví dụ một hệ thống độc lập đơn giản như Hình 5.



Hình 4. Mô hình BESS với bộ giao diện điện tử công suất – điều khiển V/f



Hình 5. Mô hình hệ thống PV - dự trữ trong Matlab/Simulink

- Hệ thống bao gồm:

* PV ba pha tại (nút N_PV1):

$$P_{PV_3P} (\max) = 20 \text{ kW}$$

* BESS (nút N_Sto1):

$$\text{Sto1: } P_{\max} = 20 \text{ kW}$$

* Phụ tải:

$$\text{Tải ba pha (bus N_1): } P_{\text{Load}} = 20 \text{ kW}$$

- **Mô phỏng trong 2 trường hợp:**

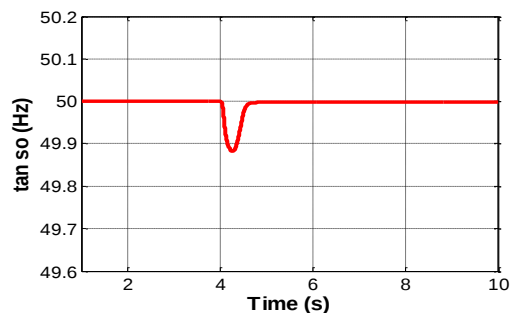
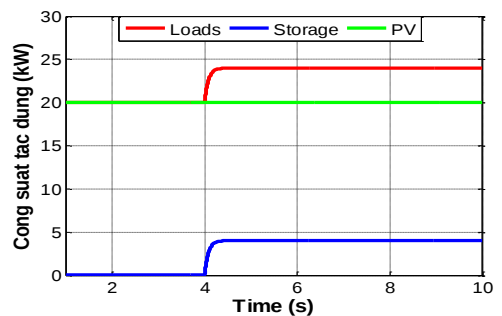
* Trường hợp 1: Thay đổi phụ tải.

* Trường hợp 2: Thay đổi công suất PV.

Trường hợp 1: Tăng phụ tải

Trong trường hợp này, giả sử ban đầu công suất phát ra của PV bằng với công suất phụ tải là 20 kW. Tại thời điểm $t = 4\text{s}$ công suất phụ tải tăng từ 20 kW lên $P_{\text{load}} = 24 \text{ kW}$ (tăng 20% công suất phụ tải).

Hình 6 có thể thấy, bộ dự trữ (BESS) với giao diện điều khiển V/f đóng vai trò là điều tần. Nó xả công suất bằng (4 kW) để đáp ứng cho phụ tải khi tải tăng 20%. Tần số của hệ thống cũng được thể hiện trên Hình 6. Tần số hệ thống sụt xuống ngay khi tăng tải. Sau đó, tần số trở về lại giá trị ban đầu (quá trình điều chỉnh của BESS).



Hình 6. Công suất tác dụng và tần số trong trường hợp 1

Trường hợp 2: Thay đổi công suất PV

Trong trường hợp này, giả sử rằng công suất phát của hệ thống PV giảm từ 100% xuống 30% và sau đó nó tăng từ 30% đến 80%.

* Thông số ban đầu:

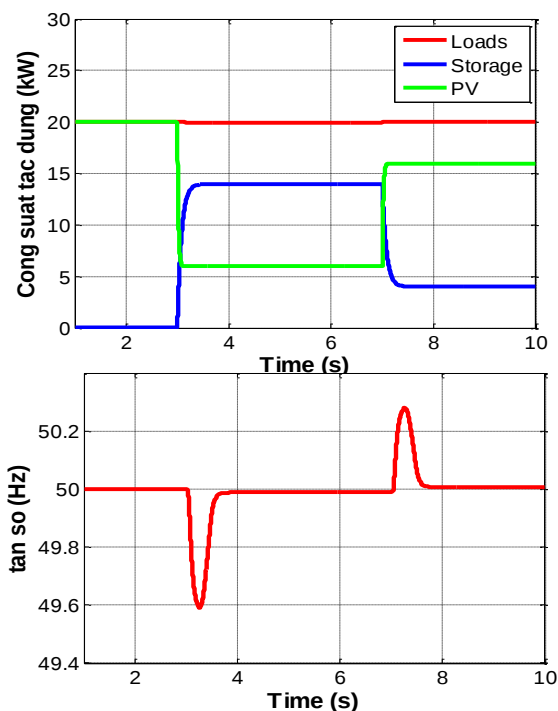
- Công suất ban đầu BESS bằng 0 (nạp hoặc xả).

* Giả sử rằng:

- $T = 3\text{s}$: Công suất PV giảm từ 100% xuống 30%.

- $T = 7\text{s}$: Công suất PV tăng lên lại 80%.

Sự thay đổi công suất tác dụng của hệ thống được thể hiện trong Hình 7. Sau khi công suất PV giảm từ 100% xuống 30%, các BESS xả để đảm bảo cân bằng giữa công suất phát và tải. Sau đó, tại thời điểm $t = 7\text{s}$, công suất PV tăng lên 80%, nó dẫn đến tăng tần số. Để ngăn chặn sự gia tăng này, các BESS phải giảm lượng công suất xả.

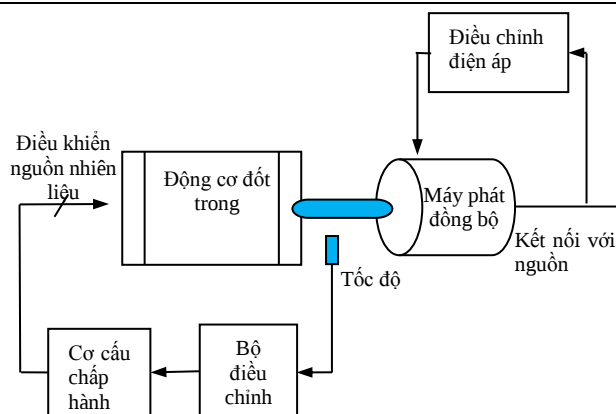


Hình 7. Sự thay đổi của công suất tác dụng và tần số trong trường hợp 2

Như có thể thấy trong Hình 7, tần số giảm sau khi công suất phát của PV giảm. Sau đó, BESS điều chỉnh để mang lại tần số trở lại giá trị danh định (50 Hz). Tiếp theo, khi công suất PV tăng trở lại từ 30% đến 80%, tần số lên tới giá trị mới cao hơn so với giá trị danh định. Cuối cùng, BESS thay đổi công suất đầu ra để khôi phục lại tần số trở về với giá trị 50 Hz.

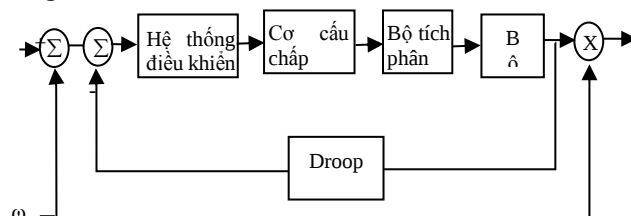
2.3. Mô hình diesel

Một máy phát điện diesel (DER) bao gồm một động cơ đốt trong (IC) cùng với một máy phát điện đồng bộ (SG). Sơ đồ khối của diesel (DG) được hiển thị trong Hình 8.



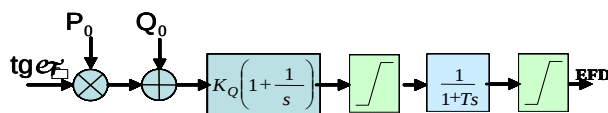
Hình 8. Sơ đồ khối của diesel

Động cơ đốt trong được tích hợp với bộ điều chỉnh tốc độ của trục động cơ bằng cách thay đổi lượng nhiên liệu cung cấp cho động cơ. Một bộ điều khiển PID được sử dụng cho bộ điều khiển tốc độ.



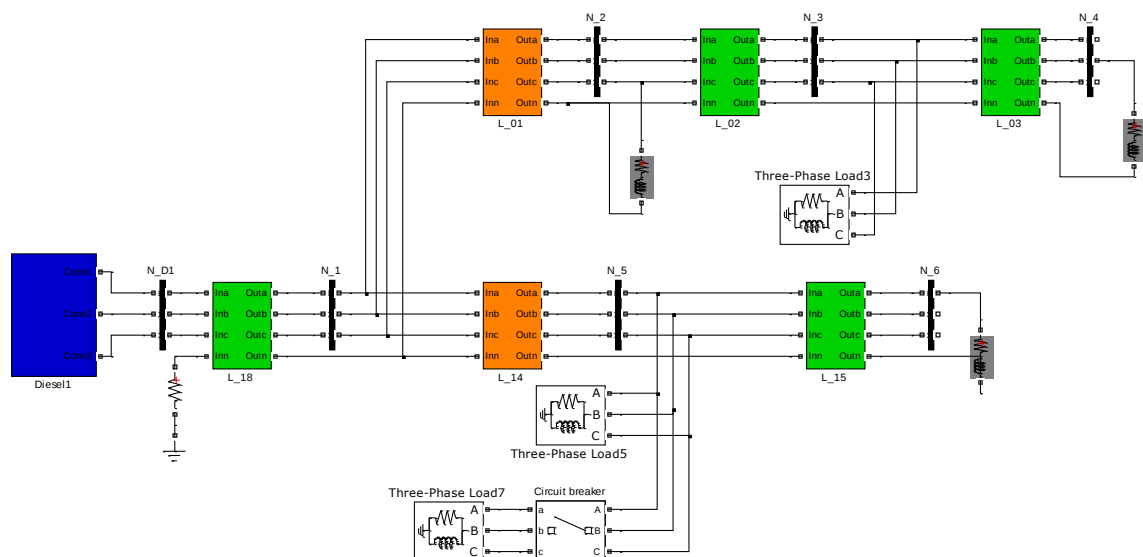
Hình 9. Sơ đồ khối của bộ điều tốc

Động cơ đồng bộ được phối hợp với bộ phận kích từ và bộ điều chỉnh điện áp. Bộ điều chỉnh điện áp nhằm giữ điện áp theo yêu cầu.



Hình 10. Bộ điều chỉnh VAR/PF

Để chứng minh tính đúng đắn của mô hình diesel, chúng ta xét một hệ thống gồm một diesel và 5 tải được thể hiện như trên Hình 11.



Hình 11. Mô hình hệ thống trong MATLAB/Simulink

Hệ thống ban đầu:

* Diesel: 50 kW (công suất đặt).

* Phụ tải :

- Tổng phụ tải: $P = 35 \text{ kW}$; $Q = 7 \text{ kVar}$ gồm:

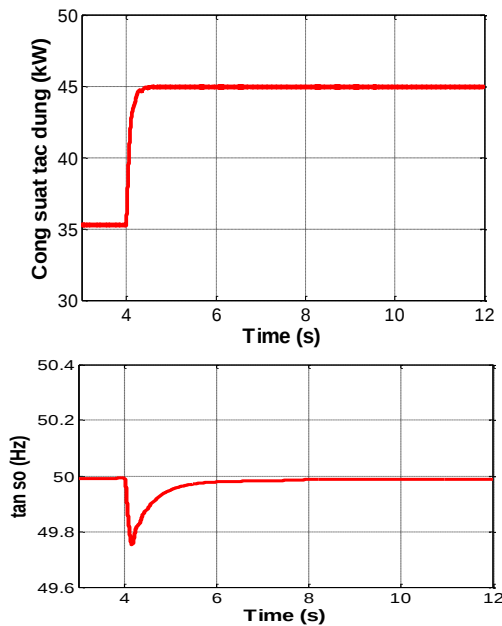
- 3 tải một pha (tại nút 2, 4 và 6).

$$P_2 = P_4 = P_6 = 5 \text{ kW}$$

- 2 tải 3 pha (tại nút 3, 5).

$$P_3 = P_5 = 10 \text{ kW}$$

Tại $t = 4\text{s}$, tải 3 pha (tải 7) ($P_{L7} = 10 \text{ kW}$, $Q_{L7} = 1 \text{ kVar}$) được thêm vào hệ thống.



Hình 12. Sự thay đổi công suất tác dụng của diesel và tần số hệ thống

Từ Hình 12, ta thấy công suất ra của diesel thay đổi theo sự thay đổi của phụ tải. Bộ điều chỉnh của diesel đáp ứng với sự thay đổi để đưa tần số trở về giá trị danh định.

3. Kết luận

Bài báo đã trình bày mô hình của các phần tử trong một lưới điện nhỏ bao gồm hệ thống pin mặt trời, máy phát diesel và bộ dự trữ. Với mỗi mô hình, tác giả xây dựng các khối phần tử trong phần mềm Matlab/Simulink từ đó mô phỏng các quá trình vận hành để đánh giá các mô hình. Từ những kết quả mô phỏng đạt được đã chứng tỏ tính chính xác của các mô hình đã xây dựng.

Trong bài báo tới, tác giả sẽ phân tích an toàn với các điều kiện vận hành khác nhau trong lưới điện nhỏ từ các mô hình đã xây dựng trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hatziaargyriou, N, "Microgrids: Architectures and Control", Wiley-IEEE Press, 2014.
- [2] T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian, "A review of photovoltaic system size optimization techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22 (2013), pp. 454–46.
- [3] J.L. Bernal-Agustín, R. Dufo-López, D.M. Rivas-Ascaso, "Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions", *Renew Energy*, 31 (14) (2006), pp. 2227–2244.
- [4] Luu Ngoc An, *Control and management strategies for a Microgrid*, PhD Thesis, Grenoble University, France, 2014.
- [5] N. Pogaku, M. Prodanovic and T. C. Green, "Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid", in *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 22, no. 2, March. 2007, pp. 613-625.
- [6] G. Weiss, Qing-Chang Zhong, T. C. Green and Jun Liang, "H_∞ repetitive control of DC-AC converters in microgrids", in *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, no. 1, Jan. 2004, pp. 219-230.
- [7] Qing-Chang Zhong, Tomas Hornik, *Control of Power Inverters in Renewable Energy and Smart Grid Integration*, John Wiley & son, 2012.

(BBT nhận bài: 24/03/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 25/04/2017)