

# NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN TÍCH HỢP NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO VÀO LƯỚI HẠ THẾ

## RESEARCH FOR CONTROLLING THE HYBRID RENEWABLE ENERGY CONNECTED TO THE LOW VOLTAGE GRID

Trương Đình Nhơn, Ngô Văn Thuyên, Nguyễn Thị Mi Sa, Hoàng An Quốc  
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 18/2/2021, ngày phản biện đánh giá 9/3/2021, ngày chấp nhận đăng 19/7/2021.

### TÓM TẮT

Trong bài báo này, tác giả trình bày về khả năng điều khiển đáp ứng và mức độ ổn định của hệ thống phát điện tích hợp bao gồm điện gió và điện mặt trời khi hoạt động ở chế độ nối lưới nhằm xác định chế độ làm việc hiệu quả và ổn định nhất cho hệ thống. Hệ thống phát điện tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo cung cấp điện cho phụ tải trong 24 giờ được đề xuất trong nghiên cứu này. Kết quả mô phỏng trong miền thời gian được thực hiện trên công cụ Simulink của phần mềm Matlab. Các kết quả mô phỏng ở chế độ nối lưới với sự thay đổi của phụ tải và các điều kiện đầu vào như bức xạ mặt trời và tốc độ gió xảy ra trong quá trình vận hành cũng được xem xét. Từ đó có thể kết luận rằng, bộ điều khiển Droop đề xuất trong hệ thống phát điện tích hợp năng lượng tái tạo sẽ giúp cho hệ thống hoạt động tốt và ổn định hơn giúp tiết kiệm điện năng tiêu thụ từ lưới điện.

**Từ khóa:** Hệ thống tích hợp; Năng lượng tái tạo; chế độ nối lưới; điều khiển Droop; ổn định.

### ABSTRACT

In this paper, the authors present the responsive control and stability of the integrated power generation system including wind power and solar power when operating in grid-connected mode to determine the most efficient and stable working mode for the system. An integrated renewable energy sources supplying power to the load for 24 hours is proposed in this study. Simulation results in the time-domain are performed on the Simulink tool of Matlab software. Simulation results in grid-connected mode with the changing of load and input conditions such as solar radiation and wind speed occurring during operation are also considered. From the simulation results, it can be concluded that the proposed Droop controller in the the proposed integrated power generation system will support the system operate better and more stable, helping to save power consumption from the grid.

**Keywords:** Hybrid system; renewable energy; grid-connected mode; Droop control; stability.

### 1. GIỚI THIỆU

Việc phát triển các nguồn năng lượng tái tạo luôn được quan tâm để phát triển nhanh trong thời gian gần đây. Vì vậy, những nghiên cứu dựa trên những hệ thống phát điện tích hợp năng tái tạo là rất cần thiết và mang tính thời sự. Các hệ thống phát điện tích hợp được phân ra thành nhiều cấp độ như Pico-grid, Nano-grid, Micro-grid và Mini-grid [1].

Tuy nhiên, trong hầu hết các hệ thống điện tích hợp sử dụng các loại nguồn khác nhau như điện mặt trời sử dụng tế bào quang điện (PV) và điện gió sử dụng máy phát điện nam châm vĩnh cửu (PMSG) thì cần phải có hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS) để đảm bảo được tính liên tục cung cấp điện khi hoạt động ở chế độ độc lập hoặc hòa lưới [2-4].

Các chế độ và cấu hình khác nhau của các hệ thống này được giới thiệu trong [5-7]. Tuy nhiên, hiện nay việc trang bị các hệ thống

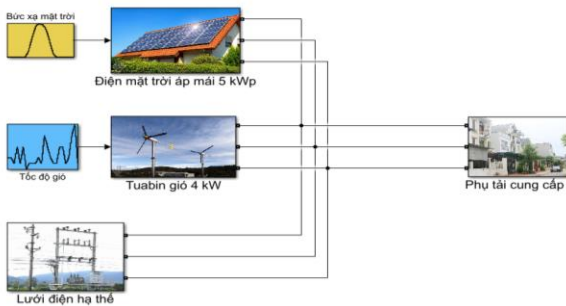
BESS cho hệ thống điện tích hợp vẫn còn nhiều vấn đề cần quan tâm mà đặc biệt là chi phí lắp đặt và vận hành.

Để cắt giảm chi phí và tối ưu hoạt động của hệ thống điện tích hợp sử dụng điện mặt trời và điện gió công suất nhỏ, trong bài báo này, mô hình tích hợp năng lượng tái tạo công suất nhỏ vào lưới hạ thế với bộ điều khiển phân bố công suất Droop được đề xuất và mô hình hóa trên công cụ Simulink của phần mềm Matlab để tiến hành kiểm tra đánh giá khả năng đáp ứng và tính ổn định của hệ thống nghiên cứu khi làm việc ở chế độ nối lưới.

## 2. HỆ THỐNG NGHIÊN CỨU

Hình 1 trình bày sơ đồ nguyên lý hệ thống điện tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo bao gồm máy phát điện gió công suất 4 kW và hệ thống điện mặt trời công suất 5 kWp được kết nối vào hệ thống điện quốc gia thông qua lưới điện hạ thế để cấp cho phụ tải.

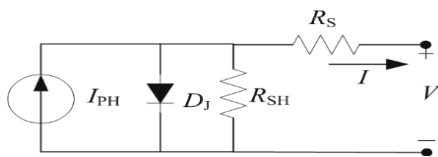
Mô hình toán học của các thành phần này được lần lượt mô tả như sau:



**Hình 1.** Sơ đồ tổng thể của hệ thống điện nghiên cứu

### 2.1 Hệ thống điện mặt trời

Các tấm pin mặt trời được sử dụng chủ yếu hiện nay là loại bán dẫn silic với tiếp xúc p-n. Để thuận tiện trong việc tính toán, thiết kế, đối với loại pin này thì mạch điện tương đương được đưa ra để thay thế pin mặt trời như trong Hình 2 [6-8].



**Hình 2.** Mạch điện thay thế pin mặt trời

Sơ đồ mạch thay thế pin mặt trời gồm: dòng quang điện  $I_{PH}$ , diode  $D_J$ , điện trở dòng rò  $R_{SH}$  và điện trở nối tiếp  $R_S$ , dòng điện ngõ ra  $I$  và điện áp ngõ ra  $V$ .

Phương trình toán học được đưa ra trong mạch để thể hiện mối tương quan giữa  $I$  và  $V$  của pin mặt trời như sau [6]:

$$I = I_{PH} - I_S \left[ e^{\left( \frac{q}{kT_C A} (V + I R_S) \right)} - 1 \right] - \frac{V + I R_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

Trong đó:

$I_S$ : Dòng bão hòa (A)

$q$ : Điện tích electron,  $q = 1.602 \times 10^{-19}$  C

$k$ : Hằng số Boltzmann,  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K

$T_C$ : Nhiệt độ vận hành của pin (K)

$A$ : Hệ số lý tưởng phụ thuộc vào công nghệ chế tạo pin quang điện.

Dòng quang điện  $I_{PH}$  phụ thuộc trực tiếp vào bức xạ mặt trời và nhiệt độ của pin.

$$I_{PH} = [I_{SC} + K_1(T_C - T_{Ref})] \lambda \quad (2)$$

Với:

$I_{SC}$ : Dòng ngắn mạch (A)

$K_1$ : Hệ số dòng điện phụ thuộc vào nhiệt độ

$T_C$ : Nhiệt độ vận hành pin mặt trời (K)

$T_{Ref}$ : Nhiệt độ tiêu chuẩn pin mặt trời (K)

$\lambda$ : Bức xạ mặt trời (W/m<sup>2</sup>)

Dòng bão hòa  $I_S$  là dòng các hạt tải điện không cơ bản được tạo ra do kích thích nhiệt. Khi nhiệt độ của pin mặt trời tăng dòng bão hòa cũng tăng theo hàm mũ.

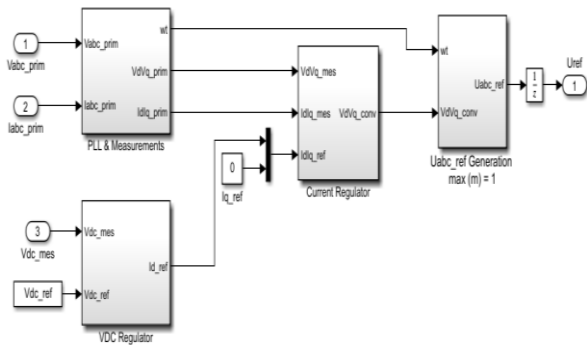
$$I_S = I_{RS} \left( \frac{T_C}{T_{Ref}} \right)^3 e^{\left[ \frac{qE_G}{kA} \left( \frac{1}{T_{Ref}} - \frac{1}{T_C} \right) \right]} \quad (3)$$

Trong đó:

$I_{RS}$ : Dòng điện ngược bão hòa tại nhiệt độ tiêu chuẩn (A)

$G_N$ : Năng lượng lỗ trống của chất bán dẫn

Ngoài ra, bộ nghịch lưu nguồn áp (VSC) với bộ điều khiển được thể hiện trong Hình 3.



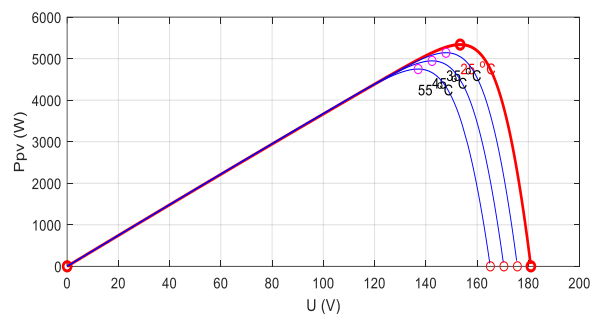
**Hình 3.** Bộ điều khiển Inverter của hệ thống điện mặt trời

Giải thuật điều khiển dò công suất cực đại Nhiều loạn và quan sát (P&O) cho hệ thống điện mặt trời được sử dụng để giúp hệ thống tối ưu công suất phát ngõ ra như hàm *PvaO* sau:

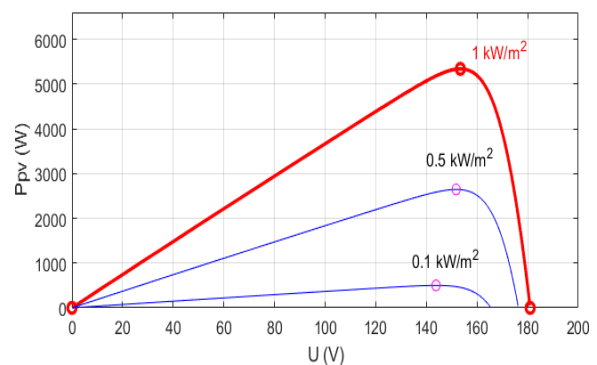
```
function D=PvaO(Param,Enabled,V,I)
    D_init = Param(1);
    D_max = Param(2);
    D_min = Param(3);
    Delta_D = Param(4);
    persistent V_old P_old D_old;
    dataType = 'double';
    if isempty(V_old)
        V_old = 0;
        P_old = 0;
        D_old = D_init;
    end
    P = V*I;
    dV = V - V_old;
    dP = P - P_old;
    if dP ~= 0 & Enabled ~= 0
        if dP < 0
            if dV < 0
                D = D_old - delta_D;
            else
                D = D_old + delta_D;
            end
        else
            if dV < 0
                D = D_old + delta_D;
            else
                D = D_old - delta_D;
            end
        end
    else D = D_old;
end
```

```
if D >= D_max | D <= D_min
    D = D_old;
end
V_old = V;
P_old = P;
D_old = D;
```

Trong bài báo này, hệ thống 5 kWp điện mặt trời sử dụng 12 tấm pin PV Sunpower với mỗi tấm pin của có công suất 445 Wp được sử dụng với đặc tính P-V thay đổi theo bức xạ và thay đổi theo nhiệt độ được cho trong Hình 4.



a. Đường đặc tính P-V theo nhiệt độ



b. Đường đặc tính P-V theo bức xạ

**Hình 4.** Đặc tính P-V của hệ thống điện mặt trời

## 2.2 Hệ thống điện gió

Công suất cơ ( $P_{mech}$ ) thu được từ gió phụ thuộc vào diện tích quét của cánh gió và tỷ lệ với lập phương vận tốc gió [9].

$$P_{mech} = \frac{1}{2} \rho A_r C_p(\lambda, \beta) \omega^3 \quad (4)$$

Trong đó:

$\rho$ : mật độ không khí kg/m<sup>3</sup>.

$\omega$ : tốc độ gió mặt, tốc độ gió ở khoảng cách đủ lớn phía trước cánh quạt.

$A_r$ : diện tích quét của cánh gió.

$\beta$ : góc xoay của cánh quạt.

$\lambda$ : Tỷ số giữa tốc độ gió mặt và gió lưng.

$C_p$ : Hệ số công suất của turbine gió được tính như sau:

$$C_p = \frac{1}{2} (1 + \lambda)(1 - \lambda^2) \quad (5)$$

Đối với các hệ thống điện gió công suất nhỏ thì máy phát điện ba pha đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) được dùng để chuyển đổi cơ năng thu được từ turbine gió thành điện năng.

Phương trình mô hình điện động cho PMSG trong hệ tọa độ  $dq$  được đưa ra như sau [9-11].

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{R_s i_d}{L_q} - \frac{\omega_e L_q i_q}{L_q} + \frac{V_d}{L_d} \quad (6)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{R_s i_q}{L_q} - \frac{\omega_e L_d i_d}{L_q} + \frac{\omega_e \lambda_0}{L_q} + \frac{V_q}{L_q} \quad (7)$$

Trong đó:

$R_s$ : điện trở stator ( $\Omega$ )

$L_d, L_q$ : lần lượt là điện cảm máy phát trong hệ tọa độ  $dq$  (H)

$\lambda_0$ : thông lượng từ thông vĩnh cửu (Wb)

$\omega_e$ : vận tốc góc điện (rad/s)

$\omega_e = \omega_m \cdot p$  với  $p$  là số cặp cực của máy phát điện

$\omega_m$ : vận tốc góc cơ (rad/s)

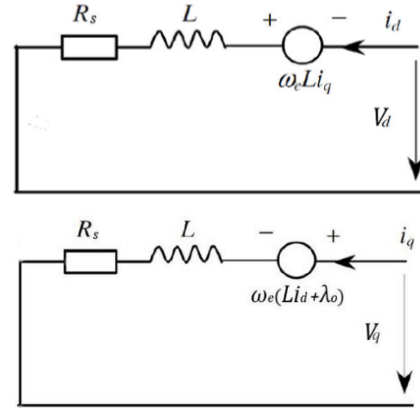
$i_d, i_q$ : dòng điện tạo ra được đo theo hệ trục tọa độ  $dq$  (A)

Trong PMSG loại cực tròn ta có thể xem như  $L_d = L_q = L$ , nên ta có:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{R_s i_d}{L} - \frac{\omega_e L_q i_q}{L} + \frac{V_d}{L} \quad (8)$$

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{R_s i_d}{L} - \omega_e \left( i_d + \frac{\lambda_0}{L} \right) + \frac{V_d}{L} \quad (9)$$

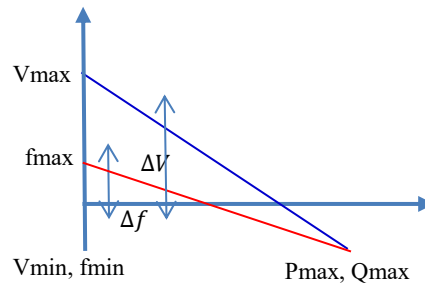
Mạch điện tương đương cho cả trục  $d$  và  $q$  từ các phương trình trên được đưa ra như hình bên dưới.



Hình 5. Mô hình mạch điện tương đương trong hệ tọa độ  $dq$  của PMSG.

### 3. ĐIỀU KHIỂN PHÂN BỐ CÔNG SUẤT

Bộ điều khiển Droop được sử dụng trong hệ thống điện tích hợp để phân bố công suất từ nguồn đến tải theo hướng ưu tiên điện mặt trời và điện gió. Trong lưới điện siêu nhỏ, các nguồn năng lượng tái tạo được kết nối trực tiếp thông qua các phần tử điện tử công suất. Hình 6 cho thấy các đặc điểm của điều khiển Droop.



Hình 6. Nguyên lý của điều khiển Droop

Mối quan hệ giữa công suất tác dụng và tần số cũng như giữa công suất phản kháng và điện áp được mô tả như sau:

$$f = f_0 + K_{Pf}(P_0 - P) \quad (10)$$

$$V = V_0 + K_{QV}(Q_0 - Q) \quad (11)$$

Trong đó:

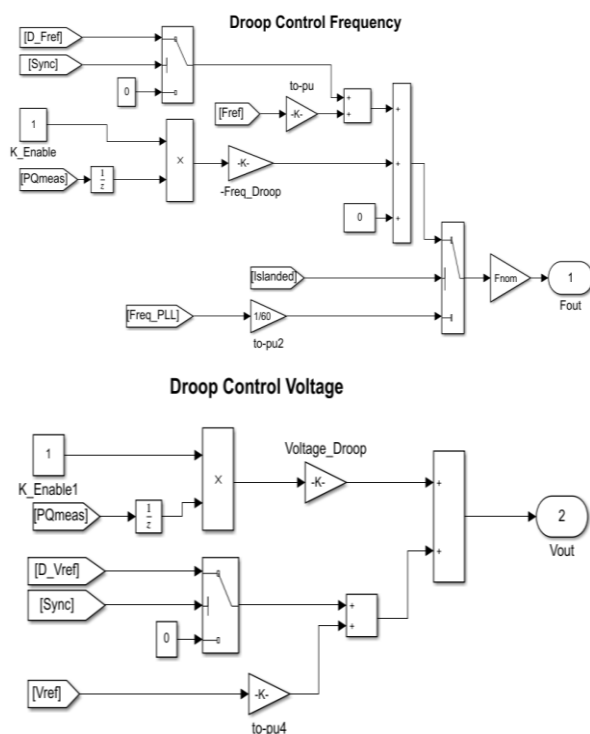
$f_0$ : tần số định mức

$V_0$ : điện áp định mức

$P_0, Q_0$ : Công suất tác dụng và công suất phản kháng cài đặt của biến tần

$K_{Pf}, K_{QV}$ : hệ số điều khiển droop

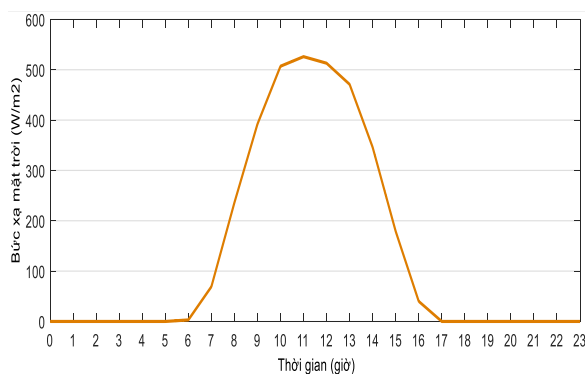
Khi số lượng các nguồn phân tán được kết nối với bộ nghịch lưu song song nhiều hơn, việc chia sẻ công suất của tải phụ thuộc vào các đặc tính của bộ biến tần. Khái niệm về các đặc tính của Droop là khi tải tăng lên, thì tần số tham chiếu có thể được giảm xuống [12].



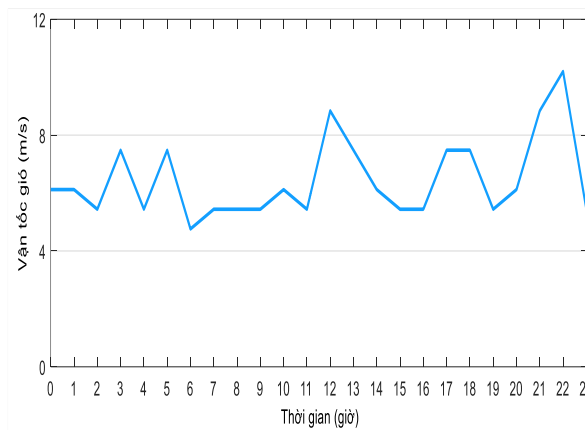
Hình 7. Sơ đồ mô điều khiển droop của hệ thống nghiên cứu

#### 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Trong phần kết quả, tác giả tiến hành khảo sát chế độ làm việc của hệ thống trong 24 giờ với các thông tin của bức xạ mặt trời thể hiện trong Hình 8 và thông số tốc độ gió được thể hiện trong Hình 9. Trong đó, máy phát điện gió có tốc độ gió định mức là 12 m/s.

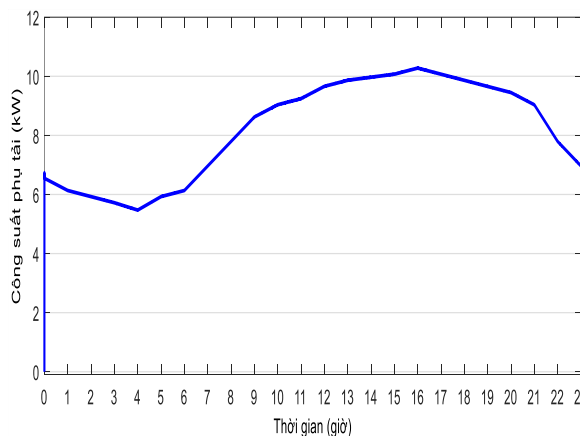


Hình 8. Thông tin đầu vào của bức xạ mặt trời trong 24 giờ



Hình 9. Thông tin đầu vào của tốc độ gió trong 24 giờ

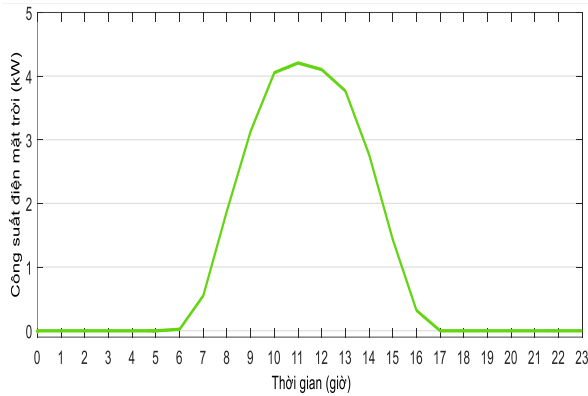
Đồ thị thông tin phụ tải trong 24 giờ được trình bày như Hình 10, để thể hiện tính thay đổi theo giờ của hệ thống nghiên cứu.



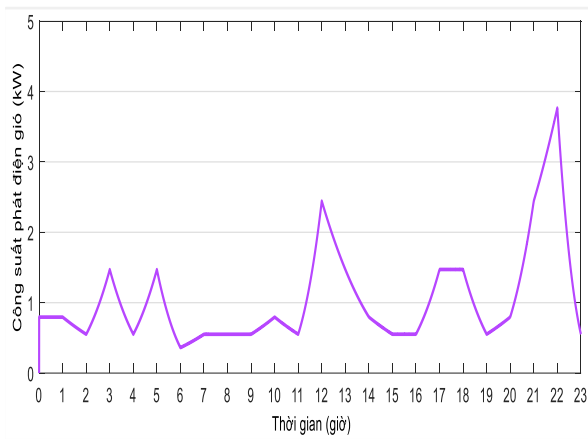
Hình 10. Đồ thị phụ tải của khu dân cư trong 24 giờ

Nhằm kiểm tra khả năng đáp ứng của hệ thống tác giả tiến hành mô phỏng hệ thống làm việc trong 24 giờ tương ứng với các thông tin được thể hiện từ Hình 8 đến Hình 10. Các kết quả mô phỏng trong trường hợp này thể hiện tương ứng trong Hình 11 và Hình 12 bao gồm công suất phát của hệ thống điện mặt trời và công suất cung cấp bởi hệ thống điện gió trong 24 giờ.

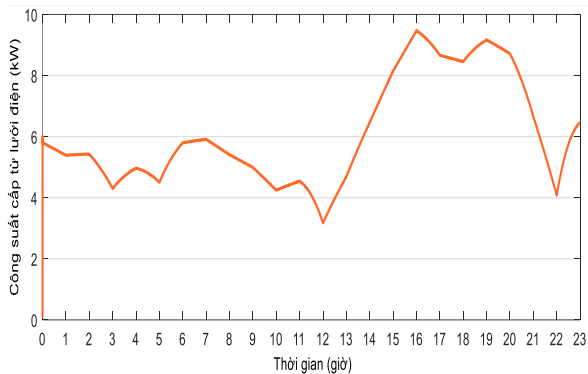
Với công suất tải được cho trong Hình 10 thì tổng công suất của 2 nguồn phát này là chưa đủ nên bộ điều khiển Droop huy động thêm công suất bổ sung từ điện lưới như trong Hình 13. Để thấy rõ hơn các đáp ứng này, trong Hình 14 tác giả đã tổng hợp các nguồn công suất phát và tải.



**Hình 11.** Công suất phát của hệ thống điện mặt trời

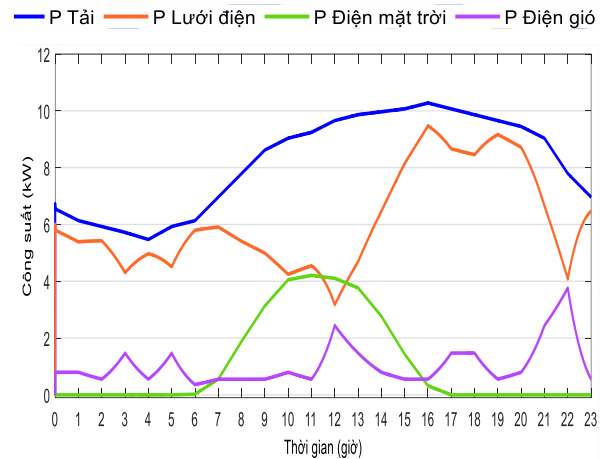


**Hình 12.** Công suất phát của hệ thống điện gió



**Hình 13.** Công suất phát bổ sung từ lưới điện

Từ các kết quả mô phỏng trên, có thể nhận thấy rằng nhờ bộ điều khiển Droop đề xuất mà hệ thống làm việc ở chế độ ưu tiên phát hết công suất của điện mặt trời và điện gió để cung cấp cho phụ tải, phần còn lại sẽ lấy từ lưới điện để tận dụng tối đa điện năng phát ra từ các nguồn phân tán.



**Hình 14.** Tổng hợp công suất phát và tải của hệ thống nghiên cứu.

## 5 KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một mô hình phát điện tích hợp năng lượng tái tạo công suất nhỏ bao gồm 5 kWp điện mặt trời và 4 kW điện gió sử dụng máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu vào lưới hạ thế cung cấp điện cho phụ tải. Bộ điều khiển Droop được đề xuất để phối hợp điều khiển cho các nguồn phát cấp cho tải theo hướng ưu tiên điện mặt trời và điện gió. Qua các kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, quá trình làm việc của hệ thống đề xuất hoạt động ổn định và hiệu quả trong việc liên tục cung cấp điện cho phụ tải khi sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo mà không cần phải trang bị thêm hệ thống lưu trữ năng lượng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mike Rycroft, "The development of renewable energy based mini-, micro- and nano-grids", *Published in Energize Article*, September 13th, 2016.
- [2] K. Rakib, S. M. Salimullah, M. S. Hossain, M. A. Chowdhury and J. S. Ahmed, "Stability Analysis of Grid Integrated BESS Based Hybrid Photovoltaic (PV) and Wind Power Generation," *2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp)*, Dhaka, Bangladesh, pp. 1717-1720, 2020.

- [3] D. Truong, M. N. Thi, H. Le, V. Do, V. Ngo and A. Hoang, "Dynamic Stability Improvement Issues with a Grid-Connected Microgrid System," *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, Dong Hoi, Vietnam, pp. 214-218, 2019.
- [4] U. Datta, A. Kalam, and J. Shi, "Hybrid PV–wind renewable energy sources for microgrid application: an overview", *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids - Integration, Developments and Control*, pages 1-22, 2018.
- [5] Linus A. Alwal, Peter K. Kihato and Stanley I. Kamau, "A Review of Control Strategies for Microgrid with PV-Wind Hybrid Generation Systems", in *Proceedings of the Sustainable Research and Innovation Conference*, JKUAT Main Campus, Kenya 2 - 4 May, 2018.
- [6] S. S. Yadav and K. S. Sandhu, "A Grid Connected Hybrid PV/Fuel Cell/Battery Using Five Level PWM Inverter," *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR)*, Ernakulam, pp. 1-5, 2018.
- [7] L. Wang, C. Lam, and M. Wong, "Analysis, Control, and Design of a Hybrid Grid-Connected Inverter for Renewable Energy Generation with Power Quality Conditioning," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 8, pp. 6755-6768, Aug. 2018.
- [8] Y. Guo, J. Li, T. Shi, X. Wang, and M. Miao, "Research on Coordinated Control Strategies of Hybrid PV/CSP Power Plants," *China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Tianjin, pp. 2077-2081, 2018.
- [9] L. Sina and S. Mahyar, "Modeling and Application of Permanent Magnet Synchronous Generator Based Variable Speed Wind Generation System", *Department of Electrical Engineering*, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran, 2012.
- [10] R. Bharanikumar, A. C. Yazhini, N. Kumar, "Modelling and Simulation of Wind Turbine Driven Permanent Magnet Generator with New MPPT Algorithm", *Asian Power Electronics Journal*, Vol. 4, 2012.
- [11] B. O. Omijeh, C. S. Nmom, and E. Nlewem, "Modeling of a Vertical Axis Wind Turbine with Permanent Magnet Synchronous Generator for Nigeria", *Electrical/Electronic Engineering*, University of Port Harcourt, Rivers State, Nigeria, 2013.
- [12] W. J. Praiselin and J. B. Edward, "Integrated renewable energy sources with droop control techniques-based microgrid operation", *Integration, Developments and Control, Woodhead Publishing Series in Energy*, pages 39-60, 2018.

**Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:**

PGS.TS. Trương Đình Nhơn  
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM  
Email: nhontd@hcmute.edu.vn