

XÂY DỰNG MÔ HÌNH GIẢ LẬP MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ DỰA TRÊN HỆ THỐNG PIN MẶT TRỜI KẾT HỢP BỘ LƯU ĐIỆN

MODELING THE SYNCHONOROUS GENERATOR BASED ON THE PV SYSTEM
COMBINED BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

Nguyễn Văn Tân^{1*}, Trần Mạnh Tuấn¹, Nguyễn Quang Vinh¹,
Phạm Đức Quang¹, Nguyễn Văn Hùng¹, Nguyễn Đức Huy²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.044>

TÓM TẮT

Quán tính quay của máy phát đồng bộ đóng vai trò quan trọng trong việc giữ ổn định hệ thống điện. Tuy nhiên, hệ thống pin mặt trời nối lưới thông qua bộ biến đổi công suất gây ra thiếu hụt quán tính trong lưới điện nhỏ ảnh hưởng trực tiếp tới độ dự trữ ổn định hệ thống. Bài báo đề xuất một mô hình giả lập máy phát đồng bộ dựa trên hệ thống pin mặt trời kết hợp bộ lưu điện. Bài báo cũng đã tiến hành mô phỏng quá trình điều khiển tần số và điện áp lưới điện nhỏ ở chế độ độc lập trên công cụ Matlab/Simulink.

Từ khóa: Pin mặt trời, bộ lưu điện, bộ biến đổi công suất, lưới điện nhỏ, máy phát đồng bộ.

ABSTRACT

The rotational inertia of the synchronous generator plays an important role in keeping the power system stable. However, the grid-connected solar system through a power converter causes an inertia deficiency in the microgrid that directly affects the system stability reserve. This paper proposes a synchronous generator simulation model based on a solar system combined with a battery energy storage system. The paper also simulates the process of controlling frequency and microgrid voltage in autonomous mode on Matlab/Simulink tool.

Keywords: Photovoltaic, Battery Energy Storage System, Converter, Microgrid, synchronous generator.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: tannguyenvan24092001@gmail.com

Ngày nhận bài: 21/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, quá trình kết hợp các nguồn năng lượng phân tán (DG) cùng các phụ tải địa phương hình thành lưới điện nhỏ có khả năng vận hành độc lập hoặc nối lưới lớn ngày càng trở nên phổ biến vì nhiều lý do. Một trong số các lý do đó đến từ việc nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho hệ thống điện và giúp đa dạng phương án vận hành lưới điện trong các tình huống bất thường trên lưới hệ thống. Tuy nhiên quá trình kết hợp các nguồn năng

lượng phân tán cùng phụ tải địa phương hình thành lưới điện độc lập cũng xuất hiện các vấn đề mới về kỹ thuật, một trong số các vấn đề đó liên quan tới việc thiếu hụt quán tính của các nguồn phân tán [1-3]

Các nguồn phân tán phổ biến như điện mặt trời, điện gió thường được nối với lưới điện thông qua bộ biến đổi công suất. Trong chế độ nối lưới lớn, việc thiếu hụt quán tính chưa gây ra ảnh hưởng lớn do sự can thiệp của lưới hệ thống. Tuy nhiên, khi ở chế độ độc lập sự thiếu hụt quán tính gây ra một số vấn đề lớn, cụ thể mức dao động biên độ của tần số lưới khi có sự mất cân bằng công suất tác dụng lớn hơn so với trường hợp các nguồn phân tán có quán tính tính như nguồn máy phát đồng bộ [4].

Quán tính quay là yếu tố có mối quan hệ chặt chẽ với việc giữ ổn định hệ thống, đặc biệt là ổn định tần số. Khi các yếu tố gây mất ổn định xuất hiện, các thông số trạng thái tần số và điện áp cũng theo đó dao động. Quán tính quay hệ thống giúp giữ mức độ dao động tần số và điện áp ở mức thấp trong giai đoạn đầu [5]. Các thông số đánh giá quá trình thay đổi tần số như tần số thấp nhất và tốc độ thay đổi tần số đều suy giảm đáng kể khi quán tính lưới điện giảm xuống.

Một trong số các phương pháp bù quán tính cho nguồn điện phân tán nối lưới thông qua bộ biến đổi công suất là sử dụng cấu hình mô phỏng dựa trên máy phát đồng bộ (SG) được xây dựng trên mô hình động học đầy đủ SG, bao gồm phần điện và phần cơ của SG. Nhờ sự mô phỏng đầy đủ các thành phần động học của SG mà cấu hình này cho độ chính xác cao [6]. Ise Lab [7] đề xuất cấu hình mô phỏng dựa trên phương trình quay chỉ tập trung mô phỏng quán tính ảo dựa phương trình quay của SG. Cấu hình làm việc dựa trên việc đo lường tần số lưới và công suất tác dụng phát ra của bộ biến đổi. VSYNC [8] đề xuất cấu hình mô phỏng quán tính ảo dựa trên đáp ứng tần số - công suất. Cấu hình này xuất phát từ các thông số đo lường vi phân tần số thay đổi để tiến hành mô phỏng quán tính ảo.

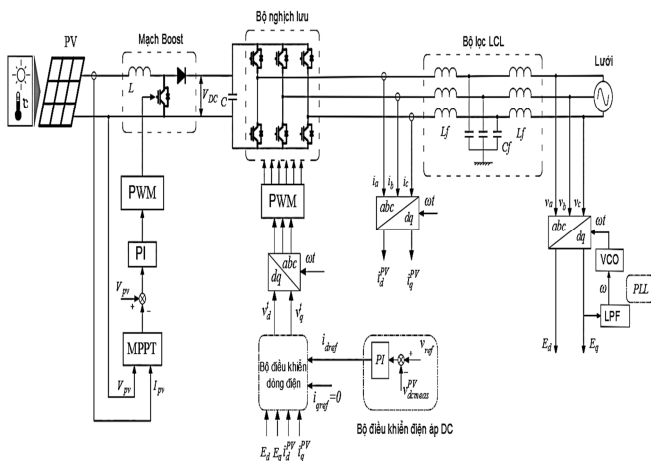
Ứng dụng bộ điều khiển máy phát điện đồng bộ ảo (VSG) vào hệ thống pin mặt trời đã được giới thiệu trong [9]. Nghiên cứu đã đề xuất một chiến lược điều khiển VSG nhằm điều chỉnh mô men quán tính ảo bám theo sự thay

đối tượng quan giữa công suất tác dụng và tần số lưới. Nghiên cứu [10] đề xuất một chiến lược điều khiển hệ thống pin mặt trời kết hợp bộ lưu điện. Nghiên cứu đã chỉ ra sự có mặt của bộ lưu điện giúp hệ thống nhanh chóng đạt được cân bằng công suất qua đó ổn định tần số lưới điện. Ngoài ra nghiên cứu cũng đề cập tới quá trình chuyển đổi chế độ nối lưới và độc lập của lưới điện nhỏ.

Để thấy rõ được vai trò của bộ điều khiển máy phát đồng bộ ảo VSG và bộ lưu điện BESS, bài báo đề xuất một mô hình giả lập máy phát đồng bộ dựa theo phương trình quay của máy phát điện đồng bộ trên hệ thống pin mặt trời kết hợp bộ lưu điện trong lưới điện độc lập không có sự tác động của lưới hệ thống. Cấu hình mô phỏng dựa trên phương trình quay được áp dụng trong điều khiển tần số và điện áp của lưới điện độc lập. Quá trình mô phỏng và phân tích được thực hiện trên công cụ Matlab/Simulink.

2. HỆ THỐNG PIN MẶT TRỜI NỐI LƯỚI

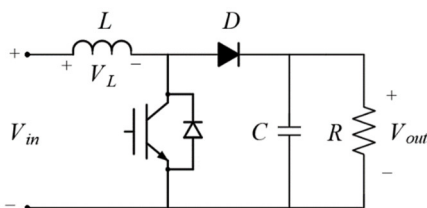
Hiện nay, đa phần các hệ thống điều khiển hệ thống PV nối lưới hoạt động dựa trên tiêu chí phát công suất cực đại vào lưới nhằm gia tăng chỉ tiêu kinh tế trong toàn hệ thống. Hình 1 thể hiện sơ đồ khối điều khiển kết nối hệ thống PV nối lưới.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống PV nối lưới

2.1. Mạch tăng áp một chiều DC/DC

Bộ biến đổi DC/DC có vai trò ổn định nguồn điện một chiều trước khi đi vào bộ biến đổi nghịch lưu xoay chiều. Việc ổn định điện áp một chiều được thực hiện thông qua quá trình hấp thụ và cung cấp năng lượng trong bộ chuyển đổi khuếch đại được thực hiện bởi sự kết hợp của bốn thành phần là cuộn cảm, công tắc điện tử, diode và tụ điện đầu ra được cho trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ của mạch tăng áp một chiều

Mạch tăng áp hoạt động ở hai chế độ là chế độ dẫn liên tục và chế độ dẫn không liên tục [11]. Tại chế độ dẫn liên tục, điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào, thể hiện trong công thức:

$$V_{out} = \frac{1}{1-k} V_{in} \tag{1}$$

Phương trình thể hiện điện áp tại chế độ dẫn không liên tục:

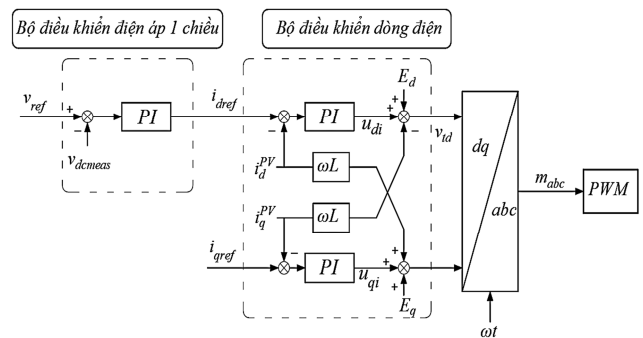
$$V_{in}kT + (V_{in} - V_{out})\Delta_1T = 0 \tag{2}$$

$$V_{out} = \frac{\Delta_1 + k}{\Delta_1} V_{in} \tag{3}$$

Trong đó: V_{out} là điện áp đầu ra; V_{in} là dòng điện đầu vào; k là chu kỳ nhiệm vụ; T là thời gian chuyển mạch; Δ_1 là khoảng thời gian điện áp cuộn cảm âm.

2.2. Mạch vòng điều khiển bộ biến đổi công suất

Dòng điện được đưa vào lưới bởi hệ thống PV được điều khiển bởi bộ điều khiển dòng điện. Bộ điều khiển dòng điện có thể điều chỉnh dòng điện hệ thống PV đưa vào lưới theo một tín hiệu dòng điện tham chiếu I_{DCref} được tạo ra bởi bộ điều khiển điện áp một chiều. Hình 3 minh họa sơ đồ khối của bộ điều khiển điện áp một chiều và bộ điều khiển dòng điện.



Hình 3. Bộ điều khiển điện áp một chiều và bộ điều khiển dòng điện

Bộ điều khiển dòng điện với biến trạng thái là dòng trên điện kháng đầu ra bộ biến đổi được thiết kế trên hệ trục quay vuông góc dq.

Vectơ tín hiệu đầu ra bộ điều khiển $[u_{di}, u_{qi}]$

$$u_{di} = v_{td} + \omega L i_q - E_d \tag{4}$$

$$u_{qi} = v_{tq} - \omega L i_d - E_q \tag{5}$$

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ ẢO VSG

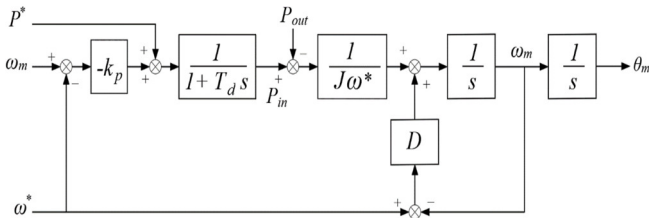
Khác với các máy phát đồng bộ truyền thống nối lưới trực tiếp, đa phần các DGs như điện gió, điện mặt trời hay các bộ lưu điện được kết nối với lưới điện thông qua các bộ biến đổi DC-AC Converter. Để mô phỏng theo các quá trình động học trên máy phát điện đồng bộ, các bộ biến đổi cần được trang bị bộ điều khiển VSG [12].

3.1. Điều khiển công suất tác dụng

Tùy thuộc vào chế độ vận hành chung của lưới điện nhỏ, các bộ biến đổi công suất trong hệ thống có thể được

điều khiển với vai trò nguồn dòng hoặc nguồn áp [13]. Ở chế độ nguồn dòng, bộ biến đổi không thể làm việc hoàn toàn độc lập khi tách lưới mà chỉ có thể tham gia điều chỉnh tần số và điện áp lưới thông qua điều khiển lượng công suất tác dụng và phản kháng phát ra.

Khối "Điều khiển công suất tác dụng" gồm hai khối nối tiếp đặc trưng cho hai quá trình "Bộ điều tốc" và "Phương trình quay" được thể hiện trong hình 4. Với J là mômen quán tính và D là hệ số hãm do bộ điều khiển VSG tạo ra.



Hình 4. Khối điều khiển công suất tác dụng

Mô hình "Bộ điều tốc" được xây dựng dựa trên đường đặc tính quan hệ độ dốc k_p giữa $P-\omega$. Ngoài ra, một bộ trễ có hằng số thời gian trễ T_d phỏng theo trễ đáp ứng cơ học trên bộ điều tốc của máy phát điện đồng bộ.

$$P_{in} = \frac{1}{1+T_d s} (P^* - k_p (\omega_m - \omega^*)) \quad (6)$$

Nối tiếp mô hình "Bộ điều tốc" là mô hình "Phương trình quay" mô tả mối liên hệ động học điện cơ trong máy phát điện đồng bộ.

Trong đó:

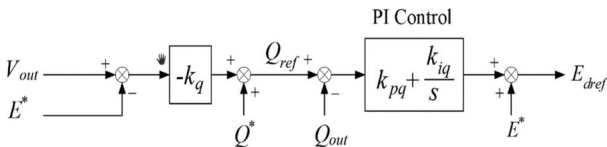
$$P_{in} - P_{out} = J\omega^* \frac{d\omega_m}{dt} + D(\omega_m - \omega^*) \quad (7)$$

$$\theta_m = \int \omega_m dt \quad (8)$$

3.2. Điều khiển công suất phản kháng

Quá trình điều khiển công suất phản kháng Q cũng được phân thành hai giai đoạn và kết nối với bộ điều khiển điện áp phía bên trong của bộ điều khiển bộ biến đổi. Giai đoạn điều khiển độ dốc công suất phản kháng được xây dựng trên đường đặc tính quan hệ độ dốc k_q giữa $Q-V$.

Nối tiếp bộ điều khiển độ dốc công suất phản kháng, để mô phỏng bộ điều khiển tự động công suất phản kháng cần thiết có bộ điều khiển PI công suất phản kháng.



Hình 5. Bộ điều khiển công suất phản kháng

Trong đó:

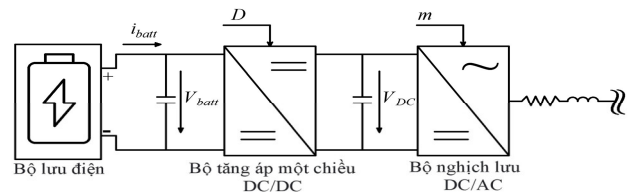
$$Q_{ref} = Q_o - k_q (V_{out} - E^*) \quad (9)$$

$$E_{dref} = E^* + (Q_{ref} - Q_{out}) \cdot \left(k_{pq} + \frac{k_{iq}}{s} \right) \quad (10)$$

4. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI KẾT HỢP BỘ LƯU ĐIỆN GIẢ LẬP MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ ẢO

4.1. Mô hình toán bộ lưu điện BESS

Mô hình BESS được kết nối với lưới điện siêu nhỏ được trình bày trong hình 6. Mô hình BESS bao gồm bộ lưu điện, bộ chuyển đổi điện áp một chiều DC-DC và bộ chuyển đổi điện áp xoay chiều DC-AC. Mô hình được trình bày ở đây có thể áp dụng cho cả chế độ sạc và xả của BESS do cấu hình của bộ biến đổi dựa trên điều chế độ rộng xung [14].



Hình 6. Mô hình bộ lưu điện

Quá trình nạp xả của tụ điện được xác định bởi phương trình:

$$\frac{C}{2} \frac{dv_{dc}^2}{dt} = P_{BESS} - P_{AC} \quad (11)$$

$$P_{AC} = v_{d} i_d + v_{q} i_q \quad (12)$$

Chế độ hoạt động của bộ lưu điện:

Chế độ xả:

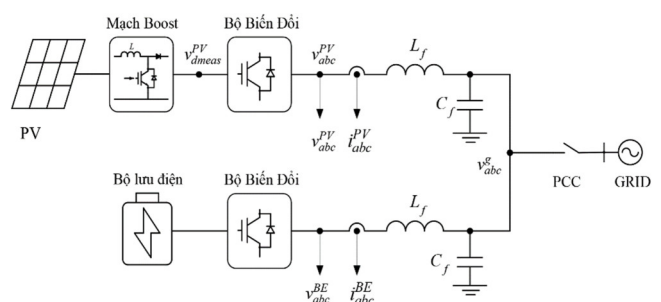
$$V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q-it} (it + i^*) + A \cdot e^{(-B \cdot it)} \quad (13)$$

Chế độ nạp:

$$V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{it - 0,1Q} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + e^t \quad (14)$$

Chế độ nạp xả của các mô hình đã được xác thực trong [15].

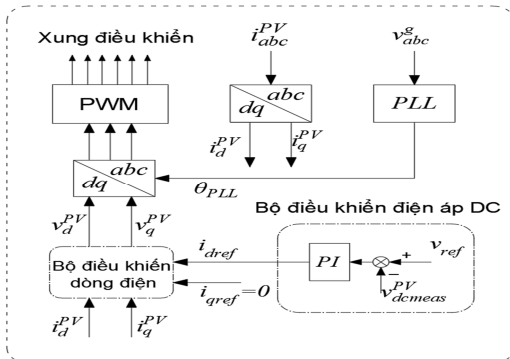
4.2. Mô hình đề xuất



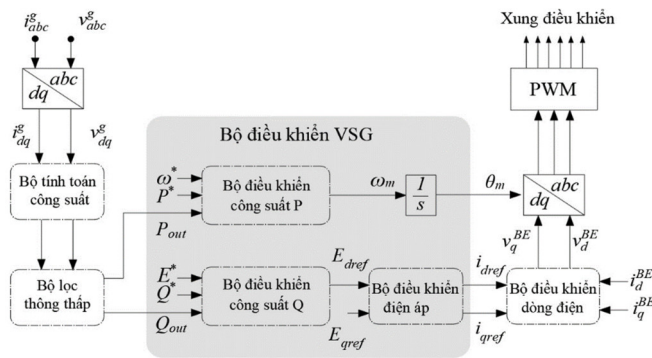
Hình 7. Mô hình hệ thống PV kết hợp bộ lưu điện giả lập máy phát đồng bộ ảo

Vì hệ thống PV được điều khiển nhằm tạo ra công suất tối đa thông qua bộ biến đổi công suất, tuy nhiên trong chế độ lưới độc lập, hệ thống PV cần tham gia quá trình điều khiển tần số và điện áp. Vì vậy, hệ thống PV cần tích trữ một phần năng lượng cần thiết để tránh gây ra thiếu hụt quán tính khi xuất hiện các biến động trong lưới. Bộ lưu điện có thể được kết hợp với thuật toán VSG để bù quán tính nhằm duy trì sự ổn định của hệ thống. Bài báo đề xuất

một mô hình giả lập máy phát đồng bộ dựa trên hệ thống pin mặt trời kết hợp bộ lưu điện. Cấu hình mô phỏng dựa trên phương trình quay được áp dụng trong điều khiển tần số và điện áp của lưới điện nhỏ.



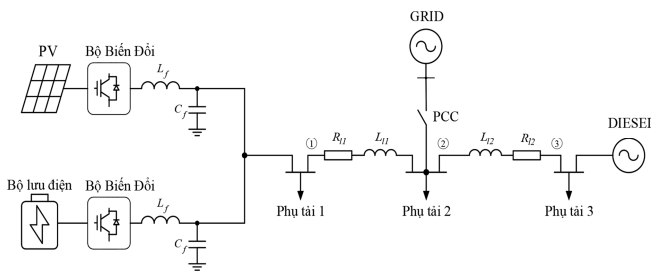
Hình 8. Sơ đồ điều khiển hệ thống PV nối lưới



Hình 9. Sơ đồ điều khiển hệ thống bộ lưu điện để xuất

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Ứng dụng mô hình bộ biến đổi nguồn áp quán tính ảo cấu hình dựa trên phương trình quay vào lưới điện thử nghiệm tại hình 10 ở chế độ độc lập. Thông số các phần tử trong sơ đồ được cho trong các bảng 1, 2.



Hình 10. Sơ đồ lưới nghiên cứu

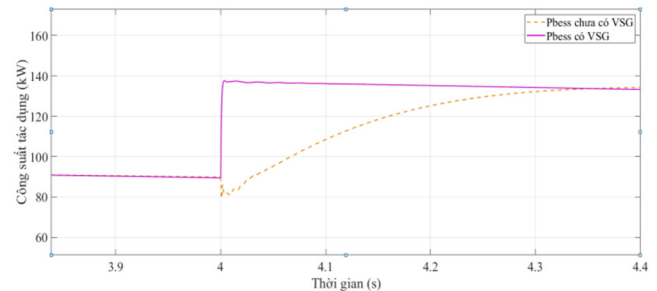
Bảng 1. Thông số lưới và phụ tải

| Thông số | Giá trị | Thông số | Giá trị |
|-------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| PV Panel (10 chuỗi và 47 tấm) | 213,15W _{MPP} | Phụ tải 1 | 20+j5 kVA |
| | 29V _{MPP} | Phụ tải 2 | 100 + j20 kVA |
| Tổng công suất PV | 100,18kW | Phụ tải 3 | 100 + j20 kVA |
| Điện áp bộ lưu điện | 500V | Đường dây 1-2 | 0,02 + j0,024 Ω |
| Dung lượng bộ lưu điện | 200Ah | Đường dây 2-3 | 0,02 + j0,024 Ω |
| Công suất máy phát Diesel | 100kW | Điện áp Diesel | 380V |

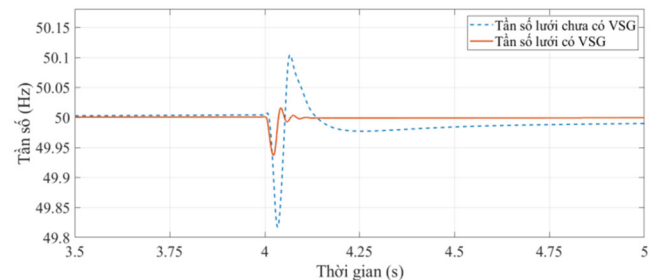
Bảng 2. Thông số điều khiển

| Thông số | Giá trị | Thông số | Giá trị | Thông số | Giá trị |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------------------------------------|
| L _{f1} | 0,68mH | T _d | 0,01s | k _{PV} | 2,86 |
| R _{f1} | 2,2mΩ | k _{q0} | 0,6 | k _{VV} | 5,95.10 ³ |
| C _{f1} | 20mF | k _{iq} | 60 | J | 2,4.10 ⁻³ kgm ² |
| k _p | 37,5 | k _{pc} | 3,14 | D | 2.10 ⁻² kgms ⁻² |
| k _q | 20 | k _{ic} | 15,7 | | |

Quá trình mô phỏng diễn ra trong chế độ hệ thống PV nối lưới ở chế độ tách đảo và có sự thay đổi công suất tải tại thời điểm 4s, phụ tải 2 được tăng công suất từ 100kW lên 150kW. Kết quả mô phỏng diễn biến công suất tác dụng của bộ lưu điện được thể hiện trong hình 11. Khi phụ tải thay đổi tại thời điểm 4s, công suất phát của bộ lưu điện cũng thay đổi bám theo nhằm cân bằng công suất trong lưới.

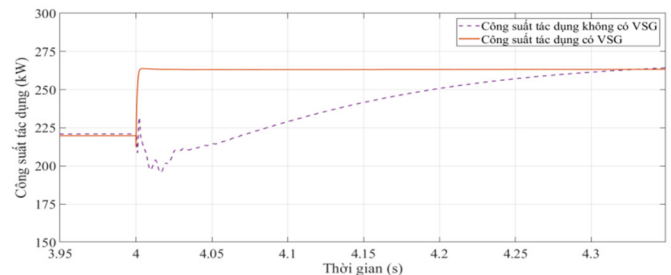


Hình 11. Công suất tác dụng bộ lưu điện so sánh giữa hai phương pháp khi áp dụng phương pháp điều khiển để xuất và phương pháp truyền thống



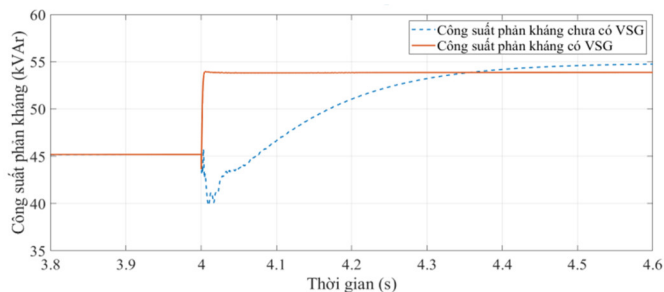
Hình 12. Tần số của lưới điện so sánh giữa hai phương pháp

Thời gian đáp ứng công suất của bộ lưu điện khi có bộ "quán tính ảo" đáp ứng nhanh hơn, do đó mức độ dao động tần số của lưới khi thay đổi công suất phụ tải được cải thiện. Kết quả mô phỏng tần số lưới điện được thể hiện trên hình 12 thể hiện sự khác nhau khi áp dụng phương pháp điều khiển để xuất và khi áp dụng phương pháp điều khiển truyền thống. Tần số lưới khi áp dụng phương pháp điều khiển để xuất cho giá trị dao động tần số nhỏ hơn và tốc độ thay đổi tần số có lợi hơn cho lưới.



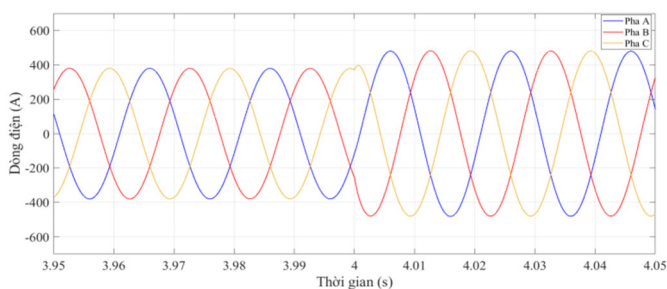
Hình 13. Công suất tác dụng tại nút PCC của lưới

Kết quả mô phỏng công suất tác dụng và công suất phản kháng tại nút PCC khi thay đổi công suất phụ tải, được thể hiện lần lượt trong hình 13, 14. Nhận thấy, áp dụng mô hình máy phát điện đồng bộ ảo làm tăng quán tính của hệ thống lưới điện, do đó công suất tác dụng và công suất phản kháng được ổn định nhanh chóng.

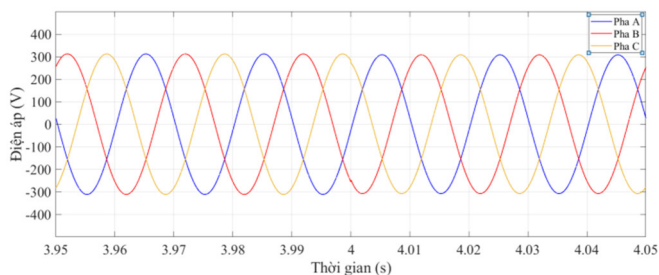


Hình 14. Công suất phản kháng tại nút PCC của lưới.

Nhờ có sự tham gia của vòng lặp điều khiển điện áp kết hợp với điều khiển độ dốc có hệ số $-k_q$ mà điện áp lưới được giữ trong giới hạn trước khi có sự can thiệp của các cấp điều khiển cao hơn. Hình 15, 16 thể hiện quá trình thay đổi dòng điện, điện áp lưới khi thay đổi công suất phụ tải.



Hình 15. Dòng điện lưới khi thay đổi công suất phụ tải



Hình 16. Điện áp lưới khi thay đổi công suất phụ tải

6. KẾT LUẬN

Sự thiếu hụt quán tính trong lưới điện nhỏ kéo theo giới hạn ổn định tần số trong lưới suy giảm, đặc biệt khi lưới điện nhỏ ở chế độ vận hành độc lập. Giải pháp sử dụng mô hình máy phát đồng bộ ảo nhằm phỏng theo quá trình động học của máy phát điện đồng bộ dựa trên hệ thống pin mặt trời kết hợp bộ lưu điện được đề xuất trong bài báo.

Bài báo cũng đã tiến hành mô phỏng nhằm xác thực mô hình điều khiển đề xuất. Khi xuất hiện các yếu tố thay đổi cân bằng công suất tác dụng gây ra thay đổi tần số, kết quả mô phỏng cho thấy, mô hình điều khiển đề xuất đưa ra các đáp ứng biên độ và tốc độ thay đổi tần số được cải thiện hơn so với mô hình điều khiển truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. Chowdhury, 2009. *IET renewable energy series 6 Microgrids and Active Distribution Networks*.
- [2]. R. H. Lasseter, 2002. *MicroGrids*. 2002 IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. Conf. Proc, vol. 1, pp. 305–308.
- [3]. P. Piagi, R. H. Lasseter, 2006. *Autonomous control of microgrids*. 2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet, p. 8.
- [4]. T. Kerdphol, F. S. Rahman, M. Watanabe, Y. Mitani, 2019. *Robust Virtual Inertia Control of a Low Inertia Microgrid Considering Frequency Measurement Effects*. IEEE Access, vol. 7, pp. 57550–57560.
- [5]. J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuña, M. Castilla, 2011. *Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids - A general approach toward standardization*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 1, pp. 158–172.
- [6]. Q. C. Zhong, G. Weiss, 2011. *Synchronverters: Inverters that mimic synchronous generators*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 4, pp. 1259–1267.
- [7]. K. Sakimoto, Y. Miura, T. Ise, 2011. *Stabilization of a power system with a distributed generator by a Virtual Synchronous Generator function*. 8th Int. Conf. Power Electron. - ECCE Asia "Green World with Power Electron. ICPE 2011-ECCE Asia, no. 2, pp. 1498–1505.
- [8]. M. Torres, L. A. C. Lopes, 2013. *Virtual Synchronous Generator: A Control Strategy to Improve Dynamic Frequency Control in Autonomous Power Systems*. Energy Power Eng, vol. 05, no. 02, pp. 32–38.
- [9]. Ju Liu, Dongjun Yang, Wei Yao, Rengcun Fang, Hongsheng Zhao, Bo Wang, 2017. *PV-based virtual synchronous generator with variable inertia to enhance power system transient stability utilizing the energy storage system*. Protection and Control of Modern Power Systems, 2:39
- [10]. Xiangwu Yan, Chenguang Wang, Ziheng Wang, Hongbin Ma, Baixue Liang, Xiaoxue Wei, 2021. *A United Control Strategy of Photovoltaic-Battery Energy Storage System Based on Voltage-Frequency Controlled VSG*. Electronics, 10, 2047.
- [11]. Ned. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, 2003. *Power electronics : converters, applications, and design*. John Wiley & Sons.
- [12]. H. Bevrani, 2014. *Robust Power System Frequency Control*, 2nd ed. Springer, New York, USA.
- [13]. J. Rocabert, A. Luna, F. Blaabjerg, P. Rodriguez, 2012. *Control of power converters in AC microgrids*. IEEE Trans Power Electron, vol. 27, no. 11, pp. 4734–4749.
- [14]. P. Hazra, 2020. *Enhancement of Inertial Response of Inverter Based Energy Enhancement of Inertial Response of Inverter Based Energy System and Its Application for Dynamic Performance System and Its Application for Dynamic Performance Improvement of a Microgrid Improvement of a Microgrid*. Master Thesis, Clemson University.
- [15]. O. Tremblay, L.A. Dessaint, 2009. *Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications*. World Electric Vehicle Journal, vol. 3, no. 1, pp. 1–10.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Tan¹, Tran Manh Tuan¹, Nguyen Quang Vinh¹,
Pham Duc Quang¹, Nguyen Van Hung¹, NguyenDuc Huy²

¹Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry

²School of Electrical and Electronics Engineering, Hanoi University of Science and Technology