

ĐÁNH GIÁ CHIẾN LƯỢC HỖ TRỢ TẦN SỐ QUA HAI PHƯƠNG PHÁP LƯU TRỮ PIN - VẬN HÀNH GIẢM TẢI

ASSESSMENT OF FREQUENCY SUPPORT STRATEGY THROUGH TWO METHODS OF BATTERY STORAGE - DELOADING CONTROL

Nguyễn Hồng Việt Phương¹, Nguyễn Văn Tấn¹, Nguyễn Hữu Hiếu¹,
Nguyễn Văn Hiếu^{1,*}, Trần Văn Duẩn¹, Phạm Đức Hậu¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.046>

TÓM TẮT

Năng lượng tái tạo bao gồm năng lượng mặt trời mang lại nhiều lợi ích trong việc giảm tỷ trọng năng lượng hóa thạch đang dần cạn kiệt, bảo vệ tài nguyên và môi trường không khí. Tuy nhiên, sự thâm nhập ở mức cao của nguồn năng lượng mặt trời đem lại thách thức cho việc vận hành và ổn định tần số hệ thống bởi tính không ổn định do phụ thuộc các yếu tố thời tiết cũng như việc vận hành không tham gia vào quá trình hỗ trợ quán tính của chính bản thân nguồn năng lượng này. Có nhiều phương pháp hỗ trợ tần số được áp dụng, hai trong số đó được đề xuất: Sử dụng hệ thống lưu trữ Pin và Vận hành giảm tải - Deloading control. Bằng cách tạo ra thêm lượng công suất dự trữ để huy động kịp thời trong trường hợp mất cân bằng công suất tác dụng, từ đó giúp ổn định được tần số. Hai phương pháp đã đáp ứng được khả năng hỗ trợ tần số dựa trên đánh giá và mô phỏng thông qua phần mềm Matlab/Simulink.

Từ khóa: PV, lưới điện siêu nhỏ, vận hành giảm tải, điều khiển tần số, quán tính lưới.

ABSTRACT

Renewable energy including solar energy brings many benefits in reducing the proportion of fossil energy that is gradually depleting, protecting resources and the air environment. However, the high penetration of solar energy presents challenges for the operation and stability of the system frequency because of the instability due to weather factors as well as the non-participative operation. participates in the inertial support of this energy source itself. There are many frequency support methods applied, two of which are suggested: Using Battery storage system and Deloading control. By creating more reserve power to mobilize in time in case of imbalance of active power, thereby helping to stabilize the frequency. The two methods met the frequency support capability based on evaluation and simulation through Matlab/Simulink software.

Keywords: PV, microgrid, deloading_control, frequency control, grid inertia.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Email: 105180021@sv1.dut.udn.vn

Ngày nhận bài: 23/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 01/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cùng với sự gia tăng tỷ trọng của các nguồn năng lượng tái tạo (Renewable Energy Resources - RESs), hệ thống năng

lượng mặt trời được sản xuất từ các nhà máy điện mặt trời (Photovoltaic Power Plants - PVPPs) gây ảnh hưởng đến ổn định và kiểm soát hệ thống điện, đặc biệt là ổn định tần số. Những nguyên tắc vận hành và đặc tính vốn có của PVPPs là nguyên nhân chính. Chủ yếu là sự khác biệt so với các nhà máy phát điện truyền thống:

Công suất đầu ra của hệ thống PVPPs thường không ổn định vì hoạt động vận hành phụ thuộc vào sự biến đổi của thời tiết. Và khi được vận hành ở điểm công suất cực đại, chúng không có khả năng dự trữ công suất để duy trì kiểm soát tần số [1]. Cuối cùng, PVPPs không có thành phần quán tính có thể được cung cấp trong quá trình mất cân bằng công suất [2].

Ngoài ra, với sự gia tăng PVPPs trong hệ thống điện sẽ làm giảm số lượng các nguồn phát truyền thống từ đó đi giảm quán tính hệ thống [3]. Sự ảnh hưởng trở nên rõ rệt hơn khi chúng được vận hành ở hệ thống độc lập (như hệ thống MicroGrid - MG). Quán tính hệ thống trở nên thấp đi dẫn đến sự thay đổi nhanh công suất đầu ra của hệ thống PV cũng làm cho tần số của hệ thống có thể bị xáo trộn, sai lệch so với các điều kiện ban đầu. Vì vậy, nó trở thành thách thức để điều khiển tần số hệ thống [4].

Để giải quyết được vấn đề này, nhiều giải pháp kỹ thuật điều khiển trong vận hành Microgrid đã được nêu ra [3, 5, 6]. Trong đó, hai phương pháp được nhóm tác giả đề xuất và đánh giá là: Sử dụng hệ thống lưu trữ Pin (Battery - BATT) và Vận hành giảm tải - Deloading control.

Các giải pháp này đều được vận hành nhằm tạo ra thêm công suất dự trữ giúp huy động kịp thời trong trường hợp khi xảy ra mất cân bằng công suất hệ thống từ đó ổn định được tần số, nhưng cách thức hoạt động của hai phương pháp hoàn toàn khác nhau:

- Lưu trữ Pin - BATT bao gồm hệ thống pin và bộ chuyển đổi công suất giúp cung cấp công suất kịp thời khi có sự thiếu hụt công suất từ nguồn hoặc lấy nguồn năng lượng dư thừa để nạp vào hệ thống pin giúp cân bằng công suất tác dụng.

• Vận hành giảm tải - Deloading control có cách hoạt động khác hơn, thay vì vận hành PVPPs ở điểm công suất cực đại (Maximum Power Point - MPP), thuật toán sẽ vận hành ở điểm có công suất thấp hơn. Khi đó PVPPs có thể duy trì một công suất dự trữ ΔP cho hệ thống. Phần dự trữ này sẽ phát ra khi có sự mất cân bằng công suất giúp ổn định tần số hệ thống.

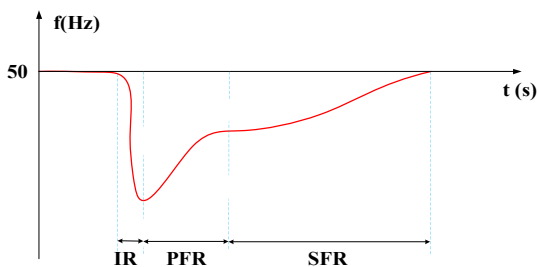
Lưu trữ Pin là một phương pháp hỗ trợ công suất phổ biến trong hệ thống Microgrid trong khi Vận hành giảm tải cho hệ thống PVPPs là phương pháp được đề xuất dựa trên phương thức hoạt động của vận hành giảm tải hệ thống điện gió. Chúng đều là những công nghệ đầy hứa hẹn, kết hợp với hệ thống PVPPs để hỗ trợ tần số hệ thống thông qua đánh giá và mô phỏng trong phần mềm Matlab/Simulink.

Bài báo trình bày hai phương pháp đề xuất với cấu trúc như sau: Phần 2 mô tả phản hồi tần số trong hệ thống điện sau khi có sai lệch về cân bằng công suất. Phần 3,4 lần lượt thể hiện chiến lược điều khiển Lưu trữ Pin và Vận hành giảm tải. Phần 5 sẽ mô phỏng và nhận xét chung cho các chiến lược đề xuất. Cuối cùng, đánh giá và kết luận được nêu trong phần 6.

2. TỔNG QUÁT VỀ PHẢN HỒI TẦN SỐ TRONG HỆ THỐNG

2.1. Hỗ trợ tần số hệ thống

Theo [7], đáp ứng tần số của hệ thống điện được chia thành ba giai đoạn chính: phản hồi quán tính (IR), phản hồi tần số sơ cấp (PFR) và phản hồi tần số thứ cấp (SFR) được mô tả như hình 1. Ở giai đoạn phản hồi quán tính IR, bộ điều tốc của máy phát được điều chỉnh để gia tăng công suất đầu ra của máy phát. Giai đoạn sơ cấp, các máy phát tiếp tục tăng công suất phát cho đến khi cân bằng được công suất nguồn phát và tải. Để phục hồi tần số trở lại giá trị danh định, việc điều khiển tần số được thông qua giai đoạn cuối cùng - phản hồi tần số thứ cấp.



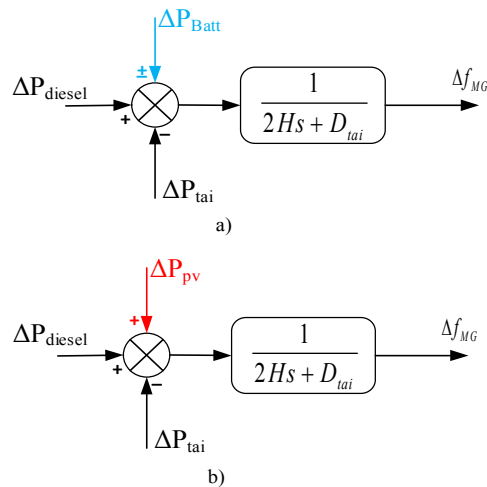
Hình 1. Đáp ứng tần số của hệ thống

Khả năng đáp ứng tần số phụ thuộc lớn vào đặc tính của nguồn phát. Thời gian đáp ứng thường bị trễ do thời gian trễ của bộ điều tốc. Đặc biệt ở hệ thống lưới độc lập với sự thâm nhập cao của PVPPs sẽ làm giảm các nguồn năng lượng truyền thống - đóng vai trò quan trọng chốt trong hỗ trợ quán tính, do đó hệ thống sẽ giảm đáng kể khả năng điều chỉnh tần số.

2.2. Mô hình tín hiệu nhỏ

Để giảm hệ quả do sự thâm nhập cao, thông qua hai chiến lược được đề xuất để tham gia hỗ trợ tần số, quán tính hệ thống sẽ được tăng lên đáng kể. Theo [8], mô hình

tín hiệu nhỏ của Microgrid được đưa ra trong hai trường hợp được đề xuất như hình 2.



Hình 2. Mô hình tín hiệu nhỏ của hai phương pháp đề xuất

a) Hệ thống lưu trữ; b) Deloading_control

Trong đó: ΔP_{pv} , ΔP_{diesel} , ΔP_{Batt} , ΔP_{tai} lần lượt là sự chênh lệch công suất tác dụng của PVPPs, máy phát diesel, hệ thống lưu trữ và tải.

Dựa vào hình 2, ta phân tích được ảnh hưởng của các nguồn tới sự thay đổi của tần số hệ thống. Từ đó điều chỉnh và thay đổi lượng công suất cần hỗ trợ để cân bằng công suất. Với cách vận hành khác nhau, phương pháp sử dụng hệ thống lưu trữ trong hình 2b cho khả năng đáp ứng công suất hai chiều tương ứng khả năng nạp - xả thay vì chỉ dự trữ và phát công suất như phương pháp Vận hành giảm tải của PVPPs như hình 2a.

Tuy nhiên, hệ thống có nhiều nguồn khác nhau luôn biến động ngẫu nhiên về công suất nên việc ổn định tần số là một vấn đề khó khăn. Đối với bài báo này, khả năng huy động công suất của hai đề xuất đều được vận hành theo phương pháp điều khiển độ dốc (Droop_control) nhằm để phân bố công suất chính xác, tức thời giữa các nguồn có khả năng điều độ trong cấp điều khiển sơ cấp giúp hạn chế được vấn đề vừa đề cập ở trên.

3. HỆ THỐNG LƯU TRỮ

Hệ thống lưu trữ bao gồm: bộ phận lưu trữ để nạp/xả công suất; bộ chuyển đổi điện tử công suất; bộ điều khiển lượng công suất nạp/xả. Ngày nay, BATT được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điện độc lập do chi phí thấp và vận hành đơn giản do đó bài báo đề xuất sử dụng BATT cho hệ thống lưu trữ.

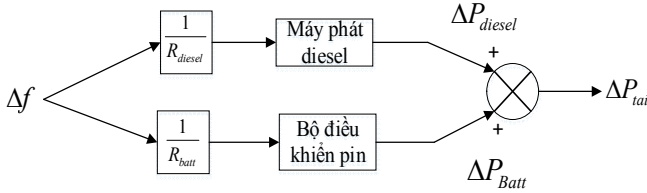
Theo [9], phương trình điện áp đầu ra của BATT được thể hiện theo phương trình sau:

$$V = V_{oc} \pm IR, V_{oc} = f(SoC), R = f(SoC, I, T) \tag{1}$$

Trong đó: V_{oc} là điện áp hở mạch; R là nội điện trở; dòng điện I mang dấu dương trong quá trình phóng điện và mang dấu âm trong quá trình tích điện.

Bộ chuyển đổi công suất DC/DC hai chiều được thể hiện trong [10]. Bộ chuyển đổi này cho phép BATT nhận công

suất hoặc phát công suất lên hệ thống tùy vào tín hiệu điều khiển.



Hình 3. Cấu trúc bộ điều khiển kết hợp Pin và Diesel

Trong đó: R_{diesel} và R_{Batt} lần lượt là đặc tính độ dốc của máy phát Diesel và Batt.

Do công suất của BATT có giới hạn, nên cần kết hợp BATT với máy phát Diesel để cùng phối hợp hỗ trợ tần số hệ thống. Cấu trúc điều khiển kết hợp giữa BATT và máy phát Diesel được thể hiện như hình 3.

Theo [11], bộ điều khiển hệ thống lưu trữ bao gồm bộ điều khiển công suất và bộ điều khiển dòng điện. Bộ điều khiển công suất xác định dòng tham chiếu $d-q$ (I_{dref}, I_{qref}) dựa trên giá trị công suất tham chiếu P_{ref}, Q_{ref} . Bằng cách sử dụng sai số giữa dòng tham chiếu (I_{dref}, I_{qref}) và dòng đo được (I_d, I_q), bộ điều khiển dòng điện tạo ra điện áp tham chiếu V_{dref}, V_{qref} .

Công suất tham chiếu được xác định thông qua phương pháp điều khiển độ dốc.

Theo [8], sự sai lệch tần số được tính theo công thức:

$$\Delta f = f_{net} - f_{ref} = K_p \Delta P \tag{2}$$

Trong đó: K_p là hệ số đặc trưng cho đường đặc tính độ dốc (P-f), ΔP là độ sai lệch công suất tác dụng cần thay đổi của các nguồn (máy phát Diesel và Battery).

Khi hệ thống đang vận hành ổn định ($\Delta f = 0$), BATT không thực hiện quá trình nạp - xả công suất. Nếu có sự dao động về tần số, phụ tải tăng hoặc bức xạ mặt trời giảm thì lúc này ($\Delta f < 0$), BATT và máy phát Diesel phải bơm công suất lên lưới theo đường đặc tính P-f đảm bảo cân bằng phụ tải và nguồn phát. Ngược lại, khi ($\Delta f > 0$) công suất của máy phát Diesel và BATT được điều chỉnh giảm công suất P theo đặc tính P-f để cân bằng với phụ tải, lúc này BATT sẽ hoạt động ở trạng thái nạp.

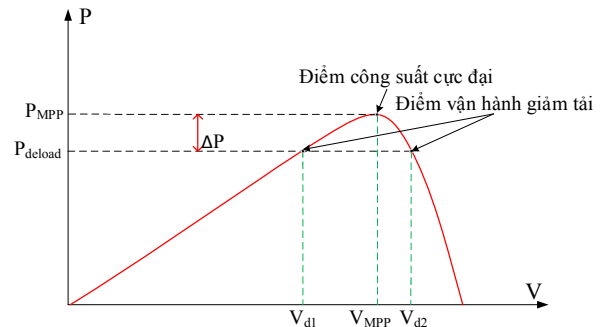
4. ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT THEO PHƯƠNG PHÁP GIẢM TẢI

4.1. Điều khiển giảm tải cho PVPP

Vận hành giảm tải tạo ra một lượng dự trữ công suất ΔP từ PVPPs để huy động cho hệ thống khi có sự sai lệch tần số [3]. Dựa vào đường cong đặc tính P-V được xây dựng, thay vì vận hành tại điện áp V_{MPP} ứng với điểm công suất cực đại (Maximum Power Point - MPP), ta sẽ vận hành tại điểm có điện áp lớn hơn hoặc thấp hơn điện áp tại điểm MPP [12].

$$P_{deload} = (1 - d)P_{MPP} \tag{3}$$

Để dự trữ được công suất một lượng ΔP , hệ thống PV sẽ được vận hành ở công suất P_{deload} với hệ số dự trữ công suất $d\%$ [3]. Công suất được phát ra có thể tính theo (3).



Hình 4. Vận hành giảm tải của PVPP

Phân tích vận hành giảm tải được mô tả theo hình 4. Với hiệu quả trong việc bắt điểm công suất cực đại, thuật toán Artificial Neural Network (ANN) trong [13] sẽ vận hành ở chế độ giảm tải ứng theo (3) với từng điều kiện môi trường khác nhau mà không phụ thuộc vào đặc tính của P-V. Ứng với điểm làm việc cực đại (P_{MPP}, V_{MPP}), dựa vào họ đặc tính đã được xây dựng, PV sẽ được vận hành giảm tải ở một trong hai điểm của công suất P_{deload} (V_{d1} ứng với sườn trái - V_{d2} ứng với sườn phải của đường đặc tính).

4.2. Cách huy động công suất tác dụng để hỗ trợ tần số

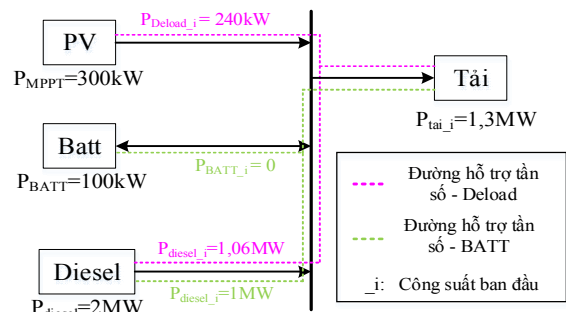
Khác với điều khiển độ dốc có hệ số độ dốc không đổi ở Diesel và BATT. Theo [14], do khả năng dự trữ công suất luôn biến động theo sự thay đổi của bức xạ và nhiệt độ nên hệ số độ dốc thay đổi. Dựa theo phương pháp điều khiển độ dốc trong [15], bài báo đưa ra phương pháp điều khiển độ dốc có hệ số độ dốc thay đổi theo công suất dự trữ cho PVPP như sau:

$$\Delta P(f) = \Delta f \times K = \Delta f \times \frac{\Delta P}{R} \tag{4}$$

Với R là độ lệch tần số cho phép của hệ thống khi có những dao động nhỏ và ΔP là công suất dự trữ được của PVPPs ứng với một giá trị bức xạ và nhiệt độ cụ thể.

$$\Delta P = P_{MPP}(t) - P_{Deload}(t) \tag{5}$$

5. MÔ PHỎNG



Hình 5. Cấu trúc tổng quan Microgrid độc lập

Bài báo mô phỏng và đánh giá hiệu quả vận hành của hai phương pháp tới sự ổn định tần số của hệ thống. Giả sử, sự thay đổi công suất gây ra bởi hai lý do chính:

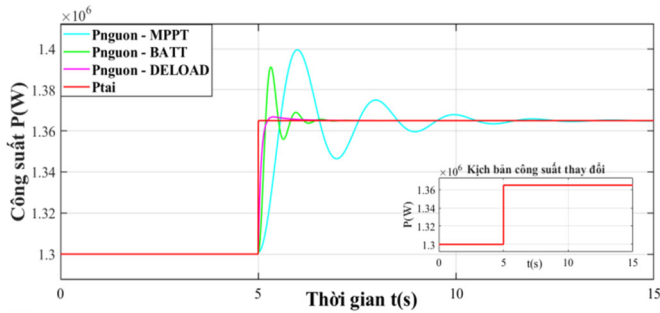
- Do sự thay đổi của tải.
- Do sự thay đổi của nguồn - đặc trưng bởi sự thay đổi công suất PV phụ thuộc vào thời tiết.

Thực hiện mô phỏng với cấu trúc tổng quan ở hình 5. Ứng với mỗi kịch bản, bài báo sẽ so sánh kết quả mô phỏng ở 3 trường hợp vận hành khác nhau: Vận hành ở PVPPs cực đại không lưu trữ - MPPT, vận hành lưu trữ pin - BATT và vận hành giảm tải - Deload.

5.1. Kết quả mô phỏng

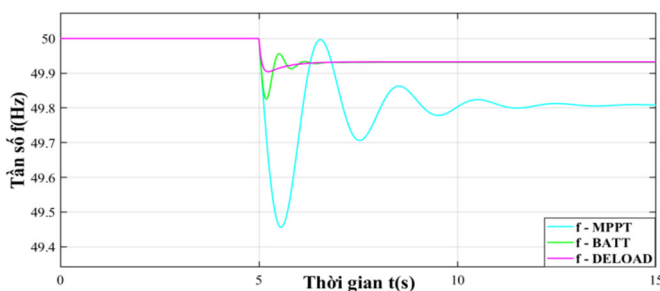
*** Kịch bản 1: Bức xạ không đổi, phụ tải thay đổi**

Ở kịch bản đầu tiên, công suất tải bắt đầu ở 1,3MW từ giây thứ 5 tải tăng thêm 65kW. Hình 6 thể hiện rõ khả năng huy động công suất nguồn bám theo công suất tải trong từng trường hợp.



Hình 6. Đáp ứng công suất theo trường hợp phụ tải thay đổi

Vận hành MPPT, do máy phát Diesel là thành phần duy nhất đảm nhận trách nhiệm cân bằng công suất giữa nguồn và tải. Tuy nhiên, hệ thống cần có thời gian để tăng lượng công suất cần huy động chính vì vậy dao động công suất nguồn lúc này là rất lớn. Vận hành BATT, máy phát Diesel có thêm hỗ trợ từ hệ thống pin phát công suất tác dụng. Vì lượng công suất từ hệ thống lưu trữ là có giới hạn và cần thời gian huy động chính vì vậy sự dao động công suất là vẫn còn nhưng cũng đã giảm đi đáng kể so với việc chỉ vận hành tại MPPT. Vận hành Deload cho phép hệ thống huy động công suất nhanh, sau khi phát hết phần công suất dự trữ thì phần thiếu hụt còn lại do Diesel hỗ trợ tuy nhiên lượng bù vào từ Diesel là không nhiều chính vì vậy cho phép huy động công suất nhanh dẫn đến sự dao động công suất giảm đi đáng kể so với trường hợp sử dụng hệ thống lưu trữ.



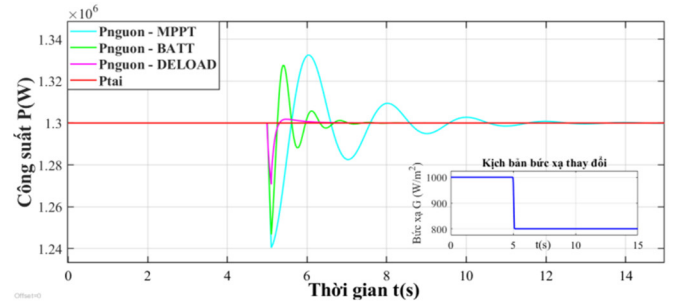
Hình 7. Đáp ứng tần số trong trường hợp phụ tải thay đổi

Với khả năng huy động công suất của từng chế độ dẫn đến đáp ứng tần số tương ứng được thể hiện ở hình 7. Khi vận hành MPPT, tần số hệ thống dao động nhiều và nằm ngoài giới hạn cho phép (49,46Hz), thời gian đạt trạng thái xác lập lâu và tần số sau khi xác lập thấp (49,81Hz). Tần số hệ thống dao động trong phạm vi cho phép trong trường

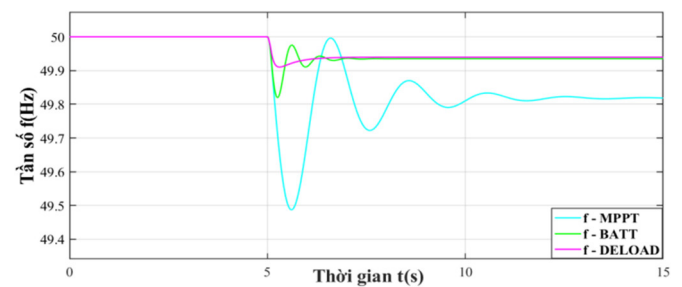
hợp sử dụng lưu trữ (49,83Hz) và vận hành giảm tải (49,91Hz), sau khi xác lập tần số của hai trường hợp này gần bằng nhau khoảng 49,93Hz. Tuy nhiên tốc độ thay đổi tần số khi vận hành giảm tải là chậm hơn và thời gian ổn định sau giao động là nhanh hơn (khoảng 1s) so với trường hợp sử dụng lưu trữ (khoảng 2s).

*** Kịch bản 2: Phụ tải không đổi, bức xạ thay đổi**

Với kịch bản 2, công suất nguồn giảm do giá trị bức xạ giảm (từ 1000W/m² xuống 800W/m² ở giây thứ 5) cũng cho thấy đáp ứng về tần số của hai phương pháp đề xuất tốt hơn so với vận hành MPPT được thể hiện rõ ở hình 9.



Hình 8. Đáp ứng công suất theo trường hợp bức xạ thay đổi



Hình 9. Đáp ứng tần số trong trường hợp bức xạ thay đổi

Hình 8 biểu thị khả năng huy động công suất của từng trường hợp vận hành. Khi bức xạ giảm xuống gây mất cân bằng hệ thống $P_{nguồn} < P_{tải}$, lúc này cần bổ sung một lượng công suất để cân bằng lại tần số. Giống như kịch bản 1, vì hệ thống vận hành MPPT nên lượng công suất mà hệ thống cần bù vào chỉ do máy phát Diesel đảm nhận chính vì thế sự dao động công suất trong hệ thống là rất lớn và thời gian đạt xác lập lâu. Dao động công suất đã được cải thiện rất nhiều khi vận hành BATT, thời gian đạt xác lập cũng đã nhanh hơn tuy nhiên vẫn còn kém hơn so với vận hành Deload do thời gian huy động công suất khi sử dụng phương pháp vận hành giảm tải là nhanh hơn và Diesel hỗ trợ ít hơn.

Tần số hệ thống khi chỉ vận hành tại MPPT dao động lớn, tần số thấp nhất nằm ngoài phạm vi cho phép 49,48Hz. Thời gian đạt xác lập lâu và tần số sau xác lập thấp 49,82Hz. Sự dao động tần số đã được cải thiện đáng kể trong trường hợp sử dụng hệ thống lưu trữ và sử dụng phương pháp vận hành giảm tải. Các giá trị tần số thấp nhất là 49,82Hz khi sử dụng lưu trữ - BATT; 49,91Hz khi áp dụng phương pháp vận hành giảm tải - Deload. Tần số xác lập sau dao động là xấp xỉ gần bằng nhau cho cả hai phương pháp vận hành giảm tải và sử dụng lưu trữ 49,94Hz. Tuy nhiên thời gian đạt xác lập của

phương pháp vận hành giảm tải nhanh hơn (khoảng 2s) so với phương pháp sử dụng lưu trữ (khoảng 3s).

5.2. Nhận xét chung

Từ kết quả mô phỏng ở hai kịch bản khác nhau ta thấy rằng:

Đối với hệ thống điện độc lập, hai chiến lược sử dụng phương pháp vận hành giảm tải và sử dụng hệ thống lưu trữ đáp ứng tốt khả năng huy động công suất và đáp ứng tần số ở giai đoạn sơ cấp so với khi hệ thống chỉ hoạt động ở chế độ MPPT.

Cả hai phương pháp đều có thể san sẻ công suất cho máy phát Diesel. Ngoài ra, khả năng huy động công suất nhanh của từng phương pháp giúp cân bằng công suất nhanh chóng từ đó đưa tần số về trạng thái xác lập nhanh hơn. Đây cũng là một hạn chế của máy phát Diesel khi huy động công suất vì nó thường có khâu trễ làm cho tần số dao động lớn, xác lập trễ hơn so với việc kết hợp với hai phương pháp để xuất.

So sánh hai phương pháp với nhau, vận hành giảm tải - Deload có khả năng huy động công suất nhanh giúp quá trình xác lập về công suất và tần số diễn ra nhanh hơn. Tuy nhiên, khả năng dự trữ công suất sẽ bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết nên độ tin cậy không cao khi làm việc ở điều kiện thời tiết xấu (trời nhiều mây) hay vào ban đêm. Phương pháp sử dụng lưu trữ có thể khắc phục được nhược điểm này do công suất đầu ra từ hệ thống lưu trữ luôn ổn định, hơn nữa quá trình nạp của BATT chỉ bị ảnh hưởng một phần từ PV do máy phát Diesel cũng tham gia vào quá trình khôi phục dung lượng cho BATT.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất và đánh giá hai phương pháp hỗ trợ tần số là phương pháp vận hành giảm tải và phương pháp sử dụng hệ thống lưu trữ cho hệ thống lưới điện độc lập. Phương pháp điều khiển độ dốc được sử dụng trong cả hai phương pháp. Các kết quả mô phỏng cho thấy tần số hệ thống được đáp ứng tốt hơn khi vận hành giảm tải: Dao động tần số ít hơn, giá trị tần số thấp nhất lớn hơn và thời gian ổn định sau dao động cũng nhanh hơn so với phương pháp sử dụng hệ thống lưu trữ. Ngoài ra công suất huy động từ máy phát Diesel khi vận hành giảm tải cũng thấp hơn, ổn định hơn giúp giảm bớt chi phí vận hành, ít điều chỉnh hơn nên tăng tuổi thọ máy phát Diesel. Tuy nhiên, hai phương pháp chỉ hỗ trợ điều khiển sơ cấp nên chưa đưa tần số về danh định. Do đó, hướng điều khiển trong tương lai là hoàn thiện được cả quá trình phản hồi tần số bao gồm điều khiển thứ cấp để đưa tần số về danh định từ đó cải thiện giá trị sai lệch tần số còn tồn tại.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn những góp ý thiết thực của các đồng nghiệp tại khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng để hoàn thiện bài báo này. Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài có mã số CT2022.07.DNA.02.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. V. A. K. Pappu, B. Chowdhury, R. Bhatt, 20210. *Implementing frequency regulation capability in a solar photovoltaic power plant*. In North American Power Symposium 2010, tr 1–6.
- [2]. European Photovoltaic Industry Association, 2012. *Connecting the Sun. Solar Photovoltaics on the Road to Large-Scale Grid Integration*. Brussels, Belgium, 2012.
- [3]. M. Dreidy, H. Mokhlis, S. Mekhilef, 2017. *Inertia response and frequency control techniques for renewable energy sources: A review*. Renewable and sustainable energy reviews, vol 69, tr 144–155.
- [4]. M. Farrokhabadi, C. A. Cañizares, K. Bhattacharya, 2015. *Frequency control in isolated/islanded microgrids through voltage regulation*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol 8, số p.h 3, tr 1185–1194.
- [5]. G. Delille, B. Francois, G. Malarange, 2012. *Dynamic frequency control support by energy storage to reduce the impact of wind and solar generation on isolated power system's inertia*. IEEE Transactions on sustainable energy, vol 3, no. 4, 931–939.
- [6]. T. Grider, 2021. *Analysis of Flywheel Energy Storage Systems for Frequency Support*. Thesis Master of Science, Auburn University.
- [7]. C. Rahmann, A. Castillo, 2014. *Fast frequency response capability of photovoltaic power plants: The necessity of new grid requirements and definitions*. Energies, vol 7, no. 10, 6306–6322.
- [8]. N. H. Hieu, N. V. Tan, N. B. Nam, T. Dinh M. Duc, Dao Huu Dan, L. Q. Cuong, 2020. *The roles of energy storage systems in stabilizing frequency of the islanded microgrid*. The University of Danang - Journal of Science and Technology, vol. 18, no. 5.2, 39-44.
- [9]. N. Achaibou, M. Haddadi, A. Malek, 2012. *Modeling of lead acid batteries in PV systems*. Energy procedia, vol 18, 538-544.
- [10]. B. Y. Li, C. Xu, C. Lib, Z. Guan, 2017. *Working principle analysis and control algorithm for bidirectional DC/DC converter*. Journal of Power Technologies, vol 97, no 4.
- [11]. R. Sepehrzad, S. Nakhaeisharif, A. Al-Durra, M. Allahbakhshi, A. Moridi, 2022. *Islanded micro-grid frequency control based on the optimal-intelligent lyapunov algorithm considering power dynamic and communication uncertainties*. Electric Power Systems Research, vol 208, 107917.
- [12]. R. Rajan, F. M. Fernandez, Y. Yang, 2021. *Primary frequency control techniques for large-scale PV-integrated power systems: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 144, 110998.
- [13]. Nguyen Chinh Kien, 2021. *Ung dung mang noron nhan tao vao bai toan du bao*. Institute of Mechanics - VAST. Available at: <https://imech.ac.vn/upload/NewsImage/2021/1/12/ung-dung-mang-noron-nhan-tao-vao-bai-toan-du-bao-thuy-van.pdf>
- [14]. Nguyen Binh Nam, Nguyen Van Tan, Truong Dinh Minh Duc, Nguyen Van Hieu, Truong Le Vi Thao, Tran Quoc Trung, 2022. *Strategy for enhancing photovoltaic power plant system inertia through de-loading control*. Measurement, Control, and Automation Vol 3 (3).
- [15]. U. B. Tayab, M. A. B. Roslan, L. J. Hwai, M. Kashif, 2017. *A review of droop control techniques for microgrid*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 76, tr 717–727.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Hong Viet Phuong, Nguyen Van Tan, Nguyen Huu Hieu, Nguyen Van Hieu, Tran Van Duan, Pham Duc Hau

Faculty of Electrical Engineering, Danang University of Science and Technology