

# CHIẾN LƯỢC ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT CỦA HỆ THỐNG LƯU TRỮ PIN CHO HUYỆN ĐẢO PHÚ QUÝ

## STRATEGY FOR POWER CONTROL OF BATTERY STORAGE SYSTEM: PHUQUY ISLAND STUDY CASE

Nguyễn Hồng Việt Phương<sup>1\*</sup>, Nguyễn Bình Nam<sup>1</sup>, Huỳnh Văn Luật<sup>1</sup>, Võ Quang Hải<sup>1</sup>, Lê Quốc Cường<sup>1</sup>, Trương Đình Minh Đức<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

\*Tác giả liên hệ: nhvphuong@dut.udn.vn

(Nhận bài: 15/9/2020; Chấp nhận đăng: 18/11/2020)

**Tóm tắt** - Việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo vào hệ thống điện ngày nay đang dần trở thành xu thế. Huyện đảo Phú Quý với tiềm năng gió lớn rất thích hợp để đầu tư các máy phát phong điện (wind turbine). Tuy nhiên, đặc trưng của các nguồn năng lượng tái tạo là tính chất không ổn định do phụ thuộc vào thời tiết. Máy phát điện diesel với cách điều khiển độ dốc truyền thống không đáp ứng kịp sự dao động của công suất trong hệ thống. Bài viết này, đề cập đến việc sử dụng hệ thống lưu trữ pin nhằm ổn định tần số hệ thống và đề xuất ra một chiến lược vận hành dựa theo trạng thái sạc *SoC* (State of Charge) của pin. Các kết quả được mô phỏng và thể hiện qua phần mềm MATLAB/SIMULINK cho thấy tính khả thi và hiệu quả của thuật toán đề xuất.

**Từ khóa** - Năng lượng tái tạo; Máy phát tua-bin gió; Lưới điện độc lập; Hệ thống lưu trữ pin

### 1. Đặt vấn đề

Ngày nay, cùng với sự phát triển của sự công nghiệp hóa và hiện đại hóa thì nhu cầu năng lượng là rất cần thiết. Tuy nhiên, vấn đề đặt ra là làm thế nào để phát triển nguồn năng lượng sao cho phù hợp với sự phát triển lâu dài và không ảnh hưởng tới môi trường và cảnh quan thiên nhiên.

Tại các vùng cô lập (vùng sâu, vùng xa, hải đảo,...), nguồn cung cấp năng lượng chủ yếu vẫn là từ các máy phát điện diesel [1]. Với sự phát triển của các nguồn năng lượng tái tạo như là điện gió, điện mặt trời các nhà máy phát điện truyền thống đang dần được thay thế. So với các nguồn phát truyền thống, năng lượng gió là nguồn năng lượng tái tạo, bền vững và thân thiện với môi trường. Đối với hệ thống phát điện hỗn hợp gió-diesel trong lưới độc lập thì hai tiêu chí quan trọng là chất lượng điện năng và tỷ lệ thâm nhập điện gió [2]. Do đó, cần phải có một chiến lược vận hành phù hợp để tối đa hóa tỷ lệ thâm nhập điện gió mà vẫn đảm bảo chất lượng điện năng.

Hệ thống điện trên huyện đảo Phú Quý là một mô hình thực tế về việc vận hành hệ thống hỗn hợp gió-diesel độc lập. Hiện nay, phụ tải trên đảo Phú Quý chủ yếu là phụ tải sinh hoạt, nên khoảng thời gian từ 23h-6h công suất phụ tải thấp. Khi đó công suất phát từ điện gió sẽ cắt giảm để cân bằng công suất. Phương pháp vận hành này sẽ gây lãng phí năng lượng từ điện gió. Bên cạnh đó, với sự thay đổi liên tục của công suất phụ tải cũng như là công suất của nguồn phát điện gió, điều này làm mất công bằng

**Abstract** - Nowadays, the use of renewable energy sources in electricity systems is a trend. Phu Quy island district with greatly potential wind power is very suitable for investment in wind power generators (wind turbine). However, the characteristic of renewable energy sources is unstable and dependent on the weather. Diesel generators with traditional droop control do not keep up with fluctuations of power in the system. This article mentions the use of the Battery storage system to stabilize the system frequency and proposes an operating strategy based on the state of charge of the Battery. Effectiveness and advantages of Energy Storage Systems in Microgrid are demonstrated by simulation results using the Matlab/Simulink.

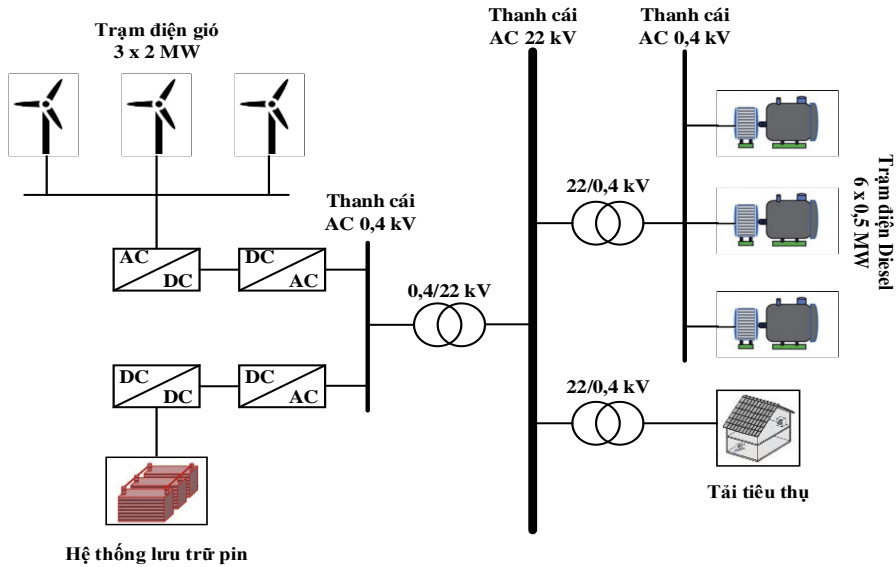
**Key words** - Renewable Energy Resources; Wind Turbine Generator; Islanded Microgrid; Battery Energy Storage System

công suất của hệ thống nên làm cho tần số của hệ thống mất ổn định.

Để khắc phục những vấn đề kỹ thuật này, nhóm tác giả đề xuất sử dụng cấu trúc Microgrid như Hình 1 cho lưới điện Phú Quý có tích hợp hệ thống lưu trữ năng lượng pin (BESS-Battery Energy Storage System). BESS sẽ giúp tích trữ năng lượng khi công suất của điện gió lớn hơn công suất phụ tải yêu cầu và phát điện trở lại lưới khi công suất của điện gió nhỏ hơn công suất của phụ tải. BESS giúp tận dụng tối đa năng lượng từ nguồn điện gió cũng như là các nguồn năng lượng tái tạo. Bên cạnh đó, BESS có khả năng đáp ứng nhanh giúp giảm thiểu các vấn đề dao động và gián đoạn của nguồn năng lượng gió nhằm ổn định điện áp và tần số [3].

Trong bài báo [4] đưa ra một chiến lược điều khiển trong hệ thống cho dựa theo trạng thái sạc *SoC* của nhiều BESS nằm riêng biệt. Việc tối ưu dung lượng lưu trữ pin cho hệ thống đảo Phú Quý được đề cập ở trong [5]. Tuy nhiên, bài báo vẫn chưa phân tích được hiệu quả của BESS đến chất lượng điện năng của hệ thống điện. Trong bài báo này, đánh giá đáp ứng tần số của lưới điện Phú Quý khi áp dụng mô hình Microgrid có sử dụng hệ thống BESS. Sau đó, đề xuất thuật toán phục hồi trạng thái sạc *SoC* cho pin lưu trữ để vận hành tối ưu, tăng tuổi thọ của pin [6] và cuối cùng đánh giá vai trò của pin lưu trữ năng lượng trong việc ổn định tần số ở lưới điện của huyện đảo Phú Quý.

<sup>1</sup> The University of Danang - University of Sciences and Technology (H.V.P. Nguyen, Nguyen Binh Nam, Huynh Van Luat, Vo Quang Hai, Le Quoc Cuong, Trương Đình Minh Đức)



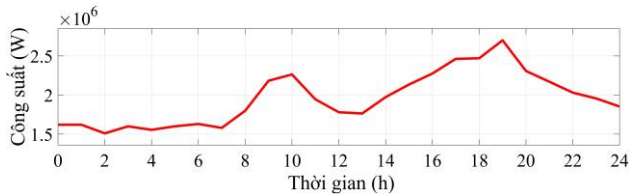
Hình 1. Lưới điện Microgrid sử dụng cho huyện đảo Phú Quý

**2. Cấu trúc hệ thống điện trên huyện đảo Phú Quý**

Trong bài báo này, cấu trúc hệ thống điện độc lập đảo Phú Quý bao gồm các nguồn phân tán: Năng lượng tái tạo (gió) có 3 tổ máy phát điện gió có công suất 3x2 MW, 6 tổ máy phát diesel có công suất 6x500 kW và hệ thống lưu trữ (pin), được kết nối chung vào thanh cái AC (22 kV) cung cấp cho tải như Hình 1.

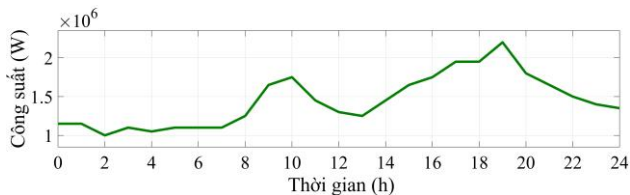
**2.1. Cấu trúc hệ thống điện**

Đối với phụ tải huyện đảo Phú Quý, công suất phụ tải yêu cầu với phụ tải cực đại và cực tiểu lần lượt là  $P_{max} = 2700$  kW,  $P_{min} = 1510$  kW. Việc đảm bảo công suất để cung cấp đủ cho phụ tải là vô cùng cần thiết. Đồ thị phụ tải của huyện đảo Phú Quý được thể hiện như trong Hình 2.



Hình 2. Đồ thị phụ tải ngày

Việc kết hợp với máy phát điện gió và máy phát điện diesel giúp giải tỏa sự thiếu hụt công suất trong hệ thống. Máy phát tua bin gió được sử dụng trong hệ thống là loại DFIG [7] có điều chỉnh góc quay của cánh quạt nhằm đảm bảo công suất nguồn phát luôn bằng với yêu cầu của phụ tải. Công suất phát của máy phát điện gió của huyện đảo Phú Quý được thể hiện chi tiết như trong Hình 3. Với công suất cực tiểu và cực đại của nguồn năng lượng gió lần lượt là  $P_{min\_WT} = 1000$  kW và  $P_{max\_WT} = 2200$  kW.



Hình 3. Đồ thị công suất gió

**2.2. Mô hình toán học của hệ thống**

**2.2.1. Mô hình động học của hệ thống khảo sát**

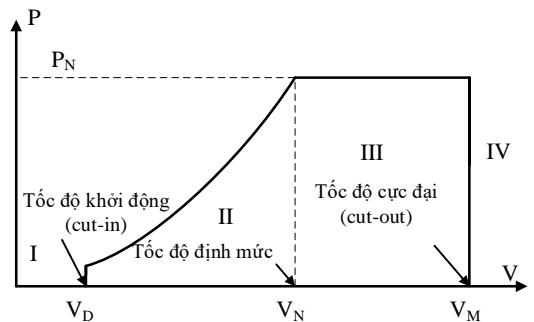
Trong hệ thống Microgrid, để đảm bảo sự ổn định tần số trong hệ thống, công suất của nguồn phát phải được cân bằng với tải tiêu thụ. Vấn đề mất cân bằng công suất dẫn đến sự mất ổn định tần số trong hệ thống. Máy phát diesel đóng vai trò như là một nguồn điều tần trong hệ thống. Phương trình quay của máy phát diesel cũng là phương trình đáp ứng tần số của hệ thống được đề cập trong tài liệu [8] thể hiện qua phương trình dưới đây:

$$P_{phat} - P_{tai} = \frac{d\left(\frac{1}{2} J \omega^2\right)}{dt} \tag{1}$$

Trong đó,  $P_{phat}$  là tổng công suất của nguồn phát bao gồm các nguồn năng lượng tái tạo và máy phát diesel,  $P_{tai}$  là công suất tải tiêu thụ,  $J$  là momen quán tính của máy phát điện diesel,  $\omega$  là tốc độ góc của máy phát.

Dựa vào phương trình động học của microgrid nêu trên ta phân tích được các ảnh hưởng của nguồn năng lượng gió đến sự thay đổi tần số của hệ thống điện huyện đảo Phú Quý.

**2.2.2. Mô hình tuabin gió**



Hình 4. Đường cong P(v) dạng tổng quát [9]

Turbine gió làm việc dựa trên nguyên tắc chuyển đổi năng lượng gió sang năng lượng cơ trên trục quay của turbine, sau đó năng lượng cơ được chuyển sang năng

lượng điện thông qua máy phát điện. Công suất cơ trên trục turbine được tính theo phương trình (2) [10].

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p v^3 \quad (2)$$

Trong đó,  $\rho$  là mật độ không khí ( $\text{kg/m}^3$ ),  $R$  là chiều dài cánh quạt hoặc là bán kính của tuabin,  $C_p$  là hệ số công suất gió của cánh tuabin,  $v$  là vận tốc gió.

Ta có đường đặc tính công suất theo tốc độ gió như Hình 4. Trên đường đặc tính vận hành có 4 vùng chính:

\* Vùng I, tốc độ gió nhỏ hơn tốc độ khởi động  $V_D$  của tuabin. Trong trường hợp này tuabin gió không hoạt động và không phát điện.

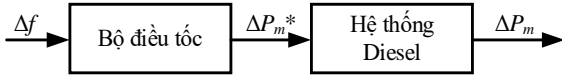
\* Vùng II, có tốc độ gió trong khoảng ( $V_D, V_N$ ) ứng với vùng có thể tối ưu về biến đổi năng lượng. Đây là vùng mà sự thay đổi tốc độ rất cần để nhận được công suất lớn nhất có thể.

\* Vùng III, trong này công suất gió tăng, nhưng công suất của tuabin bị giới hạn bởi công suất danh định  $P_N$ . Ở tốc độ gió trên danh định  $V_N$  nếu tăng kích thước, công suất máy phát, sức bền cơ của cấu trúc... thì lợi ích sản xuất điện sẽ không bù lại được chi phí ban đầu.

\* Vùng IV, khi tốc độ gió vượt quá tốc độ cực đại mà tuabin có thể chịu đựng thì tuabin sẽ được dừng bởi hệ thống dừng khẩn cấp để bảo vệ hư hỏng phần cơ.

### 2.2.3. Mô hình máy phát điện diesel

Mô hình hóa máy phát diesel đơn giản bao gồm bộ điều khiển tần số và máy phát điện diesel như Hình 5.



Hình 5. Mô hình máy phát diesel

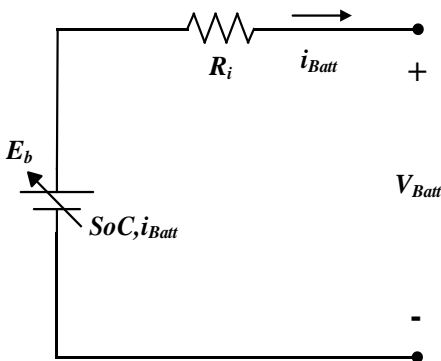
Phần động của máy phát điện diesel bao gồm cơ cấu truyền động, bộ điều tốc và động cơ. Tuy nhiên, để đơn giản hóa, ta mô hình hóa máy phát điện diesel bằng một hàm truyền bậc 1 như phương trình (3):

$$\Delta P_m(s) = \frac{1}{T_g \cdot s + 1} \Delta P_m^*(s) \quad (3)$$

Trong đó,  $\Delta P_m^*(s)$  là tham chiếu độ lệch công suất,  $T_g$  là độ trễ của máy phát điện diesel.

### 2.2.4. Mô hình BESS

Một tương đương của một hệ thống pin, có tên gọi là mô hình CIEMAT [11] được chỉ ra như trong Hình 6.



Hình 6. Mô hình tương đương của pin

Mô hình này bao gồm một nguồn áp  $E_b$  và một nội trở  $R_i$ . Các thông số có thể được thay đổi trong quá trình hoạt động của của battery như: Trạng thái sạc của pin (State of Charge – SoC), dòng điện chạy qua pin và số cell pin trong một dãy. Phương trình biểu thị mạch tương đương như sau:

$$V_{batt} = n_b E_b + n_b i_{batt} R_i \begin{cases} E_b = f(\text{SoC}) \\ R_i = f(i_{batt}, \text{SoC}, T) \end{cases} \quad (4)$$

Nguồn áp  $E_b$  đặc trưng cho điện áp hở mạch của pin, điện áp này do năng lượng được lưu trữ trong pin thông qua các phản ứng hóa học bên trong nó.  $R_i$  là nội trở và nó đặc trưng cho tổn thất trong pin. Giá trị của nội trở này thay đổi theo điểm làm việc của pin ( $i, \text{SoC}, T$ ) và tuổi thọ của nó. Khi pin hỏng, thường sẽ có nội trở cao bất kể điểm làm việc như thế nào. Nội trở cũng tỉ lệ nghịch với SoC, khi pin xả công suất thì nội trở tăng và ngược lại.

Trong bài báo này, để đơn giản hóa quá trình mô phỏng tấm pin, sự thay đổi của nội trở được bỏ qua. Hay nói cách khác, giá trị  $R_i$  là xem như là hằng số trong suốt chu kỳ nạp/xả của pin.

Lúc này, nguồn áp  $E_b$  được biểu thị lại như sau:

$$E_b = E_0 - K \cdot Q \cdot \frac{1}{(Q - i_t)} + A e^{-B i_t} \quad (5)$$

Với  $E_0$  là điện áp pin lúc sạc đầy (V),  $A$  là điện áp hàm mũ (V),  $K$  là điện áp phân cực (V) và  $Cap$  là tổng dung lượng của pin (Ah).

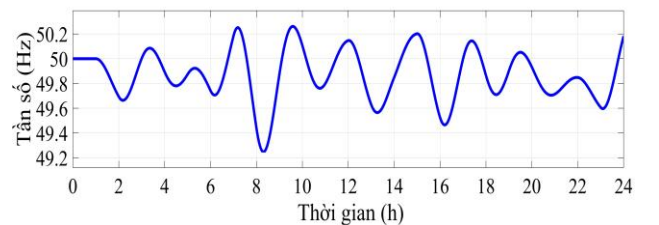
Công thức tính SOC (%) được đề cập trong [12]:

$$SOC = SOC_0 - \int_0^t \frac{i_{batt}(\tau)}{Cap} d\tau \quad (6)$$

Trong đó:  $SOC_0$  (%) là giá trị ban đầu của trạng thái sạc của pin;  $i_{batt}(t)$  (A) là dòng sạc vào pin.

### 2.3. Dao động tần số khi không có BESS

Trong quá trình vận hành, luôn có sự chênh lệch công suất giữa nguồn phát và phụ tải tiêu thụ. Máy phát điện diesel với cách điều khiển độ dốc truyền thống có thời gian đáp ứng cao, điều này dẫn đến sự chênh lệch về tần số của hệ thống nằm ngoài khoảng tần số danh định cho phép  $f = 50 \pm 0,2$  (Hz). Tần số của hệ thống được thể hiện như trong Hình 7. Điều này dẫn đến kết luận rằng, hệ thống cần có một nguồn có khả năng đáp ứng nhanh, cân bằng được các sự thay đổi của nguồn năng lượng tái tạo.



Hình 7. Tần số của hệ thống khi không có thiết bị lưu trữ

### 3. Phương pháp điều khiển trong hệ thống Microgrid

Để đánh giá hiệu quả của lưới điện Phú Quý khi sử dụng cấu trúc Microgrid đã nêu, bài báo đề xuất 2 phương pháp điều khiển công suất nguồn phát như sau:

Phương pháp 1: Điều khiển công suất của cả máy phát

điện diesel và hệ thống lưu trữ pin theo đặc tính độ dốc.

Phương pháp 2: Điều khiển công suất của máy phát điện diesel và BESS theo thuật toán đề xuất.

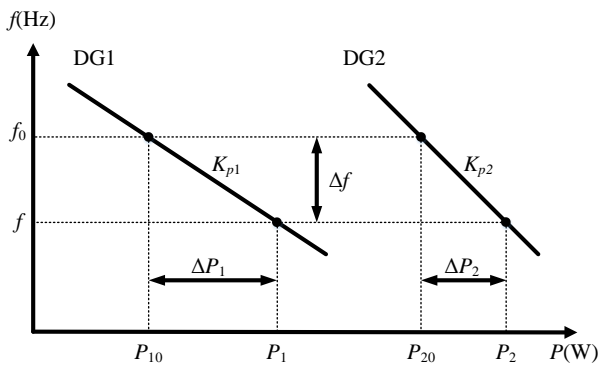
**3.1. Phương pháp điều khiển công suất theo độ dốc**

Sự mất cân bằng công suất tác dụng giữa phụ tải và máy phát là nguyên nhân gây ra độ lệch tần số trạng thái ổn định ( $\Delta f$ ) từ tần số trạng thái ổn định ( $f_0 = 50$  Hz) sang tần số ( $f$ ) [13].

Công suất của phụ tải thay đổi sẽ làm cho tần số của hệ thống biến đổi so với tần số định mức. Khi đó, công suất của hệ thống lưu trữ và nguồn phát phải bù công suất cho sự thay đổi đó.

$$f = f_0 - K_p \Delta P \tag{7}$$

Trong đó,  $K_p$  là hệ số đặc trưng cho các đường đặc tính độ dốc ( $P$ - $f$ ).  $\Delta P$  là độ lệch công suất tác dụng cần thay đổi của các nguồn.



**Hình 8.** Phương pháp điều khiển độ dốc

Theo Hình 8, thông thường, công suất cung cấp từ máy phát đến tải không đổi, hệ thống đang ổn định ở tần

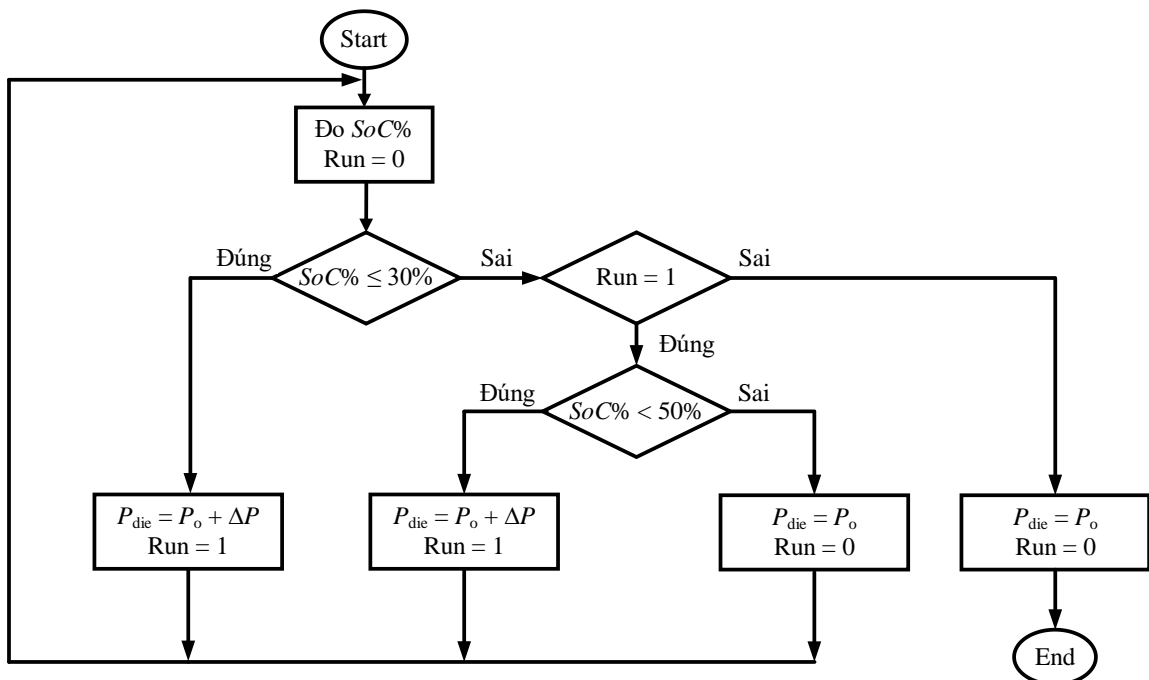
số  $f_0$ , lúc này độ lệch tần số  $\Delta f$  bằng 0. Nguồn lưu trữ lúc này không nạp và cũng không phát công suất vào lưới. Nếu có một sự dao động về công suất trong hệ thống xảy ra, giả sử phụ tải tăng, thì độ lệch tần số  $\Delta f$  lúc này sẽ nhỏ hơn 0. Dẫn đến tần số hệ thống dịch chuyển từ  $f_0$  đến  $f_1$ . Lúc này cả máy phát nhiệt điện và nguồn lưu trữ phải bơm vào một lượng công suất cho hệ thống để đảm bảo tần số trong phạm vi cho phép, xác lập tại điểm cân bằng mới là  $f_1$ . Nguồn lưu trữ lúc này xả với một lượng công suất là  $\Delta P$ . Ngược lại, khi độ lệch tần số dương thì nguồn lưu trữ phải tham gia vào việc lưu trữ công suất bằng cách nạp vào.

**3.2. Phương pháp phục hồi SoC.**

Máy phát điện diesel được dùng để điều chỉnh trạng thái sạc ( $SoC$  – State Of Charge) của BESS được tính theo phương trình (6).

Trong thuật toán điều khiển hệ thống Microgrid độc lập bao gồm hệ thống gió-diesel được thể hiện như trong Hình 9, máy phát điện diesel được vận hành ở công suất không đổi. Khi trạng thái sạc  $SoC$  của hệ thống lưu trữ pin đạt xuống ngưỡng thấp ( $SoC \leq 30\%$ ) thì bắt đầu huy động công suất từ máy phát điện diesel để phục hồi trạng thái  $SoC$  của pin. Khi  $SoC$  của pin đạt ngưỡng  $SoC = 50\%$  thì không huy động máy phát diesel nữa. Lúc này, máy phát điện diesel vận hành bằng công suất ban đầu.

Bằng cách sử dụng hệ thống lưu trữ pin để cân bằng nhanh công suất trong hệ thống, máy phát điện diesel được vận hành ở công suất không đổi. Do đó, có thể giảm thiểu được chi phí nhiên liệu đầu vào máy phát, hạn chế được các tác động không tốt đến môi trường. Việc điều khiển công suất của hệ thống lưu trữ pin luôn đảm bảo  $SoC_{min} \leq SoC \leq SoC_{max}$ , do đó nâng cao được tuổi thọ cũng như là việc tối ưu việc sử dụng hệ thống lưu trữ pin [14].



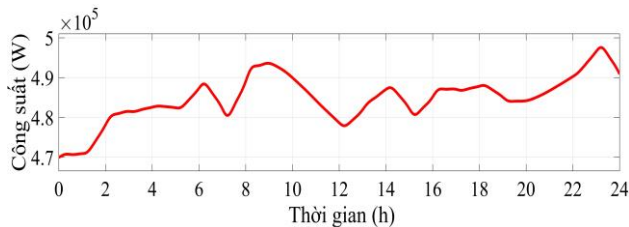
**Hình 9.** Lưu đồ thuật toán phục hồi SoC

#### 4. Kết quả mô phỏng

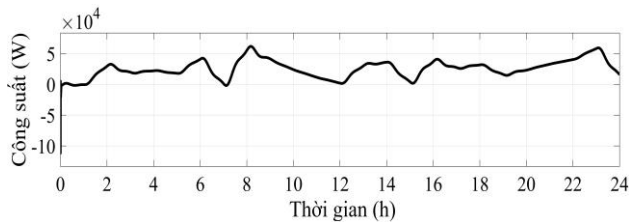
Kết quả mô phỏng dưới đây phân tích đáp ứng tần số của hệ thống trong hai trường hợp: (1) Vận hành máy phát diesel và BESS theo đặc tính độ dốc thông thường và (2) vận hành máy phát diesel và BESS theo chiến lược đề xuất.

##### 4.1. Trường hợp có hệ thống lưu trữ pin

Trong trường hợp này, máy phát diesel được vận hành theo đặc tính độ dốc thông thường. Do đó, công suất của máy phát điện diesel luôn thay đổi theo độ lệch tần số của hệ thống. Việc huy động công suất máy phát điện diesel thay đổi liên tục có thể làm giảm tuổi thọ của máy phát cũng như là làm tăng lượng khí thải CO<sub>2</sub> thoát ra môi trường. Tuy nhiên, với vai trò là nguồn điều tần chính trong hệ thống điện huyện đảo Phú Quý, lúc này máy phát điện diesel vẫn có khả năng duy trì tần số hệ thống duy trì trong khoảng  $f = 50 \pm 0,2$  Hz như theo các yêu cầu về chất lượng điện năng. Đồ thị công suất của máy phát điện diesel được thể hiện như trong Hình 10.

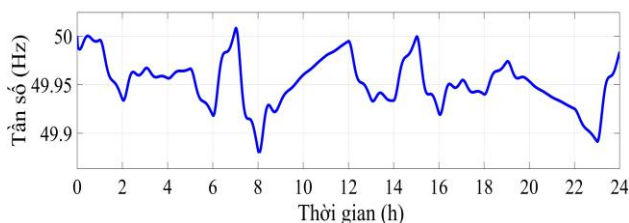


Hình 10. Đáp ứng công suất của diesel



Hình 11. Đáp ứng công suất của pin

Khi có sự mất cân bằng công suất giữa nguồn phát và phụ tải trong hệ thống. Hệ thống lưu trữ sẽ sạc/xả công suất để cân bằng công suất trong hệ thống như Hình 11.



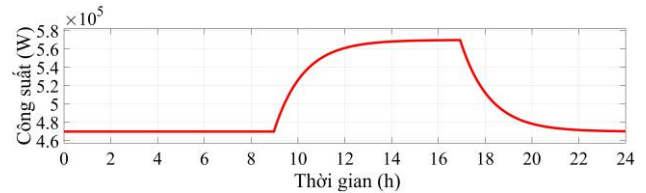
Hình 12. Tần số của hệ thống khi có thiết bị lưu trữ

Với khả năng đáp ứng công suất nhanh của hệ thống lưu trữ, hệ thống luôn cân bằng được công suất của nguồn phát cũng như là phía phụ tải tiêu thụ. Tần số của hệ thống dao động trong khoảng tần số danh định cho phép  $f = 50 \pm 0,2$  Hz như Hình 12. Như vậy tần số của hệ thống được duy trì ổn định.

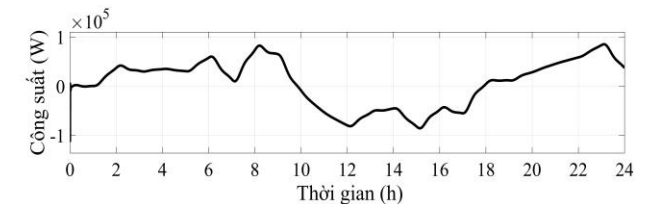
##### 4.2. Trường hợp có lưu trữ và phục hồi trạng thái sạc SoC của BESS

Ban đầu hệ thống hỗn hợp gió-diesel được vận hành với nguồn phát diesel có giá trị không đổi. Hệ thống lưu trữ sẽ đóng vai trò chính trong việc cân bằng công suất của hệ

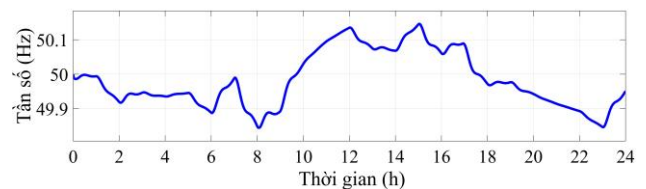
thống để ổn định tần số. Khi trạng thái sạc SoC của hệ thống xuống ngưỡng  $SoC = 30\%$  thì nguồn phát diesel bắt đầu tăng công suất so với giá trị ban đầu. Khi trạng thái sạc SoC của hệ thống lưu trữ tăng lên đến giá trị  $SoC = 50\%$  thì máy phát diesel giảm công suất về giá trị ban đầu như Hình 13, Hình 14. Với việc áp dụng phương pháp phục hồi trạng thái sạc SoC giúp cho công suất của hệ thống lưu trữ pin luôn đảm bảo làm việc trong khoảng  $SoC_{min} \leq SoC \leq SoC_{max}$ , điều này giúp tối ưu khả năng sử dụng hệ thống lưu trữ pin. Bên cạnh đó còn hạn chế việc xả sâu của hệ thống lưu trữ góp phần nâng cao tuổi thọ của pin.



Hình 13. Đồ thị công suất diesel



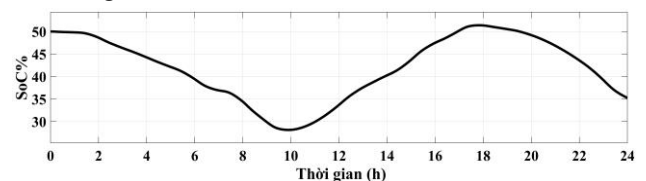
Hình 14. Đáp ứng công suất của pin



Hình 15. Tần số của hệ thống

Khi áp dụng phương pháp phục hồi trạng thái sạc SoC, khi đó tần số của hệ thống vẫn được duy trì trong khoảng cho phép  $f = 50 \pm 0,2$  Hz như Hình 15. Như vậy tần số của hệ thống vẫn được giữ ổn định.

Trạng thái sạc SoC của BESS qua chiến lược vận hành đề xuất luôn được duy trì trong ngưỡng để đảm bảo tuổi thọ của pin. Trạng thái sạc SoC của BESS được thể hiện như trong Hình 16.



Hình 16. Trạng thái sạc SoC của BESS trong chiến lược đề xuất

#### 5. Kết luận

Qua đó, bài báo này đề xuất một thuật toán vận hành cho một hệ thống điện độc lập ở huyện đảo Phú Quý bao gồm gió-diesel kết hợp với BESS. Theo đó giúp nâng cao được khả năng nhập của nguồn năng lượng gió vào trong hệ thống điện. Các dao động đến từ các nguồn năng lượng tái tạo được ổn định nhanh nhờ hệ thống lưu trữ pin. Thuật toán điều khiển phục hồi trạng thái sạc SoC của BESS đề xuất giúp duy trì mức năng lượng của pin luôn



nằm trong ngưỡng vận hành ổn định, tăng tuổi thọ của pin. Trong tương lai, hướng nghiên cứu sẽ phát triển thêm các thuật toán điều khiển tối ưu vào trong hệ thống đồng thời khảo sát chất lượng điện năng theo nhiều phương diện tần số, điện áp. Các nghiên cứu sau này sẽ làm nâng cao tính khả thi của bài báo được nghiên cứu.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2019-DN02-57.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V. Nguyen, D. Hoang, H. Nguyễn Hữu, K. Le, T. Truong, and Q. Le, "Analysis of Uncertainties for the Operation and Stability of an Islanded Microgrid", 2019, pp. 178–183, doi: 10.1109/ICSE.2019.8823105.
- [2] Q. Duong, T. V. Dinh, V. T. Nguyen, H. V. P. Nguyen, N. Tran, and T. T. M. Le, "Effects of FSIG and DFIG wind power plants on Ninh Thuan power grid, Vitenam", *GMSARN Int. J.*, vol. 12, pp. 133–138, 2018.
- [3] Z. Miao, L. Xu, V. R. Disfani, and L. Fan, "An SOC-based battery management system for microgrids", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 966–973, 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2279638.
- [4] J. Chang, G.-S. Lee, H.-J. Moon, M. Glick, and S.-I. Moon, "Coordinated Frequency and State-of-Charge Control with Multi-Battery Energy Storage Systems and Diesel Generators in an Isolated Microgrid", *Energies*, vol. 12, p. 1614, 2019, doi: 10.3390/en12091614.
- [5] N. Nguyen-Hong, H. Nguyen-Duc, and Y. Nakanishi, "Optimal Sizing of Energy Storage Devices in Isolated Wind-Diesel Systems Considering Load Growth Uncertainty", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 3, pp. 1983–1991, 2018, doi: 10.1109/TIA.2018.2802940.
- [6] H. Qian, J. Zhang, J.-S. Lai, and W. Yu, "A High-Efficiency Grid-Tied Battery Energy Storage System", *Power Electron. IEEE Trans.*, vol. 26, pp. 886–896, 2011, doi: 10.1109/TPEL.2010.2096562.
- [7] L. Fernández-Ramírez, F. Jurado, and J. Saenz, "Aggregated dynamic model for wind farms with doubly fed induction generator wind turbines", *Renew. Energy*, vol. 33, pp. 129–140, 2008, doi: 10.1016/j.renene.2007.01.010.
- [8] D. Tielens, P. Herterem, "Grid Inertia and Frequency Control in Power Systems with High Penetration of Renewables", *ELECTA Res. Gr.*, pp. 1–5, 2012, doi: 10.1101/sqb.1974.039.01.121.
- [9] M. Badreldien, R. Usama, A. El-Wakeel, and A. Abdelaziz, "Modeling, Analysis and Control of Doubly Fed Induction Generators for Wind Turbines", *Int. Conf. Electr. Eng.*, vol. 9, pp. 1–17, 2014, doi: 10.21608/iceeng.2014.30383.
- [10] R. Zhu, A. Zhao, G. Wang, X. Xia, and Y. Yang, "An Energy Storage Performance Improvement Model for Grid-Connected Wind-Solar Hybrid Energy Storage System", *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2020, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1155/2020/8887227.
- [11] N. Achaibou, M. Haddadi, and M. Ali, "Modeling of Lead Acid Batteries in PV Systems", in *Energy Procedia*, vol. 18, 2012, pp. 538–544.
- [12] T. Dragicevic, J. Guerrero, J. C. Vasquez, and D. Skrllec, "Supervisory Control of an Adaptive-Droop Regulated DC Microgrid With Battery Management Capability", *Power Electron. IEEE Trans.*, vol. 29, pp. 695–706, 2014, doi: 10.1109/TPEL.2013.2257857.
- [13] J. Mongkoltanatas, D. Riu, and X. Lepivert, "Energy storage design for primary frequency control for islanding micro grid", *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, no. 1, pp. 5643–5649, 2012, doi: 10.1109/IECON.2012.6389033.
- [14] T. Hiranaka, H. Shim, and T. Namerikawa, "SoC regulator and DOB-based load frequency control of a microgrid by coordination of diesel generator and battery storage", 2016, pp. 64–69, doi: 10.1109/CCA.2016.7587823.