

NGHIÊN CỨU TÍCH HỢP HỆ THỐNG TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG VÀO HỆ THỐNG ĐIỆN ĐẢO PHÚ QUÝ

A STUDY ON THE INTEGRATION OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) INTO THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF PHU QUY ISLAND

Nguyễn Ngọc Văn, Nguyễn Hữu Đức*

TÓM TẮT

Thực tiễn vận hành hệ thống điện trên huyện đảo Phú Quý, tỉnh Bình Thuận cho thấy mặc dù được đầu tư công suất điện gió tương đối lớn so với nhu cầu phụ tải, toàn bộ hoạt động cũng như tính ổn định của hệ thống điện vẫn phụ thuộc phần lớn vào máy phát diesel. Tỷ lệ thâm nhập của năng lượng tái tạo vào hệ thống tương đối thấp dẫn đến chi phí sản xuất điện năng lớn. Bài báo này thực hiện thu thập dữ liệu hoạt động của toàn hệ thống điện trên đảo trong một năm đồng thời tiến hành tính toán mô phỏng bằng MATLAB nhằm nghiên cứu tính khả thi của việc tích hợp hệ thống tích trữ điện năng (BESS) vào hệ thống điện hiện hữu của huyện đảo. Mục đích nghiên cứu chính của bài báo là (1): Đưa ra một phương pháp vận hành nhằm sử dụng tối đa năng lượng sạch từ nguồn tái tạo và (2): Tính toán định lượng tính hiệu quả của việc tích hợp hệ thống BESS vào lưới điện đảo Phú Quý.

Từ khóa: BESS; lưới điện độc lập; hệ thống điện lai; điện gió; điện mặt trời.

ABSTRACT

The reality of operating the electric power system of Phu Quy island district, Binh Thuan province shows that although the invested wind power is relatively high compared to the load demand, operation and the stability of the system still largely depend on diesel generators. Low penetration rate of renewable energy into the system results in high electricity production costs. This paper acquires operation data of the entire electric power system for one year and performs simulation and calculations in MATLAB to study the feasibility of integrating a battery energy storage system (BESS) to the Phu Quy's existing power system. Objectives of this study are as (1): Introduce an operating method which can harvest maximum clean energy from renewable sources and (2) implement a quantitative calculation of the effectiveness of BESS integration into the Phu Quy island's grid

Keywords: BESS; isolated network; hybrid power system; wind energy; solar energy.

Trường Đại học Điện lực

*Email: ducnh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/10/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/11/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/02/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với các lưới điện độc lập có sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo, tính không liên tục và biến động của

các nguồn năng lượng tái tạo ảnh hưởng lớn đến độ ổn định của toàn hệ thống [1-4]. Để đảm bảo tính ổn định, các hệ thống điện này thường chỉ cho phép mức độ thâm nhập của năng lượng tái tạo ở tỷ lệ nhỏ. Phần lớn điện năng cung cấp cho tải được đảm nhận bởi các máy phát diesel. Trước thực tế đó, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm tăng tỷ lệ thâm nhập và sử dụng tối ưu hơn các nguồn năng lượng tái tạo, góp phần giảm tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch và tối ưu chi phí sản xuất điện năng [2]. Một số nghiên cứu tập trung vào xây dựng các thuật toán vận hành đồng thời thiết lập mô hình mô phỏng nhằm tăng tỷ lệ sử dụng năng lượng tái tạo nhưng vẫn đảm bảo các ràng buộc về điện áp tại các nút và tần số toàn hệ thống [3]. Các giải pháp vận hành này nhằm mục đích tăng lợi nhuận của bên bán điện và giảm chi phí với bên mua điện [8]. Một vài nghiên cứu khác tập trung vào việc ứng dụng các hệ thống tích trữ năng lượng bằng ắc quy (BESS) để tích trữ khi dư thừa năng lượng tái tạo và phát lại khi gián đoạn hoặc thiếu hụt năng lượng tái tạo so với nhu cầu phụ tải, đồng thời xây dựng thuật toán điều khiển, vận hành tối ưu mạng điện có tích hợp BESS [7].

Các mô hình về điện gió được nêu trong [2, 3, 6] chỉ ra sự phụ thuộc về công suất gió ở đầu ra theo tốc độ gió, hệ số hình dáng, mật độ khí... trong đó tốc độ gió được xem như là một biến ngẫu nhiên được biểu diễn bằng phân bố Weibull. Vấn đề điều tần khi tích hợp BESS cũng được đề cập đến trong [14].

Hoạt động của các hệ thống điện độc lập hiện nay ở Việt Nam cũng phụ thuộc phần lớn vào máy phát diesel. Điển hình, tại huyện đảo Phú Quý - Bình Thuận, mặc dù được đầu tư hệ thống điện gió công suất tương đối lớn so với tải, nhưng sản lượng điện gió thâm nhập còn thấp. Nhu cầu nghiên cứu và áp dụng các giải pháp cải thiện mức độ thâm nhập năng lượng tái tạo trong điều kiện tại Việt Nam trở thành yêu cầu cấp thiết. Tuy nhiên có ít nghiên cứu chỉ ra định lượng hiệu quả của việc tích hợp hệ thống BESS vào lưới điện đảo với các dữ liệu cụ thể. Do vậy, nghiên cứu này được thực hiện để xác định định lượng tính hiệu quả của việc tích hợp BESS trong trường hợp cụ thể lưới điện đảo Phú Quý với các đặc điểm điển hình của hệ thống điện độc lập có các nguồn phát gió, mặt trời và diesel. Mục đích

nghiên cứu chỉnh của bài báo là (1): Đưa ra một phương pháp vận hành nhằm sử dụng tối đa năng lượng sạch từ nguồn tái tạo và (2): Tính toán định lượng tính hiệu quả của việc tích hợp hệ thống BESS vào lưới điện đảo Phú Quý.

Trong bài báo này, các tác giả tiến hành thu thập dữ liệu vận hành thực tế đồng thời đưa vào hệ thống lưu trữ điện năng [5] và tính toán mô phỏng hoạt động của hệ thống nhằm tối ưu tỷ lệ thâm nhập của năng lượng tái tạo cho lưới điện độc lập trên huyện đảo. Các kết quả tính toán mô phỏng khi sử dụng BESS được thực hiện trong một năm và so sánh với dữ liệu vận hành thực tế khi chưa áp dụng giải pháp nhằm xác định tính khả thi của phương án. Bài báo được cấu trúc như sau: Mục 2 trình bày hiện trạng hệ thống điện trên đảo Phú Quý. Mục 3 trình bày mô hình hệ thống điện để xuất tích hợp thêm BESS. Phương pháp vận hành hệ thống điện lai được xây dựng tại mục 4. Kết quả mô phỏng và phân tích được trình bày trong mục 5. Một số kết luận được đưa ra tại mục 6.

2. HỆ THỐNG ĐIỆN TRÊN ĐẢO PHÚ QUÝ

Nguồn điện cung cấp cho huyện đảo Phú Quý hiện nay chủ yếu từ nguồn điện diesel và điện gió bao gồm:

- Nguồn diesel: công suất thiết kế 5MW gồm 6 máy phát Cummin 500kW và 2 máy phát Perkin 1000kW. Năm 2018, nhà máy đã được mở rộng bổ sung thêm 5 máy phát điện diesel công suất 1000kW, nâng tổng công suất đặt của toàn nhà máy lên 10 MW.

- Điện gió: tổng công suất 6MW, gồm 3 turbine Vestas với công suất mỗi turbine là 2MW.

Trước ngày 01/7/2014, nguồn cấp điện trên đảo do nhà máy diesel và nhà máy phong điện vận hành hỗn hợp cung cấp điện theo phương thức vận hành 16 giờ/ngày. Sau ngày 01/7/2014, điện được cung cấp 24/24. Tỷ lệ phát điện của diesel và điện gió tương ứng là 65% và 35%. Khi tốc độ gió thấp hoặc khi tốc độ gió quá cao kèm theo gió giật, máy phát turbine gió bị tách khỏi lưới, việc cung cấp điện do máy phát diesel đảm nhận.

Sản lượng điện trong hai năm 2017, 2018 được thống kê trong bảng 1. Năm 2018, công suất phụ tải $P_{max} = 3500kW$, $P_{min} = 1300kW$.

Bảng 1. Thống kê sản lượng điện năm 2017, 2018

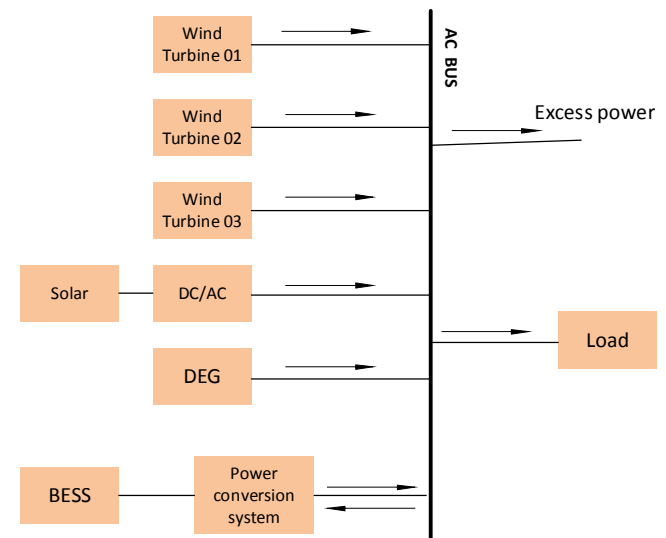
Sản lượng điện (kWh)	Năm 2017	Năm 2018
Điện sản xuất	16.174.129	18.299.095
+ Diesel	11.248.429	11.627.395
+ Điện gió	4.925.700	6.671.700

Trong giai đoạn 2019-2029, dự báo tốc độ tăng trưởng phụ tải hàng năm khoảng 8-10%.

Với yêu cầu đảm bảo cấp điện theo phương thức vận hành 24/24, hệ thống điện trên huyện đảo Phú Quý hiện nay luôn phải duy trì phát điện diesel nhằm đảo bảo ổn định lưới, dự phòng quay (spinning reserve), đảm bảo cấp điện ổn định cho phụ tải khi nguồn năng lượng gió biến động.

3. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐIỆN LAI ĐIỆN GIÓ - ĐIỆN MẶT TRỜI - DIESEL - BESS

Trong giai đoạn tới, huyện đảo Phú Quý khởi động dự án năng lượng mặt trời với công suất thiết kế 0,85MW, đồng thời nghiên cứu tích hợp hệ thống tích trữ năng lượng (BESS) với công suất thiết kế 3MW và dung lượng 1,5MWh (hình 1).



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống điện trên đảo khi tích hợp BESS và bổ sung điện mặt trời

Hệ thống gồm 3 turbine gió với công suất mỗi turbine là 2MW, máy phát diesel với tổng công suất 10MW, điện mặt trời 0,85MW và hệ thống tích trữ năng lượng. BESS được tích hợp vào hệ thống nhằm hấp thụ năng lượng tái tạo khi dư thừa đồng thời xả năng lượng khi lượng năng lượng tái tạo tạo ra thấp hơn nhu cầu phụ tải. Đặc trưng này góp phần làm giảm ảnh hưởng do tính biến động của các nguồn năng lượng tái tạo lên hệ thống đồng thời tăng mức độ sử dụng năng lượng tái tạo.

Những ưu điểm khác của BESS cũng có thể đề cập đến như cung cấp khả năng điều tần, điều áp, dự phòng nóng thay thế vai trò dự phòng quay của máy phát diesel [1].

3.1. Mô hình turbine gió

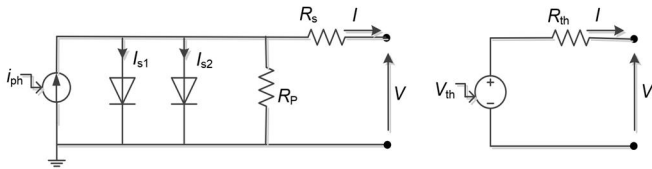
Tốc độ gió được xem như một biến ngẫu nhiên được giả định tuân theo phân bố Weibull. Công suất ra của turbine gió được xác định bởi biểu thức sau [2]:

$$P(V) = \begin{cases} 0 & V < V_{cut-in} \\ 0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot C_p \cdot V^3 & V_{cut-in} \leq V < V_{nom} \\ P_{w-max} & V_{nom} \leq V < V_{cut-out} \\ 0 & V \geq V_{cut-out} \end{cases} \quad (1)$$

Tiềm năng điện gió được xác định theo từng giờ trong một năm. Số liệu tiềm năng gió được đưa vào mô hình mô phỏng.

3.2. Mô hình điện mặt trời

Để mô tả các module điện mặt trời có thể sử dụng mô hình một diode hoặc mô hình hai diode [15]. Mô hình 2 diode được lựa chọn do có độ chính xác tốt hơn.



Hình 2. Mô hình hai diode và mạch điện tương đương Thevenin

Dòng điện ra của mô hình hai diode được thể hiện bởi biểu thức:

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[\exp\left(\frac{V+IR_s}{a_1 V_{T1}}\right) - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp\left(\frac{V+IR_s}{a_2 V_{T2}}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (2)$$

Trong đó:

I_{s1}, I_{s2} là dòng bão hòa ngược của diode 1 và diode 2

V_{T1}, V_{T2} là thế nhiệt (thermal voltage) của các diode

a_1, a_2 là các hằng số lý tưởng của các diode

Mỗi cell được mô tả bằng mạch tương đương Thevenin.

Điện áp hở mạch V_{th} được xác định bởi:

$$V_{th} = R_p \left(I_{ph} - I_{s1} \left(e^{\frac{V_{th}}{a_1 V_{T1}}} - 1 \right) - I_{s2} \left(e^{\frac{V_{th}}{a_2 V_{T2}}} - 1 \right) \right) \quad (3)$$

Dòng điện ngắn mạch I_{sc} được xác định bởi:

$$I_{sc} = \frac{R_p \left(I_{ph} - I_{s1} \left(e^{\frac{I_{sc} R_s}{a_1 V_{T1}}} - 1 \right) - I_{s2} \left(e^{\frac{I_{sc} R_s}{a_2 V_{T2}}} - 1 \right) \right)}{R_p + R_s} \quad (4)$$

Do đó điện trở Thevenin:

$$R_{th} = \frac{V_{th}}{I_{sc}} \quad (5)$$

Với hệ các tấm pin mặt trời gồm nhiều cell, điện áp Thevenin V_{thar} và điện trở Thevenin R_{thar} xác định bởi:

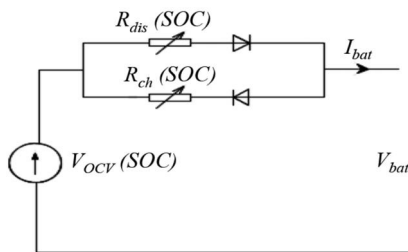
$$V_{thar} = N_s V_{th} \quad (6)$$

$$R_{thar} = \frac{N_s}{N_p} R_{th} \quad (7)$$

Trong đó, N_s, N_p là số lượng cell mắc nối tiếp và song song.

3.3. Mô hình BESS

Các mô hình toán mô tả ắc quy được đề cập trong [16-18]. Mạch điện thay thế tương đương được thể hiện như hình 3.



Hình 3. Mạch điện thay thế tương đương của mô hình BESS

Các giá trị điện áp hở mạch V_{OCV} và nội trở của ắc quy R_{bat}^{int} thay đổi theo SOC và được tra theo đặc tính của nhà sản xuất [18]. Điện áp ra của ắc quy được xác định bởi biểu thức:

$$V_{bat} = V_{OCV} - R_{bat}^{int} I_{bat} \quad (8)$$

Trong đó:

$$V_{OCV} = f_1(SOC) \quad (9)$$

$$R_{bat}^{int} = \begin{cases} R_{ch} = f_2(SOC), & \text{charging} \\ R_{dis} = f_3(SOC), & \text{discharging} \end{cases} \quad (10)$$

$$SOC = SOC_{ini} - \int \frac{\eta I_{bat}}{Q_{bat}} dt \quad (11)$$

$$\eta = \begin{cases} \eta_{ch} = \frac{V_{OCV}}{V_{OCV} - I_{bat} R_{ch}}, & \text{charging} \\ \eta_{dis} = \frac{V_{OCV} - I_{bat} R_{dis}}{V_{OCV}}, & \text{discharging} \end{cases} \quad (12)$$

4. PHƯƠNG PHÁP VẬN HÀNH HỆ THỐNG ĐIỆN LẠI

4.1. Giả thiết đầu vào

Quá trình vận hành hệ thống điện trên đảo khi tích hợp BESS được tính toán mô phỏng bằng phần mềm MATLAB với các số liệu:

- Số liệu thống kê gió thâm nhập theo giờ, ngày, tháng, năm
- Số liệu thống kê gió tiềm năng theo giờ, ngày, tháng, năm
- Số liệu công suất phát hệ thống điện mặt trời
- Số liệu về phụ tải tiêu thụ của huyện đảo theo giờ, ngày, tháng, năm
- Đặc tính của BESS như DOD, công suất và dung lượng BESS

4.2. Xây dựng hàm tối ưu

Mục tiêu của nghiên cứu là tối ưu lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống với các ràng buộc về tính ổn định của hệ thống điện, giảm thiểu năng lượng tái tạo dư thừa phải xả thải. Hàm mục tiêu được thể hiện như sau:

$$\max(\sum_{t=1}^{OT} (P_{wi}(t) + P_{si}(t))) \quad (13)$$

Trong đó:

OT (giờ) là số giờ trong một năm

P_{wi} là công suất gió thâm nhập vào hệ thống

P_{si} là công suất điện mặt trời thâm nhập vào hệ thống

Các ràng buộc đối với hàm mục tiêu:

1) Tại mọi thời điểm, hệ thống cần đảm bảo cân bằng công suất, nghĩa là:

$$P_{wi}(t) + P_{si}(t) + P_{deg}(t) + P_b(t) - P_l(t) - P_e(t) = 0 \quad (14)$$

Với: P_b là công suất ra của BESS

P_e là công suất dư thừa của hệ thống

Quy ước P_b dương nếu BESS xả năng lượng vào hệ thống, P_b âm nếu BESS tiến hành quá trình sạc (nhận năng lượng từ hệ thống).

2) Ắc quy cho phép xả đến $SOC_{min} = 20\%$ và sạc đến $SOC_{max} = 100\%$

$$DOD \leq E_{b0} - \sum_{t=1}^{OT} P_b(t) \leq E_b \quad (15)$$

Trong đó, DOD là mức xả sâu của ắc quy

E_b là dung lượng của ắc quy

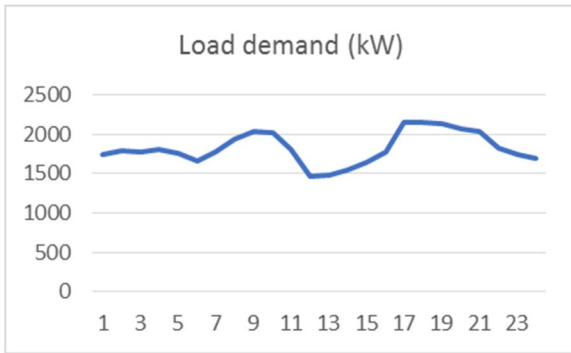
E_{b0} là dung lượng của ắc quy ở thời điểm ban đầu

3) Công suất phát của máy phát diesel nằm trong phạm vi:

$$P_{degmin}(t) \leq P_{deg}(t) \leq P_{degmax}(t) \tag{16}$$

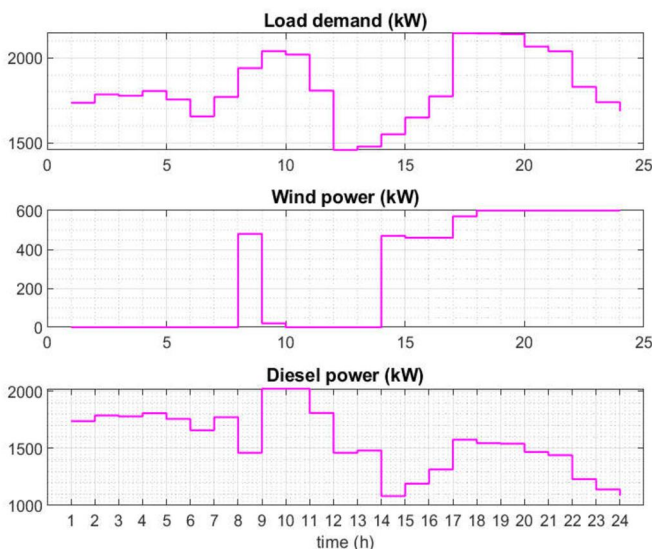
5. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG

Kết quả tính toán mô phỏng có được khi chạy chương trình mô phỏng liên tục trong một năm với các số liệu thống kê về công suất gió tiềm năng, công suất điện mặt trời, nhu cầu phụ tải theo từng giờ. Xét một ngày điển hình với đồ thị phụ tải như hình 4.



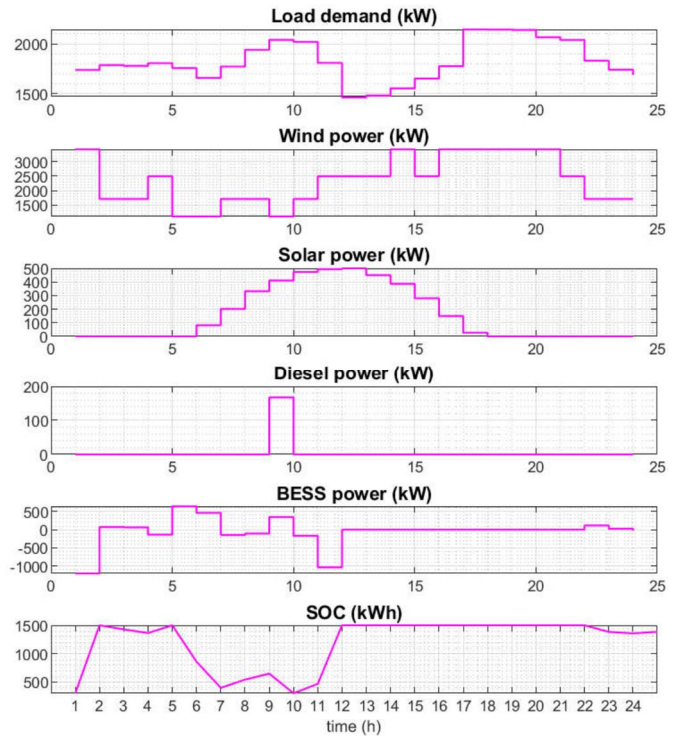
Hình 4. Đồ thị phụ tải ngày điển hình

Trường hợp chưa sử dụng BESS, kết quả hoạt động của hệ thống điện trong ngày được thể hiện như hình 5. Trong những giờ nhiều gió, công suất điện gió cho phép thâm nhập chỉ khoảng 600kW. Phần lớn công suất phát do nguồn diesel tạo ra (khoảng 2000kW).



Hình 5. Đặc tính công suất theo giờ khi chưa sử dụng BESS trong một ngày điển hình

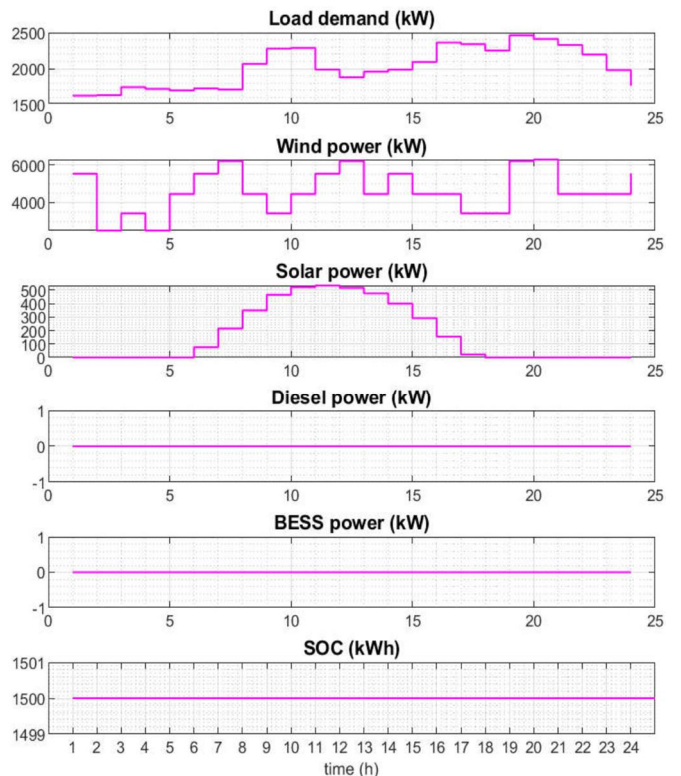
Khi sử dụng BESS với phương án vận hành đề xuất, kết quả vận hành theo giờ trong ngày điển hình thu được như hình 6. Công suất điện gió và mặt trời cho phép thâm nhập vào hệ thống gần như đảm bảo nhu cầu công suất của tải. Hệ thống lưu trữ năng lượng thể hiện rõ vai trò hấp thụ năng lượng tái tạo trong những giờ nhiều gió, nắng, đồng thời xả năng lượng cấp cho tải khi công suất tải lớn hơn tổng công suất các nguồn năng lượng tái tạo, giảm sự phụ thuộc vào điện diesel.



Hình 6. Đặc tính công suất theo giờ khi sử dụng BESS trong một ngày điển hình

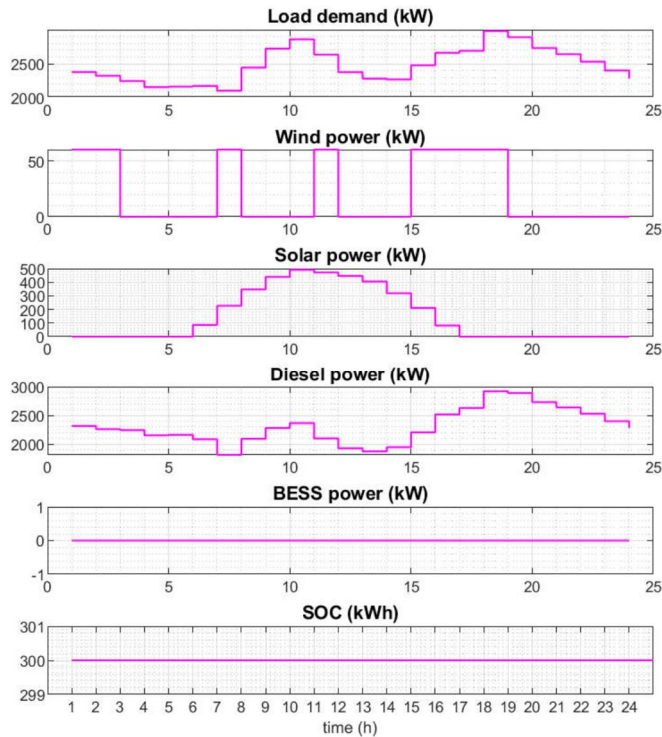
Do công suất đặt của điện gió rất lớn so với công suất đặt của điện mặt trời nên biến động của công suất gió lên hệ thống có ảnh hưởng lớn. Hình 7 và 8 mô tả hệ thống tích hợp BESS tương ứng trong ngày nhiều gió và ngày ít gió.

Trong ngày nhiều gió (hình 7), năng lượng tái tạo đủ cung cấp cho tải đồng thời sạc đầy ắc quy (SOC ở mức 100%).



Hình 7. Đặc tính công suất theo giờ khi sử dụng BESS trong ngày nhiều gió

Trong ngày ít gió (hình 8), mặc dù công suất điện mặt trời cao nhất lên tới 500kW, phần lớn điện năng cấp cho tải được cung cấp từ máy phát diesel. SOC của ắc quy ở mức giới hạn dưới.



Hình 8. Đặc tính công suất theo giờ khi sử dụng BESS trong ngày ít gió

Xét trong một năm, bảng 2 thể hiện kết quả tính toán lượng năng lượng tái tạo thâm nhập trong năm khi chưa sử dụng giải pháp tích trữ năng lượng. Tỷ lệ thâm nhập của điện gió là 37,4%.

Bảng 2. Sản lượng điện gió thâm nhập và sản lượng điện diesel theo tháng khi chưa sử dụng BESS

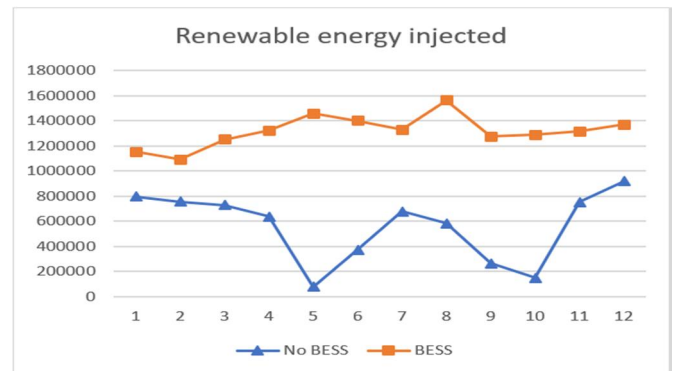
Tháng	Sản lượng điện gió thâm nhập (kWh)	Sản lượng điện diesel (kWh)
1	796934	461968
2	757455	479362
3	729520	717802
4	638328	939731
5	77813	1710019
6	374481	1111356
7	677497	820398
8	583820	1009338
9	264758	1269474
10	148405	1484442
11	754073	680466
12	917915	549535
Tổng	6.720.999 (37,4%)	11.233.891 (62,6%)

Khi sử dụng BESS, sản lượng năng lượng tái tạo và diesel được xác định như trong bảng 3. Tỷ lệ thâm nhập của các nguồn năng lượng sạch vào hệ thống là 88%.

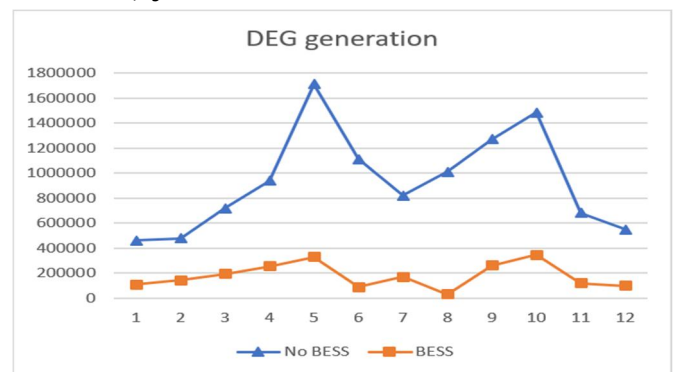
Bảng 3. Sản lượng điện gió và mặt trời thâm nhập và sản lượng điện diesel theo tháng khi sử dụng BESS

Tháng	Tổng sản lượng điện gió và mặt trời thâm nhập (kWh)	Sản lượng điện diesel (kWh)
1	1151316	107586
2	1092745	144072
3	1252369	194953
4	1322004	256055
5	1459040	328792
6	1398536	87301
7	1327144	170751
8	1563129	30029
9	1274064	260168
10	1287488	345359
11	1315717	118822
12	1370083	97367
Tổng	15.813.635 (88%)	2.141.255 (12%)

Hình 9 thể hiện đồ thị lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống theo các tháng trong năm trước và sau khi sử dụng BESS. Hệ thống lưu trữ năng lượng làm tăng đáng kể lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống. Tính tổng cả năm lượng năng lượng tái tạo tăng từ mức 6.720.999kWh lên 15.813.635kWh, tức là tăng khoảng 2,3 lần.



Hình 9. So sánh sản lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống trước và sau khi sử dụng BESS



Hình 10. So sánh sản lượng phát điện diesel trước và sau khi sử dụng BESS

Kết quả tính toán sản lượng điện diesel cho các tháng trong năm (hình 10) cho thấy phương án vận hành có BESS giúp giảm lượng điện diesel từ mức 11.233.891kWh về

2.141.255kWh, tức là chỉ còn khoảng 20%. Phương án sử dụng BESS giúp tiết kiệm đáng kể lượng diesel, qua đó giảm chi phí phát điện đồng thời giảm phát sinh khí thải.

6. KẾT LUẬN

Bài báo thực hiện thu thập số liệu vận hành hệ thống điện độc lập của huyện đảo Phú Quý và nghiên cứu, tính toán, mô phỏng tính khả thi của việc tích hợp hệ thống tích trữ năng lượng (BESS) với mục tiêu tăng mức độ thâm nhập của năng lượng tái tạo vào hệ thống, tối thiểu công suất phát cũng như lượng tiêu thụ diesel.

Việc tích hợp BESS vào hệ thống điện hiện hữu cho thấy giải pháp hiệu quả nhằm khắc phục tính không liên tục và biến động của các nguồn năng lượng tái tạo, làm giảm khí thải nhà kính, tận dụng tối ưu năng lượng gió, mặt trời. Đây cũng là mục đích chính của nghiên cứu.

Các kịch bản tính toán mô phỏng dựa trên số liệu vận hành thực tế và được viết trên phần mềm MatLab nhằm đưa ra lựa chọn phù hợp nhất cho hệ thống.

Nghiên cứu ngày cũng đưa ra kết quả tính toán định lượng nhằm mục đích so sánh tính hiệu quả khi tích hợp BESS với phương án không sử dụng BESS.

Việc tích hợp hệ thống BESS, ngoài mục tiêu được đề cập đến trong nghiên cứu, còn có vai trò tham gia vào việc điều tần, điều áp đồng thời kết hợp với các máy phát diesel nhằm dự phòng quay (spinning reserve). Những khía cạnh đó cần được làm rõ trong những nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Raymond H. Byrne, Tu A. Nguyen, David A. Copp, Babu R. Chalamala, Imre Gyuk, 2017. *Energy Management and Optimization Methods for Grid Energy Storage Systems*. Special section on battery energy storage and management systems, IEEE Access.
- [2]. E. Abbasi, H. Ameli, K. Strunz, N.H.Duc, 2012. *Optimized operation, planning, and frequency control of hybrid generation-storage systems in isolated networks*. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe).
- [3]. Mostafa Vahedipour-Dahraie, Hamid Reza Najafi, Amjad Anvari-Moghaddam, Josep M. Guerrero, 2018. *Optimal scheduling of distributed energy resources and responsive loads in islanded microgrids considering voltage and frequency security constraints*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 10.
- [4]. N.H.Duc, 2016. *Small signal stability assessment of a hybrid wind-battery generation systems*. Journal of Science and Technology.
- [5]. N.H.Duc, Tieu Xuan Hoang, 2016. *Energy storage systems: Roles and applications*. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, No. 34.
- [6]. K. Strunz, E. Abbasi, and D. N. Huu, 2014. *DC microgrid for wind and solar power integration*. IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron., Vol. 2, No. 1, pp. 115–126.
- [7]. A. Nagarajan and R. Ayyanar, 2015. *Design and strategy for the deployment of energy storage systems in a distribution feeder with penetration of renewable resources*. IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 6, no. 3, pp. 1085–1092.

[8]. Y. J. Zhang, C. Zhao, W. Tang, and S. H. Low, 2018. *Profit maximizing planning and control of battery energy storage systems for primary frequency control*. IEEE Trans. Smart Grid 9 (2): 712–723. Doi: 10.1109/TSG.2016.2562672.

[9]. A. Szumanowski and Y. Chang, 2008. *Battery management system based on battery nonlinear dynamics modeling*. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 3, pp. 1425–1432.

[10]. M. T. Lawder et al., 2014. *Battery energy storage system (BESS) and battery management system (BMS) for grid-scale applications*. Proc. IEEE, vol. 102, no. 6, pp. 1014–1030.

[11]. X. Wu, X. Hu, S. Moura, X. Yin, and V. Pickert, 2016. *Stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array*. J. Power Sour., vol. 333, pp. 203–212.

[12]. F. Diaz-Gonzalez, F. D. Bianchi, A. Sumper, and O. Gomis-Bellmunt, 2014. *Control of a flywheel energy storage system for power smoothing in wind power plants*. IEEE Trans. Energy Convers., vol. 29, no. 1, pp. 204–214.

[13]. M. Cacciato, G. Nobile, G. Scarcella, and G. Scelba, 2017. *Real-time model-based estimation of SOC and SOH for energy storage systems*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 32, no. 1, pp. 794–803.

[14]. G. Delille, B. Francois, and 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 Trans. Sustain. Energy, vol. 3, no. 4, pp. 931–939.

[15]. Nahla Mohamed Abd Alrahim Shannan, Nor Zaihar Yahaya, Balbir Singh, 2013. *Single-Diode Model and Two-Diode Model of PV Modules: A Comparison*. IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering,

[16]. Z.M. Salameh, M.A. Casacca, W.A. Lynch, 1992. *A mathematical model for lead-acid batteries*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 1.

[17]. Shuhui Li, 2011. *Study of battery modeling using mathematical and circuit-oriented approaches*. IEEE Power and Energy Society General Meeting.

[18]. Xiangjun Li, Dong Hui, Xiaokang Lai, 2013. *Battery Energy Storage Station (BESS)-Based Smoothing Control of Photovoltaic (PV) and Wind Power Generation Fluctuations*. IEEE transactions on sustainable energy, Vol. 4, No. 2.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Ngoc Van, Nguyen Huu Duc

Electric Power University