

# ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ PHƯƠNG ÁN TÍCH HỢP HỆ THỐNG ẮC QUY VÀO LƯỚI ĐIỆN ĐỘC LẬP

AN EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF BESS INTEGRATION SCENARIOS INTO AN ISOLATED GRID

Nguyễn Ngọc Văn, Nguyễn Hữu Đức\*

## TÓM TẮT

Đối với các lưới điện độc lập có sử dụng nguồn năng lượng tái tạo, vấn đề tích hợp hệ thống tích trữ năng lượng (BESS) đã chứng tỏ được nhiều ưu điểm nổi bật về tính kinh tế và kỹ thuật. Đặc biệt BESS giúp nâng cao tỷ lệ thâm nhập năng lượng tái tạo, giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, cũng cần thiết phải tiến hành những nghiên cứu đánh giá về tính hiệu quả của hệ thống tích trữ năng lượng phù hợp với lưới điện hiện hữu. Trong bài báo này, các tác giả thực hiện thu thập dữ liệu về tải và nguồn phát của lưới điện đảo Phú Quý trong một năm, khảo sát các phương án tích hợp BESS, đồng thời nghiên cứu, đánh giá tính hiệu quả của các phương án nhằm đưa ra lựa chọn phù hợp.

**Từ khóa:** BESS; lưới điện độc lập; hệ thống điện lai; điện gió; điện mặt trời; đánh giá tính hiệu quả.

## ABSTRACT

For isolated networks with renewable energy sources such as the power grid of Phu Quy island - Binh Thuan province, the integration of battery energy storage system (BESS) proves to have remarkable advantages including economic and technical preeminence. BESS contributes to increase renewable energy penetration rate and reduce the dependence on fossil fuel generation. Nevertheless, it is also necessary to conduct studies on the effectiveness assessment of BESS which should be feasible with the existing power system. In this paper, the authors acquire data of load demand and generation sources data of Phu Quy's power grid for one year, investigate BESS integration scenarios and evaluate the effectiveness of each scenario so as to pick appropriate selection.

**Keywords:** BESS; isolated network; hybrid energy system; wind energy; solar energy; effectiveness assessment.

Trường Đại học Điện Lực

\*Email: ducnh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/3/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/6/2020

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với các lưới điện độc lập có sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo, bản chất gián đoạn và bất định của nguồn năng lượng tái tạo ảnh hưởng lớn đến tính ổn định của toàn hệ thống [1, 5]. Nhược điểm này có thể khắc phục bằng cách tích hợp các nguồn khác nhau để tạo thành hệ thống điện lai (Hybrid Energy System - HES). Giải pháp này có thể giải quyết được các vấn đề về độ tin cậy đồng thời

cho phép hệ thống vận hành thân thiện với môi trường với chi phí thấp. Các phần tử thường tích hợp vào hệ thống điện lai rất đa dạng như máy phát diesel, ắc quy hoặc siêu tụ [1]. Ngoài các ưu điểm, HES cũng tồn tại nhiều vấn đề kỹ thuật cần giải quyết về chất lượng điện năng do biến động công suất các nguồn phát, lệch điện áp và tần số [4].

Thiết kế tối ưu của HES cần thiết phải định lượng công suất các nguồn phát của hệ thống và xây dựng chiến lược điều khiển, quản lý năng lượng hợp lý. Việc xây dựng chiến lược quản lý năng lượng phù hợp rất quan trọng do nó quyết định phản ứng của toàn hệ thống, cách thức điều khiển dòng năng lượng cũng như quyết định mức ưu tiên của từng phần tử trong hệ thống [1].

Hiện nay có nhiều nghiên cứu về hệ thống điện lai. Một số nghiên cứu nhằm mục tiêu xây dựng các chiến lược điều khiển vận hành tối ưu hệ thống, tối ưu chi phí phát điện hoặc tăng tỷ lệ thâm nhập của năng lượng tái tạo [3]. Một vài nghiên cứu nhằm xây dựng các phương pháp vận hành và quản lý năng lượng tối ưu cho hệ thống tích trữ điện năng nổi lưới [2]. Các nghiên cứu [6, 9] tập trung vào vấn đề điều áp, điều tần và đảm bảo tính ổn định của hệ thống điện lai.

Tại huyện đảo Phú Quý, tỉnh Bình Thuận, theo số liệu thống kê, tỷ lệ thâm nhập của điện gió hiện rất thấp (khoảng 35%) trong khi công suất thiết kế của điện gió lớn hơn 3 lần công suất phụ tải đỉnh. Để đảm bảo tính ổn định, phần lớn năng lượng gió tạo ra bị sa thải mà chưa có giải pháp tận dụng phù hợp. Tỷ lệ lớn điện năng cấp cho tải được đáp ứng bằng nguồn diesel.

Trước thực tiễn đó, 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 nói chung và lưới điện Phú Quý nói riêng trở thành yêu cầu cấp thiết. Với lưới điện Phú Quý, giải pháp đề xuất là nâng cấp hệ thống điện lai, tích hợp thêm các nguồn phát đa dạng như điện mặt trời và hệ thống tích trữ năng lượng (BESS). Tuy nhiên, giải pháp này cũng kèm với nhu cầu cần thiết phải tiến hành những nghiên cứu đánh giá về tính hiệu quả của các phương án tích hợp BESS vào lưới điện huyện đảo nhằm lựa chọn phương án phù hợp.

Trên cơ sở các kịch bản tích hợp hệ thống BESS và dữ liệu tiềm năng năng lượng tái tạo, dữ liệu phụ tải của huyện đảo, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích:

(1) tính toán mô phỏng các kịch bản tích hợp BESS khác nhau vào hệ thống điện lai trên huyện đảo; (2) đưa ra các kết quả phân tích định lượng đồng thời (3) so sánh để lựa chọn được kịch bản tích hợp BESS phù hợp.

Trong bài báo này, các tác giả tiến hành thu thập dữ liệu vận hành thực tế đồng thời đưa vào nguồn điện mặt trời, hệ thống lưu trữ điện năng và tính toán mô phỏng hoạt động của hệ thống bằng phần mềm MATLAB với 10 kịch bản tích hợp BESS. Các kết quả tính toán mô phỏng được thực hiện theo từng giờ trong một năm và so sánh với dữ liệu vận hành thực tế khi chưa cải tạo, nâng cấp hệ thống điện nhằm đánh giá tính hiệu quả của từng phương án. Cấu trúc của bài báo như sau: Mục 2 trình bày mô hình mô phỏng hệ thống điện lai trên đảo Phú Quý. Mục 3 trình bày phương pháp vận hành hệ thống điện lai. Kết quả mô phỏng và phân tích được trình bày trong mục 4. Một số kết luận được đưa ra tại mục 5.

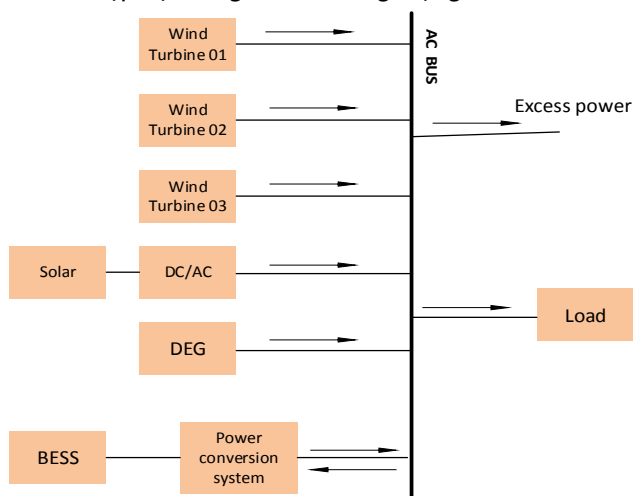
**2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐIỆN LAI ĐIỆN GIÓ - ĐIỆN MẶT TRỜI - DIESEL - BESS**

Phụ tải trên đảo Phú Quý hiện nay được cấp điện từ nguồn điện diesel và điện gió với công suất thiết kế tương ứng là 10MW và 6MW.

Theo thống kê, tổng sản lượng điện năm 2017, 2018 tương ứng là 16,1 triệu kWh và 18,3 triệu kWh (65% điện diesel; 35% điện gió). Công suất phụ tải  $P_{max} = 3500kW$ ;  $P_{min} = 1300kW$ . Trong quá trình vận hành, nếu tốc độ gió thấp hoặc tốc độ gió quá cao kèm gió giật, turbine gió bị tách khỏi lưới.

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

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



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

**2.1. Mô hình turbine gió**

Công suất ra của turbine gió được xác định bởi biểu thức sau [3]:

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

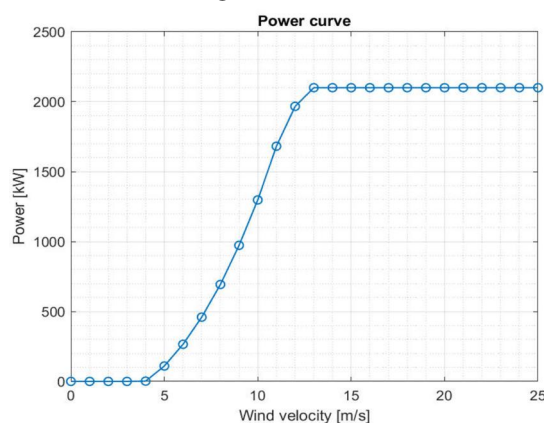
Tiềm năng điện gió được xác định theo từng giờ trong một năm. Tốc độ gió trong năm được thu thập và đưa vào mô hình để xác định công suất gió tiềm năng của turbine.

Các thông số của turbine gió Vetas IWP-70-2100 hiện đang được sử dụng trên huyện đảo được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số turbine gió IWP-70-2100

Model	IWP-70-2100
Công suất danh định	2100kW
Đường kính rotor	70m
Diện tích quét	3849m <sup>2</sup>
Mật độ công suất	1,84m <sup>2</sup> /kW
Số cánh	3
Điều khiển công suất	Điều khiển Pitch
Hộp số	Không sử dụng
Máy phát	SYNC PM
Điện áp máy phát	789V
Chiều cao Hub	72,5m

Số liệu mật độ không khí đo được tại đảo là 1,153kg/m<sup>3</sup>; hệ số  $C_p = 0 \div 0,44$  phụ thuộc tốc độ gió;  $V_{cut-in} = 4m/s$ ;  $V_{nom} = 13m/s$ ;  $V_{cut-out} = 25m/s$ . Kết quả mô phỏng công suất của turbine theo tốc độ gió được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Công suất ra của 1 turbine gió

**2.2. 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 [10]. Mô hình một diode được xây dựng dựa trên các phương trình sau:

Dòng quang điện:

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_i(T - 298)] \cdot \frac{G}{1000} \quad (2)$$

Dòng bão hòa:

$$I_0 = I_{rs} \cdot \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \cdot \exp\left[\frac{q \cdot E_{go} \cdot \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)}{n \cdot K}\right] \quad (3)$$

Dòng bão hòa ngược:

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}\right)} - 1}$$

Dòng qua điện trở shunt:

$$I_{sh} = \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}\right)$$

Dòng điện ra của module:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot N_s \cdot T}\right) - 1\right] - I_{sh}$$

Trong đó:

$I_{sc}$ : Dòng ngắn mạch (A)

$k$ : Dòng ngắn mạch của cell ở 25°C và 1000W/m<sup>2</sup>

$T$ : Nhiệt độ làm việc (K)

$T_n$ : Nhiệt độ danh định (K) = 298

$G$ : Mật độ bức xạ (W/m<sup>2</sup>)

$q$ : Điện tích của 1 electron (C) = 1,6.10<sup>-19</sup>

$V_{oc}$ : Điện áp hở mạch (V)

$n$ : Hệ số lý tưởng của diode = 1,3

$K$ : Hằng số Boltzmann (J/K) = 1,38x10<sup>-23</sup>

$E_{g0}$ : Độ rộng vùng cấm của chất bán dẫn (eV) = 1,1

$N_s$ : Số cell nối tiếp với nhau

$N_p$ : Số module PV song song với nhau

$R_s$ : Điện trở nối tiếp (Ω)

$R_{sh}$ : Điện trở song song (Ω)

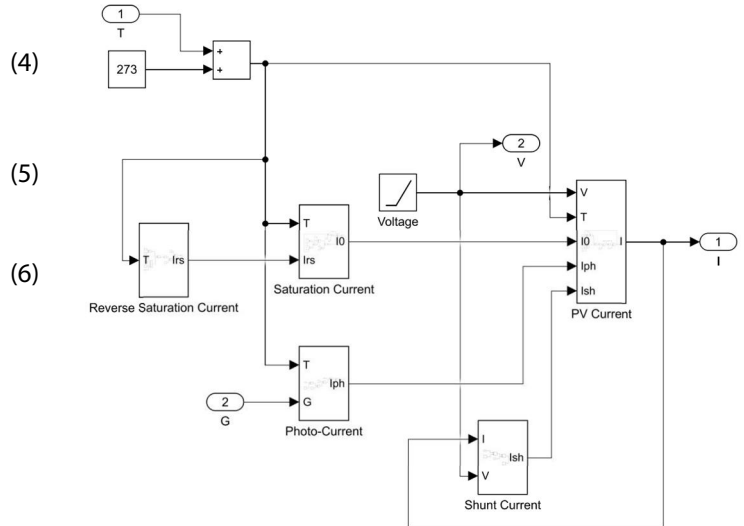
$V_t$ : Thế nhiệt của diode (V)

Hệ thống điện mặt trời được mô phỏng với Panel có các thông số cơ bản như bảng 2.

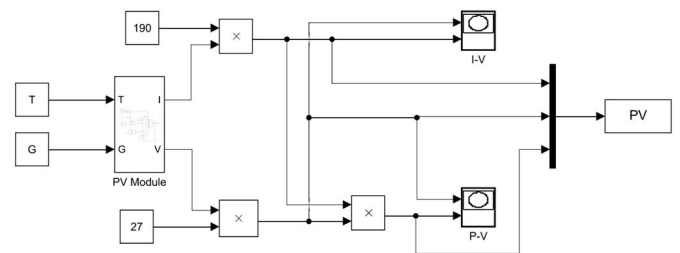
Bảng 2. Thông số kỹ thuật của panel PV

Model (Trina Solar)	TSM-165DA01
Số cell	72
Công suất đỉnh $P_{max}$ (W)	165,54
Điện áp hở mạch $V_{oc}$ (V)	43,2
Điện áp tại điểm công suất cực đại $V_{mp}$ (V)	35,6
Độ suy giảm $V_{oc}$ theo nhiệt độ (%/deg.C)	-0,32
Dòng ngắn mạch $I_{sc}$ (A)	5,2
Dòng điện tại điểm công suất cực đại $I_{mp}$ (A)	4,65
Độ tăng $I_{sc}$ theo nhiệt độ (%/deg.C)	0,03
Dòng điện $I_l$ (A)	5,2028
Dòng bão hòa diode $I_0$ (A)	3,7482e-11
Hệ số lý tưởng của diode	0,91286
Điện trở song song $R_{sh}$ (Ω)	116,3362
Điện trở nối tiếp $R_s$ (Ω)	0,51567

Dựa trên các phương trình (2)-(6), mô hình tấm pin mặt trời được xây dựng như trong hình 3. Để đạt công suất 850kW, có thể mắc song song 190 chuỗi panel. Mỗi chuỗi panel gồm 27 tấm pin mặt trời được mắc nối tiếp với nhau. Toàn bộ hệ thống điện mặt trời được mô hình hóa như hình 4.

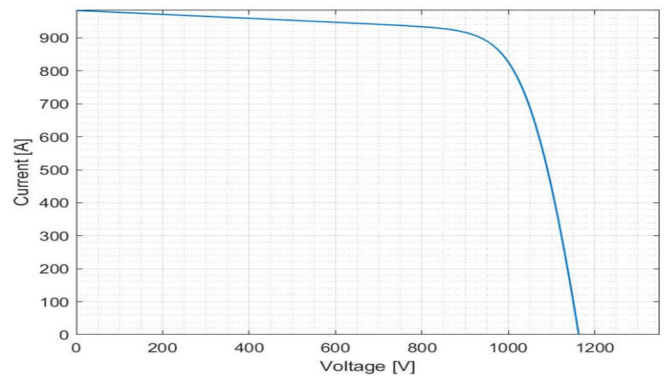


Hình 3. Mô hình hóa Panel PV

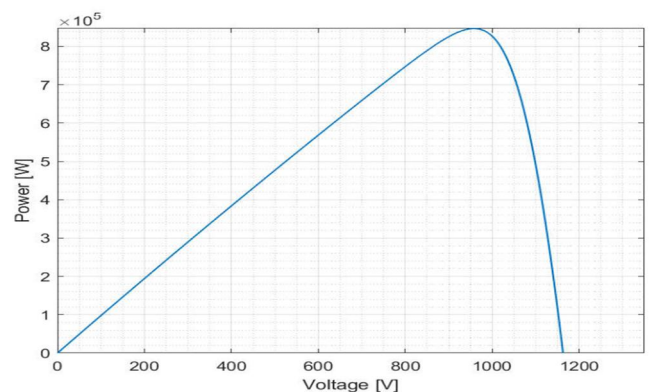


Hình 4. Mô hình hóa hệ thống điện mặt trời

Ở nhiệt độ 25°C và mật độ bức xạ 1000W/m<sup>2</sup>, kết quả mô phỏng thu được như hình 5, 6.



Hình 5. Đặc tính I-V của hệ thống điện mặt trời

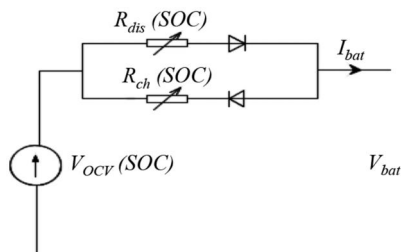


Hình 6. Đặc tính P-V của hệ thống điện mặt trời

Để tận dụng tối ưu tiềm năng điện mặt trời, giá trị được lựa chọn là công suất ra ứng với điểm công suất cực đại (MPP). Công suất ra của điện mặt trời được xác định dựa trên mật độ bức xạ và nhiệt độ đo được trong năm.

**2.3. Mô hình BESS**

Các mô hình toán mô tả ắc quy được đề cập trong [7, 8, 11, 12]. Mạch điện thay thế tương đương được thể hiện như hình 7.



Hình 7. 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. Điện áp ra của ắc quy được xác định bởi biểu thức:

$$V_{bat} = V_{ocv} - R_{bat}^{int} I_{bat} \tag{7}$$

Trong đó

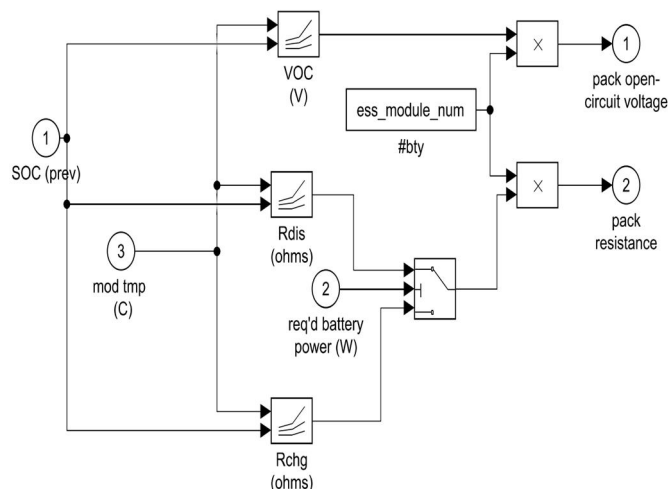
$$V_{ocv} = f_1(SOC) \tag{8}$$

$$R_{bat}^{int} = \begin{cases} R_{ch} = f_2(SOC), \text{ charging} \\ R_{dis} = f_3(SOC), \text{ discharging} \end{cases} \tag{9}$$

$$SOC = SOC_{ini} - \int \frac{\eta I_{bat}}{Q_{bat}} dt \tag{10}$$

$$\eta = \begin{cases} \eta_{ch} = \frac{V_{ocv}}{V_{ocv} - I_{bat} R_{ch}}, \text{ charging} \\ \eta_{dis} = \frac{V_{ocv} - I_{bat} R_{dis}}{V_{ocv}}, \text{ discharging} \end{cases} \tag{11}$$

Điện áp hở mạch và điện trở của ắc quy (gồm nhiều cell) được xác định dựa trên mô hình mô phỏng sau (hình 8).



Hình 8. Mô hình BESS

Trong đó điện áp hở mạch và điện trở  $R_{dis}$  (xả);  $R_{chg}$  ( nạp) của mỗi cell trong ắc quy được tra theo nhiệt độ làm việc và SOC với dữ liệu cell 7Ah Saft Lithium Ion Battery như bảng 3, 4, 5.

Bảng 3.  $V_{oc} = f(SOC, temp)$

SOC \ Temp	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0°C	6,25	6,4	6,55	6,65	6,7	6,7	6,75	6,8	6,85	6,95	7,1
22°C	6,25	6,4	6,55	6,65	6,7	6,7	6,75	6,8	6,85	6,95	7,1
40°C	6,25	6,4	6,55	6,65	6,7	6,7	6,75	6,8	6,85	6,95	7,1

Bảng 4.  $R_{chg} = f(SOC, temp)$

SOC \ Temp	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0°C	0,013	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006
22°C	0,013	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006
40°C	0,013	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006

Bảng 5.  $R_{dis} = f(SOC, temp)$

SOC \ Temp	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0°C	0,013	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006
22°C	0,013	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006
40°C	0,013	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006

**3. PHƯƠNG PHÁP VẬN HÀNH HỆ THỐNG ĐIỆN LẠI**

**3.1. Giả thiết đầu vào**

Quá trình vận hành hệ thống điện lại 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 tiềm năng 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

**3.2. Thuật toán vận hành điều khiển**

Đối với hệ thống điện lại, có nhiều chiến lược điều khiển, vận hành khác nhau. Có thể xét đến chiến lược vận hành theo tải (LF - load following strategy) hoặc chiến lược vận hành sạc theo chu kỳ (CC - cycle charging strategy) hoặc chiến lược vận hành kết hợp (CD - combined dispatch strategy) [1]. Việc lựa chọn chế độ vận hành tối ưu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như tổng công suất đặt của máy phát diesel, công suất và dung lượng ắc quy, giá nhiên liệu, chi phí vận hành bảo trì, công suất các nguồn năng lượng tái tạo cũng như đặc tính của chúng.

Tại lưới điện đảo Phú Quý, với đặc điểm là công suất thiết kế của điện gió gấp hơn 3 lần công suất phụ tải đỉnh, chiến lược vận hành theo tải được lựa chọn để phân tích định lượng các kịch bản tích hợp BESS khác nhau nhằm mục tiêu tối ưu lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ

thống, giảm thiểu năng lượng tái tạo dư thừa phải sa thải. Hàm mục tiêu được thể hiện như sau:

$$\max(\sum_{t=1}^{OT} (P_{wi}(t) + P_{si}(t))) \tag{12}$$

Trong đó: OT (giờ) là số giờ trong một năm

$P_{wi}$  là công suất điện 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:

$$P_{wi}(t) + P_{si}(t) + P_{deg}(t) + P_b(t) - P_l(t) - P_e(t) = 0 \tag{13}$$

Với:  $P_b$  là công suất ra của BESS

$P_e$  là công suất dư thừa của hệ thống

$P_l$  là công suất phụ tải

Quy ước  $P_b$  dương nếu BESS xả năng lượng vào hệ thống,  $P_b$  âm nếu BESS được sạc.

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

$$DOD \leq E_{b0} - \sum_{t=1}^{OT} P_b(t) \leq E_b \tag{14}$$

Với: 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:

$$P_{degmin}(t) \leq P_{deg}(t) \leq P_{degmax}(t) \tag{15}$$

#### 4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG

Dựa trên số liệu thống kê công suất phụ tải trung bình, phụ tải lớn nhất và nhỏ nhất, đồng thời căn cứ vào thời gian chuẩn bị cần thiết để phát điện diesel, một số phương án tích hợp BESS được đề xuất như trong bảng 6. Để so sánh với khi chưa tích hợp BESS, quá trình tính toán mô phỏng có xét đến kịch bản khi chưa đưa vào điện mặt trời và BESS (trường hợp cơ bản - Base) và các kịch bản khi tích hợp điện mặt trời và BESS vào hệ thống điện huyện đảo (kịch bản 1-10)

Bảng 6. Các kịch bản tính toán mô phỏng

No.	BESS Power (MW)	BESS Capacity (MWh)	Elapsed time (h)	Diesel (kW)	Note
Base	0	0	0	Min 165	Basic Scenario
1	2	1	0,5	Reserve	
2	2	0,5	0,25	Reserve	
3	2,5	1,25	0,5	Reserve	
4	2,5	0,625	0,25	Reserve	
5	3	1,5	0,5	Reserve	
6	3	0,75	0,25	Reserve	
7	3,5	1,75	0,5	Reserve	
8	3,5	0,875	0,25	Reserve	
9	4	2	0,5	Reserve	
10	4	1	0,25	Reserve	

Theo số liệu khảo sát, khi chưa tích hợp BESS, để đảm bảo ổn định lưới, tại mọi thời điểm máy phát diesel luôn phải chạy nền với công suất nhỏ nhất là 165kW (dự phòng quay - spinning reserve). Nếu tích hợp hệ thống tích trữ, BESS có thể thay thế vai trò dự phòng quay của máy phát diesel. Điện diesel chỉ được phát khi nhu cầu phụ tải lớn hơn tổng điện năng có thể đáp ứng của các nguồn năng lượng tái tạo và BESS.

Trong các phương án tích hợp BESS, dải công suất được lựa chọn là từ 2 - 4MW với dung lượng từ 0,5 - 2MWh. Các kịch bản này xét đến thời gian đáp ứng của BESS là 15 phút hoặc 30 phút.

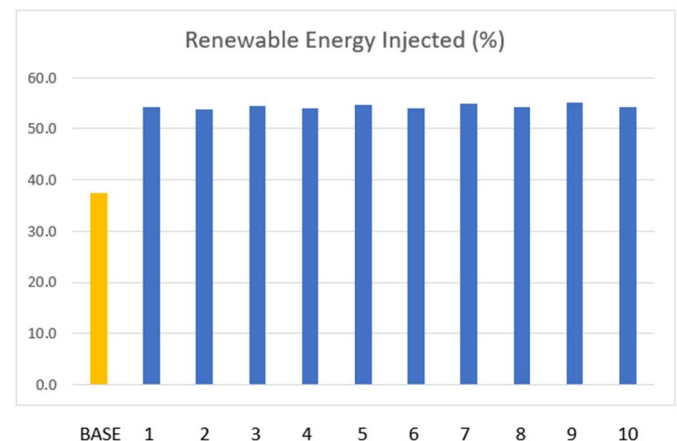
Kết quả tính toán cho từng kịch bản thu được khi chạy chương trình tính toán mô phỏng liên tục trong một năm với các số liệu thống kê về tiềm năng gió, mặt trời, và nhu cầu phụ tải theo giờ.

Với các kịch bản khác nhau, kết quả sản lượng điện trong một năm được thể hiện trong bảng 7.

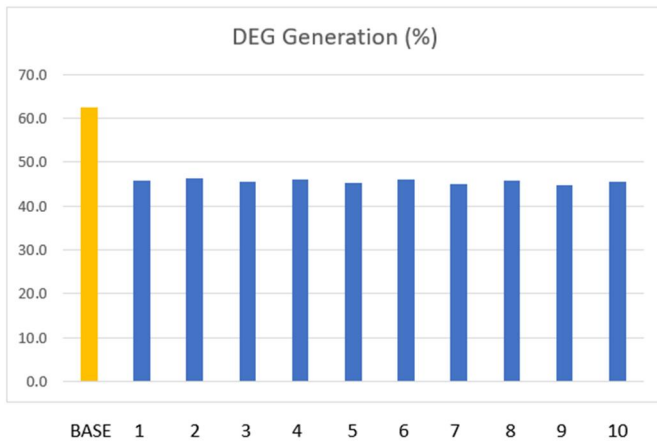
Bảng 7. Sản lượng năng lượng tái tạo và sản lượng điện diesel trong một năm theo các kịch bản khác nhau

Kịch bản	Tổng sản lượng điện gió và mặt trời thâm nhập trong năm (kWh)	Sản lượng điện diesel trong năm (kWh)
Cơ bản	6.720.999 (37,4%)	11.233.891 (62,6%)
1	9.748.695 (54,3%)	8.206.195 (45,7%)
2	9.648.923 (53,7%)	8.305.967 (46,3%)
3	9.798.731 (54,6%)	8.156.159 (45,4%)
4	9.680.260 (53,9%)	8.274.630 (46,1%)
5	9.835.603 (54,8%)	8.119.287 (45,2%)
6	9.708.378 (54,1%)	8.246.512 (45,9%)
7	9.868.956 (55,0%)	8.085.934 (45,0%)
8	9.733.782 (54,2%)	8.221.108 (45,8%)
9	9.899.636 (55,1%)	8.055.254 (44,9%)
10	9.757.243 (54,3%)	8.197.647 (45,7%)

Nhận thấy khi hệ thống được tích hợp BESS, sản lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống tăng lên đáng kể, từ mức 37,4% lên 53,7 - 55,1%, trong khi sản lượng điện diesel giảm từ mức 62,6% về 44,9 - 46,3%.



Hình 9. Tỷ lệ thâm nhập năng lượng tái tạo theo các kịch bản khác nhau



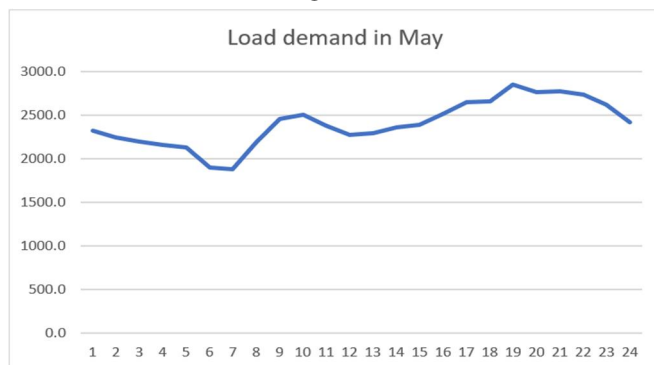
Hình 10. Tỷ lệ điện diesel theo các kịch bản khác nhau

Xét 10 kịch bản tích hợp BESS với dải công suất từ 2 - 4MW và dung lượng từ 0,5 - 2MWh, tỷ lệ thâm nhập năng lượng tái tạo (hình 9) và tỷ lệ điện diesel trong năm của các kịch bản (hình 10) không chênh nhau đáng kể. BESS có dung lượng càng cao thì càng cải thiện mức độ thâm nhập của năng lượng tái tạo. Thống kê nhu cầu phụ tải trong năm, phụ tải trung bình lớn nhất vào tháng 5, công suất tải trung bình theo giờ trong tháng 5 thể hiện trong bảng 8.

Bảng 8. Nhu cầu phụ tải trung bình theo giờ trong tháng 5

Giờ	Công suất (kW)	Giờ	Công suất (kW)
0-1	2318,9	12-13	2291,6
1-2	2248,1	13-14	2357,1
2-3	2193,6	14-15	2385,9
3-4	2160,4	15-16	2519,8
4-5	2129,8	16-17	2653,7
5-6	1898,2	17-18	2661,2
6-7	1878,1	18-19	2850,6
7-8	2185,8	19-20	2761,2
8-9	2462,2	20-21	2779,5
9-10	2503,3	21-22	2735,6
10-11	2384,0	22-23	2621,1
11-12	2272,5	23-24	2419,9

Hình 11 thể hiện đồ thị phụ tải trung bình theo giờ của huyện đảo trong tháng cao điểm (tháng 5). Nhu cầu phụ tải lớn nhất từ 18 - 19h với công suất hơn 2,8MW.



Hình 11. Đồ thị phụ tải trung bình theo giờ trong tháng 5

Như vậy, với công suất tải lớn nhất là hơn 2,8MW, nên lựa chọn BESS có công suất từ 3 MW trở lên. Mặt khác, hệ thống tích trữ năng lượng cần có khả năng đáp ứng cấp điện cho tải tối thiểu bằng thời gian cần thiết để khởi động máy phát diesel và hòa lưới. Xét tới các yêu cầu đó, hai kịch bản BESS phù hợp nhất là kịch bản 5 và kịch bản 6. Ở kịch bản 5, thời gian duy trì cấp điện cho tải là 30 phút và dung lượng ắc quy là 1,5MWh. Với kịch bản 6, thời gian duy trì cấp điện cho tải thấp hơn (15 phút) nhưng dung lượng ắc quy chỉ là 0,75MWh. Với dung lượng nhỏ hơn 50% so với kịch bản 5, kịch bản 6 cho thấy đây là phương án với chi phí đầu tư thấp hơn đáng kể mà vẫn đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật.

So sánh kịch bản 6 với trường hợp cơ bản (chưa sử dụng BESS), bảng 9 thể hiện lượng năng lượng tái tạo thâm nhập và lượng điện diesel theo từng tháng trong năm khi chưa tích hợp BESS (trường hợp cơ bản).

Bảng 9. Sản lượng năng lượng tái tạo thâm nhập và sản lượng điện diesel theo tháng khi chưa sử dụng BESS

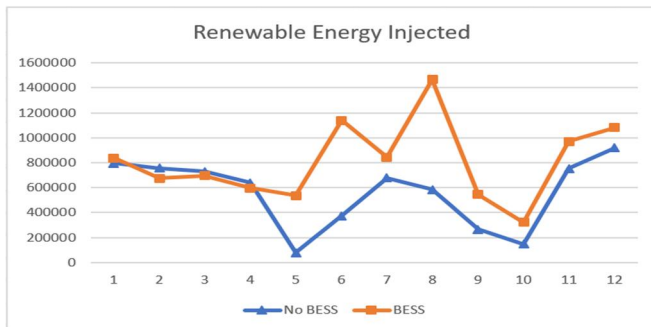
Tháng	Sản lượng điện gió thâm nhập (kWh)	Sản lượng điện diesel (kWh)
1	796934	461968
2	757455	479362
3	729520	717802
4	638328	939731
5	77813	1710019
6	374481	1111356
7	677497	820398
8	583820	1009338
9	264758	1269474
10	148405	1484442
11	754073	680466
12	917915	549535
Cả năm	6.720.999 (37,4%)	11.233.891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

Với kịch bản 6, sản lượng điện gió, điện mặt trời thâm nhập và sản lượng điện diesel theo từng tháng được thể hiện trong bảng 10.

Bảng 10. Sản lượng năng lượng tái tạo thâm nhập và sản lượng điện diesel theo tháng khi sử dụng BESS kịch bản 6

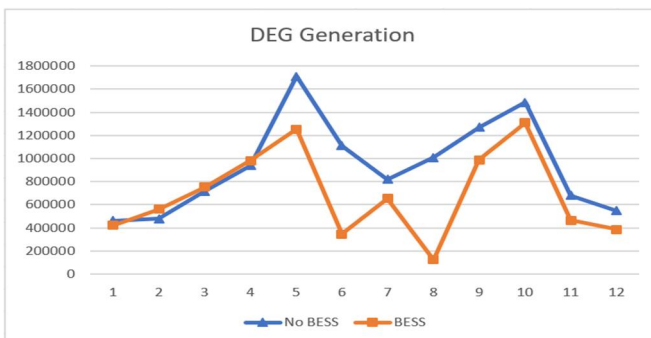
Tháng	Sản lượng điện gió và mặt trời thâm nhập (kWh)	Sản lượng điện diesel (kWh)
1	836260	422642
2	674076	562741
3	695379,5	751942,5
4	596509,7	981549,3
5	536267,6	1251564
6	1138937	346899,7
7	843734,8	654160,2
8	1468021	125136,7
9	544705,9	989526,1
10	322897,8	1309949
11	970466,3	464072,7
12	1081122	386328,4
Cả năm	9.708.378 (54,1%)	8.246.512 (45,9%)

Hình 12 thể hiện đồ thị lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống theo các tháng trong năm trước trong trường hợp cơ bản và trường hợp tích hợp BESS theo kịch bản 6. 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 9.708.378kWh, tức là tăng khoảng 1,44 lần.



Hình 12. So sánh sản lượng năng lượng tái tạo thâm nhập vào hệ thống trường hợp cơ bản và kịch bản 6

Kết quả tính toán sản lượng điện diesel cho các tháng trong năm (hình 13) cho thấy phương án vận hành có BESS theo kịch bản 6 giúp giảm lượng điện diesel từ mức 11.233.891kWh về 8.246.512kWh, tức là chỉ còn khoảng 73,4% (giảm gần 3 triệu kWh). BESS giúp tiết kiệm đáng kể lượng diesel, qua đó giảm chi phí phát điện đồng thời giảm phát sinh khí thải.



Hình 13. So sánh sản lượng phát điện diesel trường hợp cơ bản và kịch bản 6

## 5. 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 các phương án tích hợp hệ thống tích trữ năng lượng (BESS) nhằm đánh giá tính khả thi và lựa chọn phương án phù hợp.

Việc tích hợp BESS vào hệ thống điện Phú Quý cho thấy đây là giải pháp hiệu quả để 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.

Nghiên cứu này 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 cũng như so sánh giữa các phương án tích hợp BESS khác nhau.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc lựa chọn dung lượng BESS lớn giúp tăng tỷ lệ thâm nhập và hiệu quả sử dụng

năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, mức độ chênh lệch về khả năng tận dụng năng lượng tái tạo cũng như lượng điện năng diesel của các phương án không có sự khác biệt lớn. Do vậy, việc lựa chọn BESS cũng cần cân nhắc đến công suất tải và thời gian cần thiết để chuẩn bị máy phát diesel.

Việc tích hợp hệ thống BESS còn có vai trò thay thế hoặc kết hợp với các máy phát diesel nhằm dự phòng quay (spinning reserve), giúp giảm lượng lớn nhu cầu sử dụng điện diesel, giảm đáng kể chi phí sản xuất điện năng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ali Saleh Aziz, Mohammad Faridun Naim Tajuddin, Mohd Rafi Adzman, Makbul A. M. Ramli, Saad Mekhilef, 2019. *Energy Management and Optimization of a PV/Diesel/Battery Hybrid Energy System Using a Combined Dispatch Strategy*. Sustainability, MDPI, Open Access Journal, vol. 11(3), pages 1-26.
- [2]. 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.
- [3]. 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).
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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 Transactions on Smart Grid, 9 (2). pp. 712-723. ISSN 1949-3053, doi: 10.1109/TSG.2016.2562672.
- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. 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.
- [12]. Shuhui Li, 2011. *Study of battery modeling using mathematical and circuit-oriented approaches*. IEEE Power and Energy Society General Meeting.

## AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Ngoc Van, Nguyen Huu Duc**  
Electric Power University