

# THIẾT KẾ TỐI ƯU HỆ THỐNG HYBRID NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI, BỘ DỰ TRỮ VÀ DIESEL

## OPTIMAL DESIGN OF HYBRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM – BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM AND DIESEL

Lưu Ngọc An<sup>1</sup>, Lưu Thanh Bình<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; lnan@dut.udn.vn

<sup>2</sup>Công ty Lưới điện Miền Nam; thanhbinhvgtg06@gmail.com

**Tóm tắt** - Bài báo trình bày một phương pháp mới thiết kế tối ưu một hệ thống hybrid gồm năng lượng mặt trời (Photovoltaic -PV) kết hợp với bộ dự trữ (battery energy storage system-BESS) và Diesel. Phương pháp tối ưu được sử dụng là tối ưu có ràng buộc. Trong đó, hàm mục tiêu được xác định là tổng chi phí nhỏ nhất của hệ thống (annual cost of the system-ACS) mà đáp ứng đầy đủ công suất cho tải trong một năm, đồng thời sử dụng tối đa công suất phát ra của hệ thống năng lượng mặt trời thỏa mãn điều kiện vận hành, ổn định và an toàn của hệ thống. Giá trị tối ưu dung lượng của BESS, số lượng các bản pin mặt trời và công suất cực đại của hệ thống năng lượng mặt trời sẽ được xác định thông qua kết quả mô phỏng và tính toán bằng phần mềm MATLAB.

**Từ khóa** - hệ thống năng lượng mặt trời; bộ dự trữ năng lượng; Diesel; chi phí hàng năm; thiết kế tối ưu.

**Abstract** - In this paper, a novel method to determine the optimal design of a hybrid Photovoltaic system (PV)-battery energy storage system (BESS) and Diesel is proposed. The method is used as a constrained optimization. In particular, the objectives are to minimize the annual cost of the system (ACS) with zero unmet loads as well as to maximize the usage of the PV system with respect to the operations, reliability and safety of the system. The optimal values of the BESS capacity, the number of PV panels and the maximum power of PV system are estimated with simulation and calculation results with MATLAB software.

**Key words** - PV system; battery energy storage system; diesel; annual cost of the system; optimal design.

### 1. Đặt vấn đề

Ngày nay, với sự nóng lên của khí hậu toàn cầu gây ra bởi hiệu ứng nhà kính cùng với sản lượng của nhiên liệu hóa thạch ngày càng giảm và giá thành ngày càng tăng, việc sử dụng năng lượng thay thế, tái tạo được xem là một giải pháp được sử dụng rộng rãi ở các nước trên thế giới. Bên cạnh đó, với những vùng sâu vùng xa hoặc hải đảo, những nơi lưới điện của hệ thống không thể cung cấp đầy đủ, thì việc sử dụng năng lượng tái tạo kết hợp với Diesel là một trong những giải pháp thiết thực nhất. Hệ thống năng lượng mặt trời kết hợp với bộ lưu trữ và Diesel đang được nghiên cứu và ứng dụng ở nhiều nơi trên thế giới. Trong hệ thống này, nếu điện năng được phát ra bởi hệ thống mặt trời không đủ để cung cấp cho phụ tải thì sản lượng điện thiếu hụt sẽ được cung cấp bởi diesel. Ngược lại, nếu lượng điện năng được tạo ra bởi hệ thống mặt trời lớn hơn giá trị yêu cầu của phụ tải thì lượng điện năng thừa sẽ được tích lũy trong bộ dự trữ để sử dụng trong thời điểm phù hợp.

Tối ưu về thiết kế cho một hệ thống năng lượng mặt trời kết hợp với bộ dự trữ và Diesel đã được nghiên cứu trong thời gian gần đây. Trong đó, 2 vấn đề đáng quan tâm là tối ưu dung lượng của các phần tử và tối ưu hoạt động của hệ thống. Để giải quyết được các vấn đề này, 2 phương pháp tối ưu được sử dụng trong [1] là phương pháp lập và phương pháp trí tuệ nhân tạo. Trong [2], áp dụng giải thuật gen để tối ưu dung lượng của hệ thống PV-diesel-BESS. Hàm mục tiêu là xác định tối ưu số lượng các panel PV, pin và dung lượng của diesel. Ngoài ra trong [3], giải thuật gen cũng được sử dụng để tối ưu cấu trúc và vận hành cho hệ thống PV/diesel. Đầu tiên, các cấu trúc tối ưu của hệ thống được chỉ ra. Sau đó, tối ưu hệ vận hành hệ thống với cấu trúc đã được xác định ở phần trước. Hàm mục tiêu là min giá thành của hệ thống. Trong [4], tác giả đã đưa ra một phương pháp tối ưu đa mục tiêu cho một hệ thống cô

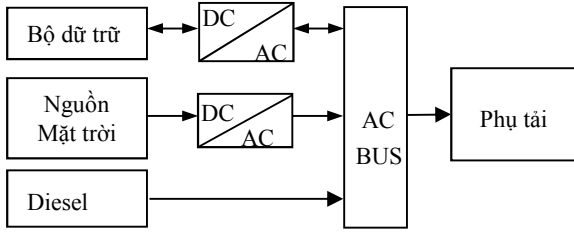
lập mặt trời-gió-diesel kết hợp với bộ dự trữ bằng phương pháp Multi-objective evolution algorithm (MOEAs). Hàm mục tiêu là giá thành năng lượng trung bình và lượng phát thải CO<sub>2</sub>. Thêm vào đó, một phương pháp MOEAs và thuật toán gen được sử dụng để tìm min của tổng giá thành, lượng phát thải CO<sub>2</sub> và phụ tải chưa đáp ứng.

Trong [5], tác giả sử dụng phương pháp lập để tính tối ưu thiết kế cho một hệ thống hybrid năng lượng gió và mặt trời (HPWS) với bộ dự trữ. Kết quả là tìm ra giá trị tối ưu về kích thước của hệ thống để đáp ứng cho phụ tải và phân tích những ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến kích thước của hệ thống. Một giải pháp tối ưu bằng phương pháp lập khác được đề cập trong [6], [7]. Trong đó, dung lượng của hệ thống HPWS được tính toán tối ưu, đảm bảo được những yêu cầu về kinh tế và kỹ thuật cũng như về tính ổn định của hệ thống. Trong [8], tác giả đưa ra một phương pháp lập để tối ưu dung lượng của các thành phần của hệ thống HPWS kết hợp với bộ dự trữ.

Trong bài báo này, thiết kế tối ưu cho một hệ thống năng lượng mặt trời kết hợp với diesel và bộ dự trữ được giới thiệu. Trong đó, tác giả sử dụng phương pháp lập để tìm tối ưu của hệ thống trên với hàm mục tiêu là chi tiêu hàng năm của hệ thống (annual cost of system- ACS) và thỏa mãn các điều kiện về tỉ số sử dụng năng lượng mặt trời, tỉ số công suất thừa trong hệ thống và các ràng buộc về điều kiện vận hành cũng như giới hạn về dung lượng của các thành phần trong hệ thống. Quá trình tính toán thiết kế tối ưu hệ thống được thực hiện qua 2 bước. Đầu tiên, chúng ta tìm được những thiết kế của hệ thống mà đảm bảo điều kiện đáp ứng đủ cho yêu cầu của phụ tải và đảm bảo các ràng buộc kỹ thuật. Sau đó, những thiết kế này được đánh giá dựa vào hàm chi tiêu hàng năm và các ràng buộc khác để tìm ra thiết kế tối ưu. Kết quả đạt được sẽ đánh giá tính hiệu quả của phương pháp đưa ra.

## 2. Cấu trúc của hệ thống

Trong phần này, một hệ thống hybrid PV-Diesel-BESS được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Hệ thống hybrid PV-Diesel-BESS

### 2.1. Nguồn mặt trời (PV)

Trong phần này, công suất ra của nguồn năng lượng mặt trời được biểu diễn là hàm của diện tích, bức xạ và hiệu suất của nó. Công thức biểu diễn như sau:

$$P_{PV}(t) = \eta \cdot A_p \cdot N_{PV} \cdot E(t) \quad (1)$$

Trong đó:

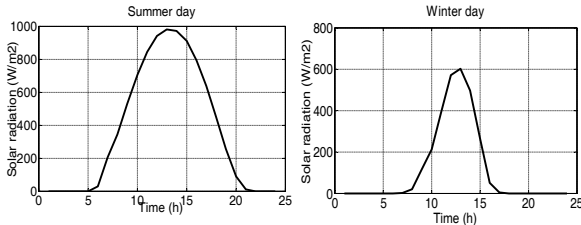
$\eta$ : hiệu suất chuyển đổi năng lượng (%);

$A_p$ : diện tích của mỗi tấm pin;

$N_{PV}$ : số lượng tấm pin mặt trời;

$E(t)$ : cường độ bức xạ của mặt trời.

Trong bài báo này, các tấm PV được sử dụng là loại Photowatt PW230-235 (235W). Các cường độ bức xạ mặt trời của ngày mùa hè và mùa đông được hiển thị trong Hình 2 (dữ liệu được thu thập ở vùng Alpes-Pháp vào ngày 10/1/2014 và ngày 10/7/2014).



Hình 2. Bức xạ mặt trời trong một ngày mùa hè và một ngày mùa đông

### 2.2. Máy phát Diesel

Máy phát điện diesel được sử dụng để cung cấp cho phụ tải trong trường hợp khi tổng điện năng được cung cấp bởi nguồn năng lượng mặt trời PV và bộ dự trữ BESS không đủ để cung cấp cho tải. Máy phát điện Diesel được khởi động để đáp ứng nhu cầu phụ tải và sẽ tự động cắt khỏi lưới khi nguồn năng lượng mặt trời PV và Bess đủ để cấp cho phụ tải. Máy phát điện diesel không nên được vận hành khi công suất cần phát dưới mức công suất tối thiểu mà nhà sản xuất khuyến nghị. Máy phát điện diesel được hoạt động theo điều kiện biên như sau:

$$P_{Dmin} \leq P_D(t) \leq P_{Dmax} \quad (2)$$

Trong bài báo này, công suất tối đa/ tối thiểu của máy phát điện diesel được đưa ra:

$$P_{Dmin} = 0.3 P_R \text{ và } P_{Dmax} = P_R \quad (4)$$

Trong đó,  $P_R$  là công suất định mức của diesel.

### 2.3. Bộ dữ trữ (BESS)

Trạng thái nạp/xả của bộ dữ trữ phụ thuộc vào chiến

lược vận hành của hệ thống. BESS sẽ được nạp khi tổng nguồn từ PV lớn hơn tải. Ngược lại, nếu tổng nguồn PV là không đủ thì BESS sẽ được xả để cung cấp cho tải.

Trạng thái nạp/xả của BESS được tính như sau:

$$SOC = \frac{C(t)}{C_{ref}} \quad (4)$$

Trong đó:

$C(t)$  và  $C_{ref}$ : Dung lượng BESS tại thời điểm  $t$  và dung lượng tham chiếu.

Trạng thái nạp xả SOC ( $t$ ) được đánh giá bằng giá trị SOC thời điểm trước đó ( $t-1$ ) và lượng công suất thêm vào hay bớt đi trong khoảng thời gian từ  $t-\Delta t$  đến  $t$ . Trạng thái nạp xả vào thời gian được tính theo công thức:

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \frac{P_{PV}(t) + P_{diesel}(t) - P_L(t)}{C_{ref}} \cdot \Delta t \quad (5)$$

Trong đó:

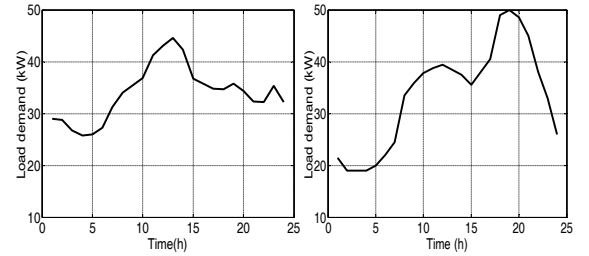
$\Delta t$ : một khoảng thời gian đơn vị:  $\Delta t = 1$  (1 giờ).

Hàm ràng buộc liên quan SOC được thể hiện:

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (6)$$

### 2.4. Phụ tải

Trong bài báo, tác giả sử dụng đặc tính phụ tải ngày của một ngày mùa hè và mùa đông như trong Hình 3 (số liệu phụ tải của vùng Alpes-Pháp ngày 10/1/2014 và ngày 10/7/2014)



Hình 3. Công suất của phụ tải trong một ngày mùa hè và một ngày mùa đông

## 3. Tối ưu thiết kế hệ thống năng lượng mặt trời có kết lưới

### 3.1. Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu là hàm chi phí hàng năm của hệ thống (ACS) với mong muốn lượng khí thải CO<sub>2</sub> đến mức nhỏ nhất. Hàm chi phí này bao gồm các vốn đầu tư ban đầu và chi phí hoạt động trong suốt thời gian của dự án. Trong bài báo này, tuổi thọ của các thiết bị trong hệ thống được coi là như nhau, ngoại trừ bộ dữ trữ năng lượng BESS (vì nó sẽ được thay thế trong thời gian dự án).

Các chi phí hàng năm của hệ thống bao gồm:

- Chi phí lắp đặt hệ thống PV, inverter, BESS và Diesel;
- Chi phí thay thế thiết bị trong suốt thời gian vận hành;
- Chi phí bảo trì hệ thống năng lượng mặt trời, hệ thống dự trữ năng lượng;
- Chi phí tiêu thụ nhiên liệu cho diesel trong suốt thời gian vận hành;
- Chi phí vận hành và bảo trì máy phát điện Diesel.

Chi phí hàng năm của hệ thống (annual cost of system - ACS) bao gồm các vốn đầu tư quy đổi hàng năm (annual capital cost - ACC), chi phí bảo dưỡng hàng năm (annual

operation maintenance - AOM), chi phí thay thế hàng năm (annual replacement cost - ARC), chi phí nhiên liệu hàng năm của diesel (annual fuel cost - AFC) và chi phí khí thải hàng năm (annual emission cost - AEC). ACS được tính như sau:

$$ACS = ACC + AOM + ARC + AFC + AEC \quad (7)$$

- Chi phí vốn hàng năm của hệ thống PV, BESS và inverter được tính theo công thức sau:

$$ACC = C_{cap} \cdot CRF(i, y) \quad (8)$$

Trong đó:

CRF: hệ số thu hồi vốn

$$CRF = \frac{i(1+i)^y}{(1+i)^y - 1} \quad (9)$$

$C_{cap}$ : giá thành vốn đầu tư (US \$);

y: thời gian dự án;

i: lãi suất thực hàng năm.

Lãi suất thực hàng năm có thể được tính như sau:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (10)$$

$i'$ : lãi suất cho vay (%);

f: tỷ lệ lạm phát hàng năm (%).

- Chi phí vận hành hàng năm:

$$AOM = C_{cap} \frac{1 - \lambda}{y} \quad (11)$$

$\lambda$ : độ tin cậy của các thành phần.

- Chi phí thay thế hàng năm:

$$ARC = C_{rep} \cdot SFF(i, y_{rep}) \quad (12)$$

Trong đó:

$C_{rep}$ : chi phí thay thế của hệ thống dự trữ;

SFF: hệ số vốn đầu tư chìm (quỹ hoàn trái), có thể được tính như sau:

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^y - 1} \quad (13)$$

- Chi phí nhiên liệu hàng năm của diesel:

$$AFC = C_f \sum_{t=1}^{8760} F(t) \quad (14)$$

Trong đó:

$C_f$ : chi phí cho mỗi lít nhiên liệu;

$F(t)$ : Công suất tiêu thụ theo giờ của diesel.

$$F(t) = (0.246 \cdot P_D(t) + 0.08415 \cdot P_R)$$

Trong đó:  $P_D(t)$  là công suất của diesel tại thời điểm t.

- Các chi phí khí thải hàng năm (phát thải  $CO_2$ ):

$$AEC = \sum_{t=1}^{8760} \frac{E_f \cdot E_{cf} \cdot P_{DG}(t)}{1000} \quad (15)$$

Trong đó:

$E_f$ : hàm phát thải (kg/kWh);

$E_{cf}$ : hệ số chi phí phát thải (\$/tấn).

### 3.2. Hàm ràng buộc

\* Điều kiện ràng buộc về số lượng và dung lượng:

- Số lượng tấm pin mặt trời PV ( $N_{PV}$ ): Số lượng pin mặt trời PV được giới hạn từ 0 đến số lượng lớn nhất của các tấm pin PV cần thiết tương ứng với hệ thống các tấm pin PV hoạt động độc lập có thể đáp ứng đủ cho nhu cầu phụ tải. Vì vậy, số lượng  $N_{PV}$  phải thỏa điều kiện sau:

$$0 \leq N_{PV} \leq \frac{E_{L-\text{ngày}}}{\eta \cdot W \cdot \text{Giờ nắng/ngày}} \quad (16)$$

Trong đó:

$\eta$ : hiệu suất tổn hao chuyển đổi;

W: công suất đầu ra kì vọng của PV;

Giờ nắng/ngày: Số giờ nắng trung bình mỗi ngày.

- Dung lượng BESS ( $C_b$ ): Dung lượng của BESS (kWh) được tính bằng phương trình như sau:

$$C_b = \frac{E_{L-\text{ngày}} \cdot D}{DOD \cdot \eta_b} \quad (17)$$

D: số ngày BESS vận hành độc lập;

DOD: độ sâu phóng điện %.

Công suất của BESS được giới hạn từ 0 (không dùng BESS) đến giá trị sao cho BESS vận hành độc lập cũng cung cấp đủ nhu cầu phụ tải trong 5 ngày. Giá trị này có nghĩa là trong suốt thời gian này, BESS đủ năng lượng để cung cấp đủ nhu cầu của phụ tải mà không có PV và Diesel. Do vậy, dung lượng BESS phải thỏa điều kiện sau:

$$0 \leq C_b \leq \frac{5 \cdot E_{L-\text{ngày}}}{DOD \cdot \eta_b} \quad (18)$$

- Công suất định mức của diesel ( $P_R$ ):

Công suất định mức của máy phát điện diesel được giới hạn từ 0 (không có máy phát diesel) đến giá trị mà diesel có thể đáp ứng công suất định của phụ tải yêu cầu:

$$0 \leq P_R \leq P_{L-\text{peak}} \quad (19)$$

\* Ràng buộc trong vận hành

Các ràng buộc trong vận hành được tóm tắt như sau:

$$P_L(t) = P_{PV}(t) + P_B(t) + P_{Diesel}(t) \quad (20)$$

$$SOC_{\min} \leq SOC(t) \leq SOC_{\max} \quad (21)$$

$$P_{B\min} \leq P_B(t) \leq P_{B\max} \quad (22)$$

Các ràng buộc 20, 21, 22 có thể được thể hiện qua một chiến lược vận hành với mục tiêu:

+ Sử dụng tối đa công suất từ nguồn mặt trời;

+ Hạn chế sử dụng máy phát Diesel;

+ Giảm tối đa lượng phát thải  $CO_2$ .

Chiến lược vận hành được thể hiện như sau:

\*  $P_{PV}(t) > P_L(t)$ :

BESS sẽ được nạp tới giá trị bằng giá trị nhỏ nhất của 2 giới hạn đầy của bộ dự trữ BESS (với lượng công suất  $\Delta P_{B-\text{ch}} = (C_{B\max} - C_B(t)) / \Delta t$ ) và công suất thừa ( $P_{PV}(t) - P_L(t)$ )

$$P_B(t) = \min(P_{PV}(t) - P_L(t), \Delta P_{B-\text{ch}}) \quad (23)$$

\*  $P_{PV}(t) < P_L(t)$ :

Công suất nguồn được cung cấp bởi Diesel và bộ pin:

- Nếu công suất thiếu (do năng lượng từ mặt trời không đủ để cấp cho phụ tải) ( $P_{diff}(t) = P_L(t) - P_{PV}(t)$ ) ít hơn so với công suất tối thiểu của diesel ( $P_{D\min}$ ).

+ Nếu năng lượng còn lại của BESS ( $\Delta P_{B-\text{dis}}(t) = (C_B(t) - C_{B\min}) / \Delta t$ ) đủ để cung cấp cho  $P_{diff}(t)$ , BESS sẽ xả để cung cấp cho phụ tải và Diesel được dừng hoạt động.

$$P_{\text{grid}}(t) = P_L(t) - P_{PV}(t) - P_B(t) \quad (24)$$

+ Nếu  $P_{diff}(t) > \Delta P_{B-\text{dis}}(t)$ , Diesel sẽ hoạt động ở  $P_{D\min}$  và BESS sẽ được nạp với giá trị như sau:

$$P_B(t) = P_{dif}(t) - P_{Dmin} \quad (25)$$

- Nếu  $P_{dif}(t) > P_{Dmin}$ , có 3 trường hợp xảy ra như sau:

+ Nếu  $P_{dif}(t) \leq \Delta P_{B\_dis}(t)$ , BESS sẽ cung cấp cho phụ tải một lượng ( $P_{dif}(t)$ ) và Diesel sẽ ngừng làm việc.

+ Nếu  $P_{dif}(t) > P_{Dmin} + \Delta P_{B\_dis}(t)$ , BESS sẽ cung cấp cho phụ tải một lượng ( $\Delta P_{B\_dis}(t)$ ) và Diesel sẽ hoạt động, cung cấp một lượng công suất:

$$P_D(t) = P_{dif}(t) - \Delta P_{B\_dis}(t) \quad (26)$$

+ Nếu  $\Delta P_{B\_dis}(t) < P_{dif}(t) \leq P_{Dmin} + \Delta P_{B\_dis}(t)$ , Diesel sẽ hoạt động với công suất  $P_{Dmin}$  và BESS sẽ xả với giá trị:

$$P_B(t) = P_{Dmin} - P_{dif}(t) \quad (27)$$

\* Các điều kiện ràng buộc khác

Để sử dụng tối đa lợi ích năng lượng tái tạo mang lại, tỉ lệ năng lượng tái tạo và tỷ lệ công suất dư thừa được xem xét trong quá trình tối ưu.

- Tỉ lệ sử dụng năng lượng tái tạo (Renewable energy fractions-FR)

Tỉ lệ sử dụng năng lượng tái tạo được định nghĩa là tỷ số giữa năng lượng tái tạo và tổng năng lượng của hệ thống.

$$FR = \frac{E_{RE}}{E_{RE} + E_{Diesel}} = \frac{E_{solar}}{E_{solar} + E_{Diesel}} \quad (28)$$

Trong đó  $0 \leq FR \leq 1$ , nếu  $FR=0$ , có nghĩa là phụ tải được cung cấp điện chỉ bằng Diesel và nếu  $FR=1$  nghĩa là phụ tải được cung cấp hoàn toàn bởi nguồn năng lượng tái tạo.

$$FR_{design} \leq FR \leq 1 \quad (29)$$

- Tỉ lệ năng lượng dư thừa (Excess energy ratio-EER): Tỷ lệ năng lượng dư thừa là tỉ số giữa năng lượng thừa (hiệu số của năng lượng tái tạo với giá trị yêu cầu của phụ tải) và tổng năng lượng của các nguồn trong hệ thống.

$$EER = \frac{E_{excess}}{E_{RE} + E_{Diesel}} = \frac{E_{excess}}{E_{solar} + E_{Diesel}} \quad (30)$$

Tỷ lệ năng lượng dư thừa phải nhỏ hơn giá trị thiết kế.

$$0 \leq EER \leq EER_{design} \quad (31)$$

#### 4. Kết quả tính toán và mô phỏng

Một chương trình dựa trên phần mềm MATLAB được xây dựng để tính toán thiết kế tối ưu hệ thống hybrid gồm năng lượng mặt trời diesel và bộ dự trữ. Các dữ liệu về bức xạ của mặt trời và thông số của phụ tải được thể hiện ở các Hình 2, 3 và các thông số về kinh tế được thể trên Bảng 1 (các dữ liệu được lấy từ vùng Alpes-Pháp). Tỉ lệ sử dụng năng lượng tái tạo ( $FR_{design}$ ) trên tổng các nguồn cung cấp được đặt ở mức 0,5 và 0,25 tương ứng cho ngày mùa hè và ngày mùa đông. Tỷ lệ năng lượng dư thừa ( $EER_{design}$ ) trong tất cả các ngày được chọn là 0,01. Các tấm pin mặt trời PV được sử dụng là loại Photowatt PW230-235 (235W).

Thiết kế tối ưu của hệ thống năng lượng mặt trời kết hợp với BESS và Diesel cùng với so sánh khi chỉ dùng Diesel được thể hiện trong Bảng 2. Hệ thống tối ưu bao gồm 440 tấm pin mặt trời loại PW230-235 (công suất phát cực đại của hệ thống năng lượng mặt trời là 103.4kW), bộ dự trữ BESS có dung lượng 495kWh và công suất định mức của Diesel là 50kW. Dựa vào bảng chúng ta cũng nhận thấy rằng tổng chi phí trong một năm được xác định là 53.296 (\$US) đối với hệ thống hybrid, trong khi đó nếu chỉ sử dụng Diesel thì giá trị này là 71.060 (\$US), do vậy từ

đây chúng ta cũng có thể kết luận rằng về mặt kinh tế hệ thống hybrid gồm năng lượng mặt trời diesel kết hợp với bộ dự trữ kinh tế hơn (giá điện trung bình năm 0,19\$US so với 0,24 \$US). Ngoài ra, với việc sử dụng hệ thống hybrid thì lượng khí thải  $CO_2$  phát ra hàng năm là ít hơn, là 34,8 tấn, trong khi đó nếu chỉ sử dụng Diesel thì giá trị này là 100,6 tấn

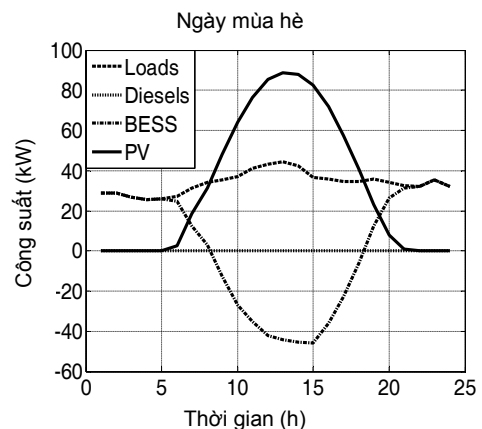
**Bảng 1.** Dữ liệu về kinh tế

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Thời gian dự án (năm)                 | 20   |
| Lãi suất i' (%)                       | 3    |
| Tỷ lệ lạm phát (%)                    | 1,6  |
| Giá thành diesel (US \$ / kW)         | 500  |
| Giá thành của panel PV (US \$ / W)    | 0,92 |
| Giá thành của bộ dự trữ (US \$ / kWh) | 200  |
| Giá thành của biến tần (US \$ / kW)   | 1000 |
| Giá thành nhiên liệu (Cf) (US \$ / l) | 0,7  |
| Chi phí phát thải (US \$ / tấn)       | 55   |

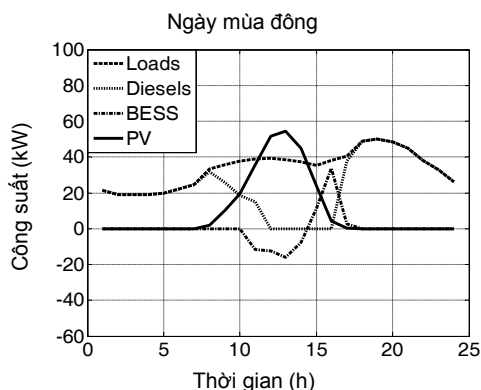
**Bảng 2.** Kết quả tính toán

|                                | Hệ thống hỗn hợp | Chỉ có Diesel |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| Công suất cực đại PV (kW)      | 103.05 (440x235) | -             |
| Dung lượng BESS (kWh)          | 495              |               |
| Công suất định mức diesel (kW) | 50               | 50            |
| SOCmin / SOCmax (%)            | 20/90            | -             |
| Điện năng phụ tải hàng năm     | 286853.5         | 286853.5      |
| Khí thải $CO_2$ hàng năm (tấn) | 34.8             | 100.6         |
| Tổng chi phí 1 năm (US\$)      | 53.296           | 71.060        |
| Giá điện trung bình (US\$/kW)  | 0.19             | 0.24          |

Phân bố công suất của hệ thống hybrid PV-Diesel-BESS và phụ tải trong một ngày mùa hè và ngày mùa đông được thể hiện tương ứng trong Hình 4, 5. Chúng ta cũng có thể thấy rằng, phụ tải luôn được cấp đầy đủ và không có tải nào bị sa thải khi sử dụng hệ thống được thiết kế tối ưu. Từ Hình 4, trong những giờ đầu tiên của ngày, phụ tải được cung cấp bởi bộ dự trữ; sau đó, khi năng lượng mặt trời đủ, nó sẽ cung cấp cho tải và công suất thừa sẽ được nạp cho bộ dự trữ. Và cuối cùng, phụ tải được cấp bởi bộ dự trữ BESS trong cuối ngày và chuẩn bị cho ngày tới.

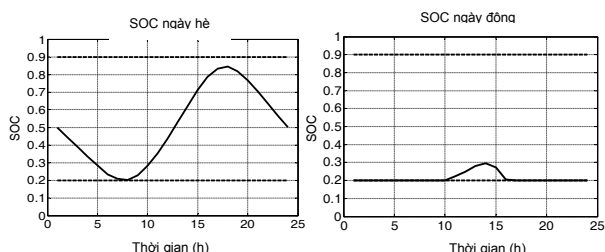


**Hình 4.** Phân bố công suất tối ưu trong một ngày hè



**Hình 5.** Phân bố công suất tối ưu trong một ngày đông

Trong khi đó, từ Hình 5 chúng ta nhận thấy trong một ngày mùa đông khi thời lượng có nắng ít hay công suất phát ra từ hệ thống năng lượng mặt trời không cao, đồng thời bộ dự trữ đã được sử dụng hết trong ngày trước nên trong khoảng thời gian ban đầu của ngày, Diesel hoạt động cấp năng lượng cho phụ tải. Tuy nhiên, bộ dự trữ cũng được nạp trong 4 giờ từ 10am - 2pm khi năng lượng mặt trời lớn và xả 3pm - 5pm, trong khi đó Diesel cũng sẽ ngừng hoạt động trong 4 giờ từ 12pm - 4pm khi phụ tải nhận điện từ nguồn mặt trời và bộ dự trữ. Đến cuối ngày, phụ tải sẽ nhận điện từ Diesel khi đã dùng hết năng lượng từ BESS.



**Hình 6.** Trạng thái nạp xả của bộ dự trữ trong một ngày mùa hè và một ngày mùa đông

Trạng thái hoạt động nạp xả của bộ dự trữ được thể hiện rõ trong Hình 6. Chúng ta có thể nhận thấy rằng giá trị SOC luôn nằm trong giới hạn cho phép, do vậy bộ dự trữ được điều khiển và vận hành tốt sẽ giúp tăng tuổi thọ hoạt động của nó.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày một phương pháp để tính toán thiết kế tối ưu hệ thống hybrid gồm năng lượng mặt trời, Diesel và bộ dự trữ. Phương pháp tối ưu có ràng buộc được sử dụng và xây dựng trên phần mềm Matlab để tìm ra dung lượng tối ưu của bộ dự trữ, số lượng pin mặt trời cũng như công suất cực đại lớn nhất của hệ thống năng lượng mặt trời. Kết quả mô phỏng phân bố công suất của hệ thống trong một ngày cũng thể hiện được hệ thống vận hành ổn định, an toàn, tận dụng được tối đa công suất từ nguồn tái tạo và hạn chế sử dụng Diesel, giảm lượng khí thải CO<sub>2</sub> đáng kể. Kết quả đạt được đã chứng tỏ rằng sử dụng một hệ thống hybrid là kinh tế, hiệu quả và giảm khí thải CO<sub>2</sub> cho môi trường hơn so với việc chỉ dùng Diesel. Từ đây, đề xuất một giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo cho các vùng sâu, vùng xa và hải đảo của Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian "A review of photovoltaic system size optimization techniques", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22 (2013), pp. 454–46.
- [2] H. Suryatmojo, A. Elbaset, Syafaruddin and T. Hiyama "Genetic algorithm based optimal sizing of PV–wind–diesel–hydrogen–battery systems", Innovative Computing, Information and Control, vol 6 (2010).
- [3] J.L. Bernal-Agustín, R. Dufo-López, D.M. Rivas-Ascaso, "Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions", Renew Energy, 31 (14) (2006), pp. 2227–2244.
- [4] R. Dufo-López, J.L. Bernal-Agustín, "Multi-objective design of PV–wind–diesel–hydrogen–battery systems", Renew Energy, 33 (12) (2008), pp. 2559–2572.
- [5] R. Dufo-López et al, "Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV–wind–diesel systems with batteries storage", Applied Energy, 88 (2011), pp. 4033–4041.
- [6] S. Diaf, M. Belhamelb, M. Haddadic, A. Louchea, "Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica Island", Energy Policy, 36 (2) (2008), pp. 743–754.
- [7] H.X. Yang, J. Burnett, L. Lu, "Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic/wind power generation systems in Hong Kong", Renewable Energy, 28 (2003), pp. 1813–1824.
- [8] H.X. Yang, L. Lu, W. Zhou, "A novel optimization sizing model for hybrid solar–wind power generation system", Solar Energy, 81 (1) (2007), pp. 76–8.

(BBT nhận bài: 22/03/2016, phản biện xong: 19/04/2016)