

# NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ HỆ THỐNG QUẢN LÝ THÔNG MINH NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO CHO MICROGRID RESEARCH AND DESIGN A INTELLIGENT RENEWABLE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR MICROGRID

NGUYỄN VĂN HÙNG\*, TRẦN ANH DŨNG, ĐINH ANH TUẤN

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: hung.ddt@vamaru.edu.vn

## Tóm tắt

Ngày nay, nghiên cứu phương pháp điều khiển, tối ưu vận hành lưới điện trên đảo đã giúp giải quyết bài toán tiết kiệm chi phí hoạt động và năng lượng. Can thiệp trực tiếp, thu thập dữ liệu từ lưới điện thật đang gặp khó khăn, thiếu thốn và tốn nhiều chi phí đầu tư. Bài báo này đề xuất giải pháp kết hợp phần cứng mô hình lưới điện trong phòng thí nghiệm, mô phỏng các nguồn năng lượng tái tạo xây dựng MATLAB và PLC đóng vai trò truyền nhận dữ liệu điều khiển. Cuối cùng, ứng dụng một số thuật toán tối ưu quản lý nguồn và phụ tải có xét đến trạm sạc xe điện để điều khiển và thử nghiệm đánh giá đưa ra đề xuất số lượng xe điện trong khoảng thời gian khác nhau giúp tiết kiệm chi phí vận hành hệ thống.

**Từ khóa:** Điều khiển Microgrid, hệ thống quản lý năng lượng (EMS), PLC kết nối MATLAB OPC UA, xe điện.

## Abstract

Nowadays, research and optimal control of power grid operations on the island help solve the problem of saving operating costs and energy. Impact and data collection from real Microgrid (MG) face difficulties, shortages and high investment costs. This article proposes a hardware solution to model a realistic power grid combining renewable energy sources and building a communication framework between MATLAB and PLC that transmits and receives data. Finally, some optimization algorithms for power and load management will be applied, considering electric vehicle (EV) charging stations for control and testing to provide suggestions for saving system operating costs.

**Keywords:** Real-Time Microgrid control, Energy management system, PLC connected to MATLAB OPC UA, Electric Vehicles.

## 1. Mở đầu

Ngày nay, sản xuất điện năng sử dụng năng lượng tái tạo như gió, mặt trời ngày càng phổ biến trên thế giới và Việt Nam. Các nhà máy điện truyền thống sử dụng nguồn nhiên liệu hóa thạch đang dần cạn kiệt, các nhà máy hạt nhân gây ra nhiều rủi ro cho con người và môi trường. Vì vậy, lưới MG trên các đảo hiện nay chủ yếu sử dụng nguồn năng lượng gió và mặt trời trong khi việc quản lý, vận hành lưới điện với nhiều phương thức khác nhau và chưa nghiên cứu sâu phụ tải trạm sạc xe điện. Để tăng cường giám sát phụ tải và quản lý nguồn tái tạo các lưới điện nhỏ cần phải áp dụng công nghệ hiện đại trong quản lý và thu thập dữ liệu phụ tải từ xa và tự động hóa trong hệ thống điện.

Trên thế giới, các công trình nghiên cứu lưới điện thông minh (Smart Grid) với nhiều thiết bị có khả năng giao tiếp hai chiều giữa nhà cung cấp và khách hàng như giám sát thời gian thực, điều khiển và liên lạc các đơn vị giúp nâng cao hiệu quả, giảm mức tiêu thụ năng lượng và tăng độ tin cậy của hệ thống giúp vận hành linh hoạt và thông minh [1, 2]. Một MG có thể phục vụ tòa nhà dân cư hoặc thương mại, đất công nghiệp, khuôn viên trường đại học hoặc quy mô nhỏ như phòng thí nghiệm [3]. Ngoài ra, chế độ vận hành (chế độ nổi lưới hoặc chế độ đảo), quản lý cung và cầu được khảo sát gần như không có. Các nghiên cứu chủ yếu thực hiện trên các phần mềm mô phỏng như MATLAB, ETAP, PSSE và không có mô hình vật lý. Bên cạnh đó, các thuật toán tối ưu hóa nhiên liệu, điều khiển và quản lý tải thông minh được nghiên cứu, áp dụng để điều khiển các đối tượng như phụ tải sạc xe điện [4].

Trong nước, một số công trình tính toán tối ưu hệ thống lưu trữ, tính toán xây dựng lưới MG với bài toán kinh tế sử dụng phần mềm HOMER và xét ảnh hưởng của sạc xe điện lên lưới MG [3]. Các công trình này mới dừng lại ở mức mô phỏng giả lập hệ thống chưa có mô hình thực để thử nghiệm điều khiển và thu thập dữ liệu [3-5]. Trong số các nền tảng này, MATLAB đã được tin tưởng sử dụng cho nhiều nhiệm vụ khác nhau từ kinh tế đến khoa học. Sự phát triển gần đây của giao thức OPC (Open Platform Communications) đã thúc đẩy khả năng tương tác giữa các thiết bị PLC Siemens

và MATLAB với nhau trong quá trình phân tích dữ liệu và mô phỏng hệ thống.

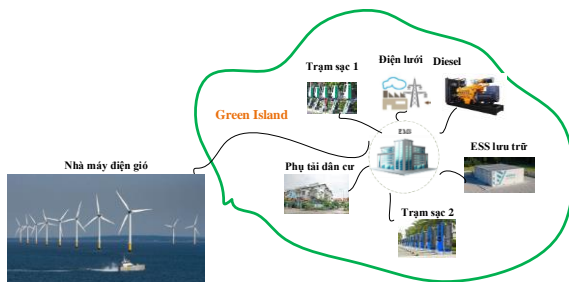
Từ vấn đề trên, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu quá trình giám sát, quản lý các nguồn năng lượng tái tạo trong lưới MG trên đảo thông qua sử dụng PLC Siemens và MATLAB. Sử dụng thuật toán tối ưu để quản lý phụ tải có xét ảnh hưởng của trạm sạc xe điện. Đồng thời đưa ra những giải pháp để tiết kiệm chi phí đầu tư và vận hành lưới điện trên các đảo trong tương lai.

Cấu trúc của bài báo có bố cục như sau: Phần 2 xây dựng mô hình lưới điện trên đảo có sử dụng năng lượng gió trên phần mềm MATLAB. Thuật toán điều khiển và quản lý nguồn năng lượng thông minh và truyền thông giữa hai phần mềm trong phần 3. Phần 4 là kết quả chạy mô phỏng của hệ thống và cuối cùng là kết luận.

## 2. Xây dựng mô hình Microgrid trên đảo

### 2.1. Tổng quan mô hình lưới điện

Nhóm tác giả xem xét dữ liệu một đảo ở Việt Nam với tổng dân số trên đảo đến năm 2022 là 6.778 người với tổng diện tích 53,68km<sup>2</sup>. Năm 2022 số lượng khách du lịch đến đảo khoảng 215.000 khách tăng gấp 2,5 lần so với năm 2021. Hệ thống điện trên đảo được cấp từ lưới điện quốc gia năm 2013 có đường dây trên không 110kV. Bên cạnh đó, nguồn năng lượng tái tạo trên đảo có nhiều lợi thế và tính khả thi cao. Một số nghiên cứu trong nước cho thấy đảo có tiềm năng về năng lượng gió do các đỉnh cao không bị chắn gió. Ngược lại, năng lượng mặt trời có tiềm năng tương đối tốt nhưng sự chênh lệch bức xạ nhiệt giữa các tháng trong năm khá lớn. Vì vậy, nhóm tác giả đề xuất một hệ thống Microgrid trên đảo bao gồm các nguồn năng lượng gió và hệ thống lưu trữ được kết nối với lưới điện như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ lưới điện trên đảo

### 2.2. Mô hình tuabin gió

Tiếp theo, nhóm tác giả xét đến ảnh hưởng của gió đến công suất của tuabin gió (Wind Turbin-WT). Tốc độ gió thay đổi theo độ cao. Tốc độ gió được máy đo gió ( $V_{hub}$ ) được tính toán như công thức (1) [3, 7]:

$$V_{hub}(t) = V_{ref}(t) \cdot \left( \frac{H_{hub}}{H_{ref}} \right)^\alpha \quad (1)$$

Trong đó:  $H_{hub}$ ,  $H_{ref}$  và  $\alpha$  là chiều cao trục, chiều cao tham chiếu và hệ số nhám mặt đất của Wind Turbin.

Công suất của WT ( $P_{WT}$ ) được tính theo công thức (2):

$$P_{WT}(t) = \begin{cases} 0, & V_{hub}(V_{cut-in}, V_{hub} > V_{cut-out}) \\ V_{hub}^3(t) \cdot \left( \frac{P_r}{V_r^3 - V_{cut-in}^3} \right) - P_r \cdot \left( \frac{V_{cut-in}^3}{V_r^3 - V_{cut-in}^3} \right), & V_{cut-in} \leq V_{hub} < V_r \\ P_r, & V_r \leq V_{hub} \leq V_{cut-out} \end{cases} \quad (2)$$

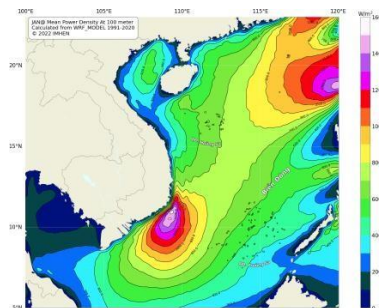
Với  $V_{cut-in}$ ,  $V_{cut-out}$  và  $V_r$  lần lượt là tốc độ giới hạn, tốc độ giới hạn ra và tốc độ tham chiếu của WT.

$P_r$  là công suất định mức của tuabin gió. Năng lượng được sản xuất do turbin gió ( $E_{WT}$ ) trong khoảng thời gian t được tính [5-7]:

$$E_{WT}(t) = N_{WT} \cdot P_{WT}(t) \cdot \Delta t \quad (3)$$

Trong đó:  $N_{WT}$  là số lượng wind turbin;  $\Delta t$  là khoảng thời gian (lấy 1 giờ).

Tốc độ gió trung bình khoảng 6,31m/s trong một năm. Tốc độ gió cao nhất khoảng 7,4 m/s vào tháng 12, 1 và tốc độ thấp nhất vào tháng 8 chỉ khoảng 5,03m/s thể hiện trên Hình 2. Trong mô hình lưới điện dữ liệu tốc độ gió là giá trị được lấy thực tế trong một ngày đêm tại khu vực nghiên cứu để phục vụ mô phỏng.



Hình 2. Bản đồ phân bố trung bình mật độ năng lượng gió ( $W/m^2$ ) tháng 12

### 2.3. Cân bằng công suất

Mỗi lái xe di chuyển phương tiện hàng ngày với khoảng cách là ngẫu nhiên trên đảo. Vì vậy, khoảng cách lái xe cần được mô hình hóa bằng cách sử dụng

phân phối ngẫu nhiên [4]. Công suất sạc hoặc xả của EV phải thỏa mãn các ràng buộc ở công thức (4).

$$0 \leq P_t^{EV, ch} \leq P_{cap} \times CE_{EV} \quad \forall t \in [T^a, T^d] \quad (4)$$

Trong đó:  $P_t^{EV, ch}$  là công suất sạc vào EV tại thời điểm t;  $P_{cap}$  coi là công suất của trạm sạc;  $CE_{EV}$  là công suất sạc của trạm và  $T^a, T^d$  là thời gian đến và đi ngẫu nhiên của EV.

Hệ thống MG trên đảo trên Hình 1 được đề xuất bởi các thành phần như sau: Nguồn năng lượng gió, nguồn máy phát diesel, nguồn cấp từ lưới điện quốc gia và công suất từ hệ thống lưu trữ. Ngoài ra, phụ tải trên đảo bao gồm phụ tải dân cư, công nghiệp và một số trạm sạc xe điện. Cân bằng công suất giữa các thành phần hệ thống phải được đáp ứng trong từng khoảng thời gian phương trình (5) mô tả phương trình cân bằng công suất của hệ thống MG như sau [4, 7]:

$$P_t^{WT} + P_t^{Grid} + P_t^{DG} + P_t^{ESS} = P_t^{EV, ch} + P_t^L \quad \forall t \in [T^a, T^d] \quad (5)$$

Trong đó:  $P_t^{WT}, P_t^{Grid}$  lần lượt là công suất của tuabin gió và công suất lấy từ lưới;  $P_t^{DG}, P_t^{ESS}$  là công suất của máy phát diesel và công suất của hệ thống lưu trữ;  $P_t^L$  là công suất tiêu thụ của phụ tải.

Tuy nhiên, trong trường hợp sự cố máy phát diesel sẽ hoạt động cung cấp cho phụ tải quan trọng và mục đích để giảm được công suất tiêu thụ từ lưới chính và phát công suất dư thừa từ năng lượng gió nên phương trình (5) biến đổi như sau:

$$P_t^{EV, ch} + P_t^L - P_t^{WT} - P_t^{ESS} - P_t^{DG} = P_t^{Grid} \quad (6)$$

$$\forall t \in [T^a, T^d]$$

Hàm tối ưu hóa chi phí kinh tế ( $C_{NPC}$ ) trong phương trình sau [7]:

$$C_{NPC} = \frac{C_{annual, Total}}{CRF(i, R_{project})} \quad (7)$$

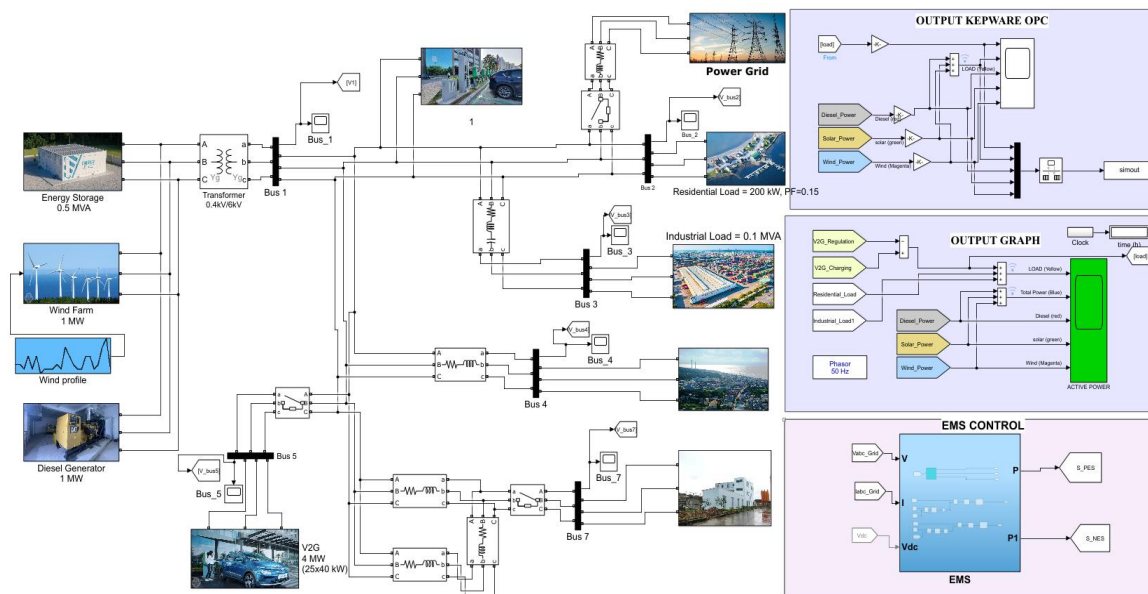
Với  $C_{Annual, Total}$  là chi phí hàng năm;  $R_{project}$  đại diện cho vòng đời dự án và lãi hàng năm là  $i$ , Hệ số thu hồi vốn (CRF).

### 2.4. Xây dựng mô hình lưới điện trong MATLAB

Trong mô hình này, nhóm giả thiết các nguồn năng lượng tái tạo có các thông số trong Bảng 1 như sau:

Bảng 1. Thông số thiết bị trên lưới

Tên hệ thống	Số lượng	Giá trị	Đơn vị
Wind Turbin	2	1	MW
Pin lưu trữ Diesel	1	0.5	MVA
Máy phát Diesel	1	1	MW
Trạm sạc nhanh	20	60	kW
Trạm sạc thường	15	30	kW



Hình 3. Sơ đồ lưới điện trên MATLAB

Hình 3 mô tả lưới điện trên đảo được mô phỏng trên phần mềm MATLAB và phụ tải trong phần này nhóm tác là trạm sạc xe điện tham gia vào lưới điện trong các khoảng thời gian khác nhau.

### 3. Thuật toán quản lý nguồn thông minh

#### 3.1. Xây dựng modul truyền thông MATLAB-PLC

Để ứng dụng mô hình lưới điện thực tế kết mô hình giám sát, quản lý năng lượng nhóm tác giả xây dựng modul truyền thông giữa MATLAB và PLC SIEMEN thông qua phần mềm KEPServerEX. PLC được đóng vai trò OPC client và MATLAB đóng vai trò OPC server [8]. Dữ liệu thực tế được thu thập thông qua PLC đưa vào MATLAB để thuật toán đưa tín hiệu điều khiển từ MATLAB, SCADA quay trở lại PLC để điều khiển các thiết bị đóng cắt thể hiện dưới Hình 4.

#### 3.2. Thuật toán quản lý nguồn

Thuật toán EMS như sau: Bước 1 chương trình sẽ thu thập dữ liệu tốc độ gió, công suất tải, công suất WT,... thông qua đầu vào tương tự của PLC. Tiếp theo, tại bước 2 thuật toán sẽ tính công suất của các nguồn  $P_{WT}$ ,  $P_{Load}$ ,  $P_{EV}$ ,  $P_{ESS}$ , để so sánh giữa nguồn và tải. Bước 3 trường hợp WT, ESS có công suất khi đó thuật toán đưa ra tín hiệu điều khiển cho phép nguồn tái tạo tham gia vào lưới và sạc cho hệ thống lưu trữ. Trong bước 4 tín hiệu điều khiển đóng cắt máy cắt thông qua phần mềm KEPServerEX kết nối PLC để điều khiển thiết bị thật. Bước 5 và bước 6 thuật toán sẽ tính toán lại khả năng tải của lưới và phụ tải để đưa ra kịch bản tiếp theo. Trong trường hợp có EV thuật toán 1 gọi chương trình

con chạy thuật toán 2. Hệ thống lưu trữ pin được sạc trong điều kiện nhu cầu tải ít và ( $20\% < SOC < 80\%$ ). Năng lượng phát ra sẽ được hòa lưới để cung cấp cho các phụ tải. Đặc biệt, thuật toán có thể cảnh báo, dự báo công suất nguồn năng lượng tái tạo tại từng thời điểm [4, 5].

//Thuật toán 1

Bắt đầu ( $i=1$ );

Thu thập  $P_{WT}$ , Wind speed,  $P_{Load}$ ,  $P_{WT}$ ,  $P_{ESS}$ ,  $P_{DG}$

% **Bước 1:** So sánh thời gian  $i = i+1$  (1:8760h)

if  $i > 8760$  end

% **Bước 2:** Tính toán  $P_{WT}$ ,  $P_{Load}$ ,  $P_{EV}$ ,  $P_{ESS}$ ,

% tính cân bằng công suất theo công thức (5), (6).

% **Bước 3:** Xét  $P_{wind} ?$ ;  $P_{Energy} > 85\%$  hoặc  $P_{Energy} < 15\%$

% **Bước 4:** Điều khiển ACB3, VCB1, ACB1, ACB2

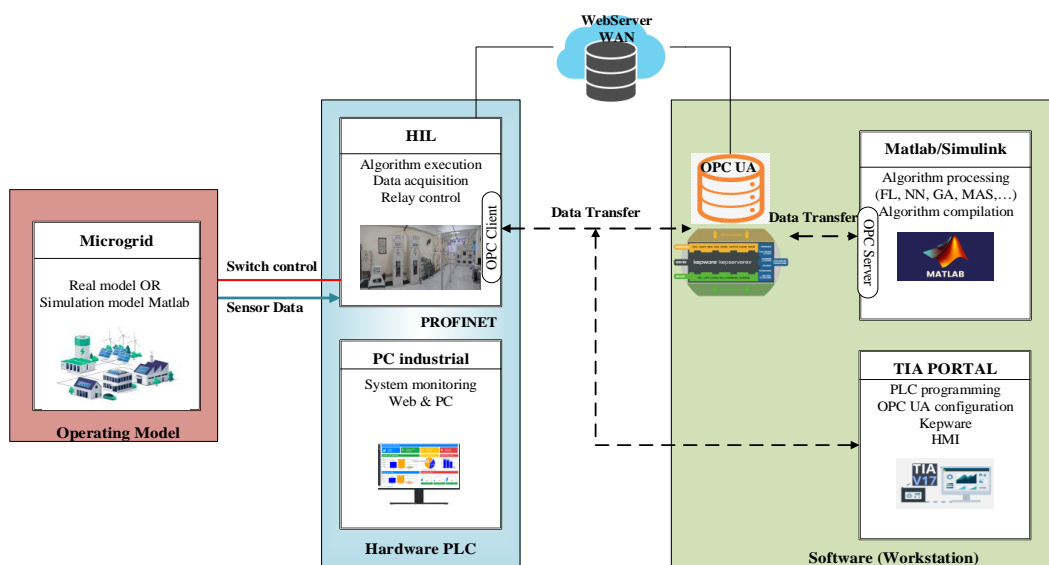
% **Bước 5:** Tính toán khả năng tải  $P_{EV}$ ,  $P_{Load}$  cảnh báo trên màn hình.

% **Bước 6:** Tính toán (7)  $C_{NPC}$ , chạy thuật toán 2.

% **Bước 7:** Lưu kịch bản và kết thúc.

#### 3.3. Thuật toán sạc xe điện

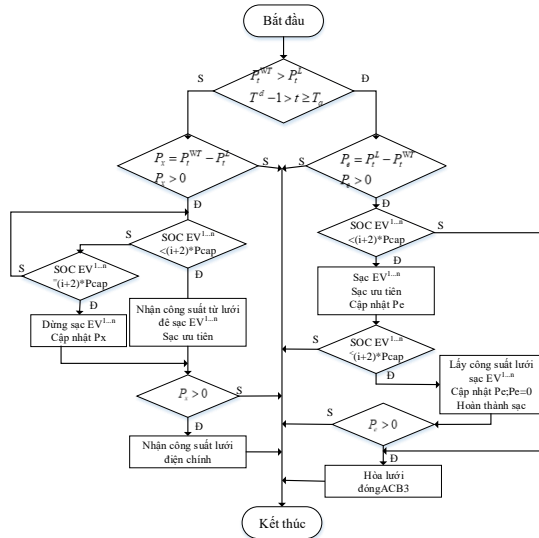
Trong phần này, nhóm tác giả đề xuất thuật toán sạc xe ô tô điện của các trạm sạc. Hiện nay, có hai loại trạm sạc điển hình là sạc nhanh và sạc thường được sử dụng tại các trụ sạc và hộ dân cư. Với tính chất ngẫu nhiên khi di chuyển của xe điện dẫn đến quá trình sạc được chia ra với mức độ ưu tiên khác nhau. Trong thuật toán này có xét trường hợp khi WT có công suất.  $P_e$  là công suất khi WT không đủ cung cấp cho phụ tải.  $P_x$  là công suất chênh lệch giữa WT và phụ tải. Theo thứ tự ưu tiên của các xe tại trạm sạc kết hợp thời gian



Hình 4. Cấu trúc truyền thông PLC - MATLAB



sạc trong ngày mà yêu cầu sạc cho các EV sẽ khác nhau. Trường hợp công suất WT thiếu lúc này công suất của MG sẽ lấy thêm từ lưới điện quốc gia. Ngược lại, công suất dư thừa sẽ đẩy lên lưới thông qua ACB3 trong tủ hòa đồng bộ. Hình 6 thể hiện chi tiết các bước trong thuật toán 2.



Hình 5. Thuật toán 2 tối ưu quá trình sạc

**4. Kết quả mô phỏng**

Sau khi thiết kế hệ thống MG, nhóm tác giả tiến hành chạy mô phỏng hệ thống qua hai phần, thông qua thuật toán 1 điều khiển thiết bị trong phòng thí nghiệm và chạy thuật toán 2 để kiểm tra khả năng sạc tại các trạm sạc. Phần cứng và phần mềm của hệ thống mô phỏng nhóm tác giả sử dụng như Hình 6 bao gồm mô hình năng lượng gió, hệ thống pin lưu trữ và đối tượng phụ tải trạm sạc trong MATLAB và kết hợp với máy phát diesel, thiết bị đóng cắt thật trong phòng thí nghiệm.



Hình 6. Phần cứng mô phỏng lưới điện

**4.1. Thử nghiệm hệ thống quản lý năng lượng**

Trước tiên, nhóm tác giả sử dụng phần cứng điều khiển như Hình 7. Điều khiển đóng mở ACB1, ACB2 hiển thị trên màn hình và phần cứng hệ thống và kết quả trong Bảng 2.



Hình 7. Mô phỏng điều khiển lưới điện

Bảng 2. Trạng thái kết nối biến trong MATLAB- PLC

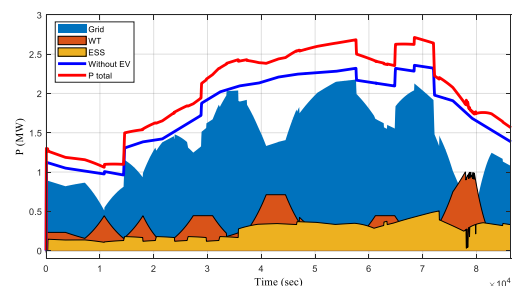
Tên	Địa chỉ	Trạng thái	Kiểm tra
O_ACB1_close/	%Q136.0		
Trip	%Q136.1	Good	Good
O_ACB2_close/	%Q136.2		
Trip	%Q136.3	Good	Good
O_ACB3_close/	%Q136.4		
Trip	%Q136.5	Good	Good
O_ACB4,5,6_close/	%M1.0		
Trip	%M2.0, %M3.0	Good	Good

**4.2. Mô phỏng kịch bản sạc xe điện**

Tiếp theo, để kiểm tra khả năng điều phối trạm sạc xe điện nhóm tiến hành cho các trạm sạc hoạt động với số lượng xe điện ngẫu nhiên qua hai kịch bản:

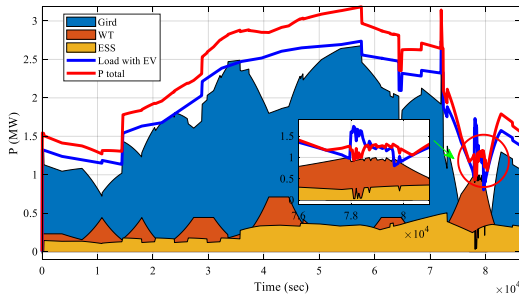
- *Kịch bản 1:* Không sử dụng thuật toán 2 và cho số lượng xe sạc tăng dần qua đó xem xét điện áp, tần số và công suất của lưới điện.

Hình 8 thể hiện đồ thị cân bằng công suất không xét đến ảnh hưởng bởi EV. Trong khoảng thời gian từ 18h00 đến 19h30 là khung giờ cao điểm, nguồn năng lượng chính là từ lưới, chiếm khoảng 78% tổng công suất phát điện của lưới. Trong khi đó, công suất ESS và công suất năng lượng gió lần lượt là 10% và 12,5%. Khoảng thời gian từ 20h00 đến 22h30 là lúc WT phát công suất lớn nhất khoảng 0,9MW chiếm 65% tổng công suất toàn lưới. Ngoài ra, đây là khoảng thời gian công suất tiêu thụ của người dân trên đảo giảm nên tận dụng sạc cho ESS.



Hình 8. Đồ thị cân bằng công suất không xét EV

- *Kịch bản 2*: Sử dụng thuật toán 2 để giám sát số lượng xe điện sạc và các trạm sạc hoạt động và kết quả thể hiện trong Hình 9.



**Hình 9. Đồ thị cân bằng công suất có EV**

Từ đồ thị Hình 9 nhận thấy công suất của phụ tải tăng lên khi số lượng EV tham gia sạc. Tại thời điểm 15h00 đến 17h00 công suất tiêu thụ của phụ tải là cao nhất đạt khoảng hơn 3,2MW. Trong khoảng thời gian từ 21h00 người dân có xu hướng ít dùng thiết bị nên có thể sạc xe điện trong khoảng này. Mặt khác, công suất phát của tuabin gió là cao nhất đạt 95% nên tận dụng nguồn công suất dư thừa sạc. Ngoài ra, để xem khả năng tải tại các nút trên lưới MG nhóm tác giả tăng số lượng xe sạc điện và cho các trạm sạc hoạt động để kiểm tra thuật toán và kết quả thể hiện trong Bảng 3.

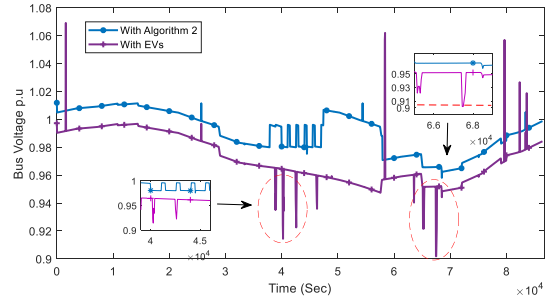
**Bảng 3. Kết quả đề xuất số lượng xe điện dự kiến sạc**

Tỷ lệ %	Số lượng xe thứ	Số lượng xe giới hạn	Trạm sạc	Công suất
10%	15	12	2	0,6 MW
30%	40	34	4	1,9 MW
50%	68	53	6	2,8MW
75%	80	68	10	3,1MW
90%	124	105	15	3,9MW
120%	>200	-	-	-

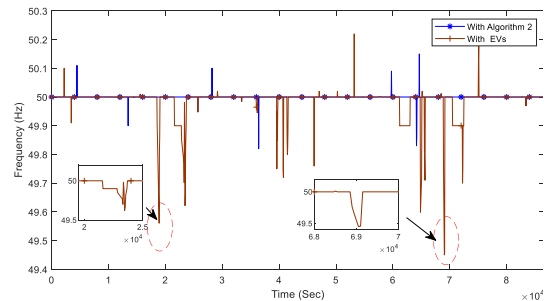
Từ kết quả Bảng 3 đánh giá thử nghiệm 30 lần đều cho thấy số lượng xe điện và trạm sạc giới hạn thỏa mãn yêu cầu. Trường hợp cuối không giới hạn số lượng xe điện tại các thời điểm giờ cao điểm hệ thống lập tức cảnh báo và cắt trạm sạc không ưu tiên ra khỏi lưới điện. Tiếp theo, nhóm tác giả kiểm tra điện áp, tần số tại một số nút có nối trạm sạc để đánh giá chất lượng điện năng như Hình 10.

Hình 11 thể hiện tần số tại một số nút có kết nối trạm sạc xe điện trong khoảng thời gian từ 5h đến 6h30, tần số lưới giảm xuống còn 49,4Hz và chênh lệch tần số khoảng 1,2%. Tương tự, khoảng thời gian

từ 18h00 đến 19h00 tần số giảm xuống khoảng 49,48Hz và lên khoảng 50,45Hz. Sau khi sử dụng thuật toán 2 độ lệch tần số không vi phạm các tiêu chuẩn điện áp và tần số theo Thông tư 25/2016/TT-BCT.



**Hình 10. Đồ thị điện áp tại nút có EVs**



**Hình 11. Đồ thị tần số tại nút có EVs**

## 5. Kết luận

Bài báo đã mô phỏng hệ thống quản lý năng lượng lưới điện MG trên đảo dựa trên phần cứng trong phòng thí nghiệm và mô hình xây dựng trên MATLAB. Bên cạnh đó, giao tiếp giữa PLC Siemens, KEPServerEX, MATLAB thành hệ thống mô phỏng và nghiên cứu đặc tính của lưới điện trên đảo. Trên thực tế, khả năng can thiệp thử nghiệm vào hệ thống điện trên đảo là rất phức tạp và khó có khả năng thử nghiệm nên mô hình bài báo xây dựng là phương pháp thử nghiệm các kịch bản, thuật toán với một số thiết bị thật. Ngoài ra, bài báo xét ảnh hưởng của các trạm sạc lên lưới điện và tận dụng công suất dư thừa của năng lượng gió để sạc xe dựa trên các thuật toán tối ưu và điều khiển và đề xuất số lượng xe điện tại các nút quan trọng trong giờ cao điểm. Cuối cùng, đây là mô hình nghiên cứu phục vụ phát triển lưới điện thông minh, hệ thống giám sát và điều khiển lưới điện từ xa trong tương lai.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT23-24.60**.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] S. Luthra, S. Kumar, R. Kharb, M.F. Ansari, S.L. Shimm (2000), *Adoption of smart grid technologies: an analysis of interactions among barriers*, Renew. Sustain. Energy Rev. 33, pp.554-565.  
Doi: 10.1016/j.rser.2014.02.030
- [2] V.C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati, et al. (2011), *Smart grid technologies: communication technologies and standards*, IEEE Trans. Ind Inform. Vol.7, pp.529-539.  
Doi: 10.1109/TII.2011.2166794
- [3] Tran, Q.T.; Davies, K.; Sepasi (2021), *Isolation Microgrid Design for Remote Areas with the Integration of Renewable Energy: A Case Study of Con Dao Island in Vietnam*. Clean Technol, Vol.3, pp.804-820.  
Doi: 10.3390/cleantechnol3040047
- [4] A. Zakariazadeh, S. Jadid, and P. Siano (2014), *Multi-objective scheduling of electric vehicles in smart distribution system*, Energy Conversion and Management, Vol.79. pp.43-53.  
Doi: 10.1016/j.enconman.2013.11.042.
- [5] C. M. Colson, M. H. Nehrir and C. Wang (2009), *Ant colony optimization for microgrid multi-objective power management*, 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Seattle, WA, USA, 2009, pp.1-7,  
Doi: 10.1109/PSCE.2009.4840070.
- [6] Shahinzadeh, H.; Moazzami, M.; Fathi, S.; Gharehpetian, G.B. (2016), *Optimal sizing and energy management of a grid-connected microgrid using HOMER software*. In Proceedings of the 2016 Smart Grids Conference (SGC), Kerman, Iran, 20-21 December; pp.1-6.  
Doi: 10.1109/SGC.2016.7882945
- [7] N. V. Hung and N. Q. Minh (2023), *Research on the Influence of Electric Vehicle Integration in Island Microgrid, Vietnam*, International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol. 13, No.1, Oct. 30, 2023, pp.1-12.  
Doi: 10.35940/ijeat.a4283.1013123
- [8] Kermani, Mostafa & Adelmanesh, Behin & Shirdare, Erfan & Lazaroiu, Alexandra & Carni, Domenico & Martirano, Luigi. (2021), *Intelligent Energy Management based on SCADA system in a real Microgrid for Smart Building Applications*. Renewable Energy. Vol.171.  
Doi:10.1016/j.renene.2021.03.008.

Ngày nhận bài:	02/01/2024
Ngày nhận bản sửa:	11/01/2024
Ngày duyệt đăng:	17/01/2024