

# Nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng bảng điện chính tàu thủy phục vụ huấn luyện, đào tạo

## Research and build a simulation model of a ship's main switchboard for training purposes

Đoàn Hữu Khánh\*, Ngô Quang Vĩnh

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Tác giả liên hệ: khanhdh.ddt@vamaru.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/4/2024; Ngày chấp nhận đăng: 15/7/2024

### Tóm tắt:

Bài báo này trình bày việc nghiên cứu, xây dựng một mô hình mô phỏng bảng điện chính phục vụ đào tạo, huấn luyện. Mô hình mô phỏng được xây dựng với 02 máy phát điện được lai bởi 02 tổ hợp động cơ - biến tần. Thay vì phải sử dụng nhiều bộ biến đổi transducer để thu thập, chuyển đổi dữ liệu và các module đầu vào tương tự cho bộ điều khiển trung tâm như hầu hết cấu trúc của hệ thống bảng điện chính hiện nay. Mô hình đề xuất sử dụng hai đồng hồ đo năng lượng đa năng, mỗi đồng hồ có nhiệm vụ thu thập tất cả các thông số cần thiết để sử dụng trong hệ thống quản lý nguồn của bảng điện chính (PMS) và hệ thống điều khiển giám sát, thu thập dữ liệu (SCADA). Quá trình thử nghiệm các thuật toán điều khiển cho thấy mô hình hoạt động ổn định, tin cậy. Mô hình này hoàn toàn có thể sử dụng để huấn luyện, đào tạo trong các trường đại học, cao đẳng cho các học viên, sinh viên chuyên ngành điện nói chung và điện tự động tàu thủy nói riêng.

**Từ khóa:** Mô hình mô phỏng bảng điện chính; Đồng hồ đo năng lượng đa năng; PMS; SCADA.

### Abstract:

For training purposes, this article presents the research and construction of a main switchboard simulation model. The simulation model is built with 2 generators hybridized by 2 motor-inverter combinations. Instead of having to use multiple transducers to collect and convert data and similar input modules for the central controller like most structures of current main switchboard systems, the proposed model uses two multi-functional energy meters each meter will be responsible for collecting all necessary parameters for use in the main power management system (PMS) and the supervisory control and data acquisition (SCADA). The process of testing the control algorithms shows that the model operates stably and reliably. Students majoring in electricity in general and ship automation in particular can use this model for training in universities and colleges.

**Keywords:** Main switchboard simulation model; Multi-functional energy meters; PMS; SCADA.

### 1. Giới thiệu

Hiện nay, việc đào tạo, huấn luyện sử dụng các mô hình mô phỏng đang ngày càng được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống. Trong ngành hàng hải, việc huấn luyện sử dụng bảng điện chính trên tàu gặp phải rất nhiều khó khăn như vấn đề kinh phí hay tính an toàn cho người học. Vì vậy, rất nhiều trường đại học,

cao đẳng đang có xu hướng sử dụng ngày một nhiều thiết bị mô phỏng như thiết bị mô phỏng lái tàu, mô phỏng vận hành nồi hơi, mô phỏng bảng điện chính,... Với hệ thống mô phỏng bảng điện chính, trên thế giới đã xuất hiện nhiều hãng sản xuất nổi tiếng như TAIYO [1], DMU [2], UNITEST [3],... Nhiều hệ thống thuộc các hãng trên chỉ thuần mô phỏng trên máy tính và màn

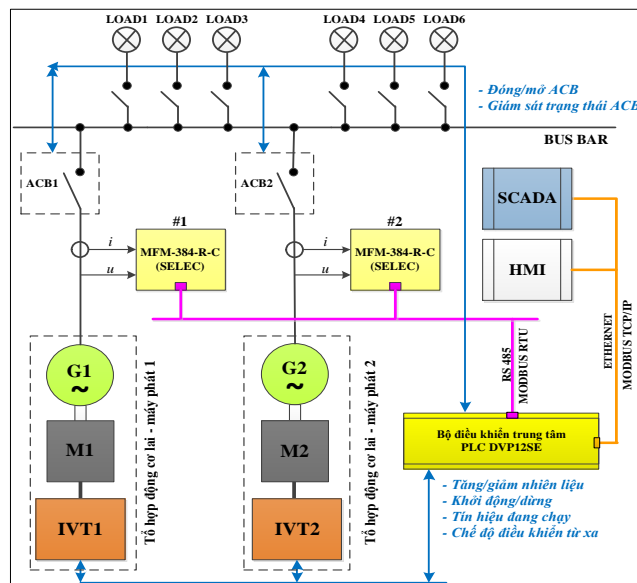
hình lớn, không thao tác trực tiếp bằng những nút ấn, công tắc hay chuyển mạch thực, điều này, làm giảm hiệu quả đào tạo. Hơn nữa, giá thành rất cao nên nhiều cơ sở đào tạo chưa thể trang bị. Kusuma và cộng sự trong nghiên cứu [4] đề xuất xây dựng một hệ thống mô phỏng bảng điện chính cho tàu chở dầu sử dụng phần mềm Labview. Tuy nhiên, hệ thống mô phỏng chỉ có thể thao tác trên màn hình máy tính. Trong khi đó, nhóm tác giả trong nghiên cứu [5] đã chế tạo một module quản lý nguồn để sử dụng cho các bảng điện chính thực trên tàu cũng như những hệ thống mô phỏng. Nghiên cứu này đề xuất một mô hình mô phỏng bảng điện chính có cấu trúc đơn giản, giá thành thấp. Đặc biệt, người học có thể được huấn luyện bằng những thiết bị vật lý như vận hành bảng điện chính của một con tàu thực. Một trong những đóng góp nổi bật của nhóm nghiên cứu trong mô hình này là việc ứng dụng đồng hồ đo năng lượng đa năng để thu thập tất cả các thông số cần thiết cho PMS và SCADA. Về những nghiên cứu và ứng dụng của những đồng hồ đa năng số được đề cập trong nghiên cứu [6] và [7] thông qua chế tạo đồng hồ đa dụng Arduino. Ngoài ra, nghiên cứu [8] và [9] đề xuất một chương trình giám sát các toà nhà sử dụng những đồng hồ đo năng lượng đa năng.

Để thực hiện nghiên cứu này gồm các bước chính như sau: Xây dựng sơ đồ cấu trúc, xây dựng mô hình vật lý, các thuật toán điều khiển, chương trình điều khiển, giám sát và thử nghiệm hệ thống. Kết quả nghiên cứu dự kiến là hệ thống hoạt động ổn định, tin cậy, đáp ứng được các yêu cầu về đào tạo. Nghiên cứu này sẽ là tiền đề để nghiên cứu, chế tạo mở rộng nhằm thương mại sản phẩm và cung cấp cho những cơ sở đào tạo có nhu cầu với chi phí thấp.

## 2. Xây dựng cấu trúc hệ thống

### 2.1. Xây dựng cấu trúc mô hình mô phỏng

Cấu trúc hệ thống được thể hiện như Hình 1, trong đó, hệ thống bao gồm hai tổ hợp động cơ lai - máy phát điện. Các thông số của mỗi máy phát được thu thập bởi một đồng hồ đo năng lượng đa năng. Bộ điều khiển trung tâm PLC lần lượt đọc và xử lý các thông số (dòng, áp, công suất, tần số,...) thuộc hai đồng hồ trên, đã xử lý và lưu trong các thanh ghi tương ứng qua chuẩn RS 485 với giao thức Modbus RTU. Ngoài ra, các hệ thống giao diện người dùng như màn hình cảm ứng giám sát các máy phát HMI và hệ thống SCADA được truyền thông với PLC qua cổng Ethernet và giao thức Modbus TCP/IP.



Hình 1. Cấu trúc mô hình đề xuất.

Từ sơ đồ cấu trúc này thấy rằng, hệ thống chỉ cần sử dụng những đồng hồ đa năng số, không

cần thêm những bộ chuyển đổi như chuyển đổi công suất, tần số hay điện áp. Điều này giúp

nâng cao tính tin cậy, giảm giá thành cho hệ thống. Bên cạnh đó, với khả năng thu thập hầu hết các thông số cần thiết để đồng hồ đa năng giám sát và điều khiển, những thông số được đọc và lưu vào những thanh ghi dữ liệu tương ứng trong PLC giúp cho việc giao tiếp giữa hệ thống SCADA và HMI với hệ thống PMS trở nên dễ dàng.

## 2.2. Tổ hợp động cơ lai - máy phát

Máy phát sử dụng trong mô hình mô phỏng là một máy phát đồng bộ cực lồi. Các thông số của máy phát được mô tả như Bảng 1. Với một máy phát đồng bộ cực lồi, khi quay rotor bởi động cơ sơ cấp, từ trường rotor cắt dây quấn phần ứng và cảm ứng sức điện động  $E_0$  [10], có trị số hiệu dụng như sau:

$$E_0 = 4.44 f w_1 k_{qd} \phi_0 \quad (1)$$

Trong đó,  $E_0$ ,  $w_1$ ,  $k_{qd}$ ,  $\phi_0$ ,  $f$  lần lượt là sức động cảm ứng một pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rotor, tần số. Tần số  $f$  được tính:

$$f = \frac{pn}{60} \quad (2)$$

Với,  $p$  là số đôi cực,  $n$  là tốc độ của rotor. Khi máy phát điện có tải, có một dòng điện  $I$  và điện áp  $U$  trên tải. Điện áp  $U$  được tính:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q \quad (3)$$

Trong đó,  $X_d$  và  $X_q$  là điện kháng đồng bộ dọc trục và ngang trục,  $I_d$  và  $I_q$  là thành phần dòng điện dọc trục và ngang trục. Các giá trị điện

kháng đồng bộ dọc và ngang trục được tính qua công thức sau:

$$\begin{aligned} X_d &= X_{ud} + X_t \\ X_q &= X_{uq} + X_t \end{aligned} \quad (4)$$

Với  $X_{ud}$  và  $X_{uq}$  là điện kháng phản ứng phản ứng dọc trục và ngang trục,  $X_t$  là điện kháng tản. Như vậy, từ phương trình (3) thấy rằng, điện áp  $U$  trên cực máy phát phụ thuộc vào dòng tải và sức điện động cảm ứng  $E_0$ . Khi máy phát làm việc với các giá trị dòng tải khác nhau, bộ tự động điều chỉnh kích từ được sử dụng để thay đổi giá trị của  $E_0$  với mục đích duy trì điện áp  $U$  là định mức. Mô hình này sử dụng động cơ lai máy phát là động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc. Với loại động cơ này, tốc độ của động cơ được tính theo phương trình:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s) \quad (5)$$

Trong đó,  $n_1$  là tốc độ quay của từ trường,  $s$  là hệ số trượt. Từ phương trình (4) có thể thấy, để điều chỉnh tốc độ cho động cơ có thể: Đổi nối dây quấn stator để thay đổi số đôi cực  $p$  của từ trường, hoặc thay đổi điện áp đặt vào stator nhằm biến đổi hệ số trượt  $s$ , hoặc thay đổi tần số  $f$  của dòng stator. Trong các phương án trên, điều chỉnh tần số của dòng stator là một phương án dễ thực hiện, mang lại hiệu quả cao. Vì vậy, với mỗi máy phát, nhóm nghiên cứu sử dụng một tổ hợp biến tần - động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc để lái và điều chỉnh tần số cho máy phát.

**Bảng 1.** Một số thông số chính của máy phát điện.

TT	Thông số	Giá trị
1	Hãng	AXUZU
2	Điện áp vào định mức ( $U_{dm}$ )	230/400V AC
3	Công suất định mức ( $P_{dm}$ )	4 kW
4	Vòng quay ( $n_{dm}$ )	1500 vòng/phút
5	Trọng lượng	57 kg
6	Cấp cách điện	B
7	Năm sản xuất	2012

### 3. Xây dựng mô hình mô phỏng

#### 3.1. Các phần tử chính của hệ thống

Để xây dựng được mô hình mô phỏng, các thiết bị sử dụng cho mô hình cần được tính toán, chọn lựa phù hợp. Các phần tử chính cho mô hình được chọn lựa gồm: 02 tổ hợp biến tần - động cơ - máy phát, 02 đồng hồ đo năng lượng đa năng, 01 màn hình điều khiển, giám sát HMI, 01 relay hòa đồng bộ, 01 đồng bộ kế, 04 biến dòng 50/5A, 01 bộ điều khiển trung tâm (PLC DVP12SE) và các module vào ra số, các đồng hồ chỉ báo, công tắc, nút ấn, chuyển mạch,...

#### 3.2. Các thuật toán điều khiển

##### 3.2.1. Thuật toán thu thập dữ liệu

Không giống như những hệ bảng điện chính truyền thống, mô hình đề xuất sử dụng đồng hồ

đo năng lượng đa năng số để thu thập các thông số cần thiết cho hệ thống PMS và SCADA. Bảng 2 trình bày một số thông số chính của đồng hồ đo năng lượng đa năng MFM-384-R-C hãng Selec được sử dụng trong mô hình mô phỏng này.

Với khả năng hỗ trợ giao tiếp Modbus RTU (một số đồng hồ đã hỗ trợ Modbus TCP/IP), bộ điều khiển trung tâm PMS đọc lần lượt các thanh ghi chứa những thông số tương ứng được định nghĩa trước của hãng Selec để sử dụng cho việc điều khiển và giám sát. Các thông số đọc về gồm: Dòng điện, điện áp, tần số, công suất P, công suất Q, hệ số  $\cos \varphi$ ,... Chi tiết về thuật toán đọc và xử lý các dữ liệu này được trình bày cụ thể trong nghiên cứu [11].

**Bảng 2.** Các thông số đồng hồ MFM-384-R-C.

TT	Thông số	Giá trị
1	Nguồn nuôi	85 đến 270 VAC, 50-60 Hz
2	Điện áp vào định mức	19-519V (L-L)
3	Dòng sơ cấp và thứ cấp biến dòng định mức	10,000A và 5A AC
4	Giải tần số đo	45-65 Hz
5	Khả năng giao tiếp	RS485 và Modbus RTU
6	Cấp chính xác	Lớn nhất là  1.0  toàn dải

##### 3.2.2. Xây dựng các thuật toán điều khiển và báo động

Các thuật toán điều khiển được xây dựng gồm các thuật toán điều khiển cho các chế độ bằng tay, chế độ tự động cùng với các thuật toán báo động, bảo vệ cho hệ thống. Các thuật toán bằng tay gồm:

- Khởi động máy phát, cấp điện lên lưới và điều chỉnh tần số bằng tay;
- Hòa đồng bộ các máy phát bằng tay, phân chia công suất tác dụng bằng tay;
- Chuyển tải và dừng máy phát bằng tay khi đang công tác song song.

Trong khi đó, các thuật toán được xây dựng cho chế độ tự động gồm:

- Tự động khởi động, hòa đồng bộ máy phát dự phòng stand-by và tự động phân chia tải khi tải nặng;
- Tự động chuyển tải, tự động dừng khi tải nhẹ;
- Tự động khởi động máy phát dự phòng stand-by, tự động cấp điện lên lưới khi mất điện toàn tàu.

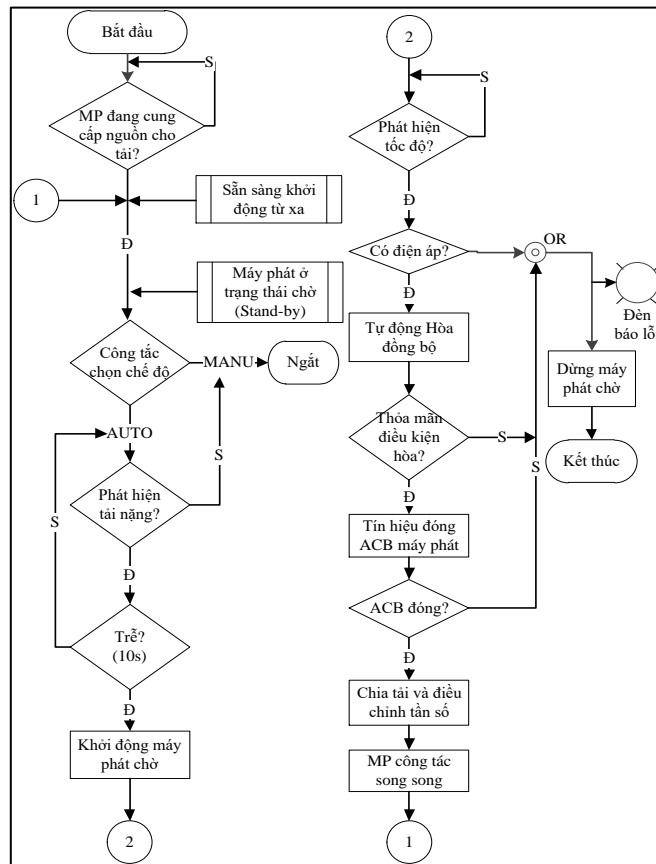
Những thuật toán báo động, bảo vệ tiêu biểu:

- Báo động khi điện áp thấp, điện áp cao, tần số thấp và tần số cao;
- Bảo vệ công suất ngược, ngắt ưu tiên, quá tải.

Hình 2 là minh họa một trong những thuật toán đã được xây dựng. Đây là thuật toán tự

động hòa đồng bộ, tự động phân chia tải khi một máy phát bị tải nặng. Với một máy phát đang hoạt động trên lưới, một máy phát đang ở chế độ chờ, nếu máy phát đang công tác bị tải nặng

thì PMS tự động điều khiển khởi động, hòa đồng bộ máy phát chờ lên lưới và tự phân chia tải khi đã hòa.

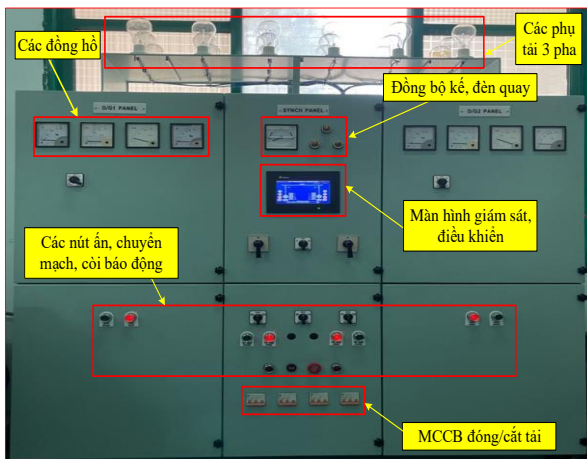


Hình 2. Thuật toán tự động khởi động, hòa đồng bộ và phân chia tải khi tải nặng.

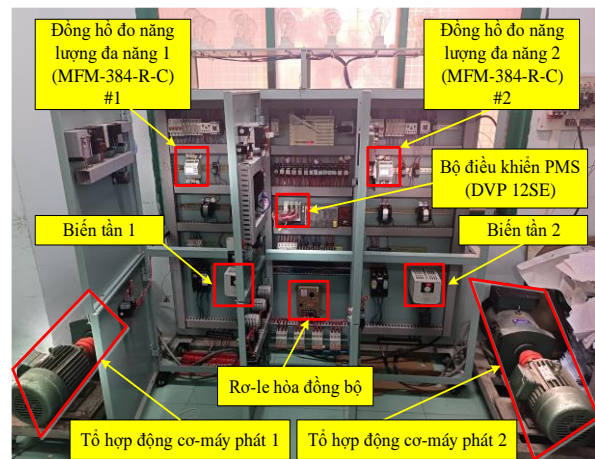
### 3.3. Xây dựng mô hình

Mặt ngoài của mô hình mô phỏng đã được xây dựng như trên Hình 3. Các thiết bị được bố trí trên mặt tủ gồm một màn hình cảm ứng HMI để giám sát và điều khiển, một đồng bộ kế và hệ thống đèn quay sử dụng khi hòa đồng bộ các

máy phát bằng tay, các đồng hồ đo, MCCB, để đóng cắt các tải là những bóng đèn sợi đốt được nối nhằm tạo thành những tải ba pha thuần trở, các nút ấn, đèn báo, chuyển mạch,... Hình 4 thể hiện những thiết bị đã được lắp đặt bên trong tủ và 02 tổ hợp động cơ - máy phát điện.



Hình 3. Mặt ngoài của mô hình mô phỏng.



Hình 4. Bố trí các thiết bị bên trong mô hình.

#### 4. Thử nghiệm mô hình

##### 4.1. Xây dựng kịch bản thử nghiệm

Để thử nghiệm hoạt động của mô hình, nhóm tác giả tiến hành thử nghiệm một số thuật toán

tự động và bảo vệ tiêu biểu được trình bày tại Bảng 3. Trong đó, P1, f1, P2, f2 lần lượt là công suất và tần số của máy phát 1 và máy phát 2.

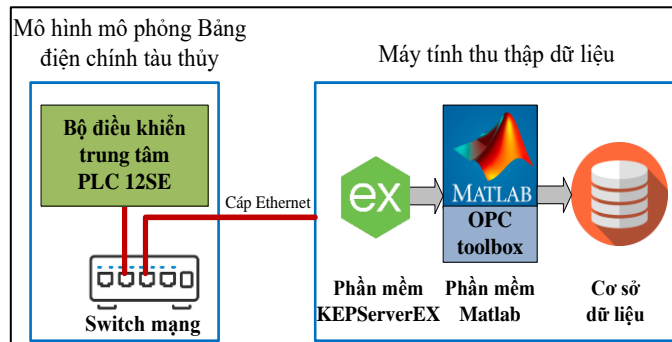
**Bảng 3.** Các tính năng sẽ thử nghiệm.

TT	Tính năng	Thông số khảo sát
1	Tự động khởi động, hòa đồng bộ và chia tải khi máy phát 2 bị tải nặng	$P_1, P_2, f_1, f_2$
2	Tự động chuyển tải, tự động dừng khi tải nhẹ	$P_1, P_2$
3	Bảo vệ khi máy phát 1 bị công suất ngược	$P_1, P_2$

##### 4.2. Giải pháp thu thập dữ liệu thử nghiệm

Để thu thập được giá trị các thông số khảo sát trong quá trình thử nghiệm, nhóm nghiên cứu

sử dụng phần mềm MATLAB và phần mềm KEPServerEx. Sơ đồ khối chức năng được thể hiện như Hình 5.



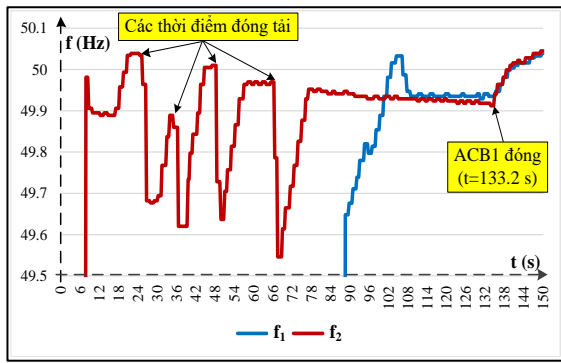
**Hình 5.** Sơ đồ kết nối giữa máy tính thu thập dữ liệu và mô hình mô phỏng đề xuất.

Tại Hình 5 có thể thấy, bộ điều khiển trung tâm (PLC) với cổng Ethernet tích hợp sẵn được kết nối với một máy tính thu thập dữ liệu qua một switch mạng. Trên máy tính thu thập dữ liệu cài đặt phần mềm KEPServerEX đóng vai trò là một server trung gian để kết nối PLC với MATLAB. Cụ thể, PLC kết nối với KEPServerEX thông qua giao thức Modbus TCP/IP. Trong khi đó, MATLAB kết nối với KEPServerEX (đóng vai trò là một OPC Server) thông qua thư viện OPC toolbox (thư viện này trở thành một OPC Client) qua giao thức OPC. Như vậy, các thông số khảo sát là các giá trị công suất ( $P_1, P_2$ ) và tần số ( $f_1, f_2$ ) của hai máy phát được thu thập để đánh giá kết quả.

##### 4.3. Kết quả và đánh giá

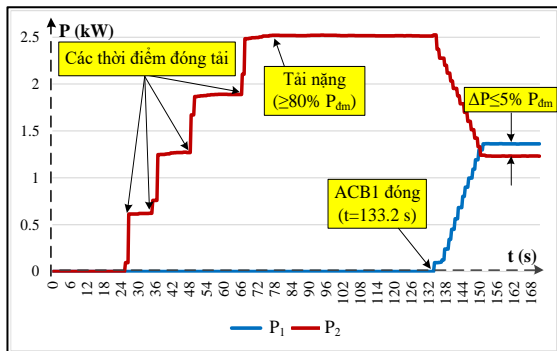
Từ Hình 6 đến Hình 9 lần lượt là biểu đồ minh họa tần số và công suất của các máy phát trong những tính năng thử nghiệm đã đề xuất với trục

tung là các giá trị công suất và tần số, trong khi đó, trục hoành là thời gian. Tín hiệu đọc bộ điều khiển PMS trung tâm (PLC) được thu thập cơ sở dữ liệu sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink thông qua thư viện OPC toolbox để kiểm nghiệm, đánh giá kết quả. Hình 6 thể hiện tần số của máy phát 1 và máy phát 2 ở các thời điểm trước và sau khi hòa đồng bộ tự động máy phát 1 lên lưới. Trước khi máy phát 1 khởi động, lần lượt các tải 1, 2, 3, 4 có công suất giống nhau được đóng lên lưới cấp điện bởi máy phát 2. Nhận thấy rằng, ở những thời điểm đóng cắt tải thì tần số của máy phát 2 bị giảm nhưng nhanh chóng được bộ điều khiển PMS điều khiển đưa về gần giá trị định mức. Tại thời điểm  $t = 133.2s$ , Aptomat 1 (ACB1) được điều khiển đóng lại khi các điều kiện hòa đồng bộ thỏa mãn, tần số hai máy phát được đồng bộ với nhau rất nhanh sau đó.



**Hình 6.** Tần số máy phát 1 ( $f_1$ ) và máy phát 2 ( $f_2$ ).

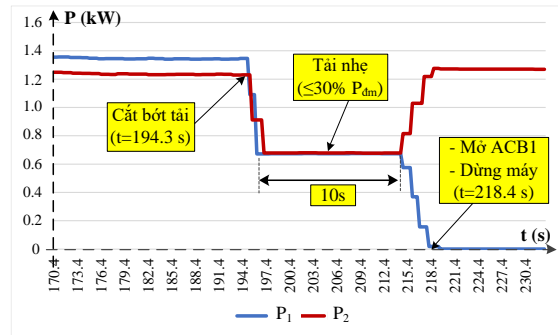
Hình 7 thể hiện công suất các máy phát ở trước và sau khi hòa máy phát 1 lên lưới. Khi cấp lần lượt các tải lên lưới, máy phát 2 làm việc ở chế độ tải nặng với  $P_2 = 2.52 \text{ kW} \approx 84\% P_{dm}$  (công suất định mức của máy phát), sau một thời gian trễ cài đặt là 10s, máy phát 1 được điều khiển tự động khởi động và hòa đồng bộ lên lưới. Tại thời điểm  $t = 133.2\text{s}$ , ACB1 được đóng lên, công suất hai máy phát được bộ điều khiển PMS tự động chia đều cho đến khi độ lệch công suất  $\leq 5\% P_{dm}$  thì dừng lại.



**Hình 7.** Công suất các máy phát trước và sau khi hòa máy phát 1 lên lưới.

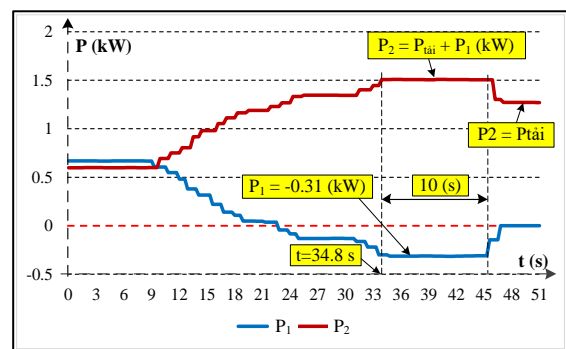
Hình 8 thể hiện công suất của hai máy phát khi PMS chuyển tải và dừng máy trong trường hợp tải nhẹ (Light Load). Khi công suất trung bình của mỗi máy phát đang xấp xỉ 1.3 kW tại thời điểm 194.4s, nhóm nghiên cứu tiến hành bớt tải khỏi lưới, công suất trung bình của mỗi máy phát giảm xấp xỉ 0.68 kW. Giá trị này nhỏ hơn giá trị cài đặt 30%  $P_{dm}$  của một máy phát, tương ứng với ngưỡng tải nhẹ. PMS đưa tín hiệu cảnh báo tải nhẹ trên màn hình giám sát HMI. Đồng thời, sau 10s, bộ điều khiển PMS điều khiển chuyển tải của máy phát 1 sang máy phát 2. Tại thời điểm 218.4s quá trình chuyển tải kết thúc

( $P_1 \leq 5\%P_{dm}$ ), PMS tiến hành cắt ACB1 để ngắt máy phát 1 ra khỏi lưới và đồng thời, gửi tín hiệu dừng động cơ lại.



**Hình 8.** Công suất 2 máy phát khi PMS tự động chuyển tải và tự động dừng máy 1 khi tải nhẹ.

Hình 9 thể hiện công suất các máy phát khi thử nghiệm tính năng bảo vệ công suất ngược. Khi chuyển tải từ máy phát 1 sang máy phát 2 (tăng tần số máy 1 và giảm tần số máy 2 đồng thời), tại thời điểm  $t = 34.8\text{s}$ ,  $P_1 \leq -10\%P_{dm}$ , bên cạnh công suất của tải ( $P_{tải}$ ), thì máy phát 2 chịu thêm một lượng công suất từ máy phát 1, khi nó đóng vai trò là một tải ( $P_2 = P_{tải} + P_1$ ). Sau một thời gian trễ là 10s (mặc định), bộ điều khiển PMS gửi tín hiệu tự động cắt ACB1 ra khỏi lưới để đảm bảo an toàn cho hệ thống. Lúc này, công suất  $P_2 = P_{tải}$ .



**Hình 9.** Công suất các máy phát khi máy phát 1 bị công suất ngược.

Qua việc thử nghiệm ba tính năng chính tiêu biểu đã trình bày ở trên, cùng với các tính năng khác đã đề cập trong mục 3.2.2, các kết quả đều cho thấy độ tin cậy và chính xác của hệ thống với việc hoạt động đúng theo các thuật toán đã xây dựng. Các ngưỡng giới hạn thời gian bảo vệ, giới hạn công suất tải nặng, giới hạn công suất tải nhẹ,... đều được tính toán và thực hiện chính xác bởi bộ điều khiển trung tâm PMS. Mô

hình này sử dụng công nghệ mạng truyền thông công nghiệp kết hợp với các đồng hồ đo năng lượng đa năng nên nó có ưu điểm là giúp cho hệ thống hoạt động tin cậy vì có thể giảm bớt nhiều thiết bị trung gian. Như vậy, hệ thống có giá thành cạnh tranh hơn so với các sản phẩm khác có tính năng tương đương. Tuy nhiên, vì sử dụng các tải thuần trở nên nhược điểm của mô hình là không mô phỏng được tính năng phân chia tải phản vô công giữa hai máy phát.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc xây dựng một mô hình mô phỏng bảng điện chính ứng dụng đồng hồ đa năng số, PLC và màn hình cảm ứng HMI. Kết quả thử nghiệm cho thấy thuật toán hoạt động tin cậy, chính xác theo các thuật toán đã xây dựng. Các ngưỡng tác động cài đặt mặc định như độ lệch công suất khi tải nhẹ  $P \leq 5\%$ , công suất tải nặng  $P \geq 80\%$  hay ngưỡng bảo vệ công suất ngược  $P \leq -10\%P_{dm}$  đều được bộ điều khiển trung tâm PMS thực hiện chính xác. Tất cả các thuật toán xây dựng đều được thử nghiệm và đáp ứng các yêu cầu đặt ra về độ chính xác của các ngưỡng giá trị cài đặt, thời gian tác động, bảo vệ. Kỳ vọng trở thành tiền đề để tiến hành nghiên cứu, chế tạo các mô hình mô phỏng bảng điện chính nhằm cung cấp cho các cơ sở đào tạo có nhu cầu với giá thành hợp lý. Hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả sẽ là tiếp tục hoàn thiện các chương trình điều khiển, giám sát và mở rộng số lượng tổ hợp các máy phát trong để tạo thành một mô hình tiêu chuẩn với ba máy phát phổ biến như trên tàu thủy hiện nay.

## Tài liệu tham khảo

- [1] TAIYO, “Control panels (Marine Use).” taiyo-electric.co.jp. Accessed: Apr. 1, 2024. [Online] Available: <https://www.taiyo-electric.co.jp/english/products/list/ship/power-control-panel/>
- [2] DMU, *Marine engine room simulator training course: Emergency generator switch board.*(Aug. 11, 2020). Accessed: Apr. 1, 2024. [Online Video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=S6y2zysR3Qg>
- [3] UNITEST, “Software version.” unitest.pl. Accessed: Apr. 1, 2024. [Online]. Available: [https://www.unitest.pl/?page\\_id=1641](https://www.unitest.pl/?page_id=1641)
- [4] I. R. Kusuma and R. Pratama, “Development of Power Management System for Electric Power Generation in Tanker Ship Based on Simulation,” *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 149-160, 2017, doi: 10.12962/j25481479.v1i3.2002.
- [5] N. T. Vân, Đ. A. Tuấn, N. T. Dũng, “Nghiên cứu chế tạo module quản lý nguồn - PMS cho hệ thống điện tàu thủy,” Đề tài NCKH cấp trường, trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 2016. [Online]. Available: <http://www.khcn.vimaru.edu.vn/bai-bao-khoa-hoc/nguyen-cuu-va-che-tao-module-quan-ly-nguon-pms-cho-he-thong-dien-tau-thuy>
- [6] R. Wang et al., “Design scheme of multifunctional electric energy meter based on distributed sampling method,” *2020 IEEE Sustain. Power Energy Conf. (iSPEC)*, Chengdu, China, pp. 1817–1823, doi: 10.1109/iSPEC50848.2020.9350969.
- [7] F. K. Handhal and A. T. Rashid, “A prototype design for three phase smart energy meter,” *2017 2nd Al-Sadiq Int. Conf. Multidiscip. IT Commun. Sci. Appl. (AIC-MITCSA)*, Baghdad, Iraq, pp. 262–267, doi: 10.1109/AIC-MITCSA.2017.8722989.
- [8] L. Zhao, J. Zhang, and R. B. Liang, “Development of an energy monitoring system for large public buildings,” *Energy Build.*, vol. 66, pp. 41–48, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.007.
- [9] C. S. R. Sandhya, S. V. Tirunagari, S. Sahoo, and P. K. Yemula, “Extraction of data from an RS-485 enabled multi function meter for building monitoring systems,” *2018 20th Natl. Power Syst. Conf. (NPSC)*, Tiruchirappalli, India, doi: 10.1109/NPSC.2018.8771845.
- [10] Đ. V. Đào và L. V. Doanh, *Kỹ thuật điện*. Hà Nội, Việt Nam: NXB KH&KT, 2010.
- [11] Đ. H. Khánh, N. Q. Vĩnh, D. H. Nam, và N. V. Sáng, “Nghiên cứu ứng dụng đồng hồ đa năng số trong hệ thống quản lý nguồn PMS tàu thủy,” *TC KHCNHH*, số 78, tr. 20-26, 4.2024.