

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG ĐỒNG HỒ ĐA NĂNG SỐ TRONG HỆ THỐNG QUẢN LÝ NGUỒN PMS TÀU THỦY

RESEARCH ON APPLICATION OF DIGITAL MULTI-FUNCTION METERS IN POWER MANAGEMENT SYSTEM ON SHIPS

ĐOÀN HỮU KHÁNH^{1*}, NGÔ QUANG VĨNH²,
DƯƠNG HẢI NAM², NGUYỄN VĂN SÁNG²

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Sinh viên Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: khanhdh.ddt@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này trình bày việc xây dựng một giải pháp thu thập và xử lý dữ liệu đầu vào cho hệ thống quản lý nguồn PMS tàu thủy ứng dụng đồng hồ đa năng số. Cấu trúc khái quát của một hệ thống PMS sử dụng đồng hồ đa năng số và một thuật toán xử lý, thu thập dữ liệu sẽ được đề xuất trong nghiên cứu này. Đồng hồ đa năng số sẽ đóng vai trò là một thiết bị đo tổng hợp tất cả các tín hiệu đầu vào cần thiết cho hệ thống PMS và giao tiếp với bộ điều khiển trung tâm PLC và hệ thống SCADA qua hệ thống mạng truyền thông sử dụng giao thức Modbus. Giải pháp đề xuất sẽ góp phần tối giản hóa được cấu trúc của hệ thống quản lý nguồn và hệ thống điều khiển giám sát SCADA. Kết quả thử nghiệm cho thấy thiết bị và thuật toán đề xuất hoạt động ổn định, tin cậy và hoàn toàn có thể ứng dụng trong các hệ thống quản lý nguồn PMS để nâng cao độ chính xác, tin cậy và giảm giá thành trong tương lai.

Từ khóa: Hệ thống quản lý nguồn PMS, đồng hồ đa năng số, PLC, SCADA.

Abstract

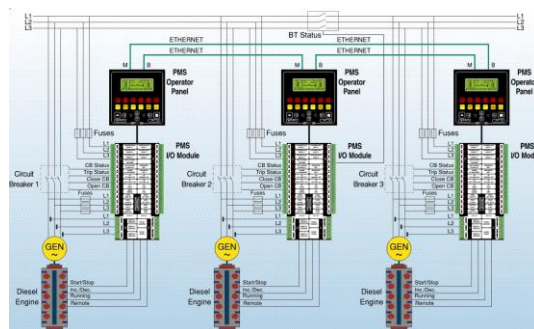
This paper presents a solution for collecting and processing input data for the ship's PMS power management system using digital multifunction meters. The general structure of a PMS system using a digital multifunction meter and a data collection and processing algorithm will be proposed in this study. The digital multifunction meter will act as a measuring device that synthesizes all necessary input signals for the PMS system and communicates with the central controller PLC and SCADA system via a communication network using Modbus protocol. The proposed solution will contribute to simplifying the structure of the power management system (PMS) and supervisory

control and data acquisition (SCADA). Test results show that the proposed device and algorithm operate stably and reliably and can be completely applied in PMS power management systems to improve accuracy, reliability and reduce costs in the future.

Keywords: PMS, digital multifunction meter, PLC, SCADA.

1. Mở đầu

Một hệ thống quản lý nguồn PMS nói chung có cấu trúc như trên Hình 1. Hệ thống PMS sẽ gồm các bộ điều khiển (thường sử dụng PLC) nối với các module vào ra PMS I/O và hệ thống màn hình hiển thị thông qua những kết nối truyền thông. Ngoài ra, khi kết nối hệ thống này với hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu thì sẽ cần thêm những bộ chuyển đổi như công suất, tần số, điện áp thành những tín hiệu chuẩn công nghiệp (0-20mA, 4-20mA, 0-10V,...).



Hình 1. Cấu trúc chung của một hệ thống PMS [1]

Hiện nay, một số hãng lớn cung cấp hệ thống PMS cho tàu có thể kể đến như Praxis [2], DEIF [3], SELMA [4]. Những hệ thống này có ưu điểm là được phát triển lâu năm nên chất lượng đã được kiểm chứng. Tuy nhiên, chúng đều có nhược điểm là giá thành cao, khi hỏng hóc thì việc sửa chữa, thay thế cũng rất khó khăn do công nghệ phụ thuộc vào nước ngoài. Hơn thế nữa, các thiết bị đo lường trong những hệ thống này cũng lớn dẫn đến độ tin cậy sẽ bị giảm xuống.

Tài liệu [1] trình bày việc nghiên cứu chế tạo một module quản lý nguồn PMS ứng dụng kỹ thuật số và vi xử lý. Module này sẽ cần kết hợp với các bộ biến đổi công suất và một màn hình cảm ứng để tạo thành một thiết bị PMS hoàn chỉnh.

Về những nghiên cứu và ứng dụng của đồng hồ đa năng số, bài báo [5, 6] đề xuất nghiên cứu, chế tạo đồng hồ đa năng sử dụng Arduino. Ngoài ra, nghiên cứu [7, 8] đề xuất một chương trình giám sát các toà nhà sử dụng các đồng hồ đa năng số.

Từ những vấn đề còn tồn tại về việc thu thập dữ liệu với các hệ thống PMS và SCADA là cần nhiều thiết bị đo lường, cấu trúc phức tạp và giá thành cao, nghiên cứu này đề xuất việc xây dựng một giải pháp ứng dụng các đồng hồ đa năng số cho hệ thống PMS với cấu trúc đơn giản và tin cậy. Việc thực hiện nghiên cứu này sẽ gồm hai bước chính là xây dựng sơ đồ cấu trúc cho hệ PMS ứng dụng đồng hồ đa năng số và xây dựng một thuật toán thu thập và xử lý tín hiệu đầu vào cho hệ thống. Kết quả nghiên cứu dự kiến là hệ thống sẽ hoạt động ổn định, tốc độ đọc dữ liệu cao với cấu trúc được đề xuất. Nghiên cứu này sẽ là tiền đề để nghiên cứu, ứng dụng đồng hồ đa năng số trong hệ thống PMS và SCADA tàu thủy.

2. Các tín hiệu đo lường sử dụng trong các hệ thống PMS và SCADA

Để các khối điều khiển trung tâm của hệ thống PMS có thể hoạt động được thì phải có những module thu thập và xử lý các tín hiệu đầu vào của máy phát và lưới. Các tín hiệu này gồm các tín hiệu chính như: Điện áp, tần số, dòng điện, công suất tác dụng, công suất phản kháng, hệ số cos-phi (PF),...

Công suất tác dụng tổng ba pha P_{total} sẽ được tính như công thức dưới đây [5]:

$$P_{total} = W_1 + W_2 + W_3 \quad (1)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} W_1 &= V_{rms1} * I_{rms1} * PF_1 \\ W_2 &= V_{rms2} * I_{rms2} * PF_2 \\ W_3 &= V_{rms3} * I_{rms3} * PF_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Với W_1 , W_2 và W_3 là công suất tác dụng trên mỗi pha (W), PF là hệ số cos-phi, V_{rms} và I_{rms} là các giá trị điện áp và dòng điện hiệu dụng.

Công suất trung bình trong một pha sẽ được tính như sau:

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T (v * i) dt \quad (3)$$

Trong đó, v là điện áp tức thời (V), i là dòng điện

tức thời (A), T là chu kỳ của đại lượng hình sin (s).

Bằng cách sử dụng công nghệ lấy mẫu dòng điện và điện áp [9, 10], các đồng hồ đa năng có thể tính công suất trung bình theo công thức sau [11]:

$$W = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N v_j * i_j \quad (4)$$

Trong khi đó, điện áp, dòng điện hiệu dụng và hệ số cos-phi được tính như các công thức dưới đây:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N v_j * v_j}{N}} \quad (5)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N i_j * i_j}{N}} \quad (6)$$

$$PF = \frac{W}{V_{rms} * I_{rms}} \quad (7)$$

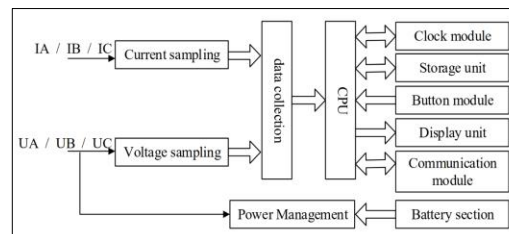
Với N là số mẫu dữ liệu.

3. Ứng dụng đồng hồ đa năng số trong hệ thống PMS

3.1. Giới thiệu chung về đồng hồ đa năng số

Đồng hồ đa năng số là một thiết bị đo đa năng với đầy đủ các thông số cần thiết cho hệ PMS như dòng điện, điện áp, tần số, công suất (cả công suất âm), hệ số cos-phi,... Đặc biệt, đa số chúng đều hỗ trợ truyền thông qua thức Modbus TCP/IP và RTU giúp cho việc thu thập trở nên đơn giản, độ chính xác cao và tin cậy.

Cấu trúc chung của một đồng hồ đa năng số được thể hiện như trên Hình 2. Đồng hồ sẽ gồm các khối như khối lấy mẫu dòng điện và điện áp, khối xử lý trung tâm CPU, khối hiển thị, module tạo xung clock, module các nút ấn để giao tiếp với người sử dụng, module truyền thông với các thiết bị công nghiệp khác như PLC, HMI hay máy tính,...



Hình 2. Cấu trúc chung của đồng hồ đa năng số [12]

Để nghiên cứu thực nghiệm, nhóm tác giả sử dụng các đồng hồ đa năng MFM-384-R-C hãng Selec. Bảng 1 thể hiện một số thông số chính của loại đồng hồ này.

Đồng hồ hỗ trợ đo lường tất cả các thông số cần

thiết mà một hệ thống PMS và SCADA phổ biến thường sử dụng gồm: Dòng điện, điện áp (điện áp dây, điện áp pha), các loại công suất (P, Q và S), tần số, hệ số cos-phi, điện năng tiêu thụ,... Đặc biệt, đồng hồ này hỗ trợ giao thức truyền thông Modbus RTU với các thiết bị công nghiệp khác với tốc độ tối đa lên tới 19200 bps (một số đồng hồ khác hiện nay đã hỗ trợ giao thức Modbus TCP/IP).

Bảng 1. Một số thông số chính của 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. Sơ đồ cấu trúc hệ thống PMS đề xuất

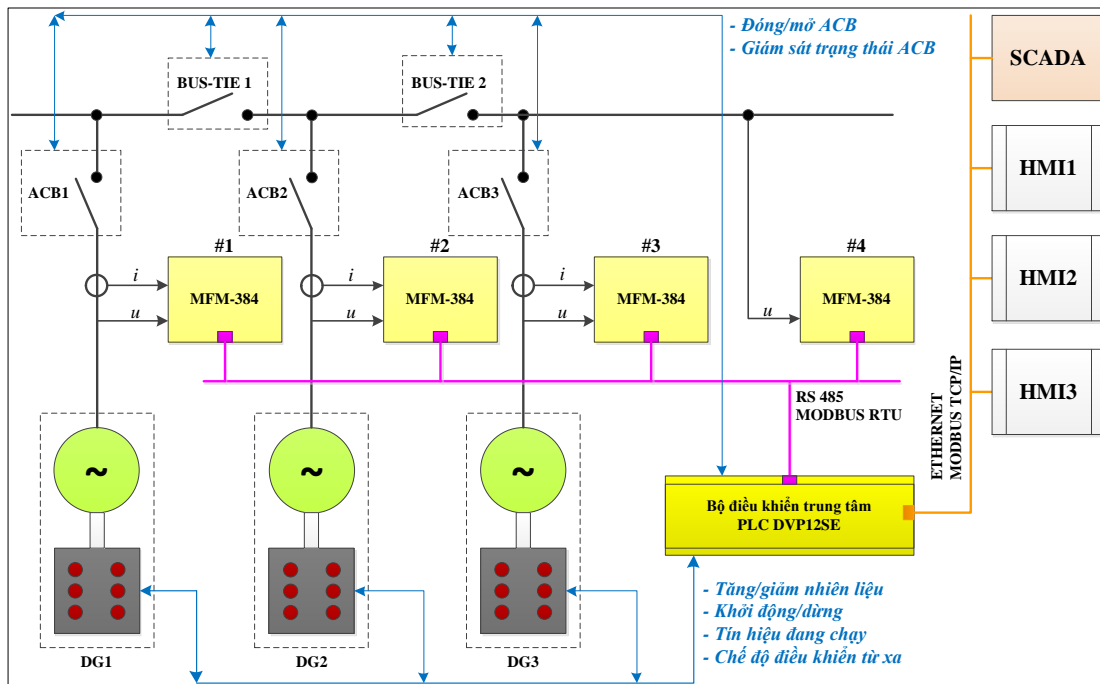
Với việc sử dụng loại đồng hồ đa năng số trên kết hợp với bộ xử lý trung tâm sử dụng một PLC DVP12SE hãng Delta, sơ đồ cấu trúc của hệ thống PMS đề xuất được thể hiện Hình 3.

Cấu trúc hệ thống đề xuất trên Hình 3 được sử dụng cho một hệ thống quản lý nguồn điện tiêu chuẩn trên tàu với ba máy phát điện chính. Các thông số của mỗi máy phát sẽ được đo bởi một đồng hồ đa năng. Bên cạnh 3 đồng hồ đa năng sử dụng cho 3 máy phát thì một đồng hồ sẽ được sử dụng để đo các thông số lưới. Bộ điều khiển trung tâm PLC sẽ được lần lượt đọc và xử lý các thông số (dòng, áp, công suất,...) mà 4 đồng hồ trên đã xử lý và lưu trong các thanh ghi tương ứng qua mạng RS 485 với giao thức Modbus RTU. Ngoài ra, các hệ thống giao diện người dùng như các màn hình cảm ứng giám sát các máy phát (HMI1, HMI2, HMI3) và hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu SCADA sẽ được truyền thông với PLC qua cổng Ethernet, giao thức Modbus TCP/IP.

Từ sơ đồ cấu trúc này, ta thấy rằng hệ thống chỉ cần sử dụng những đồng hồ đa năng số mà không cần thêm những bộ chuyển đổi như chuyển đổi công suất, tần số hay điện áp. Điều này sẽ giúp nâng cao tính tin cậy cho hệ thống quản lý nguồn PMS.

Bên cạnh đó, với khả năng thu thập được hầu hết các thông số cần thiết để giám sát và điều khiển của đồng hồ đa năng, những thông số được đọc về được 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 rất dễ dàng.

Như vậy, để hệ thống có thể hoạt động tốt và tin



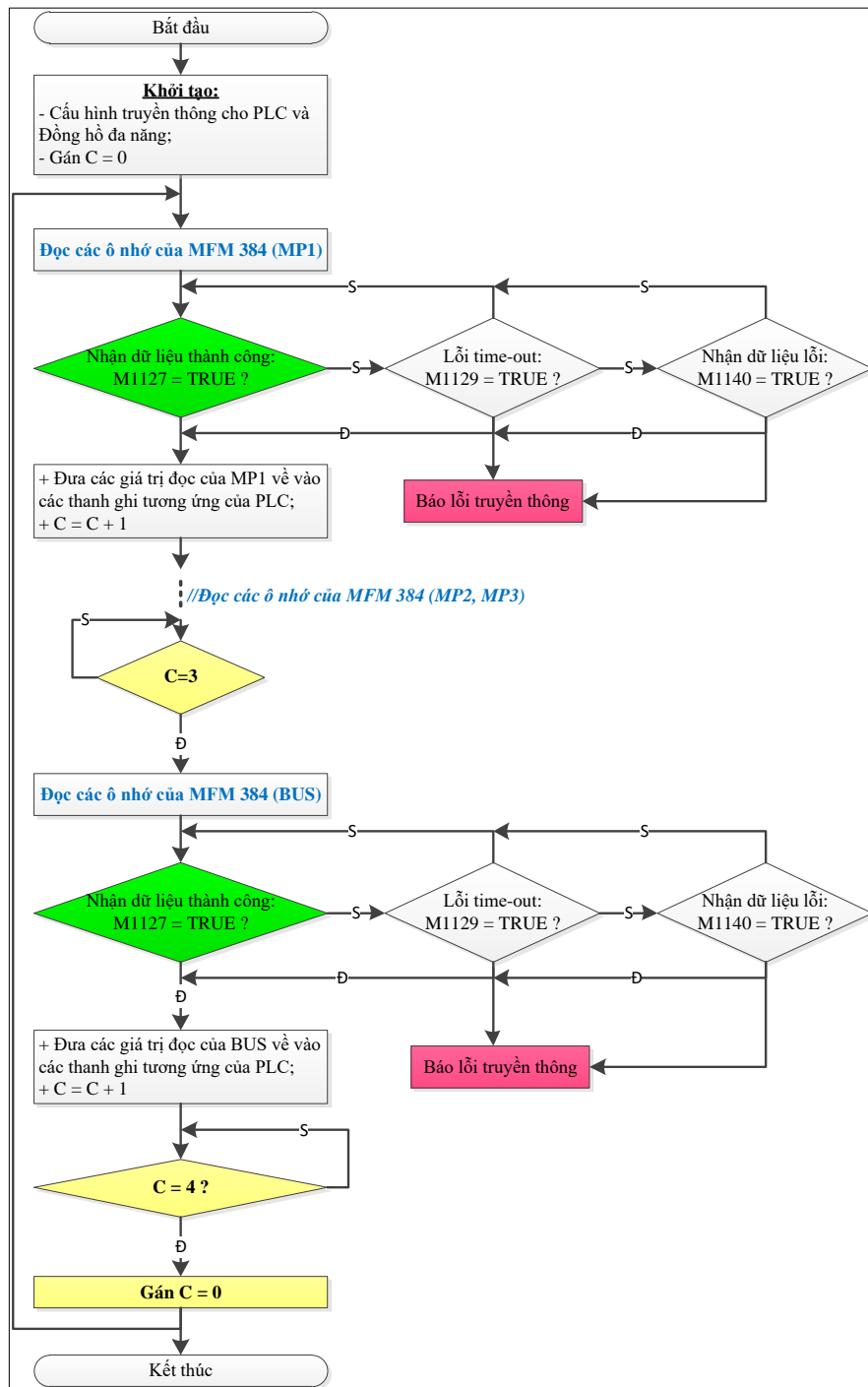
Hình 3. Cấu trúc hệ thống quản lý nguồn PMS ứng dụng đồng hồ đa năng số đề xuất

cậy thi thuật toán thu thập và xử lý dữ liệu bên trong đồng hồ đa năng số từ bộ xử lý trung tâm PLC sẽ đóng một vai trò quan trọng. Thuật toán này được xây dựng và trình bày chi tiết trong nội dung dưới đây.

3.3. Xây dựng thuật toán thu thập, xử lý dữ liệu

Thuật toán thu thập và xử lý dữ liệu được nhóm nghiên cứu xây dựng trên Hình 4.

Trước tiên, để việc đọc dữ liệu có thể được thực hiện, các thông số truyền thông trên PLC và đồng hồ đa năng phải được thiết lập đồng nhất. Trong hệ thống mạng truyền thông này, PLC sẽ đóng vai trò là một trạm chủ (master). Trong khi đó, các đồng hồ đa năng số sẽ đóng vai trò là những trạm tớ (slave) được gán những địa chỉ từ 1 đến 4.



Hình 4. Thuật toán thu thập và xử lý dữ liệu đọc về từ các đồng hồ đa năng số

Khi thuật toán làm việc, sẽ có một biến đếm C được gán các giá trị từ 0÷4. Khi $C=0$, thuật toán sẽ đọc các ô nhớ tương ứng với các thông số của đồng hồ đa năng nối tới máy phát 1 (MP1). Khi đó, sẽ có 2 trường hợp xảy ra như sau:

- Nếu PLC đọc dữ liệu và chuyển đổi dữ liệu thành công vào các thanh ghi của nó, bit cờ M1127 sẽ được bật. Lúc đó, $C=1$, PLC sẽ tiếp tục đọc dữ liệu của đồng hồ đa năng tiếp theo, quá trình sau đó sẽ diễn ra tương tự như với đồng hồ đa năng nối tới MP1;
- Nếu quá thời gian chờ (time-out) hoặc dữ liệu đọc về bị lỗi tương ứng với các bit cờ M1129 và M1140 được bật lên thì giá trị của biến đếm sẽ được gán $C=1$. Lúc đó, PLC sẽ bỏ qua đồng hồ đa năng nối tới MP1 và tiếp tục đọc dữ liệu của đồng hồ đa năng tiếp theo. Đồng thời, một tín hiệu lỗi truyền thông với đồng hồ đa năng đó sẽ được phát ra.

Những nguyên nhân có thể dẫn đến lỗi này như: đứt cáp, lỗi đồng hồ đa năng,... là những lỗi có thể xảy ra trong thực tế. Bởi vậy, với việc bỏ qua trạm bị lỗi và vẫn tiếp tục đọc các trạm còn lại sẽ không làm gián đoạn truyền thông và hoạt động của hệ thống.

Nếu việc đọc dữ liệu không xảy ra lỗi, trạm chủ (PLC) sẽ đọc lần lượt các trạm tớ tương ứng từ MP1 đến MP3 và BUS. Khi $C=4$ (đồng nghĩa với cả 4 trạm tớ đã được đọc), biến đếm C sẽ được gán $C=0$ để kết thúc một chu kỳ đọc và bắt đầu một chu kỳ mới.

Tùy thuộc vào tốc độ xử lý của PLC, tốc độ truyền thông cài đặt mà một chu kỳ đọc có thể khác nhau. Khi sử dụng PLC 12SE và đồng hồ đa năng số MFM-384-R-C như trong phần thử nghiệm, một chu kỳ đọc với 2 trạm tớ (2 máy phát), mỗi trạm tớ đọc 16 thông số với định dạng số thực (float), tổng thời gian đọc chỉ mất 80ms.

4. Thử nghiệm thuật toán

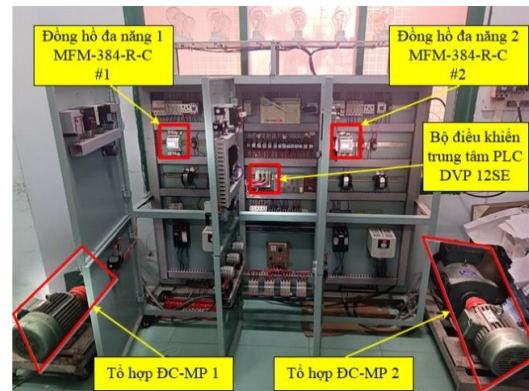
Để thử nghiệm thuật toán đề xuất, một mô hình mô phỏng bảng điện chính được sử dụng với 2 tổ hợp động cơ điện không đồng bộ và máy phát điện giống nhau như trên Hình 5. Hai động cơ không đồng bộ 3 pha được điều khiển bởi 2 biến tần. Một số thông số chính của hai máy phát điện được thể hiện như trong Bảng 2.

Đồng hồ đa năng để thu thập các máy phát trong mô hình mô phỏng bảng điện chính được lắp đặt trong tủ điện được thể hiện như trên Hình 5. Đồng hồ đa năng 1 (bên trái) và đồng hồ đa năng 2 (bên phải) sẽ có nhiệm vụ đo các thông số của máy phát 1 và máy

phát 2. Bên cạnh đó, bộ điều khiển trung tâm sử dụng PLC DVP 12SE cũng được thể hiện trong hình này.

Bảng 2. Một số thông số chính của hai 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



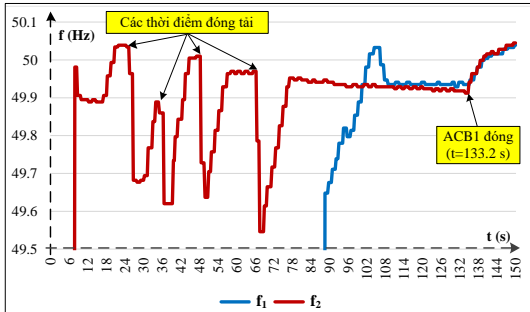
Hình 5. Đồng hồ đa năng được lắp đặt trong mô hình mô phỏng bảng điện chính

Kết quả thử nghiệm khi bộ điều khiển đọc dữ liệu từ 2 đồng hồ là $\approx 80ms$ cho một chu kỳ đọc (tính toán bằng đếm số chu kỳ bằng một bộ đếm tốc độ cao trong một đơn vị thời gian). Nếu ứng dụng thuật toán cho một hệ thống bảng điện chính hoàn chỉnh được thể hiện như trên Hình 3 với cả 4 đồng hồ đa năng thì một chu kỳ đọc sẽ khoảng $\approx 160ms$, chu kỳ này là khá nhỏ và phù hợp để sử dụng trong bài toán giám sát và điều khiển máy phát điện.

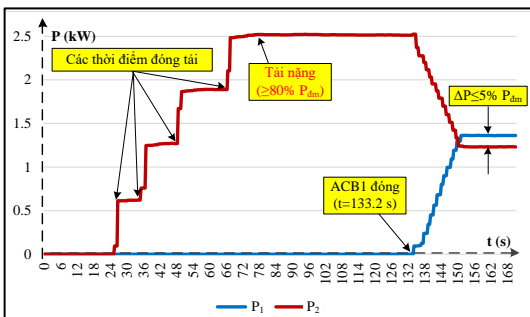
Các Hình 6, Hình 7 và Hình 8 lần lượt là biểu đồ minh họa tần số và công suất của các máy phát được đọc về từ đồng hồ đa năng 1 bởi bộ điều khiển trung tâm PLC DVP 12SE.

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 được khởi động lên, lần lượt các tải 1, 2, 3, 4 có công suất giống nhau được đóng lên lưới được cấp điện bởi máy phát 2. Ta thấy rằng, ở những thời điểm đóng cắt tải thì tần số của máy phát 2 đều bị giảm xuống nhưng nhanh chóng được bộ điều khiển PMS điều khiển đưa về gần

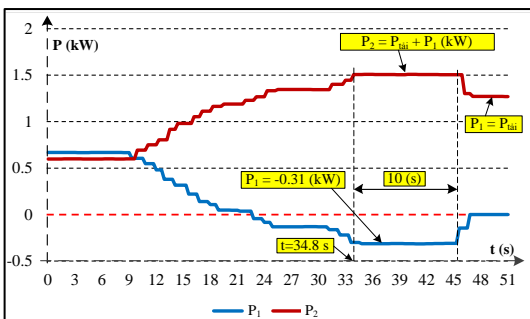
giá trị định mức. Tại thời điểm $t=133,2s$, Aptomat 1 (ACB1) được điều khiển đóng lại khi các điều kiện hòa đồng bộ thỏa mãn, ta thấy rằng tần số hai máy phát được đồng bộ với nhau rất nhanh sau đó.



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



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



Hình 8. Công suất các máy phát khi máy phát 1 bị công suất ngược

Hình 7 thể hiện công suất các máy phát ở trước và sau khi hòa máy phát 1 lên lưới. Ta thấy rằng, khi cấp lần lượt các tải lên lưới, máy phát 2 sẽ làm việc ở chế độ tải nặng ($P_2=2,52kW \approx 84\% P_{dm}$), 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 $t=133,2s$ khi ACB1 được đóng lên, công suất hai máy phát sẽ được bộ điều khiển PMS tự động chia đều cho đến khi độ lệch công suất $\leq 5\% P_{dm}$ thì dừng lại.

Trong khi đó, Hình 8 là công suất các máy phát thu thập về bộ điều khiển trung tâm 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 $t=34,8s$, $P_1 \leq -10\% P_{dm}$, lúc này bên cạnh công suất của tải, thì máy phát 2 sẽ phải chịu thêm một lượng công suất do 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 $P_2=P_{tải}$.

Những thông số thu thập về bộ điều khiển trung tâm qua những hình minh họa nêu trên khi so sánh với các giá trị từ các thiết bị đo thông dụng khác là tần số kế, oát-kế đều trùng khớp. Bởi vậy, với độ tin cậy và tốc độ đọc dữ liệu nhanh (một chu kỳ đọc dữ liệu nhỏ) sẽ đảm bảo được cho yêu cầu điều khiển và giám sát theo thời gian thực trong hệ thống PMS tàu thủy. Các thông số khi thử nghiệm được tổng hợp như trong Bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp kết quả thử nghiệm

TT	Thông số	Giá trị
1	Chu kỳ đọc mỗi đồng hồ	≤ 80 ms
2	Tốc độ hiển thị dữ liệu (trên màn hình cảm ứng HMI)	300 ms
3	Sai số lớn nhất	1 %

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc xây dựng một mô hình cấu trúc cho một hệ thống quản lý nguồn PMS tiêu chuẩn ứng dụng đồng hồ đa năng số và một thuật toán thu thập, xử lý dữ liệu đọc về từ các đồng hồ đa năng sử dụng bộ điều khiển trung tâm PLC DVP 12SE. Kết quả thử nghiệm như trong Bảng 3 cho thấy thuật toán hoạt động tin cậy, tốc độ đọc và hiển thị dữ liệu cao. Đây sẽ là một bước tiền đề để nghiên cứu, ứng dụng những đồng hồ đa năng số trong hệ thống PMS và hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu SCADA tàu thủy.

Sau khi đã thu thập thành công các thông số của hai máy phát trong quá trình thử nghiệm, việc thử nghiệm mở rộng số lượng đồng hồ cũng như thử nghiệm những trường hợp sự cố, lỗi truyền thông sẽ được thực hiện ở hướng nghiên cứu tiếp theo của bài báo này.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên mã số: **SV23-24.29**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đ.A. Tuấn, N. T. D., N. T.V. (2016). *Nghiên cứu chế tạo module quản lý nguồn -PMS cho hệ thống điện tàu thủy*. Đề tài NCKH cấp Trường năm học 2015-2016, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [2] <https://www.praxis-automation.nl/>
- [3] <https://www.deif.com>
- [4] <https://www.selmaccontrol.com/>
- [5] Handhal, F. K., & Rashid, A. T. (2017). *A prototype Design for Three Phase Smart Energy Meter*. 2017 2nd AI-Sadiq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA), pp. 262-267.
- [6] Wang, R., Li, Y., Zhang, W., Kang, F., Chen, D., & Qi, Y. (2020). *Design Scheme of Multifunctional Electric Energy Meter Based on Distributed Sampling Method*. iSPEC 2020 - Proceedings: IEEE Sustainable Power and Energy Conference: Energy Transition and Energy Internet, pp.1817-1823.
- [7] Sandhya, S. V. T., Sahooz, Yemula. (2018). *Extraction of Data from an RS-485 enabled MultiFunction Meter for Building Monitoring Systems*. Proceedings of the National Power Systems Conference (NPSC) - 2018, December 14-16, NIT Tiruchirappalli, India.
- [8] Zhao, L., Zhang, J.-l., & Liang, R.-b. (2013). *Development of an energy monitoring system for large public buildings*. Energy and Buildings, Vol.66, pp.41-48, doi:10.1016/j.enbuild.2013.07.007.
- [9] Akaike, H. (1960). *Effect of timing-error on the power spectrum of sampled-data*. Springer, Annals of the Institute of Statistical Mathematics Vol.11(2), pp.145-165.
- [10] Turgel, R. S. (1975). *Sampling Techniques for Electric Power measurement*, National Bureau of Standards (U.S). Issued June 1975.
- [11] U.A. Bakshi, & Bakshi, V. U. (2009). *Electrical technology*. Technical Publications, first edition.
- [12] Tong, G., Liu, X., Li, X., Sun, G., Mu, J., & Liu, L. (2018). *Research on Three-Phase Electronic Multifunctional Energy Meter*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol.394(4), doi:10.1088/1757-899x/394/4/042098.

Ngày nhận bài:	02/04/2024
Ngày nhận bản sửa:	12/04/2024
Ngày duyệt đăng:	17/04/2024