

Design of a smart energy management, control and monitoring experimental system

Nguyen Thanh Binh^{1,2}, Vo Xuan Tri³, Le Van Tho³, Ngo Minh Khoa^{4,*}

¹*Graduate student course 20, Department of Engineering and Technology, Quy Nhon University*

²*Center of vocational and continuing education, Hoai Nhon, Binh Dinh*

³*Undergraduate student course 38, Department of Engineering and Technology, Quy Nhon University*

⁴*Department of Engineering and Technology, Quy Nhon University*

Received: 20/05/2019; Accepted: 20/06/2019

ABSTRACT

This paper presents a design of the experimental system to manage, control and monitor the low voltage networks. Voltage and current sensors are used to send the voltage and current signals to Arduino board and to measure all necessary electrical quantities. Then, they will be calculated and proceeded to export all outputs such as voltage, current, active power, reactive power, energy, etc. to LCD display, monitoring program screen to manage and monitor. The function of transferring and receiving the data via the wifi Internet is exploited to design softwares on a smartphone to manage, control and monitor the system operation. In addition, other functions including demand side management (DSM) and over/under voltage protection are also implemented into the system. The experimental results shown in this paper indicate that the system operates reliably and accurately.

Keywords: *Arduino wemos, control, monitoring, DSM, over/under voltage.*

** Corresponding author.*

Email: ngominhkhoa@qnu.edu.vn

Nghiên cứu thiết kế hệ thống thực nghiệm quản lý, điều khiển và giám sát điện năng thông minh

Nguyễn Thanh Bình^{1,2}, Võ Xuân Trí³, Lê Văn Tho³, Ngô Minh Khoa^{4,*}

¹Học viên cao học K20, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn;

²Trung tâm GDNN-GDTX Hoài Nhơn, Bình Định;

³Sinh viên K38, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn;

⁴Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

Ngày nhận bài: 20/05/2019; Ngày nhận đăng 20/06/2019

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu thiết kế hệ thống thực nghiệm nhằm quản lý, điều khiển và giám sát điện năng của các phụ tải điện hạ áp. Các cảm biến điện áp, cảm biến dòng điện xoay chiều được sử dụng để đưa tín hiệu vào bo mạch Arduino nhằm đo lường các đại lượng cần thiết. Sau đó tiến hành tính toán, xử lý để xuất các kết quả đầu ra mong muốn chẳng hạn như: điện áp, dòng điện, công suất tác dụng (CSTD), công suất phản kháng (CSPK), điện năng tiêu thụ,... ra màn hình LCD, lên giao diện của chương trình điều khiển và giám sát. Tính năng truyền - nhận dữ liệu thông qua mạng truyền thông internet wifi được khai thác ứng dụng để thiết kế các chương trình phần mềm trên smartphone nhằm quản lý, điều khiển và giám sát toàn bộ hoạt động của hệ thống. Ngoài ra một số chức năng khác bao gồm quản lý nhu cầu phụ tải (DSM) và bảo vệ quá/thấp áp cũng được tích hợp trong hệ thống. Các kết quả thực nghiệm với một số dạng tải khác nhau được khảo sát trong bài báo này đã cho thấy sự làm việc tin cậy và chính xác của hệ thống.

Từ khóa: *Arduino wemos, điều khiển, giám sát, DSM, quá/thấp áp.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với sự phát triển của nền kinh tế đất nước, nhu cầu về tiêu thụ điện năng ngày càng cao trong khi khả năng cung cấp điện còn rất nhiều khó khăn, từ đó vấn đề sử dụng điện tiết kiệm, hiệu quả trở thành vấn đề cấp bách. Việc ý thức tiết kiệm điện của người dân chưa được nâng cao, các biện pháp đề ra để tiết kiệm điện còn khá ít và việc áp dụng nó vào thực tiễn còn nhiều bất cập. Để tiết kiệm điện phụ thuộc ở 2 yếu tố: thiết bị điện và thói quen sử dụng của con người. Người dùng thường bận rộn với công việc nên ít có thời gian giám sát được việc sử

dụng các thiết bị trong gia đình hay cơ quan, dẫn đến nhiều thiết bị hoạt động không cần thiết, gây lãng phí năng lượng điện và tăng chi phí điện cho gia đình, cơ quan. Trong cuộc sống hiện đại ngày nay, quản lý và giám sát điện năng là yếu tố vô cùng quan trọng và càng quan trọng hơn trong sản xuất và kinh doanh của doanh nghiệp. Một bài toán đặt ra cho các nhà quản lý là làm sao quản lý tòa nhà, nhà máy hay xí nghiệp của mình một cách hiệu quả nhất nhằm để tiết giảm chi phí, tiết kiệm năng lượng ở mức tối đa, tạo điều kiện thuận lợi cho doanh nghiệp trong những hoạt động kinh doanh. Phương án tối ưu hiện

**Tác giả liên hệ chính.*

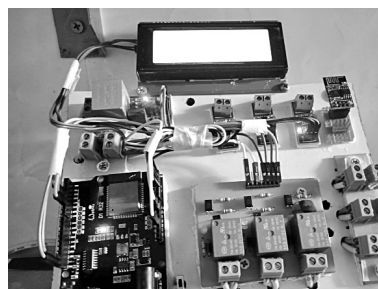
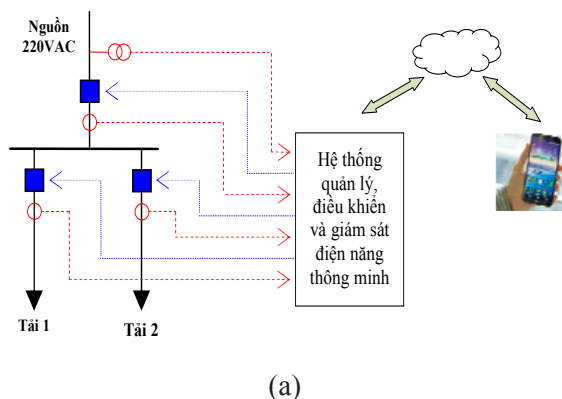
Email: ngominhkhoa@qnu.edu.vn

nay là thiết lập hệ thống tự động quản lý và giám sát điện năng từ xa.^{1,2}

Hiện nay, Arduino là một dạng mã nguồn mở được sử dụng để xây dựng các ứng dụng điện tử tương tác với nhau hoặc với môi trường được thuận lợi hơn.^{3,4} Arduino giống như một máy tính nhỏ để người dùng có thể lập trình và thực hiện các dự án điện tử mà không cần phải có các công cụ chuyên biệt để phục vụ việc nạp code. Do đó các mô đun của bo mạch Arduino, mô đun cảm biến điện áp xoay chiều, mô đun cảm biến dòng điện xoay chiều, mô đun rơle đóng cắt mạch điện, mô đun wifi của Arduino, mô đun hiển thị LCD,... sẽ được nghiên cứu lựa chọn để thiết kế trong bài báo này.

2. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG

Trong bài báo này, tác giả tập trung đi vào thiết kế hệ thống quản lý và giám sát điện năng cho đối tượng là mạng điện một pha 220VAC. Phần mạch lực được thể hiện như hình 1(a), trong đó có một mạch nguồn và hai mạch tải (tải 1 và tải 2). Các tín hiệu điện áp, dòng điện trên các nhánh được thu thập thông qua cảm biến điện áp (ZMPT101B) và các cảm biến dòng điện (ACS712) và đưa về bộ xử lý trung tâm (Arduino Wemos) của hệ thống.^{5,7} Sau khi xử lý tính toán các thông số đầu ra, bộ xử lý trung tâm sẽ đưa tín hiệu để điều khiển các rơle đóng/cắt các mạch trên sơ đồ mạch lực. Sau khi thiết kế sơ đồ lắp ráp chi tiết, các tác giả tiến hành lắp ráp hệ thống thực nghiệm như hình 1(b).



Chú thích:
1: Arduino Wemos R32
2: Cảm biến điện áp ZMPT101B
3: Cảm biến dòng điện mạch 1
4: Cảm biến dòng điện mạch 2
5: Cảm biến dòng điện mạch 3
6: Rơle đóng/cắt mạch 1
7: Rơle đóng/cắt mạch 2
8: Rơle đóng/cắt mạch 3
9: LCD
10: Mô đun wifi ESP8266
11: Ngõ vào nguồn cấp 220VAC
12: Ngõ ra 1 (cấp tải 1)
13: Ngõ ra 2 (cấp tải 2)
14: Cáp USB kết nối máy tính

(b)

Hình 1. (a) Sơ đồ mạch lực của hệ thống thực nghiệm; (b) Tổng thể phần cứng của hệ thống

3. THIẾT KẾ PHẦN MỀM

3.1. Cơ sở lý thuyết đo lường các đại lượng điện

Điện áp trị hiệu dụng là giá trị trung bình bình phương của các mẫu trong một khoảng thời gian lấy mẫu nào đó⁸. Do đó, điện áp trị hiệu dụng U_{rms} sẽ được xác định như sau:

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i^2} \quad (1)$$

Trong đó: u_i là mẫu điện áp thứ i ; N tổng số mẫu điện áp.

Giả sử điện áp xoay chiều hình sin ở đầu ra của cảm biến điện áp ZMPT101B có biên độ là U_m và góc pha ban đầu bằng 0 và được lấy mẫu bởi bộ chuyển đổi tương tự số ADC của Arduino với thời gian lấy mẫu bằng Δt được thể hiện như sau:

$$u(k) = U_m \sin(k\omega\Delta t) \quad (2)$$

Trong đó: U_m là biên độ điện áp; $\omega = 2\pi f$; Δt là thời gian lấy mẫu (s); k là mẫu thứ k .

Khi đó giá trị điện áp trị hiệu dụng sẽ là:

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k^2} \quad (3)$$

Giả sử dòng điện xoay chiều hình sin ở đầu ra của cảm biến dòng điện ACS712 có biên độ là I_m và góc pha ban đầu bằng φ và được lấy mẫu bởi bộ chuyển đổi tương tự số ADC của Arduino Wemos với thời gian lấy mẫu bằng Δt được thể hiện như sau:

$$i(k) = I_m \sin(k\omega\Delta t - \varphi) \quad (4)$$

Trong đó: I_m là biên độ dòng điện.

Do đó, dòng điện trị hiệu dụng I_{rms} của tín hiệu dòng điện sẽ được xác định như sau:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i_k^2} \quad (5)$$

Trong đó: i_i là mẫu dòng điện thứ i ; N tổng số mẫu dòng điện.

Lý thuyết công suất tức thời được áp dụng để xác định CSTD P được tiêu thụ bởi các tải. Nó được xem là một phương pháp chính xác nhất để tính toán CSTD trong mạch điện xoay chiều. Kết quả luôn luôn đúng đối với tất cả các loại tải khác nhau: tải trở, tải cảm, tải dung và thậm chí là các tải phi tuyến có chứa nhiều thành phần hài dòng điện. Công suất tức thời là tích của điện áp tức thời và dòng điện tức thời của mạch điện.⁸

$$p(k) = u(k)i(k) \quad (6)$$

Trong đó: $p(k)$ là công suất tức thời ở mẫu thứ k ; $u(k) = U_m \sin(k\omega\Delta t)$ là điện áp ở mẫu thứ k ; $i(k) = I_m \sin(k\omega\Delta t - \varphi)$ là dòng điện ở mẫu thứ k .

Do đó, CSTD P được xác định bằng công suất trung bình của công suất tức thời trong một khoảng thời gian lấy mẫu và được xác định như sau:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N p(k) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u(k)i(k) \quad (7)$$

Công suất biểu kiến của mạch điện được xác định bằng tích của điện áp trị hiệu dụng U_{rms} và dòng điện trị hiệu dụng I_{rms} của mạch điện đó. Do đó, sau khi đã xác định được điện áp trị hiệu dụng U_{rms} theo (3) và dòng điện trị hiệu dụng I_{rms} theo (5), thì công suất biểu kiến sẽ được xác định như sau:

$$S = U_{rms} \times I_{rms} \quad (8)$$

Hệ số công suất được xác định như sau:

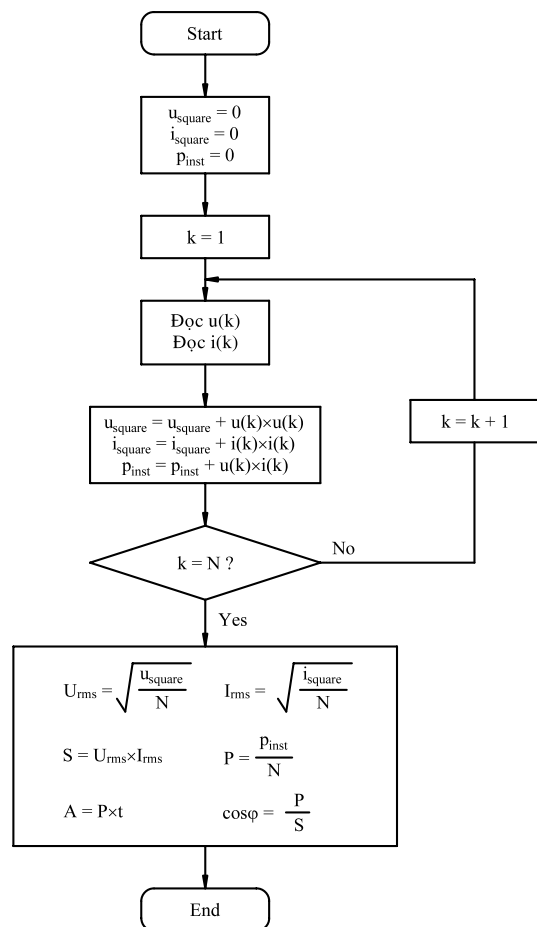
$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (9)$$

CSPK được xác định như sau:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (10)$$

Điện năng tiêu thụ được xác định như sau:

$$A = P \times t \quad (11)$$



Hình 2. Giải thuật đo lường các đại lượng điện

3.2. Giải thuật đo lường đại lượng điện

Từ cơ sở của việc đo lường các đại lượng điện của mạch điện đã được trình bày như ở mục trên, mục này sẽ đề xuất giải thuật đo lường các đại lượng đó để lập trình trên phần mềm Arduino IDE và sau đó nạp code vào bo mạch Arduino Wemos để thực hiện các chức năng đo đếm và giám sát điện năng của mạch điện. Hình 2 thể hiện giải thuật đo lường các đại lượng điện bao gồm: điện áp trị hiệu dụng U_{rms} , dòng điện trị hiệu dụng I_{rms} , CSTD P , công suất biểu kiến S , hệ số công suất $\cos\varphi$ và điện năng tiêu thụ của mạch điện. Các bước của giải thuật như sau:

Bước 1: Start

Bước 2: Khởi tạo các biến ban đầu

$$u_{square} = 0; i_{square} = 0; p_{inst} = 0 \quad (12)$$

Bước 3: Gán $k = 1$

Bước 4: Đọc các giá trị điện áp lấy mẫu

$u(k)$ và dòng điện lấy mẫu $i(k)$ từ cảm biến điện áp ZMPT101B và cảm biến dòng điện ACS712 đưa vào chân đầu vào tương tự của Arduino Wemos.

Bước 5: Cập nhật giá trị điện áp bình phương, dòng điện bình phương và công suất tức thời từ mẫu mới đọc được:

$$\begin{aligned} u_{\text{square}} &= u_{\text{square}} + u(k) \times u(k) \\ i_{\text{square}} &= i_{\text{square}} + i(k) \times i(k) \\ p_{\text{inst}} &= p_{\text{inst}} + u(k) \times i(k) \end{aligned} \quad (13)$$

Bước 6: Kiểm tra điều kiện mẫu thứ k có bằng số mẫu N hay không ($k = N$?).

Bước 7: Nếu $k < N$ thì quay lại **Bước 5**, còn nếu $k = N$ thì chuyển sang **Bước 8**.

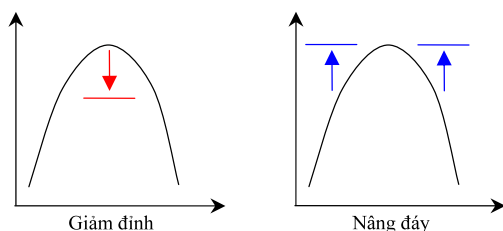
Bước 8: Tính toán giá trị điện áp hiệu dụng U_{rms} , dòng điện hiệu dụng I_{rms} , CSTD P , công suất biểu kiến S , CSPK Q , hệ số công suất $\cos\phi$ và điện năng tiêu thụ A .

$$\begin{aligned} U_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{u_{\text{square}}}{N}}; \quad I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{i_{\text{square}}}{N}}; \\ P &= \frac{p_{\text{inst}}}{N}; \quad S = U_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}}; \\ Q &= \sqrt{S^2 - P^2}; \quad A = P \times t \end{aligned} \quad (14)$$

Bước 9: End

3.3. Giải thuật DSM và bảo vệ quá/thấp áp

Đối với quản lý nhu cầu phụ tải, bài báo này nghiên cứu ứng dụng hai kỹ thuật đó là: *Giảm đỉnh* và *nâng đáy* để thiết kế thực nghiệm cho hệ thống như hình 3. Như vậy, CSTD của mạch điện đo được sẽ được so sánh với giá trị CSTD nhỏ nhất (P_{min}) và CSTD lớn nhất (P_{max}) để thực hiện kỹ thuật *giảm đỉnh* và *nâng đáy* sao cho hợp lý.



Hình 3. Kỹ thuật giảm đỉnh, nâng đáy

Để thực hiện hai kỹ thuật trên, hệ thống thực nghiệm quy ước như sau: Role 1: Nhánh 1

(mạch tổng có CSTD là P_1); Role 2: Nhánh 2 (mạch tải 1 có CSTD là P_2); Role 3: Nhánh 3 (mạch tải 2 có CSTD là P_3). Giải thuật thực hiện việc so sánh giữa CSTD của mạch tổng P_1 với giá trị CSTD lớn nhất P_{max} và CSTD nhỏ nhất P_{min} để thực hiện kỹ thuật DSM đã lựa chọn: *giảm đỉnh* và *nâng đáy* như sau:

- NẾU $P_1 > P_{\text{max}}$ THÌ sau 3 giây sẽ cắt mạch tải 2 để giảm đỉnh tải tổng: $P_1 = P_2$

- NẾU $P_1 < P_{\text{min}}$ THÌ sau 3 giây sẽ đóng mạch tải 2 để nâng đáy tải tổng: $P_1 = P_2 + P_3$

Tương tự như giải thuật DSM thì giải thuật bảo vệ quá/thấp áp sẽ so sánh giữa điện áp đo được từ giải thuật ở trên với các giá trị điện áp nhỏ nhất U_{min} và điện áp lớn nhất U_{max} để đưa tín hiệu đi đóng/cắt role mạch tổng (role 1) như sau:

- NẾU $U > U_{\text{max}}$ THÌ sau 3 giây sẽ: (i) Cắt mạch tổng để bảo vệ tải khỏi chịu quá áp; (ii) Hiển thị tín hiệu *Overvoltage* lên giao diện; (iii) Gửi tin nhắn cảnh báo qua điện thoại.

- NẾU $U < U_{\text{min}}$ THÌ sau 3 giây sẽ: (i) Cắt mạch tổng để bảo vệ tải khỏi chịu thấp áp; (ii) Hiển thị tín hiệu *Undervoltage* lên giao diện; (iii) Gửi tin nhắn cảnh báo qua điện thoại.

- NẾU $U_{\text{min}} \leq U \leq U_{\text{max}}$ THÌ sau 3 giây sẽ: (i) Đóng mạch tổng để cấp điện cho tải làm việc bình thường; (ii) Reset các hiển thị trên giao diện giám sát.

3.4. Thiết kế giao diện quản lý, giám sát và điều khiển từ xa

Nhóm 1: Điều khiển và giám sát

Nhóm này thuộc Tab Control của chương trình phần mềm, giao diện của nhóm 1 được thể hiện như hình 4. Các chức năng được thực hiện trên giao diện của nhóm 1 bao gồm: (i) *Điều khiển đóng/cắt các role của phần mạch lực*; (ii) *Bật/tắt chức năng quản lý nhu cầu phụ tải DSM*; (iii) *Thay đổi giá trị đặt P_{min} và P_{max} bằng slider*; (iv) *Hiển thị các giá trị điện áp, dòng điện, CSTD và điện năng tiêu thụ*. Ngoài ra, trên giao diện của nhóm 1 còn có thể thực hiện chức năng báo cáo (Reports) để gửi thông tin thời gian và

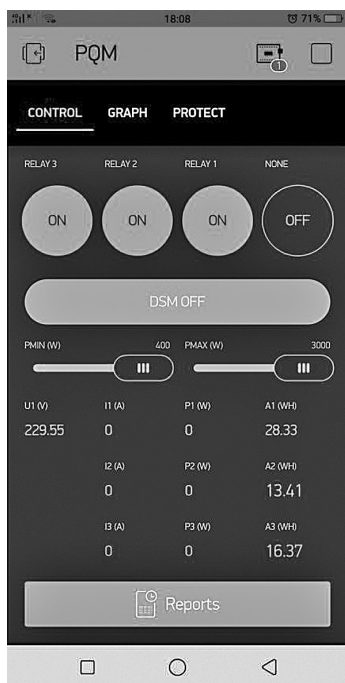
các dữ liệu đo lường như: Điện áp, dòng điện, CSTD, điện năng tiêu thụ,... đến địa chỉ email mong muốn. Điều này giúp khách hàng sử dụng điện có thể dễ dàng quản lý nhu cầu sử dụng điện của mình trong tháng. Đối với chức năng báo cáo này thì sau khi chạy chương trình, người sử dụng có thể lựa chọn 1 trong 4 phương thức báo cáo như sau:

- **Báo cáo tháng (Monthly):** Khi lựa chọn phương thức này, chương trình sẽ báo cáo đến email trong một tháng chọn trước hoặc lặp lại hàng tháng (thời gian lấy mẫu là 1 giờ hoặc 1 ngày).

- **Báo cáo tuần (Weekly):** Khi lựa chọn phương thức này, chương trình sẽ báo cáo đến email trong một tuần chọn trước hoặc lặp lại hàng tuần (thời gian lấy mẫu là 1 giờ hoặc 1 ngày).

- **Báo cáo ngày (Daily):** Khi lựa chọn phương thức này, chương trình sẽ gửi báo cáo đến email trong một ngày chọn trước hoặc lặp lại hàng ngày (thời gian lấy mẫu là 1 phút hoặc 1 giờ).

- **Báo cáo một lần (One-time):** Khi lựa chọn phương thức này, chương trình sẽ gửi báo cáo một lần đến email ngay tại thời điểm kích hoạt chức năng báo cáo.



Hình 4. Giao diện nhóm 1



Hình 5. Giao diện nhóm 2

Nhóm 2: Bảo vệ quá/thấp áp

Nhóm này thuộc Tab Protect của chương trình phần mềm, giao diện của nhóm 2 được thể hiện như hình 5. Các chức năng được thực hiện trên giao diện của nhóm 2 bao gồm: *Bật/tắt chế độ bảo vệ quá/thấp áp; cài đặt điện áp cho phép nhỏ nhất và lớn nhất bằng slider; hiển thị điện áp, dòng điện, CSTD và CSPK dạng Gauge; hiển thị LED ảo báo trạng thái quá/thấp áp; thông báo quá/thấp áp qua tin nhắn điện thoại.*

Nhóm 3: Hiển thị dạng đồ thị

Nhóm 3 thuộc Tab Graph có giao diện như hình 6. Bao gồm có 2 đồ thị trên giao diện này: đồ thị ở trên được sử dụng để hiển thị điện áp, dòng điện của mạch 1 (mạch tổng) theo thời gian thực và được cập nhật liên tục sau mỗi giây; đồ thị ở dưới được sử dụng để hiển thị CSTD của ba mạch.



Hình 6. Giao diện nhóm 3

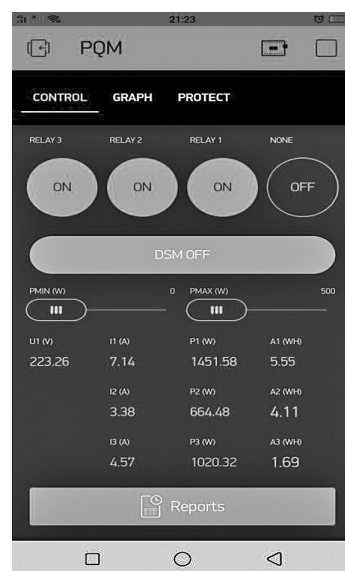
4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Sau khi thiết kế phần cứng và phần mềm của hệ thống, đề tài tiếp tục đi vào thực nghiệm để thu thập kết quả so sánh, đánh giá và phân tích hiệu quả của hệ thống đã thiết kế. Với đối tượng là hệ thống một pha 220VAC và tính thông dụng, nên các tải gia dụng được tác giả sử dụng để làm thực nghiệm trong bài báo này bao gồm: bàn là 220VAC 1000W và máy sấy tóc 220VAC 700W. Dựa vào hình 1, một số quy ước đối với phần sơ đồ mạch lực và các ký hiệu của các đại lượng đo lường như sau: Mạch 1: Mạch tổng; Mạch 2: Mạch tải 1; Mạch 3: Mạch tải 2; U_1 : Điện áp của mạch 1; I_1, I_2, I_3 : Dòng điện của mạch 1, 2 và 3; P_1, P_2, P_3 : CSTĐ của mạch 1, 2 và 3; Q_1, Q_2, Q_3 : CSPK của mạch 1, 2 và 3; A_1, A_2, A_3 : Điện năng tiêu thụ của mạch 1, 2 và 3. Sau khi kết nối phần mạch lực và cấp nguồn cho mạch điều khiển và đo lường thì hệ thống sẽ bắt đầu làm việc bình thường. Khai báo tài khoản và mật khẩu của mạng internet wifi tại nơi đặt hệ thống để kết nối hệ thống với internet wifi. Khi đó, các thông số đo được sẽ hiển thị trực tiếp lên màn hình LCD của hệ thống giúp ta có thể giám sát được trạng thái vận hành của hệ thống tại chỗ. Ngoài ra, để có thể giám sát, điều khiển từ xa thông qua smartphone thì smartphone cũng phải được kết nối với mạng internet wifi (có thể cùng mạng hoặc khác mạng với internet wifi kết nối với hệ thống), thì lúc này ta có thể mở ứng dụng Blynk

trên smartphone để thực hiện các chức năng điều khiển, giám sát và quản lý hệ thống như sau.

4.1. Chế độ làm việc bình thường

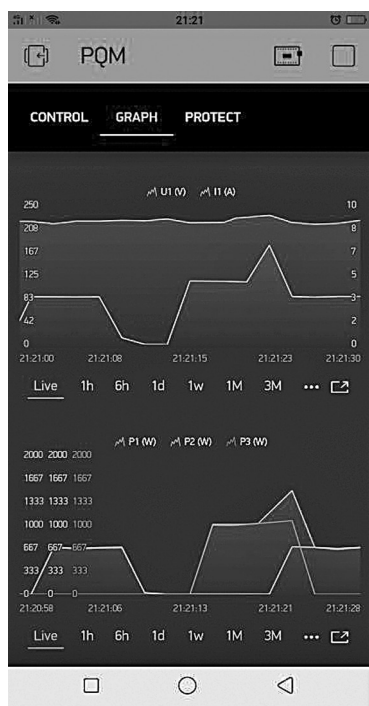
Đối với chế độ này, tác giả tiến hành thu thập các kết quả thực nghiệm từ những nội dung như sau: Giám sát các thông số của ba mạch trên LCD; giám sát các thông số của ba mạch trên smartphone; giám sát đồ thị các thông số của ba mạch trên smartphone; điều khiển các mạch thông qua smartphone; chế độ báo cáo. Các kết quả chế độ này được thể hiện trực tiếp trên các giao diện của chương trình như trong các hình 7, hình 8 và hình 9 tương ứng.



Hình 7. Kết quả trên giao diện nhóm 1



Hình 8. Kết quả trên giao diện nhóm 2



Hình 9. Kết quả trên giao diện nhóm 3

Các kết quả hiển thị trên giao diện nhóm 1 (Hình 7) là điện áp (V), dòng điện (A), CSTD (W) và điện năng tiêu thụ (Wh) của mạch tổng, mạch tải 1 và mạch tải 2 tương ứng. Các kết quả này cho thấy hệ thống đo chính xác kết quả so với thông số của hệ thống và tải được sử dụng để làm thực nghiệm trong mục này. Đối với kết quả trên nhóm 2 (Hình 8) là chỉ thể hiện cho thông số đo được đối với mạch tổng bao gồm: Điện áp (V), dòng điện (A), CSTD (W) và CSPK (VAr) dưới dạng Gauge để phục vụ việc theo dõi và giám sát chức năng bảo vệ quá/thấp áp của hệ thống. Trong khi đó, các kết quả thể hiện trong giao diện của nhóm 3 (Hình 9) là thể hiện dưới dạng đồ thị để giúp khách hàng có thể giám sát trực quan hình dạng thay đổi của các đại lượng đo được. Nghĩa là khách hàng có thể sử dụng kết quả này để theo dõi khi nào điện áp, công suất tiêu thụ tăng/giảm. Bên cạnh đó, toàn bộ dữ liệu của các đồ thị này có thể được xuất ra toàn bộ file *.csv để phục vụ công việc khác khi cần thiết.

Cuối cùng, để có thể thực hiện chế độ báo cáo các thông số vận hành cũng như lượng điện năng tiêu thụ của phụ tải, chúng ta có thể sử dụng biểu tượng Reports trên giao diện nhóm 1 để lựa

chọn 1 trong 4 phương thức báo cáo như đã trình bày ở trên. Sau đây là một ví dụ minh họa được tiến hành thực nghiệm từ chương trình, cụ thể là kết quả được xuất ra file *.csv như hình 10.

	A	B	C	D	E
358	5/11/2019 15:52	I1 (A)	PQM	2.615208	
359	5/11/2019 15:53	I1 (A)	PQM	0.472414	
360	5/11/2019 15:54	I1 (A)	PQM	0	
361	5/11/2019 15:55	I1 (A)	PQM	0.470345	
362	5/11/2019 15:56	I1 (A)	PQM	3.279621	
363	5/11/2019 15:57	I1 (A)	PQM	3.295957	
364	5/11/2019 15:58	I1 (A)	PQM	0	
365	5/10/2019 20:19	U1 (V)	PQM	215.8066	
366	5/10/2019 20:20	U1 (V)	PQM	218.2235	
367	5/10/2019 20:21	U1 (V)	PQM	219.255	
368	5/10/2019 20:22	U1 (V)	PQM	219.1623	
369	5/10/2019 20:23	U1 (V)	PQM	219.3023	
370	5/10/2019 20:24	U1 (V)	PQM	220.78	
371	5/10/2019 20:25	U1 (V)	PQM	219.7541	

Hình 10. Dạng file *.csv trong Excel của báo cáo phương thức One-time.

4.2. Chế độ quản lý nhu cầu phụ tải (DSM)

Đối với chế độ này, tác giả tiến hành thu thập các kết quả thực nghiệm từ những nội dung như sau: Kích hoạt chức năng DSM; cài đặt giá trị CSTD nhỏ nhất (P_{min}) và CSTD lớn nhất (P_{max}); thay đổi tải để kiểm nghiệm chức năng DSM; giám sát sự thay đổi của đồ thị điện áp, dòng điện, công suất. Sau khi đã kích hoạt chế độ DSM và thiết lập các giá trị P_{min} và P_{max} bằng cách sử dụng các slider trên giao diện của chương trình thì hệ thống sẽ hoạt động theo chế độ này. Kết quả kiểm nghiệm được thực hiện bằng cách thay đổi tải 1 để kiểm chứng sự hoạt động của chức năng này. Các kết quả cho thấy hệ thống làm việc tin cậy và đúng theo chức năng đã thiết kế.

4.3. Chế độ bảo vệ quá/thấp áp

Đối với chế độ này, tác giả giả định điện áp nguồn thay đổi và tiến hành thu thập các kết quả thực nghiệm từ những nội dung như sau: Kích hoạt chức năng bảo vệ quá/thấp áp; cài đặt

giá trị điện áp nhỏ nhất ($U_{\min}$) và điện áp lớn nhất ($U_{\max}$); thay đổi điện áp nguồn để kiểm nghiệm chức năng bảo vệ quá/thấp áp; giám sát sự thay đổi điện áp, dòng điện, CSTD, CSPK của mạch tổng. Tương tự, chức năng bảo vệ quá/thấp áp sẽ được kích hoạt từ giao diện của nhóm 3, sau đó thiết lập các giá trị điện áp nhỏ nhất $U_{\min}$ và điện áp lớn nhất $U_{\max}$ từ giao diện chương trình. Sử dụng ổn áp để giả lập điện áp nguồn thay đổi nhằm kiểm chứng chức năng này. Kết quả kiểm nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động tin cậy và đúng theo chức năng đã thiết kế.

5. KẾT LUẬN

Hệ thống quản lý và giám sát điện năng thông minh đã thiết kế trong bài báo này có thể thực hiện các chức năng như điều khiển và giám sát trong thời gian thực hiện các thông số: điện áp, dòng điện, CSTD, CSPK, điện năng tiêu thụ,... bằng cách hiển thị thông số lên LCD và có thể giám sát thông số thông qua smartphone có kết nối với hệ thống thông qua phương thức truyền thông mạng internet wifi. Do đó, khách hàng có thể truy cập ở bất kỳ nơi nào, bất kỳ thời điểm nào miễn là có thể truy cập được internet, 3G, 4G thì người vận hành có thể quản lý, điều khiển và giám sát hệ thống của mình. Chức năng của hệ thống về quản lý nhu cầu phụ tải (DSM) cũng được nghiên cứu nhằm đáp ứng được yêu cầu đặt ra của bài toán DSM với mục đích san phẳng đồ thị phụ tải góp phần mang lại nhiều hiệu quả vận hành cho lưới điện. Mà trong đó, kỹ thuật *giảm đỉnh* và *nâng đáy* được nghiên cứu thiết kế cho hệ thống. Ngoài ra, chức năng bảo vệ quá/thấp áp cũng được nghiên cứu tích hợp vào trong hệ thống để bảo vệ cho các phụ tải không bị hư hỏng khi có quá/thấp áp xảy ra ở phía nguồn. Đồng thời, hệ thống sẽ đưa ra tín hiệu cảnh báo sự cố này bằng cách hiển thị lên màn hình giám sát và gửi tin nhắn qua điện thoại của người vận hành hệ thống. Cuối cùng, các tính năng thông minh khác như theo dõi lượng điện năng tiêu thụ của phụ tải, xuất báo cáo các thông số đo được hàng ngày, hàng tuần, hàng tháng đến khách hàng sử dụng điện. Các kết quả trên màn hình giám sát được hiển thị dưới dạng số, đồ thị,

dạng gauge để giúp khách hàng dễ dàng theo dõi tình trạng làm việc của hệ thống được cập nhật liên tục theo thời gian thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Đình Long, Nguyễn Sỹ Chương. *Sách tra cứu về chất lượng điện năng*, Nxb Bách khoa, Hà Nội, 2013.
2. Ngô Minh Khoa. *Nghiên cứu nhiễu loạn điện áp trong lưới điện phân phối*, Luận án tiến sĩ, Đại học Đà Nẵng, 2017.
3. Thiều Minh Đức, Nguyễn Hoàng Nam, Bùi Đăng Thành, Nguyễn Huy Phương, Trịnh Công Đồng. *Ứng dụng kiến trúc mở Arduino trong thiết kế thiết bị giám sát điện năng không dây*, Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hóa - VCCA, 2015.
4. Massimo Banzi, Michael Shiloh. *Getting Started with Arduino*, Maker Media, Inc., 2015.
5. M. J. Mnati, A. Van den Bossche, and R. F. Chisab. *Smart Voltage and Current Monitoring System for Three Phase Inverters Using an Android Smartphone Application*, Sensors, 17, 872, 2017.
6. P. Srividya Devi, D. V. Pusphalatha and P. M. Sharma. *Measurement of Power and Energy Using Arduino*, Research Journal of Engineering Sciences, 2(10), 10-15, October 2013.
7. K. N. Ramli, A. Joret and N. H. Saad. *Development of Home Energy Management System Using Arduino*, 2014.
8. P.P. Machado Jr, T.P. Abud, M.Z. Fortes, B.S.M.C. Borba. *Power factor metering system using Arduino*, 2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), Bogota, Colombia, 31 May-2 June, 2017.