



TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Nghiên cứu thiết kế hệ thống điều khiển và giám sát từ xa cho các trạm điện công nghiệp

A study on designing a remote control and monitoring system for industrial power stations

➤ **THS Nguyễn Minh Đức, THS Vũ Đức Anh**

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: ducnm@vamaru.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 18/3/2026

Ngày sửa bài: 26/3/2026

Ngày chấp nhận đăng: 08/4/2026

Ngày xuất bản Online: 25/4/2026

Tác giả liên hệ:

Email: ducnm@vamaru.edu.vn

TÓM TẮT

Ngày nay, cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ, các công ty điện lực đang từng bước ứng dụng nhiều thành tựu của kỹ thuật điện tử, thông tin, máy tính, điều khiển... nhằm hiện đại hóa các trạm điện lực. Khu vực xung quanh các trạm điện lực thường nguy hiểm vì có điện áp cao, do vậy con người cần hạn chế tiếp xúc trực tiếp. Đồng thời, các trạm điện lực có ảnh hưởng lớn đến chất lượng điện năng của khách hàng nên vấn đề tự động hóa, giám sát đo lường từ xa các trạm điện là vấn đề cần thiết. Bài báo mô tả các kết quả nghiên cứu, xây dựng toàn bộ hệ thống điều khiển, giám sát và đo lường các thông số lưới điện từ xa nhằm đảm bảo cho các trạm điện được vận hành an toàn, tối ưu, kinh tế.

Từ khóa: Trạm điện lực; mạng Modbus; giao diện RS485; hệ thống quản lý năng lượng; đồng hồ đo các thông số điện năng PM710.

ABSTRACT

Today with the development of science and technology, power companies are step by step applying many achievements of electronic technology, information, computer, control... to modernize power stations. The area around power stations is often dangerous because of the high voltage so people need to limit direct contact and the power station

has a great impact on the quality of the customer's power problems. Remote monitoring of power stations is a necessity. This article describes the results of research, building a complete remote control, monitoring and measurement system to ensure that power stations are operated safely, optimally and economically.

Keywords: Power station; Modbus network; RS485 interface; power management systems; PM710 power meter.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, các trạm điện lực được các công ty điện lực lắp đặt các thiết bị đóng cắt (aptomat) và các thao tác đóng cắt điện thực hiện bằng tay và tại chỗ nên tiềm ẩn nhiều rủi ro về an toàn. Mặt khác, nhà quản lý điện chưa kiểm soát được tình hình mất điện, nếu xảy ra sự cố thì phải mất nhiều thời gian mới có thể cung cấp điện trở lại cho khách hàng [6, 7]. Hệ thống đo đếm điện năng đang từng bước được chuyển từ thế hệ công-tơ cơ sang công-tơ điện tử, tuy nhiên vấn đề đồng bộ chốt chỉ số các khách hàng và của cả trạm biến áp chưa được thực hiện tốt, dẫn đến chưa đánh giá chuẩn xác tổn thất điện năng của trạm biến áp, chưa xây dựng được đồ thị phụ tải theo thời gian thực.

Đứng trước các thách thức đó, việc nghiên cứu xây dựng hệ thống với các chức năng: Tự động thu thập và giám sát số liệu (các tham số dòng, áp, công suất, hệ số công suất và điện năng); giám sát trạng thái các thiết bị đóng cắt; điều khiển đóng cắt từ xa với thời gian thực. Kết quả này sẽ giúp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, an toàn và nâng cao chất lượng điện năng, giảm nhân công vận hành, xác định chính xác tổn thất tại từng thời điểm hay trong một khoảng thời gian.

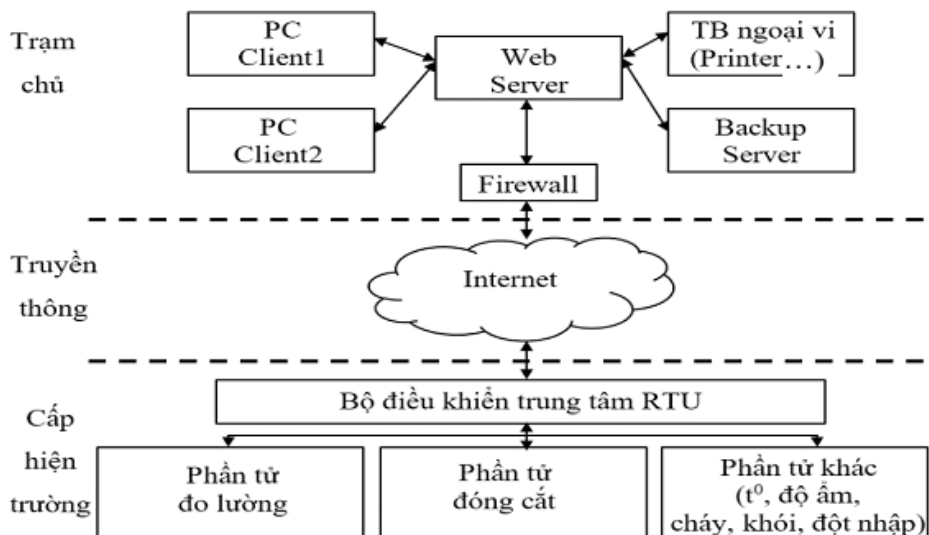
2. CẤU TRÚC HỆ THỐNG

Với các yêu cầu chức năng như trên thì cấu trúc hệ thống chia làm 3 tầng như Hình 1. Tầng trên cùng là tầng trạm chủ (quản lý, giám sát và điều khiển), tầng giữa là truyền thông, dưới cùng là cấp hiện trường. Trong đó, trạm chủ bao gồm máy chủ số liệu, máy chủ backup, màn hình giám sát, máy in và các thiết bị ngoại vi. Tầng này giao tiếp với trạm điện thông qua Internet từ xa; tầng hiện trường bao gồm các cảm biến, các phần tử đo lường (biến dòng, biến điện áp, đồng hồ đo công suất tác dụng, phản kháng) và các phần tử đóng cắt (aptomat có thể đóng cắt từ xa). Chức năng các tầng như sau:

- Cấp hiện trường: Ở tầng này có chức năng thu thập dữ liệu (đo lường các thông số điện, môi trường, trạng thái thiết bị...) và truyền về trung tâm, đồng thời cũng nhận lệnh từ trung tâm thực thi các điều khiển đóng cắt điện. Ngoài ra, hệ thống có thể sẽ tự động vận hành theo các kịch bản điều khiển đã được cài đặt bên trong theo ý đồ của nhà sản xuất.

- Truyền thông: Sử dụng môi trường truyền dẫn Internet có dây với hai giao thức truyền thông http và mqtt nhằm đạt yêu cầu truyền dẫn ổn định, bảo mật cao.

- Trạm chủ: Giám sát các tham số từ cấp hiện trường gửi về, cho phép thiết lập và điều khiển đến các thiết bị đóng cắt; thực hiện các chức năng khác như thống kê lưu trữ, cảnh báo...



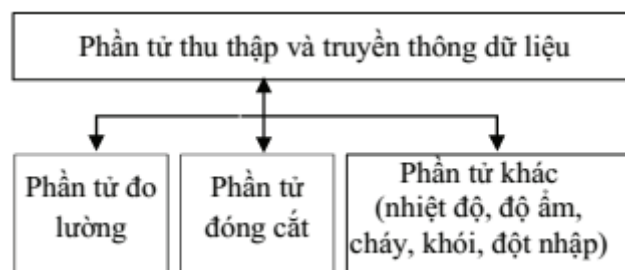
Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển và giám sát từ xa cho trạm điện lực

3. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG CHO HỆ THỐNG

Căn cứ vào chức năng của trạm điện lực là thực hiện đóng cắt từ xa mạch chính và các phân nhánh (aptomat tổng và nhánh); giám sát các thông số điện (dòng các pha, điện áp, chỉ số công suất tức thời và trong một khoảng thời gian) nên được thiết kế cụ thể như sau:

3.1. Cấp hiện trường

Hình 2 trình bày sơ đồ khối chức năng của thiết bị tại trạm của tủ phân phối, bao gồm:



Hình 2. Sơ đồ khối chức năng thiết bị tại tủ phân phối

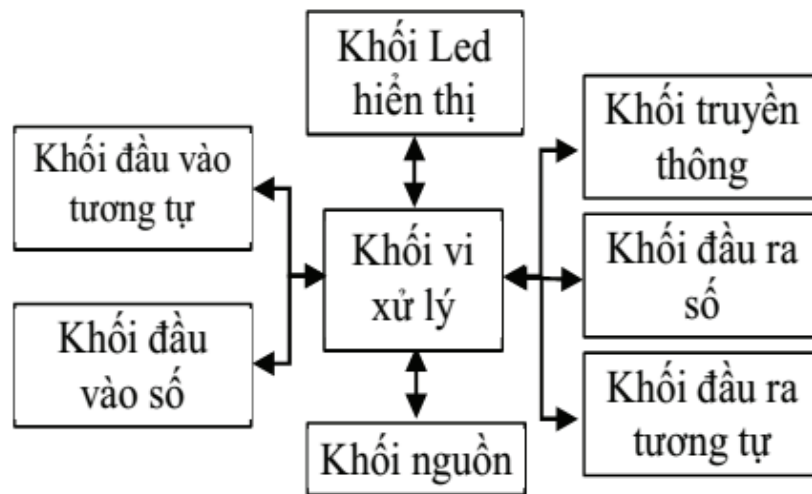
- Phân tử đo lường điện: Là các phân tử đo lường điện tử, có khả năng đo các tham số U, I, P, Q, f, cosφ, năng lượng tiêu thụ và sau đó gửi dữ liệu đo lường tới phân tử thu thập và truyền thông dữ liệu (RTU) thông qua chuẩn RS485. Ở đây, trong thiết kế, chúng tôi lựa chọn sử dụng thiết bị: Công-tơ điện tử 3 pha PM710 do hãng Schneider sản xuất. Đây là đồng hồ đo điện đa năng và truyền thông với thiết bị bên ngoài qua chuẩn RS485 và giao thức Modbus. Để đo lường dòng điện các pha, chúng tôi có sử dụng biến dòng BI với tỷ số biến 600/5.

- Phân tử đóng cắt: Nhiệm vụ đóng cắt các mạch động lực, ngoài khả năng tự động cắt khi có sự cố (quá dòng hay các chức năng cao hơn của aptomat), cắt bằng tay, thiết bị còn có thể thực hiện đóng cắt từ xa, tự lên dây cốt sau mỗi lần đóng cắt. Thiết kế tủ với mạch tổng có dòng định mức 600A, gồm 3 xuất tuyến. Dựa vào các yêu cầu trên có thể lựa chọn aptomat của hãng Schneider với các mã sau: MT400/630 - NSX630N và MT100/160 - NSX160B.

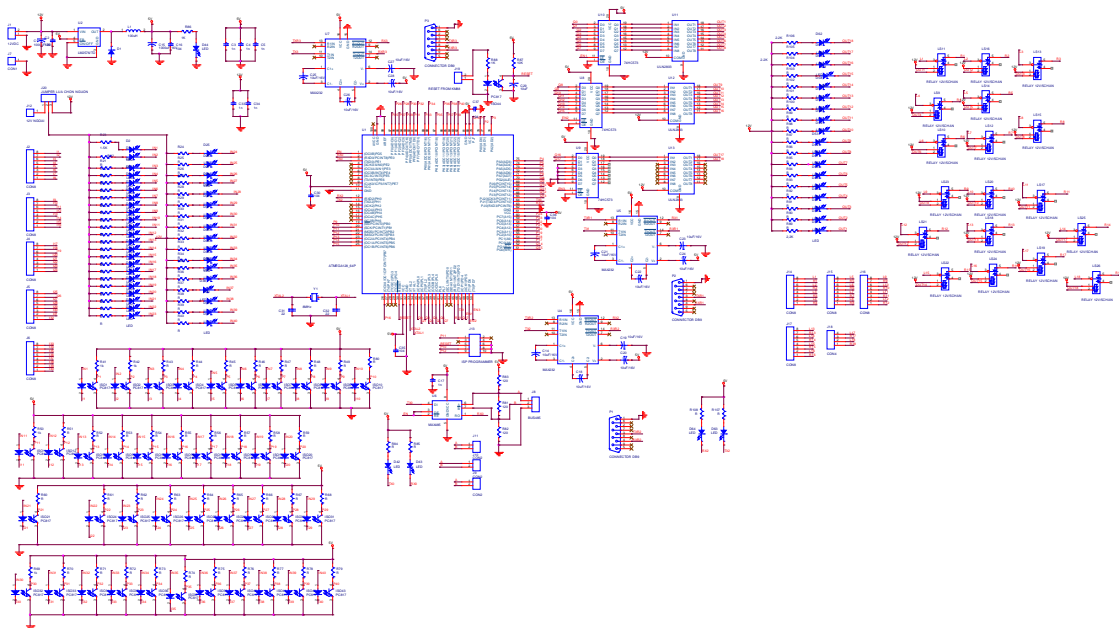
- Phân tử đo lường khác: Có thể lắp đặt cho hệ thống các thông số nâng cao như đo lường nhiệt độ, độ ẩm tại trạm, báo cháy, khói...

- Phần tử thu thập và truyền thông dữ liệu (RTU): Đây là thành phần chính trong hệ thống, bên trong có 1 vi điều khiển có chức năng thu thập tất cả các tham số hiện thời và đưa ra các lệnh điều khiển theo chương trình được lập trình bên trong nó. Khối RTU được thiết kế bao gồm bộ xử lý trung tâm là vi điều khiển Atmega128, các đầu vào/ra số, tương tự các mô-đun truyền thông. Bộ xử lý trung tâm sẽ thu thập các thông số trực tiếp từ các đầu vào số, tương tự qua cổng RS485 chuẩn Modbus nối với thiết bị ngoại vi. Dựa vào yêu cầu cụ thể, RTU sẽ được lập trình theo kịch bản đặt trước để giám sát điều khiển tại trạm, đồng thời thiết bị cũng chuyển các thông tin đến trung tâm quản lý vận hành qua mô-đun truyền thông GSM, Ethernet [2]. Hình 3 mô tả chức năng của RTU. Sơ đồ mạch điện của khối truyền thông và thu thập dữ liệu (RTU) như Hình 4. Theo như khối chức năng Hình 3 và mạch điện thiết kế Hình 4 thì khối RTU bao gồm:

Khối nguồn : Bên trong khối nguồn có sử dụng IC nguồn xung LM2576. Đây là IC có chất lượng rất tốt và tạo ra được nguồn điện 5VDC, dòng điện đầu ra có thể lên tới 5A dùng để nuôi các phần tử bên trong.



Hình 3. Sơ đồ khối của RTU



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý mạch điện của khối thu thập và truyền thông dữ liệu (RTU)

Khối vi xử lý của RTU: Bên trong khối RTU có sử dụng vi điều khiển Atmega 128. Đây là vi điều 128 chân, có tốc độ xử lý nhanh, dung lượng bộ nhớ lớn và có rất nhiều cổng vào ra dùng để thu thập các dữ liệu vào ra. Đồng thời, vi điều khiển Atmega 128 có 4 cổng truyền thông nối tiếp UART cho phép ghép nối được 4 thiết bị truyền thông UART đồng thời.

Khối đầu vào ra số: Khối đầu vào tín hiệu số gồm 40 đầu vào được cách ly quang bởi IC PC817. Khối đầu ra số gồm 18 đầu ra số và sử dụng các đầu ra số dạng tiếp điểm rơ-le chịu được dòng điện lớn (5A, 125VDC). Khối đầu ra số có sử dụng 3 IC ULN2803 dùng khuếch đại để đóng mở 18 rơ-le đầu ra. Bên trong khối đầu ra số cũng sử dụng 3IC chốt dữ liệu đầu ra số 74HC573. Mục đích của việc chốt dữ liệu là để phòng trường hợp mất điện nguồn nuôi, khi có điện trở lại thì các đầu ra số vẫn giữ nguyên trạng thái trước đó.

Khối truyền thông bên trong RTU: Để truyền thông với các đồng hồ đo điện PM710 thì bên trong mạch điện có sử dụng 3 IC Max485 dùng để truyền thông với 3 đồng hồ PM710 và 1 IC Max 485 dùng để giao tiếp Ethernet qua mạng Internet với trạm chủ.

3.2. Truyền thông

Sử dụng truyền thông qua mạng Internet để truyền thông từ RTU lên trạm chủ, dùng giao tiếp truyền thông RS232, RS485 để giao tiếp với các phần tử đo lường, đóng cắt của hệ thống và việc truyền dẫn dữ liệu hoàn toàn được thực hiện theo chuẩn truyền thông công nghiệp MODBUS. Dựa trên các giao diện đơn giản của RS232, RS485, các bản tin được định dạng và mã hóa theo chuẩn MODBUS-RTU. MODBUS-RTU là giao thức truyền thông công nghiệp, là một hệ thống “chủ - tớ”, “chủ” được kết nối với một hay nhiều “tớ”. Ở đây, “chủ” là thiết bị RTU, “tớ” là các thiết bị hiện trường (phần tử đo lường, đóng cắt), tất cả được kết nối với mạng trong cấu hình multi-drop [4]. Khi chủ MODBUS RTU muốn có thông tin từ thiết bị, chủ sẽ gửi một thông điệp địa chỉ tới thiết bị cần lấy dữ liệu. Giao tiếp Ethernet qua mạng Internet được thiết kế trên mô-đun Ethernet dùng IC ESP8266. Đây là IC Ethernet chuyên dụng, dễ sử dụng, giao tiếp với vi điều khiển thông qua cổng nối tiếp UART. Mô-đun Ethernet đáp ứng tất cả các chuẩn IEEE 802.3 cho kết nối wifi, mô-đun Ethernet sau chế tạo như Hình 5.



Hình 5. Mô-đun Ethernet ESP8266

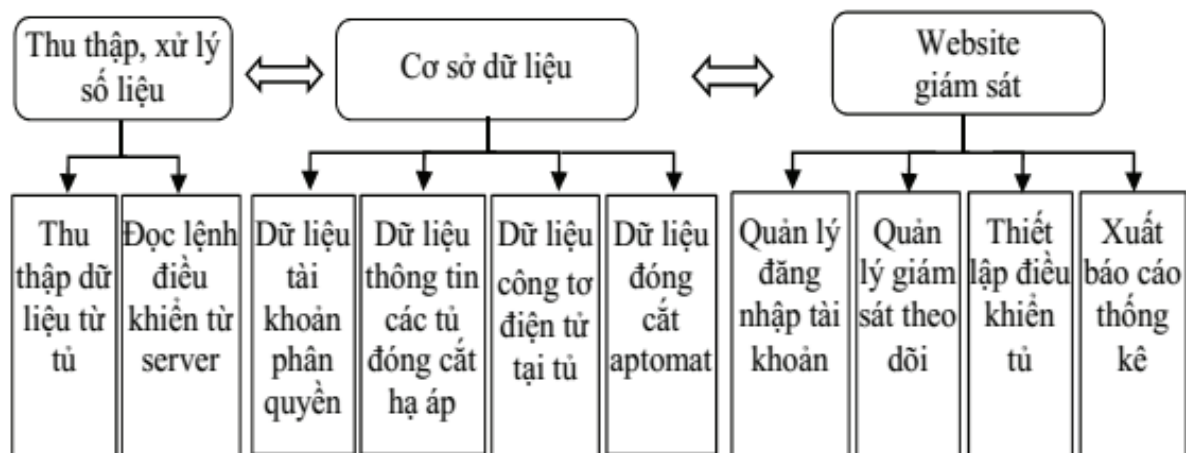
3.3. Trạm chủ

Trạm chủ được xây dựng dựa trên các yêu cầu của hệ thống: Gồm một máy chủ Web (Web Server), một máy lưu dự phòng (Backup Server), ngoài ra trong hệ thống sẽ có thêm các máy tính client để theo dõi, giám sát và điều khiển hệ thống qua Internet. Các máy chủ hoạt động liên tục, không bị gián đoạn, đòi hỏi tính sẵn sàng phải cao, do vậy cần nguồn cung cấp điện ổn định, đường truyền Internet độ tin cậy cao.

4. THIẾT KẾ PHẦN MỀM CHO HỆ THỐNG

Phần mềm máy tính được thiết kế đảm bảo các tính năng quản lý và giám sát như đã trình bày ở trên. Để đảm bảo những yêu cầu đó, phần mềm phải đáp ứng các tiêu chí sau: Dễ sử dụng, dễ học, dễ thao tác, giao diện trực quan, đáp ứng nhanh, đầy đủ các

chức năng theo yêu cầu và có tính bảo mật cao. Từ đó, người vận hành tại trung tâm điều khiển có thể giám sát và điều khiển được hệ thống một cách thuận tiện. Các chức năng chính của phần mềm như Hình 6 [4, 5]. Các chức năng như sau:



Hình 6. Sơ đồ các chức năng trong phần mềm hệ thống

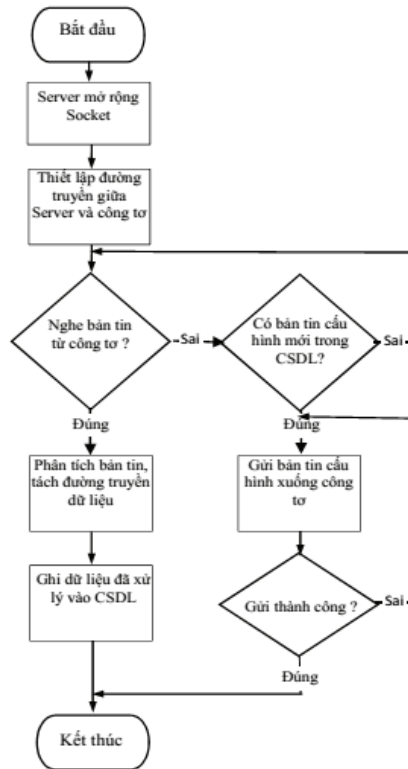
- Thu thập và xử lý số liệu: Phần mềm thu nhận tất cả dữ liệu từ các trạm điện lực gửi về, sau đó tính toán và xử lý để lưu vào cơ sở dữ liệu (CSDL). Dữ liệu được truyền nhận dưới dạng các bản tin đã được mã hóa. Bản tin truyền được phân thành 3 loại chính sau: Bản tin thiết lập, bản tin điều khiển đóng cắt và bản tin cập nhật trạng thái. Phần mềm thu thập và xử lý số liệu được thiết kế dựa trên giao diện socket, sử dụng ngôn ngữ lập trình JAVA và thiết kế web với các công cụ HTML, CSS [5]. Lưu đồ thuật toán cho chương trình được mô tả trên Hình 7.

Trong lưu đồ, quá trình hoạt động của phần mềm được mô tả như sau: Đầu tiên, sever “lắng nghe” các bản tin thiết lập từ các client gửi đến qua số hiệu cổng của socket mà nó đã được công bố sử dụng (có thể nhận dữ liệu được gửi đến từ nhiều client cùng một lúc). Khi nhận được một bản tin bất kỳ, server sẽ nhanh chóng gửi lại một bản tin xác nhận thành công. Tiếp theo, server bóc tách và giải mã bản tin nhận được. Cuối cùng, dữ liệu sẽ được lưu trữ vào CSDL.

Phía Client: Tại tủ phân phối, bộ trung tâm điều khiển RTU được lập trình theo một chương trình vận hành thông minh. Chương trình tự động đo đạc và giám sát các thông số tại trạm, sau đó truyền các bản tin lên server. Bản tin truyền đi chứa các thông tin bao gồm: Thông tin nhà trạm, các thông số điện (như U, I, P, f) và trạng thái các aptomat.

- Cơ sở dữ liệu: Hoạt động cơ bản của CSDL bao gồm quản lý và truy vấn. Lựa chọn sử dụng phần mềm HeidiSQL_9.3 để quản lý và sử dụng ngôn ngữ Java, MySQL để viết chương trình truy xuất dữ liệu. Cụ thể, CSDL quản lý các phần sau: Dữ liệu tài khoản phân quyền; dữ liệu thông tin các trạm điện; dữ liệu thông số đo của từng địa chỉ ID, từng công-tơ của mỗi tủ đóng cắt; dữ liệu đóng cắt aptomat.

- Website giám sát và điều khiển: Trong website giám sát và điều khiển sẽ có nhiều trang giao diện khác nhau tương ứng với các lựa chọn. Đầu tiên, khi bắt đầu sẽ có trang yêu cầu đăng nhập hệ thống cho người vận hành. Sau đó, nếu người vận hành gõ đúng mật khẩu thì sẽ xuất hiện trang giao diện tiếp theo cho phép người vận hành có thể giám sát và điều khiển trạm điện từ xa.



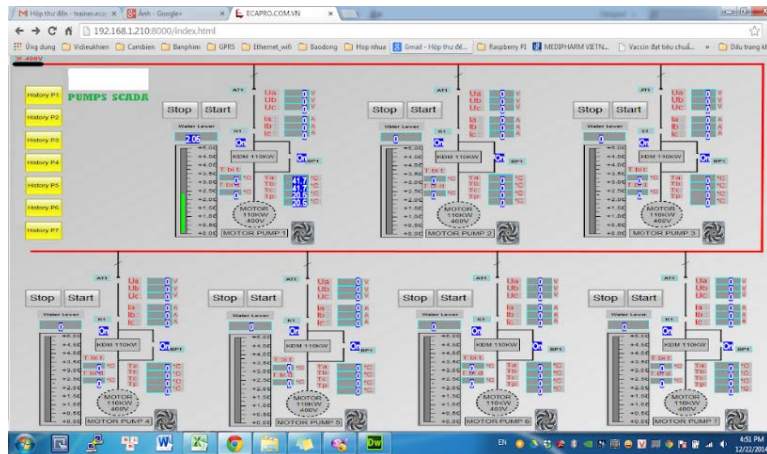
Hình 7. Lưu đồ thuật toán thu thập dữ liệu

5. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG HỆ THỐNG

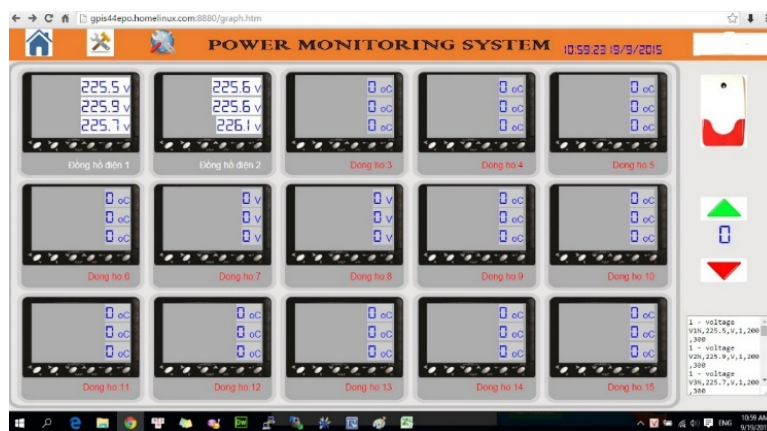
Sau khi hoàn thiện việc thiết kế phần cứng, tác giả đã sử dụng tủ điện và đưa tất cả các thành phần vào bên trong tủ. Các đồng hồ giám sát PM710 được đặt trên mặt tủ để dễ dàng trong việc quan sát, vận hành. Mô hình hoạt động của hệ thống như Hình 8 và phần mềm giám sát, điều khiển thể hiện ở Hình 9 và 10.



Hình 8. Mô hình hoạt động của hệ thống



Hình 9. Giao diện giám sát và điều khiển



Hình 10. Giao diện quản lý điện năng của thiết bị ECA-GPIs6.6CE

6. KẾT LUẬN

Sau thời gian thử nghiệm, hệ thống đã đáp ứng được các yêu cầu đặt ra, giúp người vận hành giám sát các thông số của lưới điện, dễ dàng lập các biểu đồ phụ tải, điều khiển từ xa việc đóng/cắt các thiết bị điện, phát hiện kịp thời khi có sự cố để tìm cách cấp điện lại cho phụ tải. Do vậy, việc lắp đặt và triển khai sử dụng hệ thống giúp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, nâng cao chất lượng điện năng, an toàn, giảm thời gian mất điện của khách hàng, nâng cao tính kinh tế trong vận hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.G. Phadke. Synchronized Phasor Measurements in Power Systems. IEEE Computer Applications in Power, 1993.
- [2] J.G. Proakis. Digital Communications. McGraw-Hill, Newyork, 1995.
- [3] Helsinki. Ageing and life prediction. Helge Palmen CEEES Helsinki, 2008.
- [4] Internet: <https://schneider-electric.com>; abb.com; siemens.com; microchip.com; analog.com; st.com; ti.com; atmel.com.
- [5] Venkata Chaluvadi. Accelerated Life Testing of Electronic Revenue Meters. Clemson University Tiger Print, 2008.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management_system.

[7] Lê Xuân Sanh, Trần Vũ Kiên. Nghiên cứu thiết kế hệ thống giám sát, điều khiển từ xa cho lưới phân phối điện hạ áp. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 60(1), 01/2018.