

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG GIÁM SÁT – ĐIỀU KHIỂN TỪ XA CHO LƯỚI PHÂN PHỐI ĐIỆN HẠ ÁP

RESEARCH AND DESIGN REMOTE MONITORING – CONTROL SYSTEMS FOR LOWER VOLTAGE DISTRIBUTION GRID

Lê Xuân Sanh, Trần Vũ Kiên

Trường Đại học Điện lực; sanhlx@epu.edu.vn, kientv@epu.edu.vn

Tóm tắt - 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, v.v... nhằm hiện đại hóa lưới điện. Lưới điện phân phối có ảnh hưởng lớn đến chất lượng điện năng của khách hàng và hiệu quả kinh doanh nên các trạm biến áp phân phối và tủ hạ áp trung gian cần được tự động hóa giám sát, đo lường từ xa. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu, chế tạo tủ phân phối hạ áp, có thể điều khiển việc đóng cắt, giám sát các thông số của lưới điện, quản lý điện năng từ xa nhằm đảm bảo cho hệ thống điện vận hành an toàn, tối ưu, kinh tế và cung cấp điện cho khách hàng với độ tin cậy cao, chất lượng điện năng được nâng cao.

Từ khóa - đo lường giám sát hạ áp; hệ thống quản lý điện năng; lưới điện phân phối; tủ phân phối; tự động hóa lưới điện phân phối.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, lưới điện phân phối hạ áp được các công ty điện lực lắp đặt các thiết bị đóng cắt (aptomat) thao tác bằng tay và thực hiện tại chỗ, 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. 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 thách thức đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu, chế tạo tủ phân phối hạ áp 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, nâng cao chất lượng điện năng, giảm chỉ số SAIDI và SAIFI, giảm nhân công vận hành, xác định chính xác tổn thất tại từng thời điểm hay trong một khoảng thời gian.

2. Xây dựng mô hình giám sát và điều khiển

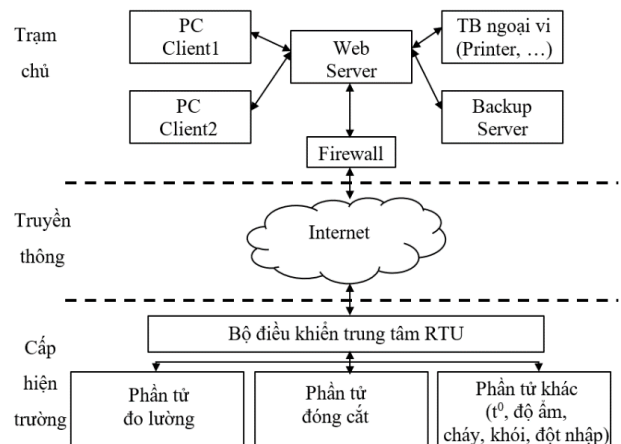
2.1. Cấu trúc hệ thống

Với tình hình vận hành thực tế hiện nay, hệ thống được chia làm 3 tầng (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 truyền thông đối với các trạm phân phối, với bán kính quản lý không xa nên đơn giản, thường sử dụng truyền thông internet (có dây); tầng

Abstract - Along with the development of science and technology, the power company is gradually applying many achievements of electronic, information, computer, control technologies, etc to modernize the power grid. Power distribution grids have a great impact on the customer's power quality and business performance, so distribution substations, intermediate low voltage cabinets need to be automated, remotely monitored. This article is the result of the research and fabrication of low voltage distribution cabinets which can remotely control the switching, monitor of grid parameters, manage power to ensure the power system safe, economical, reliable operation and provide customers with high reliability, quality of power supply.

Key words - automation distribution; distribution cabinets; distribution grid; measurement and monitoring low voltage grid; power management systems.

hiện trường bao gồm các cảm biến, các phần tử đo lường (biến dòng điện, 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 cụ thể của mỗi tầng như sau:



Hình 1. Mô hình giám sát và điều khiển tủ phân phối

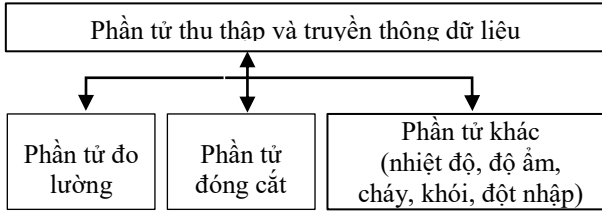
- **Cấp hiện trường:** Không chỉ cho phép thu thập dữ liệu (đo lường các thông số điện, môi trường, trạng thái thiết bị v.v...) và truyền về trung tâm, mà còn nhận lệnh từ trung tâm thực thi các điều khiển đóng, cắt điện. Ngoài ra, hệ thống sẽ tự động vận hành theo các kịch bản điều khiển đã được cài đặt trước đó.

- **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.

- **Trung tâm giám sát và điều khiển:** 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.

2.2. Thiết kế phần cứng

Chức năng của tủ phân phối hạ áp bao gồm: Thực hiện đóng cắt từ xa mạch chính và các phân nhánh (aptomat tổng và nhánh); giám sát các thông số (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:



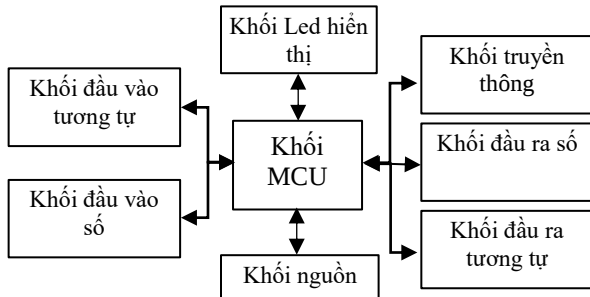
Hình 2. Sơ đồ khối chức năng thiết bị tự động hóa tại tủ phân phối

Cấp hiện trường:

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

Phần tử đo lường điện: Là các phần tử đo lường điện tử, có khả năng đo các tham số U, I, P, Q, f, cosφ, năng lượng tiêu thụ, v.v... và gửi dữ liệu đo lường đến RTU qua chuẩn RS485 được thiết lập tại trạm. Nhóm tác giả lựa chọn sử dụng thiết bị: công tơ điện tử 3 pha gián tiếp đo Trường Đại học Điện lực sản xuất, tham số công tơ là 220V, 40-100 A, 50 Hz, 3.600 xung/kWh và 3.600 xung/kVArh; sử dụng biến dòng BI với tỷ số biến 600/5).

Phần 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 cót sau mỗi lần đóng cắt. Thiết kế tủ với mạch tổng có dòng định mức 600 A, gồm 3 xuất tuyến. Dựa vào các yêu cầu trên, lựa chọn aptomat của hãng Schneider với các mã sau: MT400/630 - NSX630N và MT100/160 - NSX160B.



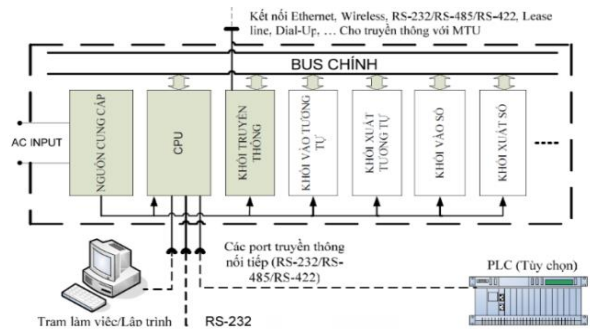
Hình 3. Sơ đồ chức năng thiết bị RTU

Phần tử đo lường khác (nâng cao): Có thể lắp đặt cho hệ thống các tham số nâng cao như các cảm biến đo nhiệt độ, độ ẩm, cảm biến cháy khói và cảm biến phát hiện đột nhập tại hiện trường để có quyết sách vận hành phù hợp.

Phần tử thu thập và truyền thông tại tủ phân phối (RTU): RTU làm nhiệm vụ thu thập các thông số tại hiện trường (từ các phần tử đo lường, đóng cắt) và chấp hành các lệnh từ trung tâm điều khiển [1]. Hình 3 mô tả chức năng của RTU.

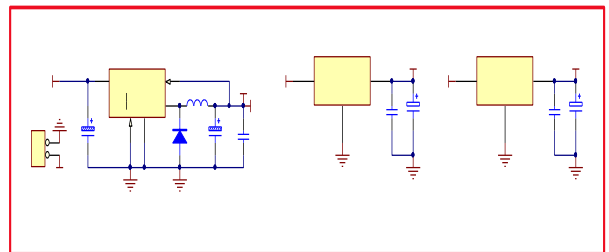
RTU được thiết kế bao gồm bộ xử lý trung tâm, các đầu vào/ra số, tương tự, các mô-đun truyền thông. Bộ xử lý trung tâm sẽ thu thập các thông số trực tiếp từ các đầu vào

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]. Sơ đồ khối bộ xử lý trung tâm có cấu tạo như Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ khối thiết bị RTU

Khối nguồn: Khối nguồn (DC/DC) (Hình 5) có nhiệm vụ chuyển đổi điện DC đầu vào/ra các mức điện áp +5 V, 3,3 V, 2,5 V cung cấp cho bộ xử lý trung tâm, các mạch đầu vào, đầu ra, truyền thông. Nguồn 5V/3A dùng IC nguồn chuyển mạch điện tử switching LM2576HV với điện áp vào 12-60 VDC [3]. Để thiết bị hoạt động liên mạch, ổn định thì nguồn cung cấp phải dùng hai nguồn song song (một chạy, một dự phòng), khi mất điện hoặc hỏng cả hai nguồn thì thiết bị sẽ dùng ắc quy dự phòng, đồng thời cảnh báo hỏng nguồn hay ắc quy yếu để kịp thời thay thế.



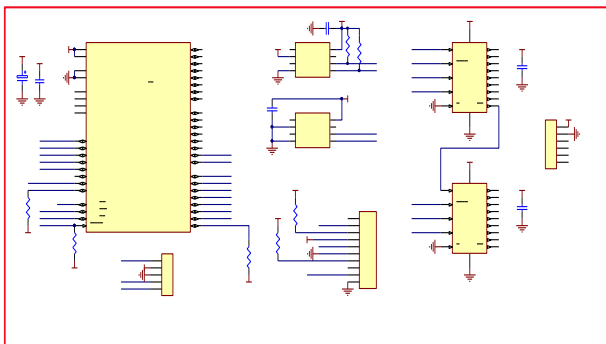
Hình 5. Sơ đồ nguyên lý khối nguồn

Khối vi xử lý của RTU: Khối này có thể dùng các họ vi điều khiển ARM Cortex với tốc độ xử lý nhanh [3]. Tuy nhiên, các mô-đun của RTU và các mô-đun điều khiển nhỏ có thể chỉ cần sử dụng bộ vi xử lý PIC18F46K22 hoạt động được tối đa 64 MHz xung nhịp. Cấu hình cơ bản của khối như sau: 64Kbyte bộ nhớ chương trình; 3.896 Byte RAM bộ nhớ trong; 1.024 Byte bộ nhớ EEPROM; 10 bit ADC với 30 kênh; hỗ trợ các chuẩn giao tiếp SPI, I2C, RS232. Ngoài ra, có thể mở rộng bộ nhớ lưu trữ bằng thẻ nhớ lên đến 32 Gb nhằm đảm bảo lưu các thông tin dữ liệu trong thời gian dài. Sơ đồ nguyên lý của khối vi xử lý được mô tả trên Hình 6.

Khối đầu vào và đầu ra tín hiệu số: Khối đầu vào tín hiệu số gồm 16 đầu vào được cách ly quang và bảo vệ quá áp. Khối đầu ra số được nối với rơ le cách ly hoàn toàn với mạch đo lường giám sát, U23 IC 74HC595 chốt dữ liệu đầu ra số, ULN2803 khuếch đại dòng để đóng, cắt 8 rơ le, tiếp điểm đầu ra rơ le có dòng lớn 5A/125VDC, 8A/220VAC phù hợp cho việc đóng, cắt gián tiếp các máy cắt hay aptomat có điều khiển.

Truyền thông:

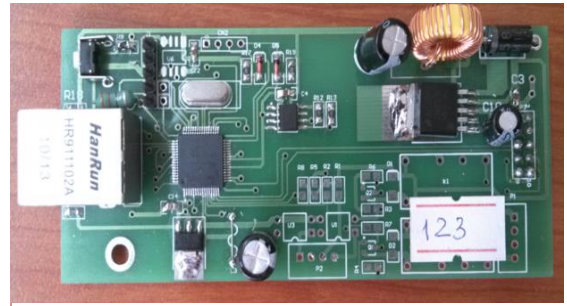
Sử dụng truyền thông qua mạng Internet để truyền thông từ RTU lên Cloud, dùng giao tiếp truyền thông RS232, RS485 để giao tiếp với các phần tử đo lường, đóng cắt của hệ thống và việc truyền dẫn dữ liệu hoàn toàn được thực hiện theo chuẩn truyền thông công nghiệp MODBUS. Dựa trên các giao diện đơn giản 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.



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý khối xử lý trung tâm

Giao tiếp Ethernet qua mạng Internet được thiết kế trên mô-đun Ethernet dùng vi điều khiển PIC18F67J60 được tích hợp sẵn chuẩn Ethernet bên trong. Đây là một giải pháp kết nối hoàn chỉnh, bao gồm cả mô-đun Media Access Control (MAC) và Physical Layer transceiver (PHY). Mô-đun Ethernet đáp ứng tất cả các chuẩn IEEE 802.3 cho kết nối 10-

BaseT cáp đôi xoắn, mô-đun Ethernet sau chế tạo như Hình 7.



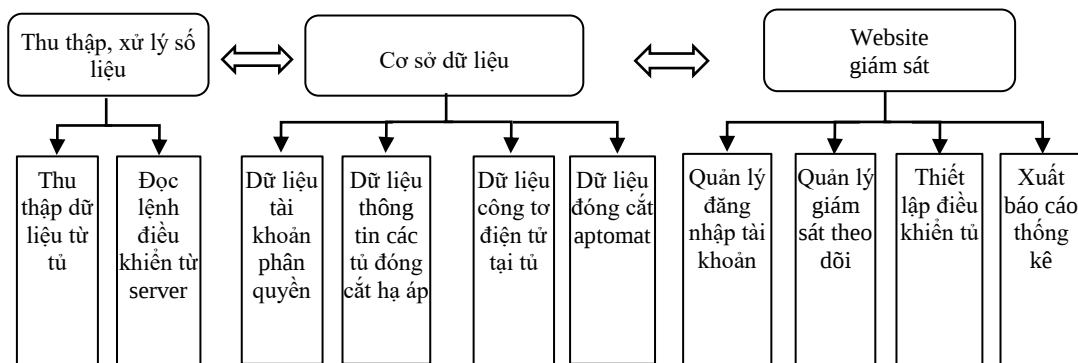
Hình 7. Hình ảnh mô-đun Ethernet sau sản xuất

Giải pháp đồng bộ thời gian GPS cho hệ thống: Thiết bị RTU sẽ tự động thu thập số liệu từ vệ tinh GPS để đồng bộ thời gian (giờ, phút, giây). Từ đó có thể cảnh báo sớm sự cố, tăng tính an toàn vận hành của trạm biến áp trên diện rộng.

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 có độ tin cậy cao.

2.3. Thiết kế phần mềm

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 8 [4, 5].



Hình 8. Sơ đồ chức năng phần mềm hệ thống

Thu thập và xử lý số liệu:

Phần mềm thu nhận tất cả dữ liệu từ các tủ phân phối gửi về, sau đó tính toán và xử lý để lưu vào cơ sở dữ liệu (CSDL). Dữ liệu được truyền và 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.

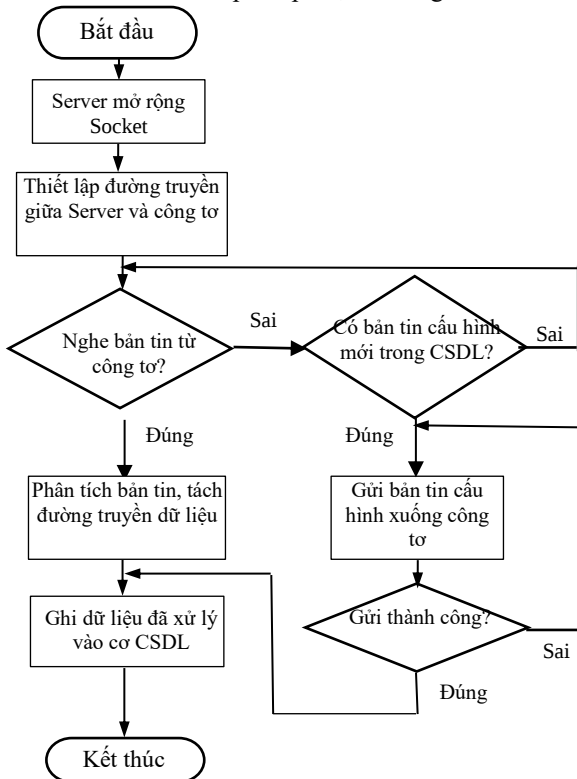
Phần mềm thu thập và xử lý số liệu được thiết kế dựa trên giao diện socket, sử dụng ngôn ngữ lập trình JAVA và thiết kế web với các công cụ HTML, CSS [5]. Lưu đồ thuật toán cho chương trình được mô tả trên Hình 9.

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 công 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 kì, server sẽ lần lượt kiểm tra xem đó là bản tin dữ liệu thu thập hay bản tin cấu hình. Nếu là bản tin dữ liệu thu thập từ các client server bóc tách, nó sẽ giải mã bản tin nhận được. Cuối cùng, dữ liệu sẽ được lưu trữ vào CSDL (nhánh 1). Nếu là bản tin cấu hình xuống cho công tơ, nó sẽ thực hiện gửi và

kiểm tra xem bản tin cấu hình đã được gửi thành công chưa, nếu chưa thành công nó sẽ thực hiện gửi lại, đến khi thành công thì lưu lại thông tin cấu hình này (nhánh 2).

Phía Client: Tại tủ phân phối, bộ trung tâm điều khiển



Hình 9. Lưu đồ thuật toán phần mềm thu thập dữ liệu

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.

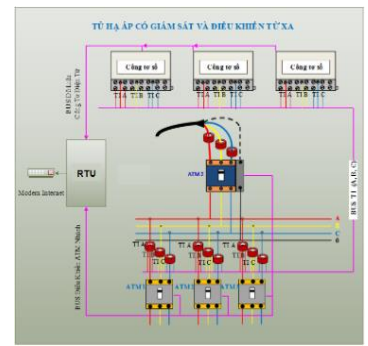
Cơ sở dữ liệu (CSDL):

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 tủ đóng cắt hạ áp; dữ liệu thông số đo của từng ID, từng công tơ của mỗi tủ đóng cắt; dữ liệu đóng cắt aptomat.

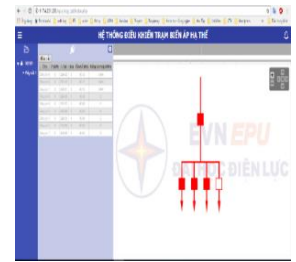
Giám sát:

Với mục tiêu giám sát các thông số của tủ, của công tơ và điều khiển thiết lập từ xa qua Internet, người vận hành chỉ có thể thực hiện được các chức năng này khi có quyền truy cập vào hệ thống. Trong giao diện website có nhiều giao diện chức năng khác nhau, hỗ trợ người giám sát thao tác và làm việc thuận tiện, bao gồm các giao diện chức năng chính sau: Đăng nhập tài khoản; giám sát theo dõi; thiết lập điều khiển (Hình 10).

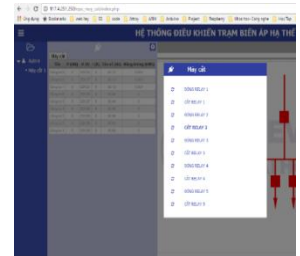
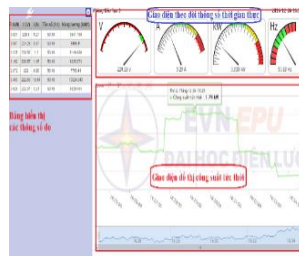
Quản lý quyền đăng nhập hệ thống: Hệ thống phân quyền cho người sử dụng bao gồm 2 loại: Quyền giám sát theo dõi; quyền điều khiển thiết lập thông số cài đặt. Chức năng phân quyền có rất nhiều tác dụng trong công tác quản lý nói chung và vận hành trạm nói riêng.



a) Tủ phân phối hoàn thiện và sơ đồ đấu nối



b) Giao diện đăng nhập và sơ đồ mạch lực



c) Giao diện giám sát, thiết lập và điều khiển

Hình 10. Hình ảnh sau khi đưa tủ vào thử nghiệm

Giao diện người máy (Human machine interface - HMI): Tại máy điều khiển trung tâm của hệ thống cung cấp giao diện cho việc giám sát và điều khiển hệ thống. Giao diện này được xây dựng tương đồng với bản thiết kế của sơ đồ truyền thông và sơ đồ mạch lực, đơn giản cho việc theo dõi hoạt động và thân thiện với người dùng, bao gồm:

+ Vùng thông tin chung: Thông tin hệ thống chỉ ra ngày, tháng hiện thời. Thông tin này cho phép truy cập tới cửa sổ đăng nhập điều hành, hiển thị tên của người trực và thông tin này luôn được ẩn.

+ Banner cảnh báo: Hiển thị những cảnh báo mới nhất được thiết lập thông qua việc cài đặt và không phụ thuộc vào người trực/điều hành hệ thống. Một thanh cuộn được dùng để xem các loại cảnh báo khác.

+ Giao diện sơ đồ mạch lực được thiết kế dạng sơ đồ một sợi để hiển thị trực quan và cung cấp các thông tin hoạt động của hệ thống. Trên giao diện có thể lựa chọn đối tượng để xem thông tin (thông số vận hành, trạng thái đóng/cắt) chi tiết của từng phần tử trong hệ thống. Bên cạnh đó còn quy ước về màu sắc hiển thị, giúp người vận hành dễ dàng giám sát và xác định tình trạng thiết bị hay toàn hệ thống.

+ Gửi lệnh: Hệ thống xây dựng có chức năng tự động điều khiển các thiết bị thông qua các tham số đặt trước. Nó

cũng cho phép người trực/vận hành thao tác tới các thiết bị thông qua việc gửi lệnh. Đối với mỗi thiết bị được lựa chọn điều khiển, sẽ có một cửa sổ cho phép gửi lệnh điều khiển tới thiết bị đó. Các cửa sổ kiểu này cho phép xem thông tin chi tiết về một thiết bị điện được lựa chọn như: Thông tin về trạng thái thiết bị; các lệnh điều khiển thiết bị; thông tin về đo lường; cửa sổ giám sát đo lường.

+ Xem sự kiện, cảnh báo, báo cáo: Các cảnh báo có thể xem trên thanh cuộn hoặc lựa chọn để xem chi tiết hơn dưới dạng cửa sổ. Có thể lựa chọn để xem các loại cảnh báo như: Mức cảnh báo ưu tiên; cảnh báo theo loại hình giám sát (dòng, áp, trạng thái thiết bị). Tương tự, các sự kiện trong hệ thống cũng được lưu trữ và cho phép xem lại hoặc lập báo cáo.

+ Hiện thị biểu đồ, đồ thị: Hiện thị biểu đồ, đồ thị được xuất hiện khi người vận hành muốn quan sát sự biến đổi của lưới điện ở các tuyến, nhánh, thiết bị được lựa chọn (tùy theo yêu cầu của hệ thống), hay để đánh giá thông kê phụ tải ở các thời điểm khác nhau (biểu đồ phụ tải ở các pha tại các thời điểm khác nhau), hoặc đánh giá mất cân bằng pha.

3. Kết luận

Kết quả của quá trình nghiên cứu và lắp đặt, tủ phân

phối được hoàn thiện để thử nghiệm vận hành (tại Trung tâm ART, Trường Đại học Điện lực) vào tháng 6/2017. Sau thời gian thử nghiệm, tủ 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 mạch điện, kịp thời phát hiện khi có sự cố để tìm cách cấp điện lại cho phụ tải. Do vậy, việc lắp đặt tủ tự động phân phối 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 (giảm chỉ số SAIDI, SAIFI), đồng thời 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*, Vol. 6, Issue 2, 1993, pp. 10-15.
- [2] J.G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, Newyork, 1995.
- [3] Helsinki, *Ageing and life prediction*, Helge Palmen CEEES Helsinki, 2008.
- [4] schneider-electric.com; abb.com; siemens.com; microchip.com; analog.com; st.com; ti.com; atmel.com. analog.com.
- [5] Venkata Chaluvadi, *Accelerated Life Testing of Electronic Revenue Meters*, Clemson University Tiger Print, 2008.

(BBT nhận bài: 13/10/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 08/01/2018)