

GIÁM SÁT TỬ ĐIỆN THÔNG MINH IOT DỰA TRÊN NỀN TẢNG FIREBASE VÀ FLUTTER



Nguyễn Quốc Chiến – Nguyễn Tấn Đạt

Lớp CCQ2306AB: Ngành Kỹ Thuật Điện Tử

Khoa Điện – Điện Tử Trường Cao Đẳng Công Thương Tp HCM

Gmail: nguyentandatxab@gmail.com, nguyenquocchien0701@gmail.com

Tóm tắt: Báo cáo này trình bày thiết kế và phát triển hệ thống giám sát điện và điều khiển thiết bị trong phòng sử dụng vi điều khiển ESP32 kết hợp với cảm biến PZEM004T và DHT22. Hệ thống có khả năng đo các thông số điện (V), dòng điện (A), công suất (W), nhiệt độ và độ ẩm, hiển thị trực tiếp trên LCD16x4. Ba role được tích hợp để bật / tắt nguồn tổng, quạt và máy lạnh. Dữ liệu được cập nhật liên tục lên Cơ sở dữ liệu thời gian thực Firebase và hiển thị trên ứng dụng Flutter, đồng thời hỗ trợ tính toán chi phí điện tiêu thụ. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, độ chính xác cao, đáp ứng yêu cầu giám sát và điều khiển tốt trong thời gian thực.

Từ khóa: ESP32, PZEM004T, DHT22, LCD16x4, Firebase, Flutter, giám sát điện năng.

I. Giới thiệu

Trong bối cảnh nhu cầu tiết kiệm năng lượng và quản lý điện năng ngày càng trở nên cấp thiết, các hệ thống giám sát truyền thống đã bộc lộ nhiều hạn chế về tính linh hoạt và khả năng điều khiển từ xa. Bài báo này đề xuất một giải pháp tích hợp IoT, cho phép không chỉ đo lường tổng công suất mà còn điều khiển trực tiếp các phụ tải và tự động tính toán chi phí. Tương tự như cơ chế Digital Twin, hệ thống tạo ra một bản sao dữ liệu số trên Cloud để người dùng tương tác thời gian thực.

II. Kiến trúc hệ thống và thiết kế phần cứng

A. Thiết kế mạch động lực và chấp hành Hệ thống bao gồm các khối chức năng chính được thiết kế để hoạt động ổn định:

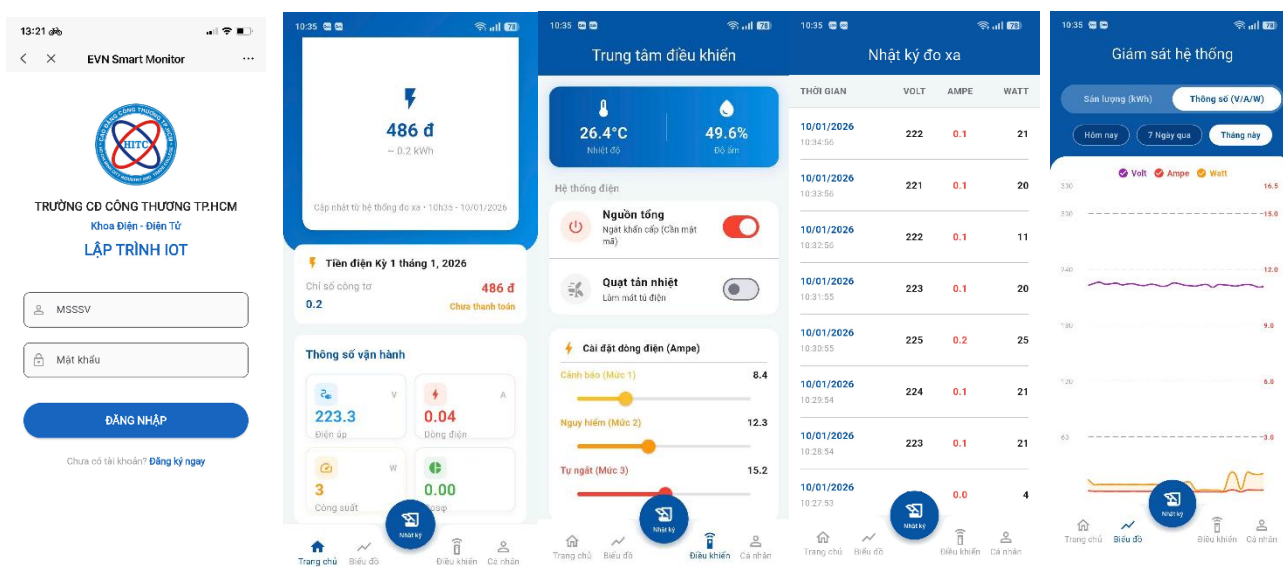
- Bộ đo lường: Module PZEM004T chịu trách nhiệm đo điện áp (V), dòng điện (A) và công suất (W).
- Hệ thống chấp hành: Cụm 3 Relay điều khiển nguồn tổng, quạt và máy lạnh.
- Giao diện tại chỗ: LCD 16x4 hiển thị thông số trực tiếp cho người vận hành.
- Nguồn cấp: Thiết kế tách biệt nguồn điều khiển và nguồn tải để tránh nhiễu hệ thống, tương tự như cách xử lý nhiễu cho động cơ servo.



Hình 1. Mô hình phần cứng

B. Hệ thống điều khiển Edge ESP32 đóng vai trò là bộ não điều khiển trung tâm:

- Xử lý tín hiệu: Đọc dữ liệu UART từ PZEM004T và tín hiệu Digital từ DHT22.
- Quản lý truyền thông: Thiết lập kết nối Wi-Fi và duy trì luồng dữ liệu liên tục với Firebase.

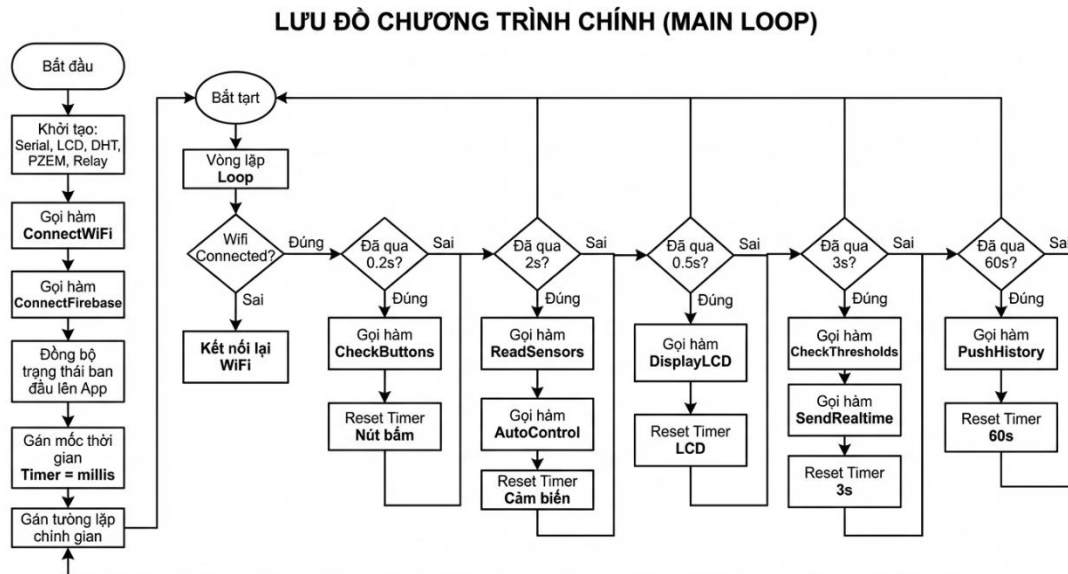


Hình 2. Ảnh giao diện app điều khiển

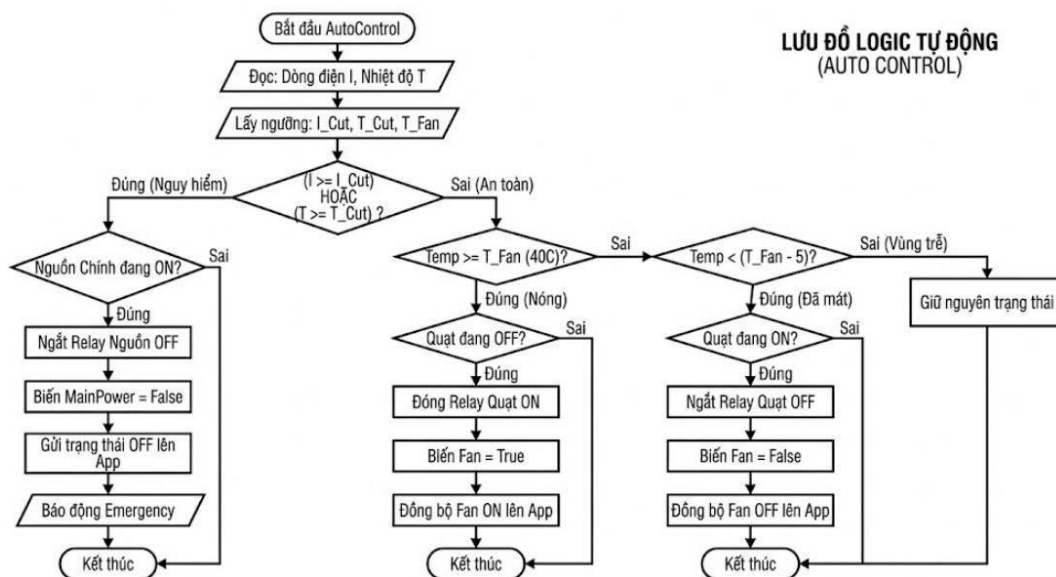
III. Thuật toán và chức năng hệ thống

A. Thuật toán tính toán điện năng

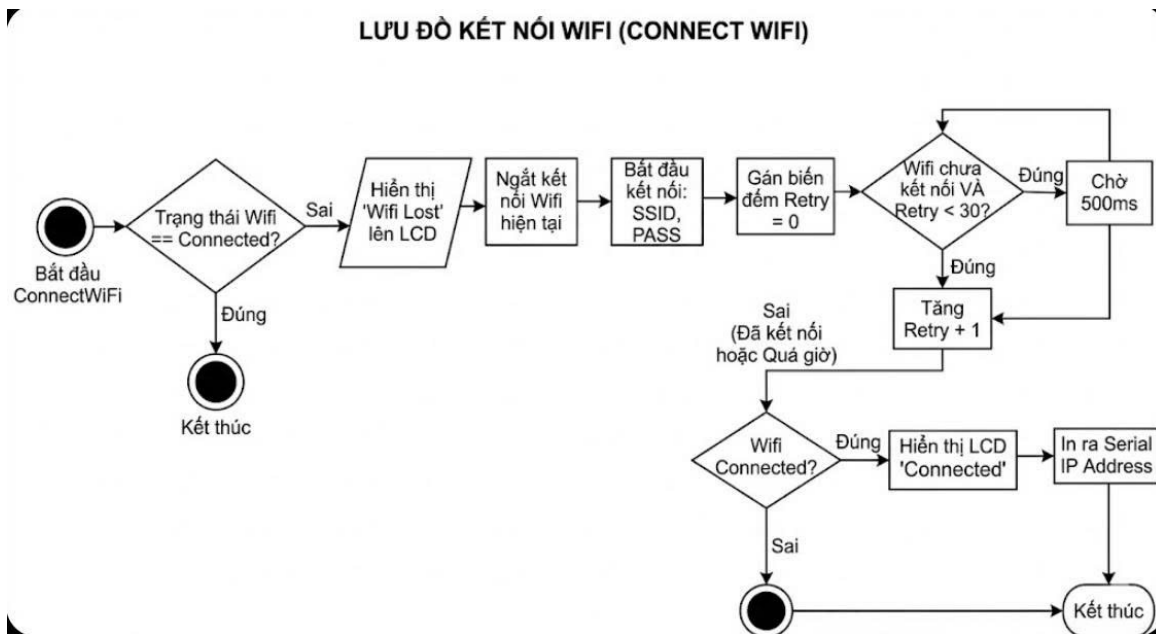
- Thay vì nội suy quỹ đạo, hệ thống tập trung vào tính toán tích lũy năng lượng tiêu thụ theo thời gian.
- Dữ liệu này được sử dụng để tính toán chi phí điện dựa trên đơn giá định sẵn (ví dụ: 2.000 VNĐ/kWh).



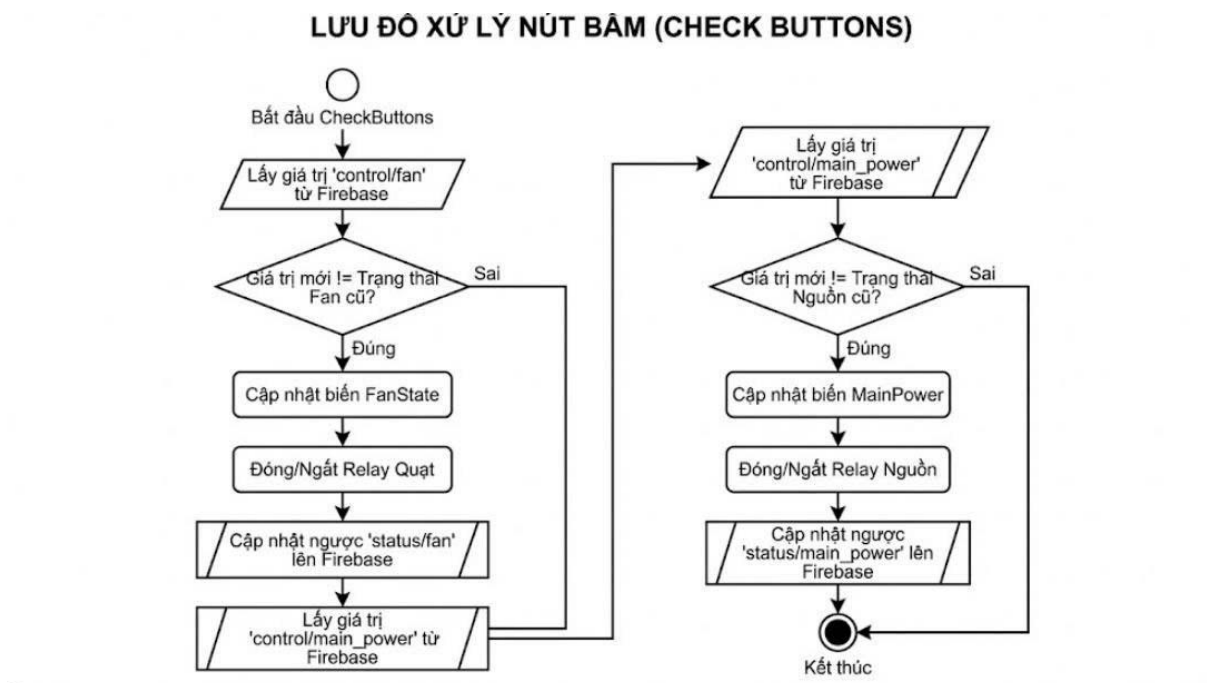
Hình 1. Lưu đồ trình chính



Hình 2. Lưu đồ logic tự động



Hình 3. Lưu đồ kết nối wifi



Hình 4. Lưu đồ xử lý nút bấm

B. Logic điều khiển và giám sát Hệ thống hoạt động theo chu trình khép kín:

1. Đo lường các thông số điện và môi trường.

2. Cập nhật trạng thái lên Firebase theo định dạng JSON.
3. Lắng nghe lệnh điều khiển từ Dashboard để kích hoạt các Relay tương ứng.

IV. Tích hợp Firebase và giao diện Dashboard (Flutter)

A. Đồng bộ dữ liệu thời gian thực Sử dụng Firebase Realtime Database làm trung gian lưu trữ và điều phối dữ liệu:

- Dữ liệu được đẩy từ Edge (ESP32) lên Cloud với độ trễ trung bình 50–100 ms.
- Cơ chế lắng nghe sự kiện (Event Listener) giúp ứng dụng Flutter cập nhật trạng thái tức thì mà không cần tải lại trang.

B. Giao diện Dashboard quản lý Giao diện người dùng được xây dựng trên Flutter bao gồm:

- Biểu đồ trực quan hóa dữ liệu điện năng theo ngày/tháng.
- Bảng điều khiển Relay tích hợp nút bấm ảo để bật/tắt thiết bị từ xa.
- Màn hình hiển thị chi phí tiền điện tạm tính.

V. Thực nghiệm và kết quả

A. Kiểm tra độ chính xác Hệ thống được đối chứng với các thiết bị đo tiêu chuẩn:

- PZEM004T: Sai số công suất $< 2\%$.
- DHT22: Sai số nhiệt độ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, độ ẩm $\pm 2\%$.

B. Hiệu suất truyền thông Đường truyền Firebase ổn định, phản hồi lệnh điều khiển relay diễn ra nhanh chóng, đảm bảo tính realtime của hệ thống giám sát.

C. So sánh hiệu suất

Bảng 1. So sánh phương pháp giám sát

| Phương pháp | Giám sát từ xa | Điều khiển phụ tải | Tính tiền tự động |
|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Công tơ truyền thống | Không | Không | Thủ công |
| Hệ thống IoT đề xuất | Có (Realtime) | Có (3 Relay) | Tự động |

VI. Thảo luận

A. Ý nghĩa khoa học Chứng minh tính hiệu quả của mô hình kết hợp giám sát và điều khiển trong một hệ thống IoT duy nhất. Việc ứng dụng Firebase giúp tối ưu hóa khả năng mở rộng mà không cần hạ tầng máy chủ phức tạp.

B. Thách thức

- Bảo mật: Cần các quy tắc (Security Rules) nghiêm ngặt cho Firebase để tránh truy cập trái phép.
- Độ ổn định: Phụ thuộc vào chất lượng kết nối Wi-Fi tại khu vực đặt tủ điện.

VII. Hướng nghiên cứu tương lai

- Tích hợp AI để dự đoán mức tiêu thụ điện và cảnh báo sớm các sự cố quá tải.
- Phát triển giao diện AR/VR để trực quan hóa dữ liệu tủ điện cho kỹ thuật viên.
- Mở rộng quản lý đa điểm (nhiều phòng/nhiều tủ điện) trên cùng một tài khoản.

VIII. Kết luận

- Bài báo đã chứng minh tính khả thi của hệ thống giám sát tủ điện thông minh sử dụng ESP32 và Firebase. Hệ thống không chỉ giúp quản lý năng lượng hiệu quả mà còn mang lại sự tiện lợi, an toàn cho người dùng thông qua giao diện điều khiển trực quan trên di động.
- Tài liệu tham khảo
 - [1] Espressif Systems, Bảng dữ liệu ESP32 , Espressif Systems, 2024.
 - [2] Peacefair Electronics, Tài liệu giám sát nguồn PZEM004T , Peacefair, 2023.
 - [3] Công ty TNHH Điện tử Aosong , Bảng dữ liệu cảm biến nhiệt độ và độ ẩm DHT22 , Aosong, 2022.
 - [4] Google LLC, Hướng dẫn về Firebase Realtime Database , Google Developers, 2024.
 - [5] Google LLC, Tài liệu Flutter , Nhà phát triển Google , 2025.
 - [6] Hitachi Ltd., Bảng dữ liệu bộ điều khiển LCD HD44780 (LCD16x4) , Hitachi, 2023.
 - [7] Nhà sản xuất role Songle , Bảng dữ liệu mô-đun role SRD-05VDC-SL-C , Songle, 2022.