

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC HUẾ
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**



**ĐỀ TÀI
GIÁM SÁT NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ VỚI ESP32**

Học phần : PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG IoT
Giảng viên hướng dẫn : VÕ VIỆT DŨNG

Huế, Ngày 6 Tháng 4 Năm 2025

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
I. TỔNG QUAN VỀ IoT	
1. Khái niệm về IoT	2
2. Giới thiệu về ESP32	2
3. Ứng dụng của ESP32 trong giám sát năng lượng	3
II. BIẾN TRỞ POTENTIOMETER VÀ ỨNG DỤNG TRONG ĐO LƯỜNG	
1. Nguyên lý hoạt động của biến trở	5
2. Các thông số kỹ thuật	6
3. Ứng dụng của biến trở trong mô phỏng giám sát năng lượng	6
III. THẺ NHỚ SD VÀ LƯU TRỮ DỮ LIỆU	
1. Giới thiệu về thẻ SD và cách thức hoạt động	7
2. Lưu trữ dữ liệu đo lường lên thẻ SD	8
IV. PHƯƠNG PHÁP ĐO CÔNG SUẤT TIÊU THỤ	
1. Công thức tính công suất từ giá trị điện áp đo được	8
2. Ảnh hưởng của biến trở đến giá trị điện áp đầu ra	9
3. Biện pháp hiệu chỉnh sai số	9
V. MÔ HÌNH HỆ THỐNG GIÁM SÁT NĂNG LƯỢNG	
1. Mô hình và cách kết nối các thành phần: ESP32, Potentiometer, thẻ SD	10
2. Nguyên lý hoạt động của mô hình	11
3. Mô phỏng quá trình đo lường và lưu trữ dữ liệu	12
KẾT LUẬN	13

MỞ ĐẦU

- Trong kỷ nguyên công nghệ 4.0, khi các thiết bị thông minh ngày càng trở nên phổ biến, nhu cầu quản lý và tối ưu hóa năng lượng tiêu thụ đã trở thành một trong những ưu tiên hàng đầu của cả cá nhân và doanh nghiệp. Sự gia tăng dân số, quá trình đô thị hóa nhanh chóng cùng với sự phụ thuộc vào các thiết bị điện tử đã đẩy mức tiêu thụ năng lượng toàn cầu lên những con số đáng báo động. Theo báo cáo của Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA), lượng điện tiêu thụ trên toàn thế giới dự kiến sẽ tăng 2,1% mỗi năm cho đến năm 2040 nếu không có các biện pháp kiểm soát hiệu quả. Trong bối cảnh đó, các giải pháp giám sát năng lượng thông minh không chỉ giúp tiết kiệm chi phí mà còn góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường, hướng tới một tương lai bền vững hơn.
- Sự phát triển của Internet vạn vật (IoT) đã mở ra một kỷ nguyên mới cho các hệ thống giám sát năng lượng, trong đó vi điều khiển ESP32 nổi lên như một công cụ mạnh mẽ và linh hoạt. Với khả năng kết nối không dây, hiệu suất xử lý cao và chi phí thấp, ESP32 cho phép người dùng xây dựng các hệ thống giám sát thời gian thực một cách dễ dàng. Khi kết hợp với biến trở (Potentiometer) – một linh kiện đơn giản nhưng hiệu quả trong việc mô phỏng và điều chỉnh tín hiệu điện áp – ESP32 trở thành trung tâm của một hệ thống giám sát năng lượng linh hoạt, có khả năng đo và mô phỏng công suất tiêu thụ của các thiết bị điện trong gia đình hoặc công nghiệp. Hơn nữa, việc lưu trữ dữ liệu đo được trên thẻ SD hoặc gửi lên đám mây mang lại sự linh hoạt trong việc quản lý và phân tích thông tin, đáp ứng nhu cầu đa dạng của người dùng từ giám sát cục bộ đến theo dõi từ xa.
- Tiểu luận này sẽ khám phá cách ESP32, cùng với biến trở, được sử dụng để giám sát năng lượng tiêu thụ, cũng như phân tích hai phương pháp lưu trữ dữ liệu chính: thẻ SD và đám mây. Qua đó, chúng ta sẽ đánh giá tiềm năng ứng dụng thực tiễn của hệ thống này, từ việc quản lý năng lượng trong hộ gia đình đến tối ưu hóa hoạt động trong các nhà máy sản xuất. Đây không chỉ là một giải pháp công nghệ mà còn là bước tiến quan trọng trong việc nâng cao ý thức sử dụng năng lượng trong xã hội hiện đại.

I. Tổng quan về IoT:

1. Khái niệm về IoT:

- Thuật ngữ IoT hay Internet vạn vật đề cập đến mạng lưới tập hợp các thiết bị thông minh và công nghệ tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động giao tiếp giữa thiết bị và đám mây cũng như giữa các thiết bị với nhau. Nhờ sự ra đời của chip máy tính giá rẻ và công nghệ viễn thông băng thông cao, ngày nay, chúng ta có hàng tỷ thiết bị được kết nối với internet. Điều này nghĩa là các thiết bị hàng ngày như bàn chải đánh răng, máy hút bụi, ô tô và máy móc có thể sử dụng cảm biến để thu thập dữ liệu và phản hồi lại người dùng một cách thông minh.
- Internet vạn vật tích hợp “vạn vật” với Internet mỗi ngày. Các kỹ sư máy tính đã và đang thêm các cảm biến và bộ xử lý vào các vật dụng hàng ngày kể từ những năm 90. Tuy nhiên, tiến độ ban đầu rất chậm vì các con chip còn to và công kênh. Loại chip máy tính công suất thấp gọi là thẻ tag RFID, lần đầu tiên được sử dụng để theo dõi các thiết bị đắt đỏ. Khi kích cỡ của các thiết bị điện toán dần nhỏ lại, những con chip này cũng trở nên nhỏ hơn, nhanh hơn và thông minh hơn theo thời gian.
- Chi phí tích hợp công suất điện toán vào trong các vật dụng nhỏ bé hiện nay đã giảm đáng kể. Ví dụ: bạn có thể thêm khả năng kết nối với các tính năng của dịch vụ giọng thoại Alexa vào các MCU tích hợp sẵn RAM chưa đến 1 MB, chẳng hạn như cho công tắc đèn. Nguyên cả một ngành công nghiệp đã bất ngờ xuất hiện với trọng tâm xoay quanh việc trang bị các thiết bị IoT khắp mọi góc ngách căn nhà, doanh nghiệp và văn phòng của chúng ta. Những vật dụng thông minh này có thể tự động truyền và nhận dữ liệu qua Internet. Tất cả những “thiết bị điện toán vô hình” này và công nghệ liên quan được gọi chung là Internet vạn vật.

2. Giới thiệu về ESP32:

- ESP32 là một vi điều khiển mạnh mẽ và đa năng do Espressif Systems, một công ty công nghệ Trung Quốc, phát triển. Ra mắt lần đầu vào năm 2016, ESP32 nhanh chóng trở thành lựa chọn phổ biến trong các dự án IoT (Internet vạn vật) nhờ sự kết hợp giữa hiệu suất cao, chi phí thấp và khả năng kết nối

không dây tích hợp. Đây là phiên bản nâng cấp của ESP8266, với nhiều cải tiến vượt trội về sức mạnh xử lý và tính năng.

- ESP32 được trang bị bộ vi xử lý lõi kép Xtensa LX6 32-bit, hoạt động ở tần số lên đến 240 MHz, cho phép xử lý các tác vụ phức tạp một cách nhanh chóng. Điểm nổi bật của ESP32 là khả năng kết nối Wi-Fi và Bluetooth (bao gồm cả Bluetooth Low Energy - BLE), giúp nó dễ dàng giao tiếp với các thiết bị khác hoặc kết nối trực tiếp với Internet mà không cần phần cứng bổ sung. Ngoài ra, ESP32 còn hỗ trợ nhiều giao diện ngoại vi như ADC (bộ chuyển đổi analog sang số), DAC (bộ chuyển đổi số sang analog), SPI, I2C và UART, cho phép kết nối với các cảm biến, màn hình hoặc mô-đun lưu trữ như thẻ SD.
- Với mức tiêu thụ năng lượng thấp và chế độ ngủ sâu (deep sleep), ESP32 rất phù hợp cho các ứng dụng chạy bằng pin, chẳng hạn như thiết bị giám sát hoặc cảm biến thông minh. Môi trường phát triển linh hoạt, bao gồm Arduino IDE, ESP-IDF và MicroPython, cũng giúp ESP32 dễ dàng được lập trình bởi cả người mới bắt đầu lẫn các nhà phát triển chuyên nghiệp.
- Trong các ứng dụng thực tế, ESP32 được sử dụng rộng rãi trong nhà thông minh (điều khiển đèn, nhiệt độ), giám sát môi trường, tự động hóa công nghiệp và các dự án IoT sáng tạo. Với sự kết hợp giữa hiệu suất, tính linh hoạt và giá thành hợp lý, ESP32 không chỉ là một vi điều khiển mà còn là nền tảng quan trọng thúc đẩy sự phát triển của công nghệ IoT trong thời đại hiện nay.

3. Ứng dụng của ESP32 trong giám sát năng lượng:

- ESP32, với các tính năng vượt trội về xử lý, kết nối và tích hợp linh kiện, đã trở thành một công cụ lý tưởng cho các hệ thống giám sát năng lượng tiêu thụ trong cả gia đình và công nghiệp. Sự linh hoạt của vi điều khiển này cho phép nó đáp ứng nhu cầu đo lường, phân tích và quản lý năng lượng một cách hiệu quả, góp phần tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và giảm chi phí.
- Một trong những ứng dụng chính của ESP32 trong giám sát năng lượng là đo và mô phỏng công suất tiêu thụ của các thiết bị điện. Khi kết hợp với biến trở (Potentiometer), ESP32 có thể thu thập dữ liệu điện áp thay đổi từ biến trở, sau đó tính toán công suất dựa trên công thức $P = U \times I$ (trong đó P là công suất, U là điện áp đo được hoặc giả định, I là dòng điện giả lập). Chẳng hạn,

trong một hộ gia đình, ESP32 có thể mô phỏng năng lượng tiêu thụ của các thiết bị như máy giặt, tủ lạnh hoặc điều hòa không khí bằng cách điều chỉnh biến trở, cung cấp thông tin chi tiết về mức tiêu thụ điện theo thời gian thực. Dữ liệu này có thể được hiển thị trên màn hình OLED hoặc gửi đến người dùng thông qua ứng dụng di động.

- Khả năng kết nối Wi-Fi của ESP32 mở rộng ứng dụng giám sát năng lượng lên tầm cao mới. Bằng cách gửi dữ liệu đến các nền tảng đám mây như ThingSpeak, Blynk hoặc Google Sheets, người dùng có thể theo dõi và phân tích mức tiêu thụ năng lượng từ xa, bất kể họ ở đâu. Ví dụ, một hệ thống giám sát dựa trên ESP32 có thể ghi lại dữ liệu mỗi 15 giây và tạo biểu đồ trực quan, giúp nhận diện thời điểm tiêu thụ cao điểm hoặc kiểm tra tính ổn định của hệ thống mô phỏng. Điều này đặc biệt hữu ích trong các nhà máy hoặc văn phòng, nơi việc quản lý năng lượng ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí vận hành.
- Ngoài ra, ESP32 hỗ trợ lưu trữ cục bộ thông qua thẻ SD, phù hợp với các khu vực không có kết nối Internet ổn định. Dữ liệu năng lượng tiêu thụ được ghi lại dưới dạng tệp CSV, cho phép phân tích sau này mà không cần truyền tải trực tuyến. Ứng dụng này rất thực tiễn trong các dự án giám sát năng lượng ở vùng sâu, vùng xa hoặc các hệ thống độc lập.
- ESP32 còn có tiềm năng mở rộng trong tự động hóa. Khi tích hợp với các rơ-le hoặc thiết bị điều khiển, nó có thể tự động ngắt thiết bị tiêu thụ quá nhiều năng lượng (dựa trên ngưỡng từ biến trở) hoặc gửi cảnh báo qua email, SMS khi vượt ngưỡng cài đặt. Trong các hệ thống năng lượng tái tạo như điện mặt trời, ESP32 có thể mô phỏng hiệu suất của pin hoặc tấm năng lượng bằng biến trở, đảm bảo sử dụng tối ưu nguồn tài nguyên.
- Tóm lại, ứng dụng của ESP32 trong giám sát năng lượng không chỉ dừng lại ở việc đo lường mà còn mở rộng sang quản lý thông minh và tối ưu hóa. Với chi phí thấp, tính linh hoạt cao và khả năng tích hợp IoT, ESP32 đang đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng các giải pháp năng lượng bền vững và hiệu quả..

II. Biến trở (Potentiometer) và ứng dụng trong đo lường:

- Biến trở (Potentiometer) là một linh kiện điện tử phổ biến, được sử dụng rộng rãi trong đo lường nhờ khả năng điều chỉnh điện trở linh hoạt và cung cấp tín

hiệu analog. Trong các hệ thống giám sát năng lượng, biến trở có thể đóng vai trò hỗ trợ mô phỏng hoặc hiệu chỉnh phép đo.

1. Nguyên lý hoạt động của biến trở:

- Biến trở (Potentiometer) là một loại điện trở có khả năng thay đổi giá trị thông qua cơ chế cơ học, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng đo lường và điều khiển nhờ tính linh hoạt và đơn giản. Linh kiện này thường bao gồm ba chân: hai chân cố định (A và B) nối với hai đầu của dải điện trở, và một chân trượt (Wiper) di chuyển trên dải điện trở để lấy ra điện áp hoặc điện trở mong muốn. Biến trở có thể được điều chỉnh bằng cách xoay (rotary potentiometer) hoặc trượt (slide potentiometer), tùy thuộc vào thiết kế.
- Cơ chế hoạt động
 - Nguyên lý hoạt động của biến trở dựa trên định luật Ohm ($V = I \times R$) và nguyên tắc chia áp. Dải điện trở bên trong biến trở là một vật liệu dẫn điện (thường là carbon hoặc dây kim loại) có điện trở tổng cố định (ví dụ: 10kΩ). Khi một điện áp đầu vào (V_{in}) được cấp vào hai chân cố định A và B, chân trượt (Wiper) hoạt động như một điểm chia áp, tạo ra điện áp đầu ra (V_{out}) thay đổi theo vị trí của nó trên dải điện trở.
- Công thức cơ bản:

$$V_{out} = V_{in} \times (R_2 / (R_1 + R_2))$$

Trong đó:

V_{in} : Điện áp đầu vào áp dụng giữa chân A và chân B (thường là 3.3V hoặc 5V khi dùng với ESP32).

R_1 : Điện trở từ chân A đến vị trí Wiper.

R_2 : Điện trở từ vị trí Wiper đến chân B.

Tổng $R_1 + R_2$ luôn bằng điện trở định mức của biến trở (ví dụ: 10kΩ).

- Quá trình thay đổi điện áp
 - Khi Wiper di chuyển trên dải điện trở, tỷ lệ giữa R_1 và R_2 thay đổi, dẫn đến V_{out} thay đổi tuyến tính từ 0V (Wiper gần chân B) đến V_{in} (Wiper gần chân A).

Ví dụ 1: Với biến trở 10kΩ, $V_{in} = 5V$, nếu Wiper ở giữa (50% dải), thì $R_1 = R_2 = 5kΩ$. Ta có:

$$V_{out} = 5 \times (5 / (5 + 5)) = 2.5V.$$

Ví dụ 2: Nếu Wiper ở 25% từ chân B, $R_2 = 2.5k\Omega$, $R_1 = 7.5k\Omega$, thì:

$$V_{out} = 5 \times (2.5 / (2.5 + 7.5)) = 1.25V.$$

- ESP32 có thể đọc V_{out} này qua bộ chuyển đổi analog sang số (ADC), thường có độ phân giải 12-bit (0-4095), tương ứng với thang điện áp 0-3.3V (vì ESP32 hoạt động ở mức 3.3V). Giá trị ADC sau đó được quy đổi thành điện áp thực tế để xử lý, ví dụ: $V_{out} = (ADC_value / 4095) \times 3.3$.

2. Các thông số kỹ thuật:

➤ Biến trở có nhiều loại (xoay, trượt, số), với các thông số chính:

- Điện trở định mức: Thường từ $1k\Omega$ đến $1M\Omega$ (ví dụ: $10k\Omega$, $50k\Omega$).
- Công suất định mức: 0.1W - 2W, tùy loại (thường 0.25W cho ứng dụng nhỏ).
- Điện áp tối đa: Lên đến 200V-500V, nhưng thường dùng ở 3.3V hoặc 5V với vi điều khiển.
- Độ tuyến tính: Sai số $\pm 5\%$ đến $\pm 20\%$, tùy chất lượng.
- Góc xoay: 270° - 300° (biến trở xoay) hoặc chiều dài trượt (biến trở trượt).
- Nhiệt độ hoạt động: $-55^\circ C$ đến $+125^\circ C$.
- Tuổi thọ: 10,000-100,000 chu kỳ xoay, tùy loại.
- Những thông số này cho thấy biến trở phù hợp với các ứng dụng đo lường đơn giản, giá rẻ, nhưng không bền cho điều chỉnh liên tục.

3. Ứng dụng của biến trở trong mô phỏng giám sát năng lượng:

➤ Mô phỏng mức tiêu thụ năng lượng:

- Biến trở có thể tạo ra tín hiệu điện áp thay đổi để mô phỏng mức tiêu thụ năng lượng của một thiết bị điện.
- Cách thực hiện: Nối biến trở (ví dụ: $10k\Omega$) với nguồn 3.3V từ ESP32, điều chỉnh chân trượt (Wiper) để xuất điện áp từ 0V đến 3.3V. ESP32 đọc giá trị này qua ADC, giả lập công suất tiêu thụ bằng cách quy đổi điện áp thành giá trị công suất (ví dụ: 0-500W).
- Ví dụ: $V_{out} = 1.65V$ (nửa thang 3.3V) có thể được lập trình để tương ứng với 250W. Công thức: $P = (V_{out} / 3.3) \times 500$.
- Lợi ích: Kiểm tra hệ thống đo lường mà không cần tải thực tế.

➤ Điều chỉnh ngưỡng giám sát:

- Biến trở được dùng để thiết lập ngưỡng công suất thủ công trong hệ thống giám sát.
 - Ứng dụng: ESP32 đọc giá trị từ biến trở để so sánh với công suất giả lập, kích hoạt cảnh báo (như đèn LED) nếu vượt ngưỡng.
 - Ví dụ: Đặt biến trở ở 2V (tương ứng 300W), hệ thống ghi nhận khi công suất mô phỏng vượt quá mức này.
- Mô phỏng tải thay đổi:
- Biến trở điều chỉnh dòng qua một tải nhỏ (như điện trở hoặc LED) để mô phỏng sự thay đổi tiêu thụ năng lượng.
 - Cách thực hiện: Nối biến trở nối tiếp với tải, thay đổi điện trở để tăng/giảm dòng. ESP32 tính công suất dựa trên điện áp đo được qua tải.
 - Ví dụ: Điện trở giảm từ 10kΩ xuống 5kΩ, dòng tăng từ 0.33mA lên 0.66mA (với 3.3V), mô phỏng công suất tăng.
- Kiểm tra lưu trữ dữ liệu trên thẻ SD:
- Biến trở cung cấp tín hiệu thay đổi để kiểm tra quá trình ghi dữ liệu công suất vào thẻ SD.

III. Thẻ nhớ SD và lưu trữ dữ liệu:

1. Giới thiệu về thẻ SD và cách thức hoạt động:

- Thẻ nhớ SD (Secure Digital) là một phương tiện lưu trữ dữ liệu nhỏ gọn và phổ biến, thường được sử dụng trong các thiết bị di động, máy ảnh kỹ thuật số và hệ thống nhúng như ESP32.
- Cấu trúc và nguyên lý hoạt động:
- Thành phần chính: Thẻ SD bao gồm bộ nhớ flash để lưu trữ dữ liệu và bộ điều khiển để xử lý dữ liệu đọc/ghi.
 - Chuẩn giao tiếp: ESP32 có thể giao tiếp với thẻ SD thông qua hai giao thức chính:
 - + SPI (Serial Peripheral Interface): Phổ biến trong các hệ thống nhúng do dễ triển khai.
 - + SDIO (Secure Digital Input Output): Cho tốc độ truyền tải cao hơn nhưng phức tạp hơn.
 - Quy trình hoạt động:
 - + ESP32 khởi tạo thẻ SD bằng cách thiết lập giao tiếp SPI hoặc SDIO.

+ Đọc hoặc ghi dữ liệu bằng cách gửi lệnh điều khiển.

+ Dữ liệu được lưu trữ trong bộ nhớ flash của thẻ dưới dạng tệp có cấu trúc.

➤ Ưu điểm của việc sử dụng thẻ SD với ESP32

- Dung lượng lưu trữ lớn: Có thể lưu trữ hàng nghìn bản ghi dữ liệu đo lường.
- Tốc độ truy xuất nhanh: Đáp ứng tốt cho các ứng dụng thời gian thực.
- Dễ dàng xuất dữ liệu: Có thể tháo thẻ và đọc dữ liệu trên máy tính để phân tích.

2. Lưu trữ dữ liệu đo lường lên thẻ SD:

➤ Trong hệ thống giám sát năng lượng, ESP32 sẽ ghi dữ liệu đo được từ cảm biến dòng điện vào thẻ SD để lưu trữ lâu dài.

➤ Các bước thực hiện lưu trữ dữ liệu:

- Khởi tạo và kiểm tra thẻ SD:
 - + ESP32 kiểm tra xem thẻ SD có được kết nối và hoạt động bình thường hay không.
 - + Nếu thành công, hệ thống sẽ tiếp tục, nếu thất bại, sẽ đưa ra thông báo lỗi.
- Tạo và mở tệp trên thẻ SD:
 - + Một tệp có định dạng .txt hoặc .csv sẽ được tạo để lưu trữ dữ liệu.
- Ghi dữ liệu đo lường vào tệp:
 - + Khi ESP32 đọc giá trị từ cảm biến dòng điện, nó sẽ tính toán công suất tiêu thụ và ghi kết quả vào thẻ SD theo định dạng:
- Đóng tệp sau khi ghi dữ liệu:
 - + Điều này giúp đảm bảo dữ liệu không bị mất khi hệ thống bị tắt đột ngột.

IV. Phương pháp đo công suất tiêu thụ:

1. Công thức tính công suất từ giá trị điện áp đo được:

➤ Công suất tiêu thụ (P) của một thiết bị được tính dựa trên công thức cơ bản:

$$P = U \times I$$

➤ Trong đó:

- P: Công suất (Watt).

- U: Điện áp (Volt), đo được từ biến trở hoặc tải.
- I: Dòng điện (Ampere), có thể giả lập hoặc đo gián tiếp.

➤ Khi dùng biến trở để mô phỏng:

- Biến trở tạo ra điện áp (Vout) thay đổi, được ESP32 đọc qua ADC.
- Giả sử I là hằng số (ví dụ: từ tải cố định) hoặc được quy đổi từ Vout.
- Công thức mô phỏng: $P = k \times V_{out}$

k: Hệ số quy đổi (Watt/Volt), tùy thuộc vào cách lập trình.

Ví dụ: Với Vout từ 0-3.3V (thang ADC của ESP32), giả lập công suất 0-500W, thì $k = 500 / 3.3 \approx 151.5$. Nếu $V_{out} = 1.65V$, $P = 151.5 \times 1.65 \approx 250W$.

2. Ảnh hưởng của biến trở đến giá trị điện áp đầu ra:

- Biến trở ảnh hưởng trực tiếp đến điện áp đầu ra (Vout) và do đó tác động đến phép tính công suất:
- Vị trí chân trượt (Wiper):
 - + Khi Wiper di chuyển trên dải điện trở, Vout thay đổi tuyến tính từ 0V đến Vin (thường 3.3V với ESP32). Ví dụ, với biến trở $10k\Omega$ và $V_{in} = 3.3V$, Wiper ở giữa cho $V_{out} = 1.65V$.
- Độ tuyến tính:
 - + Biến trở rẻ tiền có thể không tuyến tính hoàn toàn (sai số $\pm 10-20\%$), dẫn đến Vout không chính xác ở một số vị trí.
- Nhiều và tiếp xúc:
 - + Tiếp xúc kém giữa Wiper và dải điện trở gây nhiễu, làm Vout dao động, ảnh hưởng đến giá trị công suất tính được.
- Tải nối với biến trở:
 - + Nếu biến trở nối với tải lớn, dòng qua nó tăng, làm giảm Vout do sụt áp nội tại, gây sai lệch phép đo.

Ví dụ: Nếu Vout mong muốn là 2V nhưng nhiễu làm dao động $\pm 0.1V$, công suất tính được dao động từ 288W đến 318W (với $k = 151.5$), gây sai số.

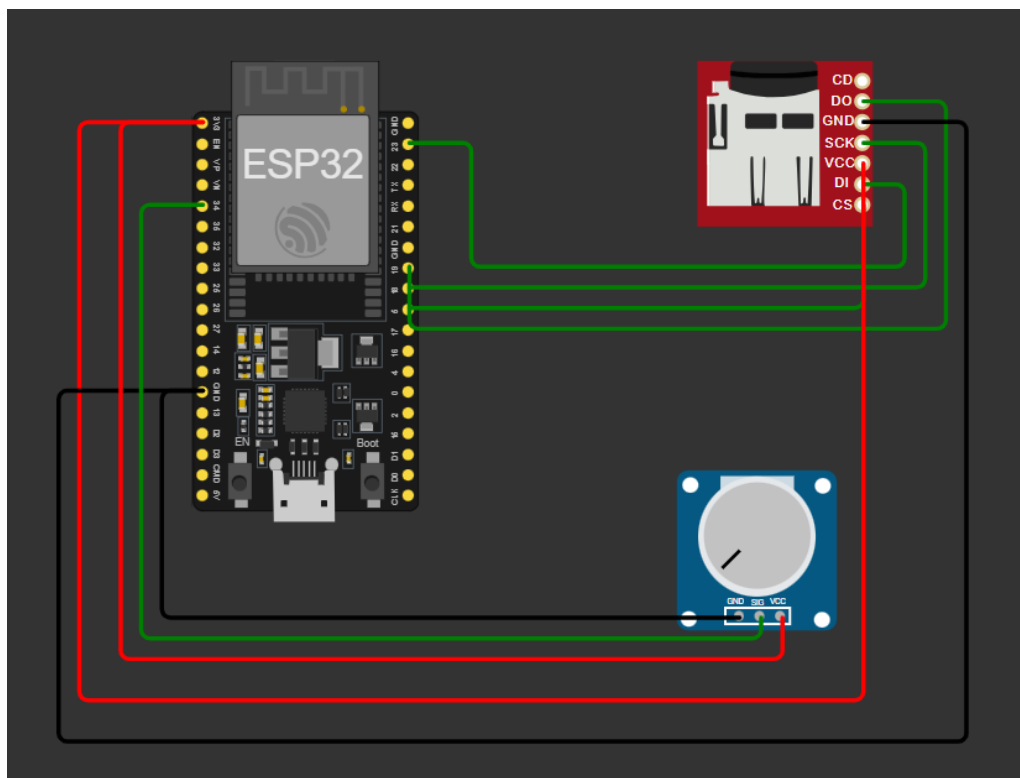
3. Biện pháp hiệu chỉnh sai số:

- Để đảm bảo độ chính xác khi dùng biến trở đo điện áp và công suất:
 - Hiệu chuẩn ban đầu:

- + Đo Vout ở các vị trí cố định (0%, 50%, 100%) bằng đồng hồ vạn năng, so sánh với giá trị ADC của ESP32. Điều chỉnh hệ số trong mã lập trình nếu có sai lệch.
- + Ví dụ: Nếu Vout thực tế là 1.7V nhưng ADC đọc 1.65V, thêm hệ số hiệu chỉnh ($V_{out_cal} = V_{out} \times 1.03$).
- Lọc nhiễu tín hiệu:
 - + Phần cứng: Thêm tụ điện 10 μF giữa chân Wiper và GND để giảm dao động tần số cao.
 - + Phần mềm: Lấy trung bình động từ nhiều mẫu (ví dụ: 50 mẫu) để làm mịn dữ liệu.
- Kiểm tra tải:
 - + Đảm bảo dòng qua biến trở nhỏ (< công suất định mức, thường 0.25W) để tránh sụt áp. Ví dụ, với 3.3V và 10k Ω , dòng tối đa $\approx 0.33mA$, công suất $\approx 0.001W$, đủ an toàn.
- Lưu trữ và phân tích:
 - + Ghi dữ liệu vào thẻ SD sau khi hiệu chỉnh (V_{out_cal}), đảm bảo công suất phản ánh đúng giá trị mô phỏng.

V. Mô hình hệ thống giám sát năng lượng:

1. Mô hình và cách kết nối các thành phần: ESP32, Potentiometer, thẻ SD:



- ESP32 với Biến trở (Potentiometer):
 - VCC (chân bên phải) của biến trở được nối với chân 3.3V của ESP32.
 - GND (chân bên trái) của biến trở được nối với chân GND của ESP32.
 - Chân tín hiệu (SIG ở giữa) của biến trở được nối với GPIO 34 của ESP32 (chân ADC dùng để đọc điện áp thay đổi).
- ESP32 với Module thẻ SD:
 - CS nối với GPIO 5 của ESP32.
 - MOSI (DI) nối với GPIO 23.
 - MISO (DO) nối với GPIO 19.
 - SCK nối với GPIO 18.
 - VCC nối với chân 3.3V của ESP32 (lưu ý: một số module SD cần 5V, nhưng module trong hình thường hoạt động tốt ở 3.3V).
 - GND nối với chân GND của ESP32.

2. Nguyên lý hoạt động của mô hình:

- Tạo tín hiệu điện áp:
 - Biến trở hoạt động như một nguồn điện áp đầu vào mô phỏng mức tiêu thụ năng lượng. Khi người dùng xoay biến trở, giá trị điện áp thay đổi từ 0 đến 3.3V.
- Xử lý tín hiệu:
 - ESP32 đọc giá trị điện áp từ chân GPIO 34 thông qua bộ ADC.
 - Giá trị này được chuyển đổi thành công suất tiêu thụ bằng công thức:

$$P = k \times V_{out}$$

Với hệ số $k = 151.5$, để chuyển đổi từ dải điện áp 0–3.3V thành công suất giả lập 0–500W.

- Lưu trữ dữ liệu:
 - Mỗi lần đọc giá trị, ESP32 sẽ ghi lại thời gian thực và công suất đo được vào thẻ SD dưới dạng dòng CSV.
 - Ví dụ: "2025-04-05 10:00:00, 250W"
- Lặp lại theo chu kỳ:
 - Quá trình này diễn ra liên tục theo chu kỳ nhất định (ví dụ: mỗi 1 giây), cho phép thu thập dữ liệu theo thời gian thực.

3. Mô phỏng quá trình đo lường và lưu trữ dữ liệu:

- Bước khởi động: ESP32 khởi động và kiểm tra kết nối với biến trở và thẻ SD.
- Bước đo: Giả sử biến trở được xoay ở vị trí giữa:
 - ESP32 đọc giá trị ADC $\approx 2047/4095 \rightarrow V_{out} \approx 1.65V$ out $\approx 1.65V$.
 - Tính công suất: $P = 151.5 \times 1.65 \approx 250W$
- Bước lưu trữ: Dữ liệu được ghi vào file "energy.csv" trên thẻ SD.
- Lặp lại: Khi biến trở được xoay để thay đổi điện áp (VD: $V_{out} = 2V$ out = 2V), ESP32 tiếp tục ghi.

KẾT LUẬN

- Hệ thống giám sát năng lượng tiêu thụ với ESP32 mang lại giải pháp hiệu quả trong việc theo dõi và tối ưu hóa việc sử dụng điện năng. Bằng cách sử dụng cảm biến dòng điện (potentiometer) để đo công suất tiêu thụ và lưu trữ dữ liệu trên thẻ nhớ SD, hệ thống cho phép người dùng dễ dàng phân tích, giám sát và đưa ra các quyết định điều chỉnh phù hợp nhằm tiết kiệm năng lượng.
- Ngoài ra, với khả năng mở rộng và kết nối IoT của ESP32, hệ thống có thể được nâng cấp để truyền dữ liệu lên đám mây, hiển thị thông tin trên giao diện web hoặc ứng dụng di động, giúp nâng cao tính tự động hóa và quản lý năng lượng thông minh hơn. Trong tương lai, việc tích hợp thêm các thuật toán phân tích dữ liệu và trí tuệ nhân tạo có thể giúp hệ thống đưa ra dự báo và cảnh báo sớm về mức tiêu thụ điện, góp phần tối ưu hóa hiệu suất sử dụng điện trong gia đình và doanh nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] viethansecurity. Thẻ SD là gì? Cách chọn thẻ SD phù hợp cho thiết bị của bạn .
<https://viethansecurity.com/the-sd-la-gi-cach-chon-the-sd-phu-hop-cho-thiet-bi-cua-ban.html>
- [2] Nguyễn Thế Trung. (2023). Nền tảng mở cho IoT - Open IoT Platform (IOP).
<https://itviec.com/blog/iot-platform-la-gi/>
- [3] Amazon Web Services. IoT là gì?
<https://aws.amazon.com/vi/what-is/iot/>
- [4] Công ty TNHH Kỹ thuật Tự động Hưng Phát. Potentiometer là gì?
<https://prosensor.vn/potentiometer-la-gi/>

