

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



**ĐỀ TÀI:
HỆ THỐNG GIÁM SÁT ĐỘ RUNG VỚI ESP32**

TÊN LỚP HỌC PHẦN: PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG IOT

MÃ HỌC PHẦN: 2024-2025.2.TIN4024.005

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN: ThS. VÕ VIỆT DŨNG

HUẾ, THÁNG 4 NĂM 2025

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



ĐỀ TÀI:

HỆ THỐNG GIÁM SÁT ĐỘ RUNG VỚI ESP32

**TÊN LỚP HỌC PHẦN: PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG IOT
MÃ HỌC PHẦN: 2024-2025.2.TIN4024.005**

**Giảng viên hướng dẫn: ThS. Võ Việt Dũng
Sinh viên thực hiện: Phạm Ngọc Cẩm
Mã sinh viên: 21T1020256**

HUẾ, THÁNG 4 NĂM 2025

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

ABBREVIATIONS	MEANING
IoT	Internet of Things
ESP32	Espressif Systems Platform 32-bit
LED	Light Emitting Diode
I2C	Inter - Integrated Circuit
OLED	Organic Light Emitting Diode
GPIO	General Purpose Input Output
VCC	Voltage Common Collector
VIB	Vibration Magnitude

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Hình 1. Bảng mạch ESP32 (Nguồn: nshopvn.com).

Hình 2. Đèn LED trên ESP32 (Nguồn: codientu.online).

Hình 3. Thiết bị MPU6050 (Nguồn: arduinoakit.vn).

Hình 4. Cảm biến đo các giá trị gia tốc trên 3 trục X, Y, Z (Nguồn: arduinoakit.vn).

Hình 5. Cảm biến MPU6050 đo góc quay từ các trục X, Y, Z (Nguồn: arduinoakit.vn).

Hình 6. Chân nối ADD của MPU6050 (Nguồn: arduinoakit.vn).

Hình 7. Chân nối XDA và XCL của MPU6050 (Nguồn: arduinoakit.vn).

Hình 8. Màn hình OLED 128x64 (Nguồn: <https://www.electronicwings.com>).

Hình 9. Loa Buzzer (Nguồn: robotique.tech).

Hình 10. Kết nối các linh kiện trên Wokwi.

Hình 11. Hệ thống giám sát đang ở trạng thái bình thường.

Hình 12. Hệ thống giám sát đang cảnh báo rung động vượt quá ngưỡng an toàn.

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT.....	1
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH	2
MỤC LỤC	3
PHẦN MỞ ĐẦU	4
1. Lý do chọn đề tài:.....	4
2. Mục tiêu nghiên cứu:	4
3. Phương pháp nghiên cứu:	5
PHẦN NỘI DUNG	6
I. Tìm hiểu các thành phần trong hệ thống	6
1. Vi điều khiển ESP32	6
1.1. Khái niệm.....	6
1.2. Cấu hình của ESP32	6
2. Đèn LED	7
2.1. Khái niệm:.....	7
2.2. Các loại đèn LED trên ESP32.....	7
3. Cảm biến gia tốc MPU6050.....	8
3.1. Khái niệm.....	8
3.2. Chức năng của gia tốc MPU6050	9
3.3. Các phương thức giao tiếp MPU6050	10
3.4. Thông số kỹ thuật.....	12
4. Màn hình OLED SSD1306	12
4.1. Khái niệm.....	12
4.2. Thông số kỹ thuật.....	12
5. Loa Buzzer	13
5.1. Khái niệm.....	13
5.2. Phân loại Buzzer	13
II. Xây dựng hệ thống giám sát rung động	13
1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống giám sát rung động.....	13
2. Kết nối bảng mạch và linh kiện trên Wokwi	14
3. Chạy mô phỏng chương trình trên Wokwi	15
4. Ứng dụng trong bảo vệ thiết bị	16
PHẦN KẾT LUẬN.....	18
TÀI LIỆU THAM KHẢO	19

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài:

Trong thời đại công nghiệp 4.0, việc ứng dụng công nghệ vào quá trình giám sát và bảo trì thiết bị là điều cần thiết để đảm bảo hoạt động ổn định và kéo dài tuổi thọ của các hệ thống máy móc. Trong số các yếu tố cần giám sát, độ rung là một chỉ số quan trọng, thường liên quan đến tình trạng hoạt động của các thiết bị cơ điện như động cơ, máy bơm, quạt công nghiệp, v.v. Sự gia tăng bất thường về rung động có thể là dấu hiệu cảnh báo sớm của các vấn đề cơ khí hoặc hao mòn thiết bị. Do đó, đề tài **“Hệ thống giám sát độ rung với ESP32”** được lựa chọn với mục tiêu xây dựng một hệ thống giám sát đơn giản, giá thành rẻ, có khả năng cảnh báo sớm và ứng dụng trong thực tiễn.

Ngoài ra, việc kết hợp cảm biến MPU6050 cùng vi điều khiển ESP32 mang lại sự linh hoạt cao nhờ khả năng xử lý dữ liệu nhanh chóng và kết nối không dây. Đây cũng là một cơ hội để nhóm nghiên cứu tìm hiểu sâu hơn về lập trình nhúng, giao tiếp I2C và tích hợp phần cứng - phần mềm.

2. Mục tiêu nghiên cứu:

Mục tiêu của đề tài **“Hệ thống giám sát rung với ESP32 kết hợp với cảm biến gia tốc MPU6050 để phát hiện rung động, ứng dụng trong bảo vệ thiết bị”** là nghiên cứu và đề xuất một giải pháp giám sát và phát hiện bằng cách ứng dụng công nghệ IoT để bảo vệ các thiết bị. Cụ thể, đề tài hướng đến các mục tiêu sau:

- Tìm hiểu nguyên lý hoạt động của cảm biến gia tốc MPU6050 trong việc phát hiện rung động.
- Xây dựng một hệ thống giám sát rung động sử dụng cảm biến MPU6050 và vi điều khiển ESP32.
- Hiển thị giá trị rung động thực tế theo thời gian thực trên màn hình OLED.
- Thiết kế sơ đồ mạch nguyên lý bằng phần mềm mô phỏng Wokwi để kiểm tra hoạt động trước khi lắp ráp thực tế.
- Thiết lập ngưỡng cảnh báo và kiểm tra hệ thống qua các trường hợp rung động khác nhau.

3. Phương pháp nghiên cứu:

Để thực hiện đề tài “**Hệ thống giám sát rung với ESP32 kết hợp với cảm biến gia tốc MPU6050 để phát hiện rung động, ứng dụng trong bảo vệ thiết bị**”, bài tiểu luận sử dụng các phương pháp như sau:

Phương pháp nghiên cứu tài liệu:

- Thu thập, phân tích tài liệu liên quan đến cảm biến rung MPU6050, vi điều khiển ESP32.
- Tìm hiểu nguyên lý hoạt động của từng linh kiện và cách thức giao tiếp giữa chúng.

Phương pháp mô phỏng trên Wokwi:

- Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống giám sát rung bằng ESP32 trên Wokwi. Kiểm tra hoạt động hoạt động của cảm biến gia tốc MPU6050.
- Đánh giá độ chính xác, độ nhạy và khả năng ứng dụng thực tiễn của hệ thống đã thiết kế.

PHẦN NỘI DUNG

I. Tìm hiểu các thành phần trong hệ thống

1. Vi điều khiển ESP32

1.1. Khái niệm

ESP32 là vi điều khiển giá rẻ, tiêu thụ năng lượng thấp do Espressif Systems phát triển, hỗ trợ WiFi và Bluetooth dual-mode. ESP32 sử dụng bộ vi xử lý Tensilica Xtensa LX6 (lõi đơn hoặc lõi kép) và tích hợp các thành phần như công tắc antenna, RF balun, bộ khuếch đại, bộ lọc và module quản lý năng lượng.

1.2. Cấu hình của ESP32

- CPU: Xtensa Dual-Core LX6 (32bit), tốc độ 160-240 MHz
- RAM: 520 KB SRAM (bao gồm 8 KB RAM RTC tốc độ cao và 8 KB RAM RTC tốc độ thấp cho chế độ DeepSleep)
- Kết nối không dây:

Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/I

Bluetooth: v4.2 BR/EDR and BLE

- Giao tiếp ngoại vi

ADC 12-bit (16 cổng), DAC 8-bit (2cổng).

Hỗ trợ SD card, SDIO/MMC, Ethernet MAC, CAN bus 2.0, IR TX/RX.

PWM trên tất cả các chân GPIO.

- Cảm biến tích hợp:

Cảm biến HALL (từ trường), cảm biến nhiệt độ, cảm biến chạm điện dung (10 đầu vào).

- Bảo mật

Hỗ trợ WPA/WPA2, Secure Boot, mã hóa Flash.

Hỗ trợ tăng tốc phần cứng cho AES, SHA-2, RSA, ECC, RNG.

- Điện áp hoạt động: 2.2V-3.6V.

- Nhiệt độ hoạt động: -40°C đến +85°C.

- Số chân GPIO: 34.

- Module phổ biến: ESP32-WROOM (Diot ESP32 DevKit V1).



Hình 1. Bảng mạch ESP32 (Nguồn: nshopvn.com)

2. Đèn LED

2.1. Khái niệm:

Đèn LED trên ESP32 là một diode phát sáng (Light Emitting Diode) có thể được điều khiển bằng các chân GPIO của ESP32. Đèn LED có thể bật (HIGH / 1) khi có điện áp cấp vào và tắt (LOW / 0) khi không có điện áp cấp.

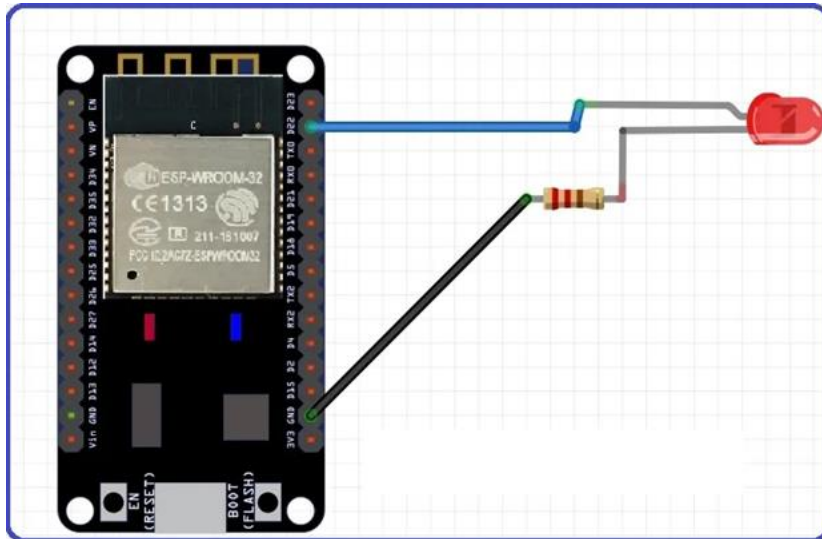
2.2. Các loại đèn LED trên ESP32

2.2.1. LED tích hợp (Onboard LED)

- Một số bo mạch ESP 32 có sẵn một đèn LED được nối với GPIO 2.
- Đèn này thường dùng để báo trạng thái hoặc làm thí nghiệm.

2.2.2. LED ngoài (External LED)

- Đèn LED rời có thể được kết nối bất kì chân GPIO nào của ESP32.
- Khi dùng LED ngoài, cần thêm điện trở (thường $220\ \Omega$ – $1k\ \Omega$) để bảo vệ LED.



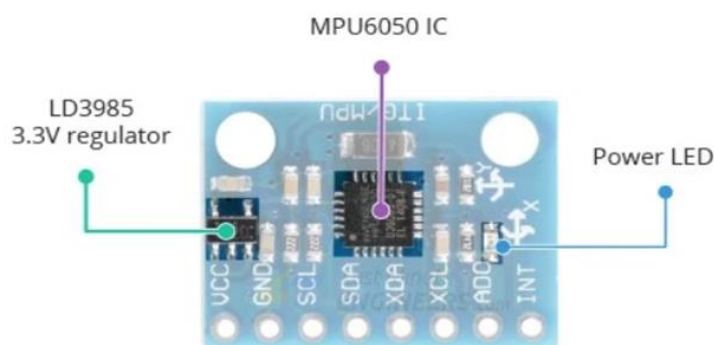
Hình 2. Đèn LED trên ESP32 (Nguồn: codientu.online)

3. Cảm biến gia tốc MPU6050

3.1. Khái niệm

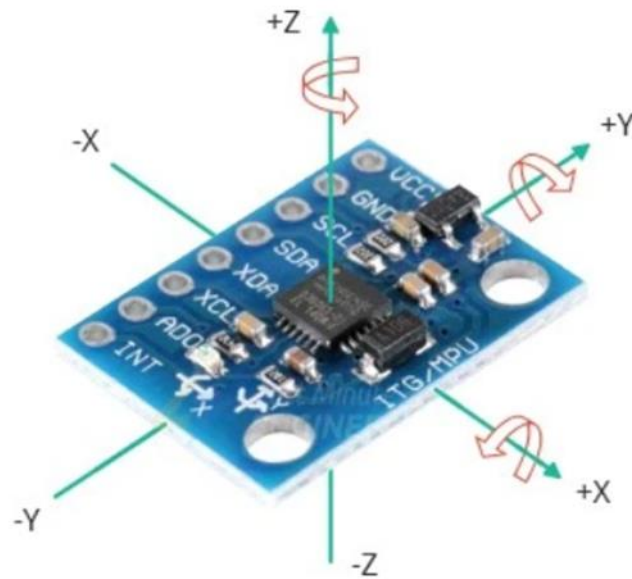
Cảm biến gia tốc MPU6050 là một module cảm biến tích hợp, kết hợp cảm biến gia tốc kế và con quay hồi chuyển (gyroscope). Nó được sử dụng để đo và theo dõi chuyển động, gia tốc và góc quay của một đối tượng.

MPU6050 có sáu bậc tự do (DOF), bao gồm ba bậc tự do cho gia tốc kế và ba bậc tự do cho con quay hồi chuyển. Điều này cho phép nó đo chính xác các thông số chuyển động trên ba trục không gian: trục X, trục Y và trục Z.



Hình 3. Thiết bị MPU6050 (Nguồn: arduino.vn)

Với kích thước nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng thấp và tích hợp sẵn các chức năng đo chuyển động quan trọng, MPU6050 Arduino là một lựa chọn phổ biến trong nhiều ứng dụng như robot, thiết bị định vị và điều khiển chuyển động,



Hình 5. Cảm biến MPU6050 đo góc quay từ các trục X, Y, Z

(Nguồn: arduino.vn)

Dữ liệu về góc quay hoặc vận tốc góc được cung cấp bởi cảm biến MPU6050 thông qua các đầu ra số hoặc thông qua giao tiếp số như I2C hoặc SPI. Bằng cách đọc và xử lý các giá trị từ các trục gia tốc, ta có thể tính toán được góc quay hoặc vận tốc góc của thiết bị trong không gian 3D. Điều này cho phép ứng dụng sử dụng MPU6050 có khả năng theo dõi và đo lường chính xác các chuyển động quay của thiết bị trong thời gian thực.

3.2.3. Đo nhiệt độ

MPU6050 có phạm vi đo nhiệt độ từ -40°C đến $+85^{\circ}\text{C}$, với độ chính xác đo nhiệt độ là $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Độ phân giải của cảm biến nhiệt độ MPU6050 là 16 bit, cho phép phân biệt giữa $2^{16} = 65536$ mức đo khác nhau.

Dữ liệu nhiệt độ được biểu thị bằng giá trị số và được chuyển đổi thành đơn vị đo nhiệt độ, thường là độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$) hoặc độ Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

3.3. Các phương thức giao tiếp MPU6050

3.3.1. Giao tiếp I2C

Cảm biến gia tốc MPU6050 hỗ trợ địa chỉ I2C là 0x68. Đây là địa chỉ mặc định và có thể được sử dụng cho việc truyền và nhận dữ liệu thông qua giao tiếp I2C.

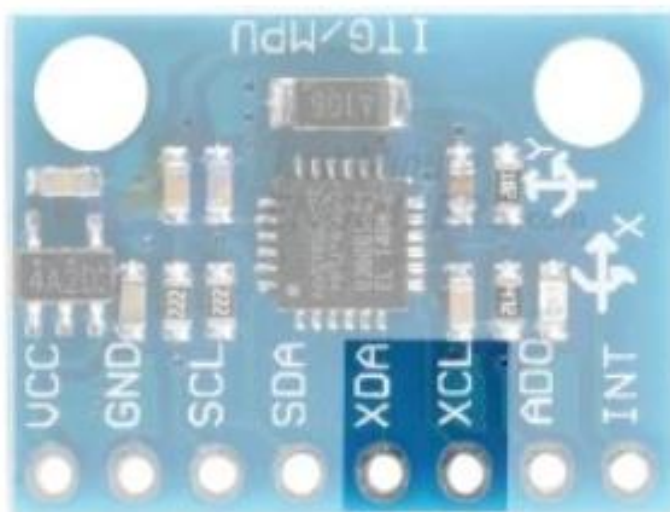


Hình 6. Chân nối ADD của MPU6050 (Nguồn: arduinokit.vn)

Tuy nhiên, có thể thay đổi địa chỉ I2C của GY-521 MPU6050 bằng cách kết nối chân AD0 của MPU6050 Arduino với mức logic thích hợp (GND hoặc VCC). Khi chân AD0 được kết nối với GND, địa chỉ I2C của MPU6050 sẽ trở thành 0x68. Nếu chân AD0 được kết nối với VCC, địa chỉ I2C sẽ là 0x69. Việc thay đổi địa chỉ I2C cho phép kết nối nhiều cảm biến MPU6050 trên cùng một dây I2C.

3.3.2. Giao tiếp các cảm biến bên ngoài

Để nâng cao độ chính xác của module cảm biến MPU6050 bằng cách kết nối các cảm biến bên ngoài với nó. Kết nối này được thực hiện thông qua một bus I2C thứ hai, hoàn toàn độc lập với bus I2C chính của MPU6050 (XDA và XCL).



Hình 7. Chân nối XDA và XCL của MPU6050 (Nguồn: arduinokit.vn)

3.4. Thông số kỹ thuật

- Điện áp hoạt động: 3-5V (điển hình)
- Dải đo gia tốc (Accelerometer Range): $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
- Dải đo con quay (Gyroscope Range): $\pm 250^\circ/s$, $\pm 500^\circ/s$, $\pm 1000^\circ/s$, $\pm 2000^\circ/s$
- Dải đo nhiệt độ: $-40^\circ C$ đến $+85^\circ C$
- Gia tốc tối đa tuyệt đối: Lên đến 10,000g

4. Màn hình OLED SSD1306

4.1. Khái niệm

OLED là điốt phát quang hữu cơ phát ra ánh sáng khi có dòng điện. Màn hình OLED hoạt động không cần đèn nền nên có thể hiển thị mức độ đen sâu. Kích thước nhỏ và trọng lượng nhẹ hơn so với màn hình tinh thể lỏng.



Hình 8. Màn hình OLED 128x64 (Nguồn: <https://www.electronicwings.com>)

* Màn hình OLED được sử dụng để hiển thị văn bản, hình ảnh và nhiều mẫu khác nhau. Nó cũng phù hợp với màn hình phụ của điện thoại di động, máy nghe nhạc MP3, máy tính, v.v.

* Màn hình OLED có 256 bước để kiểm soát độ sáng.

* Màn hình OLED cũng có nhiều độ phân giải khác nhau như 128x32, 128x64. Màn hình OLED trong hình trên có độ phân giải 128x64 pixel.

4.2. Thông số kỹ thuật

- Loại màn hình: OLED (Điốt phát quang hữu cơ)
- Kích thước hiển thị: 128x64 pixel
- Trình điều khiển hiển thị: ssd1306

- Màu sắc hiển thị: Đơn sắc (Trắng), Vàng và Xanh lam
- Điện áp hoạt động: 3.3V đến 5V
- Giao diện: I2C
- Dòng điện hoạt động: ~20mA

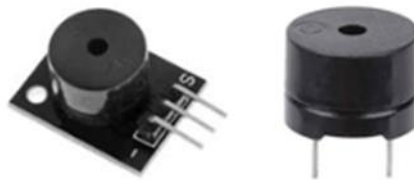
5. Loa Buzzer

5.1. Khái niệm

Buzzer là một loại loa nhỏ thường được sử dụng trong các ứng dụng nhúng để phát ra âm thanh cảnh báo hoặc tín hiệu âm thanh đơn giản.

5.2. Phân loại Buzzer

5.2.1. Buzzer chủ động (Active Buzzer)



Hình 9. Loa Buzzer (Nguồn: robotique.tech)

5.2.2. Buzzer thụ động (Passive Buzzer)

- Không có mạch dao động bên trong, cần điều khiển bằng tín hiệu PWM để tạo âm thanh.

- Có thể tạo ra nhiều tần số khác nhau để phát các âm thanh khác nhau.
- Dùng lệnh tone (pin, frequency) để phát âm với tần số mong muốn.

II. Xây dựng hệ thống giám sát rung động

1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống giám sát rung động

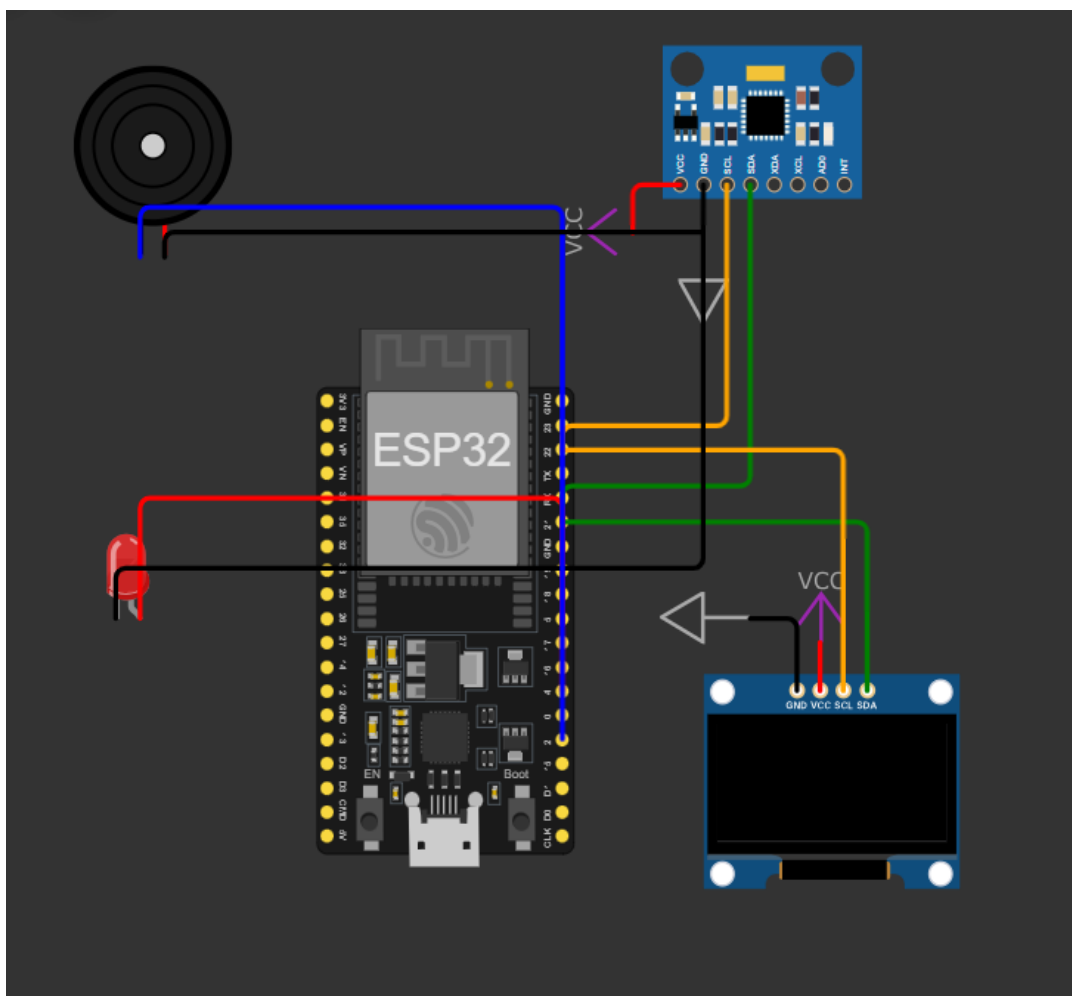
Hệ thống này sử dụng ESP32 để đọc dữ liệu từ cảm biến gia tốc MPU6050. Khi có sự rung động quá mức ngưỡng cảnh báo, hệ thống sẽ kích hoạt đèn LED và loa Buzzer để cảnh báo. Nếu độ rung trở lại bình thường, đèn LED sẽ tắt, kết thúc cảnh báo.

Cảm biến gia tốc MPU6050 là mô-đun tích hợp cả gia tốc kế 3 trục (đo gia tốc theo các hướng X, Y, Z) và con quay hồi chuyển 3 trục (đo tốc độ góc). MPU6050 liên tục gửi các giá trị gia tốc đến vi điều khiển ESP32 thông qua giao tiếp I2C.

Màn hình OLED hiển thị thời gian thực, bao gồm các giá trị của gia tốc theo 3 trục và độ rung tổng hợp.

2. Kết nối bằng mạch và linh kiện trên Wokwi

- ESP32: Vi điều khiển trung tâm.
- MPU6050: GND nối với GND ESP32, SCL nối với GPIO22 trên ESP32 (chân I2C Clock), SDA nối với chân GPIO21 trên ESP32 (chân I2C Data).
- Màn hình OLED: SCL nối với GPIO22 (chia sẻ với MPU6050), SDA nối với GPIO21 (chia sẻ với MPU6050).
- Đèn LED: Chân dương (anode) của LED nối với GPIO13 trên ESP32

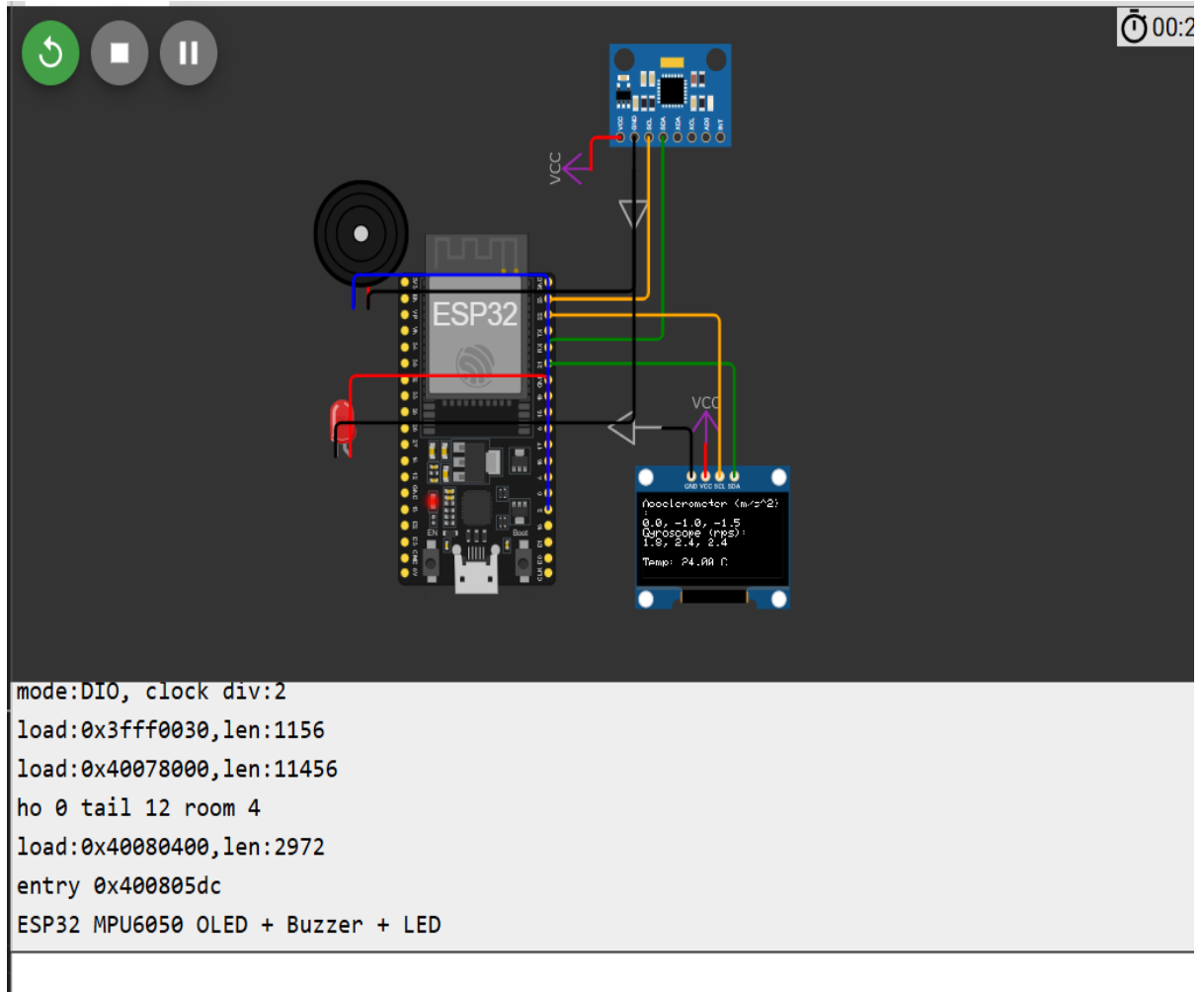


Hình 10. Kết nối các linh kiện trên Wokwi

3. Chạy mô phỏng chương trình trên Wokwi

$$\text{Độ rung vib} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

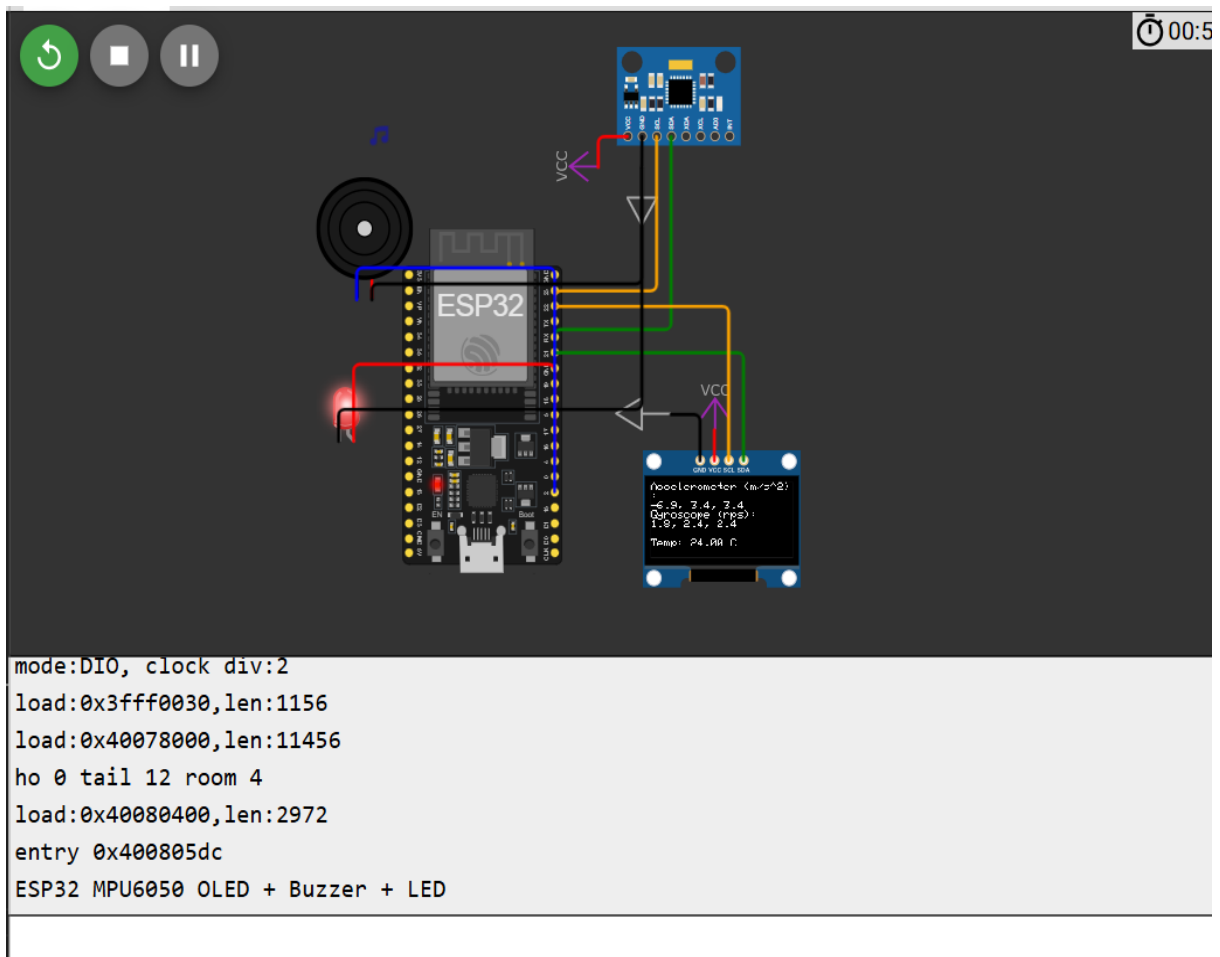
Khi độ rung (vib) ở ngưỡng an toàn, loa Buzzer và đèn ở trạng thái tắt.



Hình 11. Hệ thống giám sát đang ở trạng thái bình thường.

Khi độ rung vượt quá ngưỡng an toàn:

Lúc đó loa Buzzer sẽ kêu lên liên tục và đèn LED cũng phát sáng, cảnh báo độ rung vượt quá mức an toàn.



Hình 12. Hệ thống giám sát đang cảnh báo rung động vượt quá ngưỡng an toàn.

4. Ứng dụng trong bảo vệ thiết bị

Hệ thống giám sát rung động được thiết kế nhằm phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường trong hoạt động của thiết bị cơ điện. Dưới đây là các vai trò và ứng dụng cụ thể trong việc bảo vệ thiết bị:

4.1. Phát hiện hỏng hóc hoặc sai lệch cơ học

Khi một động cơ, quạt hoặc máy bơm bị lệch trục, lỏng ốc, mòn ổ bi hoặc mất cân bằng, nó thường tạo ra rung động bất thường.

Hệ thống giúp phát hiện sớm các rung động này và kích hoạt đèn LED cảnh báo, từ đó cho phép bảo trì kịp thời trước khi xảy ra hư hỏng nghiêm trọng.

4.2. Giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động

Thiết bị nếu được phát hiện lỗi sớm nhờ rung động bất thường sẽ được sửa chữa trước khi hỏng nặng, giúp tiết kiệm thời gian và chi phí sản xuất. Đặc biệt có ích trong các dây chuyền sản xuất liên tục hoặc hệ thống hoạt động 24/7.

4.3. Bảo vệ người sử dụng và môi trường xung quanh

Trong một số trường hợp, rung động cao có thể là dấu hiệu cho nguy cơ hỏng hóc nghiêm trọng, có thể gây cháy, rò rỉ, hoặc sự cố cơ học nghiêm trọng. Việc cảnh báo kịp thời sẽ giúp bảo vệ an toàn cho người vận hành và môi trường xung quanh thiết bị.

4.4. Nền tảng mở rộng IoT

Vì sử dụng ESP32, hệ thống có thể dễ dàng kết nối WiFi hoặc Bluetooth để gửi cảnh báo từ xa (qua điện thoại, web...).

Có thể tích hợp thêm với hệ thống SCADA, giám sát tập trung, hoặc dùng AI để phân tích xu hướng rung động theo thời gian.

Tóm lại, hệ thống giám sát rung động không chỉ giúp bảo vệ thiết bị khỏi hư hỏng, kéo dài tuổi thọ, mà còn góp phần tăng hiệu quả vận hành, tiết kiệm chi phí và đảm bảo an toàn trong môi trường công nghiệp và dân dụng.

PHẦN KẾT LUẬN

Đề tài “*Hệ thống giám sát độ rung với ESP32*” đã bước đầu xây dựng thành công một mô hình có khả năng theo dõi và cảnh báo rung động bất thường của thiết bị cơ điện. Thông qua việc tích hợp cảm biến MPU6050 với vi điều khiển ESP32 và màn hình OLED, hệ thống không chỉ đo lường rung động theo ba trục không gian mà còn hiển thị và xử lý thông tin một cách trực quan, dễ theo dõi.

Trong bài tiểu luận này, tôi đã nghiên cứu và triển khai thành công hệ thống giám sát rung động sử dụng vi điều khiển ESP32, kết hợp cảm biến gia tốc và con quay hồi chuyển MPU6050. Hệ thống được thiết kế nhằm theo dõi các dao động bất thường của thiết bị hoặc công trình, từ đó phát hiện sớm các dấu hiệu hư hỏng cơ học hoặc mất ổn định cấu trúc. Khi rung động vượt ngưỡng cho phép, hệ thống sẽ kích hoạt cảnh báo tại chỗ thông qua đèn LED và còi Buzzer.

Trong quá trình triển khai, hệ thống cho thấy hiệu quả trong việc ghi nhận dao động và phát hiện sớm các trạng thái rung động vượt ngưỡng. Ngoài ra, hệ thống có tiềm năng mở rộng bằng cách kết hợp thêm các cảm biến như cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, hoặc mô-đun giám sát đa điểm để nâng cao độ chính xác và độ phủ giám sát. Việc cải tiến thuật toán xử lý dữ liệu cũng là hướng đi quan trọng để giảm thiểu cảnh báo giả và tăng độ tin cậy trong môi trường thực tế.

Tóm lại, hệ thống giám sát rung động dựa trên ESP32 và MPU6050 là một giải pháp khả thi và hiệu quả trong việc bảo vệ thiết bị, phát hiện sự cố sớm và hỗ trợ bảo trì dự đoán. Trong tương lai, tôi sẽ tiếp tục phát triển hệ thống theo hướng ứng dụng rộng rãi hơn trong công nghiệp, giao thông hoặc nhà thông minh, nhằm đáp ứng tốt hơn yêu cầu thực tiễn trong lĩnh vực giám sát và an toàn kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hướng dẫn sử dụng cảm biến gia tốc MPU6050 với Arduino

<https://arduinookit.vn/huong-dan-su-dung-cam-bien-gia-toc-mpu6050-voi-arduino/>

[2] Lập trình ESP32 từ A tới Z – Khuê Nguyễn Creator

<https://khuenguyencreator.com/lap-trinh-esp32-tu-a-toi-z/>

[3] Module – Mạch Cảm Biến Gia Tốc Góc MPU-6050 GY-521 6DOF IMU

<https://dientumtu.com/san-pham/module-mach-cam-bien-gia-toc-goc-mpu-6050-gy-521-6dof-imu>

[4] Mô-đun gia tốc kế MPU6050 và con quay hồi chuyển

<https://mecsuvn.vn/ho-tro-ky-thuat/modun-gia-toc-ke-mpu6050-va-con-quay-hoi-chuyen.9Jx?srsltid=AfmBOopSFRyylShu2UGMd9l9-o2Yw-JcIQRk6yoMjzEMXyU2LU6AkK3Q>

[5] Ứng dụng mô đun MPU6050 đo dao động dầm thép và phát hiện hư hỏng trong phòng thí nghiệm.

https://www.researchgate.net/publication/368289905_Ung_dung_mo_dun_MPU_6050_do_dao_dong_dam_thep_va_phat_hien_hu_hong_trong_phong_thi_nghiem

[6] Wokwi.com. (2023). ESP32, MPU6050 & OLED Simulation Tool.

<https://docs.wokwi.com/>