

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ I



ĐỒ ÁN THIẾT KẾ MẠCH ĐIỆN TỬ

Đề tài:

**“Thiết kế, thử nghiệm hệ thống giám sát môi trường
sử dụng cảm biến DHT11, MQ2 trên vi điều khiển ESP32
kết nối với SQL và Web qua HTTP”**

Giảng viên hướng dẫn:

ThS. Trương Minh Đức

Sinh viên thực hiện:

Vũ Thị Hồng Ngọc

Mã sinh viên

B22DCDT219

Hà Nội, 2025

NHẬN XÉT, ĐÁNH GIÁ, CHO ĐIỂM
(Của giảng viên hướng dẫn)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Điểm:..... (Bằng chữ:)

Hà Nội, Ngày.... Tháng.... Năm 2025

CÁN BỘ - GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN
(ký, họ tên)

LỜI CẢM ƠN

Em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến Thầy Thạc sĩ Trương Minh Đức, giảng viên phụ trách môn học và cũng là người đã trực tiếp hướng dẫn em trong quá trình thực hiện đồ án. Thầy không chỉ truyền đạt những kiến thức chuyên môn một cách rõ ràng, logic và dễ tiếp cận, mà còn luôn sẵn sàng hỗ trợ, góp ý và định hướng khi em gặp khó khăn trong quá trình làm việc. Sự tận tình của Thầy là nguồn động lực lớn giúp em hoàn thành đồ án một cách nghiêm túc.

Những buổi trao đổi với Thầy, dù ngắn hay dài, đều mang lại cho em nhiều bài học quý giá - không chỉ về kỹ thuật thiết kế mạch mà còn về thái độ học tập, phương pháp làm việc và tinh thần trách nhiệm trong quá trình nghiên cứu.

Mặc dù đã cố gắng hết sức, song với giới hạn về kinh nghiệm và thời gian, đồ án của em không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được những góp ý quý báu từ quý thầy để tiếp tục hoàn thiện bản thân trong chặng đường học tập và nghề nghiệp sắp tới.

Một lần nữa, em xin trân trọng cảm ơn Thầy Trương Minh Đức. Kính chúc Thầy luôn mạnh khỏe, hạnh phúc và thành công trong sự nghiệp giáo dục.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hà Nội, ngày 10 tháng 6 năm 2025

Sinh viên thực hiện

Vũ Thị Hồng Ngọc

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	iii
MỤC LỤC	2
MỤC LỤC HÌNH ẢNH.....	4
LỜI MỞ ĐẦU	5
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI.....	6
1.1. Giới thiệu đề tài	6
1.2. Mục tiêu đề tài	6
1.3. Ứng dụng	6
1.4. Kết luận chương 1	7
CHƯƠNG 2: LINH KIỆN VÀ CÔNG NGHỆ SỬ DỤNG	8
2.1. Linh kiện sử dụng	8
2.2.1. Vi điều khiển ESP32	8
2.2.2. Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm DHT11	9
2.2.3. Cảm biến khí gas và khói MQ2.....	10
2.2.4. Buzzer cảnh báo	10
2.2. Công nghệ sử dụng	10
2.2.1. Giao diện Web	10
2.2.2. Cơ sở dữ liệu SQL	11
2.3. Kết luận chương II.....	11
CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ, THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG	12
3.1. Sơ đồ khối hệ thống.....	12
3.2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống	14
3.3. Sơ đồ mạch nguyên lý	15
3.3.1. Khối nguồn	15
3.3.2. Khối sensor:	16
3.3.3. Khối vi xử lý (VXL):.....	16
3.3.4. Khối nạp code:.....	17
3.4. Thiết kế mạch PCB.....	18
3.5. Giao diện Web	20

3.6. Cơ sở dữ liệu SQL	23
3.7. Kết luận chương 3	25
CHƯƠNG 4: ĐÁNH GIÁ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	25
4.1. Đánh giá hệ thống.....	25
4.1.1. Ưu điểm của hệ thống.....	25
4.1.2 Hạn chế của hệ thống	26
4.2. Hướng phát triển.....	26
4.2.1. Nâng cấp phần cứng	26
4.2.2. Tích hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI).....	26
4.2.3. Kết nối điện toán đám mây và nền tảng IoT	27
4.2.4 Mở rộng ứng dụng thực tiễn.....	27
4.3. Kết luận chương	27

MỤC LỤC HÌNH ẢNH

Hình 1: Sơ đồ khối hệ thống.....	12
Hình 2: Sơ đồ mạch nguyên lý	15
Hình 3: Khối nguồn	15
Hình 4: Khối sensor	16
Hình 5: Khối vi xử lý.....	16
Hình 6: Khối nạp Code.....	17
Hình 7: 2D PCB.....	19
Hình 8: 3D PCB.....	19
Hình 9: Mạch thực tế	20
Hình 10: Web hiển thị các thông số bình thường	20
Hình 11: Web hiển thị cảnh báo khi nồng độ khí gas cao quá	21
Hình 12: Web hiển thị khi nhiệt độ và độ ẩm đều quá cao	21
Hình 13: Cơ sở dữ liệu SQL	23

LỜI MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh công nghệ ngày càng phát triển, các hệ thống giám sát môi trường thông minh đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao chất lượng cuộc sống và đảm bảo an toàn cho con người. Với sự hỗ trợ của Internet of Things (IoT), việc theo dõi các chỉ số môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, khói và khí gas độc hại trở nên đơn giản, chính xác và hiệu quả hơn.

Đồ án này tập trung thiết kế một hệ thống giám sát môi trường sử dụng vi điều khiển ESP32 kết hợp với các cảm biến DHT11 và MQ2. Dữ liệu thu thập được truyền đến cơ sở dữ liệu SQL và hiển thị trên giao diện web qua giao thức HTTP. Ngoài ra, hệ thống còn tích hợp cảnh báo bằng buzzer khi phát hiện điều kiện môi trường bất thường.

Nội dung chính của đồ án bao gồm:

Chương 1: Tổng quan về đề tài

Chương 2: Linh kiện và công nghệ sử dụng

Chương 3: Thiết kế và thử nghiệm hệ thống

Chương 4: Đánh giá và hướng phát triển

Thông qua đồ án, em mong muốn ứng dụng kiến thức đã học để xây dựng một mô hình thực tế, có khả năng triển khai trong các không gian sinh hoạt như nhà ở, văn phòng, góp phần nâng cao sự an toàn và tiện nghi cho người sử dụng.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI

1.1. Giới thiệu đề tài

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và mức độ ô nhiễm ngày càng gia tăng, việc giám sát môi trường đóng vai trò vô cùng quan trọng nhằm đảm bảo chất lượng cuộc sống, sức khỏe con người và an toàn trong sinh hoạt hằng ngày. Với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ, đặc biệt là Internet of Things (IoT), các hệ thống giám sát thông minh đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong đời sống.

Đề tài “Thiết kế hệ thống giám sát môi trường sử dụng cảm biến DHT11, MQ2 trên vi điều khiển ESP32 kết nối với SQL và Web qua HTTP” tập trung xây dựng một mô hình thu thập, xử lý và hiển thị thông tin về nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ khí gas và khói trong môi trường. Hệ thống sử dụng vi điều khiển ESP32 để đọc dữ liệu từ các cảm biến, sau đó truyền thông tin lên cơ sở dữ liệu SQL và giao diện web để giám sát từ xa. Ngoài ra, hệ thống còn tích hợp cảnh báo thông qua buzzer nếu phát hiện điều kiện môi trường vượt ngưỡng an toàn.

1.2. Mục tiêu đề tài

Mục tiêu của đề tài là thiết kế và xây dựng một hệ thống giám sát môi trường ứng dụng công nghệ IoT, sử dụng vi điều khiển ESP32 kết hợp với cảm biến DHT11 để đo nhiệt độ, độ ẩm và cảm biến MQ2 để phát hiện khí gas, khói. Hệ thống có khả năng thu thập và xử lý dữ liệu từ các cảm biến, sau đó truyền dữ liệu thông qua giao thức HTTP đến cơ sở dữ liệu SQL và hiển thị trên giao diện web để người dùng có thể theo dõi từ xa. Đồng thời, hệ thống cũng tích hợp chức năng cảnh báo bằng buzzer nhằm phản ứng kịp thời khi phát hiện các chỉ số môi trường vượt ngưỡng an toàn.

Không chỉ hướng đến việc tạo ra một giải pháp giám sát môi trường hiệu quả, tiết kiệm chi phí, đề tài còn mở ra tiềm năng phát triển trong tương lai như tích hợp trí tuệ nhân tạo để phân tích và dự đoán nguy cơ ảnh hưởng đến an toàn, kết nối với nền tảng đám mây để mở rộng khả năng lưu trữ và truy cập dữ liệu từ nhiều thiết bị. Qua đó, hệ thống có thể đóng góp thiết thực vào xu hướng xây dựng các giải pháp an toàn thông minh, thích ứng với yêu cầu ngày càng cao của xã hội hiện đại.

1.3. Ứng dụng

Hệ thống giám sát môi trường sử dụng cảm biến DHT11 và MQ2 trên vi điều khiển ESP32 không chỉ có tính ứng dụng cao trong đời sống thường nhật mà còn có thể mở rộng ra nhiều lĩnh vực khác nhau, đáp ứng nhu cầu theo dõi, cảnh báo và bảo đảm an toàn môi trường trong thời đại công nghệ số.

Ứng dụng trong tòa nhà thông minh: Hệ thống có thể tích hợp trong các tòa nhà, văn phòng, căn hộ thông minh nhằm giám sát nhiệt độ và khí gas trong không gian sống.

Qua đó, giúp điều chỉnh hệ thống điều hòa, thông gió hợp lý, hạn chế tiêu thụ năng lượng không cần thiết và tăng cường độ an toàn cho người sử dụng.

Ứng dụng trong công nghiệp: Trong các nhà máy, xưởng sản xuất, việc giám sát nhiệt độ và phát hiện rò rỉ khí gas là yếu tố then chốt để đảm bảo an toàn lao động và vận hành. Hệ thống có thể hoạt động như một giải pháp cảnh báo sớm, hạn chế tối đa nguy cơ cháy nổ hoặc ngộ độc khí.

Ứng dụng trong nông nghiệp: Trong các mô hình nhà kính hoặc trang trại chăn nuôi, hệ thống có thể giúp giám sát nhiệt độ môi trường, từ đó tự động hóa các hoạt động như thông gió, tưới nước hoặc điều chỉnh nhiệt độ để tối ưu hóa năng suất và sức khỏe cây trồng, vật nuôi.

Ứng dụng trong giao thông và vận chuyển: Hệ thống có thể được tích hợp vào các phương tiện vận chuyển hàng hóa hoặc container để theo dõi nhiệt độ và khí gas trong quá trình di chuyển, đảm bảo điều kiện bảo quản hàng hóa luôn trong mức cho phép, đặc biệt là với các mặt hàng dễ hỏng hoặc dễ cháy.

Ứng dụng trong cứu trợ thiên tai và phòng chống cháy nổ: Trong các khu vực có nguy cơ cháy rừng hoặc rò rỉ khí độc, hệ thống có thể được sử dụng để phát hiện sớm sự thay đổi bất thường về nhiệt độ và nồng độ khí, giúp đưa ra cảnh báo và ứng phó kịp thời.

Ứng dụng trong chăm sóc sức khỏe cộng đồng: Hệ thống có thể triển khai trong các cơ sở y tế, trường học, khu dân cư để giám sát không khí, đảm bảo môi trường sống an toàn, từ đó góp phần bảo vệ sức khỏe con người, đặc biệt là người già và trẻ em – nhóm dễ bị ảnh hưởng bởi điều kiện không khí kém.

Với tính linh hoạt, khả năng mở rộng và chi phí triển khai thấp, hệ thống có tiềm năng ứng dụng cao trong nhiều lĩnh vực khác nhau, góp phần vào việc xây dựng các mô hình quản lý, giám sát môi trường thông minh và hiệu quả.

1.4. Kết luận chương 1

Chương 1 đã trình bày tổng quan về đề tài thiết kế hệ thống giám sát môi trường sử dụng cảm biến DHT11, MQ2 trên vi điều khiển ESP32 kết nối với SQL và Web qua HTTP. Nội dung chương bao gồm cơ sở hình thành đề tài, mục tiêu nghiên cứu, phạm vi và đối tượng nghiên cứu, cũng như các ứng dụng thực tiễn của hệ thống trong nhiều lĩnh vực như nhà ở, công nghiệp, nông nghiệp và chăm sóc sức khỏe.

CHƯƠNG 2: LINH KIỆN VÀ CÔNG NGHỆ SỬ DỤNG

2.1. Linh kiện sử dụng

Trong đề tài này, các linh kiện phân cứng được lựa chọn nhằm đảm bảo khả năng thu thập dữ liệu môi trường một cách chính xác, xử lý dữ liệu hiệu quả và truyền thông ổn định. Các linh kiện chính bao gồm:

2.2.1. Vi điều khiển ESP32

ESP32 là một vi điều khiển tích hợp Wi-Fi và Bluetooth, có hiệu suất cao và tiêu thụ năng lượng thấp, được sản xuất bởi hãng Espressif Systems. Đây là phiên bản nâng cấp từ ESP8266, hỗ trợ nhiều tính năng hiện đại phù hợp cho các ứng dụng Internet of Things (IoT) và hệ thống giám sát thời gian thực.

Thông số kỹ thuật và đặc điểm nổi bật:

CPU: Tensilica Xtensa LX6, hỗ trợ lõi đơn hoặc lõi kép, tốc độ lên đến 240 MHz.

RAM: 520 KB, Flash: 4 MB.

Giao tiếp: UART, SPI, I2C, CAN, PWM, ADC, DAC,...

Tích hợp Wi-Fi (802.11 b/g/n) và Bluetooth v4.2.

Hỗ trợ OTA (Over-The-Air) cập nhật phần mềm từ xa.

Điện áp hoạt động: 2.2V – 3.6V.

Có nhiều chân GPIO, hỗ trợ cả tín hiệu analog và digital.

Vai trò trong hệ thống:

Đọc dữ liệu nhiệt độ và độ ẩm từ cảm biến DHT11 thông qua giao tiếp One-Wire.

Nhận tín hiệu analog từ cảm biến MQ2 để xác định nồng độ khí gas.

Xử lý và so sánh dữ liệu với các ngưỡng an toàn.

Gửi dữ liệu môi trường qua giao thức HTTP đến cơ sở dữ liệu SQL.

Điều khiển buzzer phát cảnh báo khi có nguy cơ bất thường.

Với khả năng kết nối mạnh mẽ và hiệu suất xử lý cao, ESP32 là bộ vi điều khiển lý tưởng cho hệ thống giám sát môi trường trong đề tài.

2.2.2. Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm DHT11

DHT11 là cảm biến kỹ thuật số phổ biến dùng để đo nhiệt độ và độ ẩm môi trường. Thiết bị này có kích thước nhỏ gọn, tiêu thụ điện năng thấp và dễ dàng giao tiếp với vi điều khiển thông qua giao thức 1 dây.

Thông số kỹ thuật:

Dải đo nhiệt độ: $0 - 50^{\circ}\text{C}$ (sai số $\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Dải đo độ ẩm: $20 - 90\% \text{ RH}$ (sai số $\pm 5\% \text{ RH}$).

Điện áp hoạt động: $3.3\text{V} - 5\text{V}$.

Tần suất lấy mẫu: 1 lần/giây.

Giao tiếp: One Wire.

Ứng dụng trong đề tài: DHT11 có nhiệm vụ đo liên tục nhiệt độ và độ ẩm môi trường, gửi dữ liệu về ESP32 để xử lý và hiển thị trên giao diện web. Khi vượt ngưỡng định trước, vi điều khiển sẽ kích hoạt cảnh báo qua buzzer.

Giao thức One-Wire (Một dây) là một giao thức truyền thông nối tiếp được phát triển bởi hãng Dallas Semiconductor (nay là Maxim Integrated), cho phép truyền dữ liệu, điều khiển và cấp nguồn qua chỉ một dây dữ liệu (cộng với dây GND). Nó được thiết kế để giao tiếp giữa vi điều khiển và các thiết bị ngoại vi, ví dụ như cảm biến nhiệt độ, bộ nhớ EEPROM, v.v.

Đặc điểm nổi bật của giao thức One-Wire

Đặc điểm	Mô tả
Số dây	1 dây dữ liệu + 1 dây GND
Kiểu truyền dữ liệu	Nối tiếp (Serial)
Chiều truyền	Hai chiều (bidirectional)
Tốc độ	Tương đối chậm (vài kHz)
Khoảng cách tối đa	~100m (tùy cấu hình)
Cấp nguồn ký sinh	Có thể cấp nguồn cho thiết bị qua dây dữ liệu (parasite power)

2.2.3. Cảm biến khí gas và khói MQ2

MQ2 là cảm biến phát hiện khí gas có khả năng nhận biết nhiều loại khí dễ cháy và khói như LPG, Methane, Propane, Butane, CO,... Với độ nhạy cao và thời gian đáp ứng nhanh, MQ2 rất phù hợp trong các hệ thống cảnh báo sớm.

Thông số kỹ thuật:

Dải đo khí: 200 – 10000 ppm.

Tín hiệu đầu ra: Analog (hoặc digital với mạch so sánh).

Điện áp hoạt động: 5V.

Thời gian đáp ứng: <10 giây.

Ứng dụng trong đề tài: MQ2 kết nối với ESP32 qua chân ADC. Vi điều khiển đọc giá trị nồng độ khí, xử lý và so sánh với mức cảnh báo. Nếu phát hiện nồng độ khí vượt ngưỡng an toàn, hệ thống sẽ phát tín hiệu cảnh báo và gửi dữ liệu lên server.

2.2.4. Buzzer cảnh báo

Buzzer là thiết bị tạo ra âm thanh cảnh báo khi được kích hoạt. Trong hệ thống giám sát này, buzzer hoạt động như một thiết bị thông báo tức thời cho người dùng khi có sự cố bất thường.

Thông số kỹ thuật:

Điện áp hoạt động: 3V – 5V.

Dòng tiêu thụ: khoảng 30mA.

Loại: Active buzzer (có sẵn mạch dao động bên trong).

Điều khiển: tín hiệu digital từ ESP32.

Ứng dụng trong đề tài: Buzzer được điều khiển bởi ESP32. Khi phát hiện nhiệt độ, độ ẩm hoặc khí gas vượt ngưỡng, ESP32 sẽ kích hoạt buzzer để đưa ra âm thanh cảnh báo cho người dùng.

2.2. Công nghệ sử dụng

2.2.1. Giao diện Web

Giao diện Web là nơi hiển thị dữ liệu môi trường theo thời gian thực, giúp người dùng dễ dàng theo dõi và giám sát từ xa.

Chức năng chính:

Hiển thị thông số đo được: nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ khí gas.

Hiển thị cảnh báo khi thông số vượt mức an toàn.

Có thể mở rộng lưu trữ lịch sử, biểu đồ trực quan, thống kê theo thời gian.

Cơ chế hoạt động: Dữ liệu từ ESP32 được gửi đến máy chủ thông qua HTTP và lưu vào cơ sở dữ liệu SQL. Giao diện Web sau đó truy vấn dữ liệu và hiển thị cho người dùng. Các công nghệ như HTML, CSS, JavaScript kết hợp với PHP hoặc Node.js được sử dụng để xây dựng giao diện và xử lý phía server.

2.2.2. Cơ sở dữ liệu SQL

SQL (Structured Query Language) là công cụ chính trong việc lưu trữ, truy vấn và phân tích dữ liệu từ hệ thống giám sát. Trong đề tài này, một cơ sở dữ liệu như MySQL hoặc MariaDB được sử dụng.

Vai trò trong hệ thống:

Nhận dữ liệu môi trường từ ESP32 qua HTTP.

Lưu trữ thông tin đo theo thời gian thực.

Cung cấp dữ liệu cho giao diện Web để hiển thị.

Có thể mở rộng thêm các bảng lịch sử, thống kê, người dùng,...

Thông qua hệ quản trị SQL, hệ thống đảm bảo tính toàn vẹn và truy cập dữ liệu hiệu quả, hỗ trợ tốt cho việc phân tích môi trường và cảnh báo kịp thời.

2.3. Kết luận chương II

Chương II đã trình bày chi tiết các thành phần phần cứng và công nghệ phần mềm được sử dụng trong đề tài "Thiết kế, thử nghiệm hệ thống giám sát môi trường sử dụng cảm biến DHT11, MQ2 trên vi điều khiển ESP32 kết nối với SQL và Web qua HTTP". Trong đó:

ESP32 đóng vai trò trung tâm xử lý và kết nối mạng.

DHT11 và MQ2 đảm nhiệm việc thu thập dữ liệu môi trường.

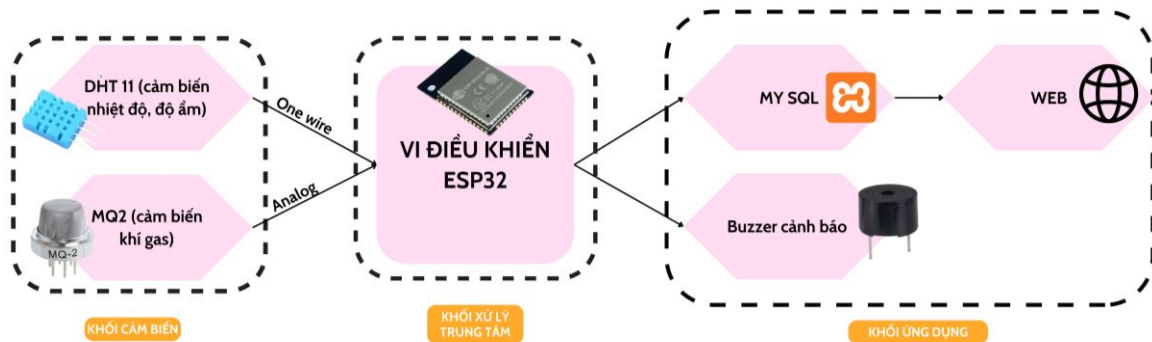
Buzzer thực hiện cảnh báo cục bộ.

Giao diện Web và cơ sở dữ liệu SQL cho phép lưu trữ, hiển thị và truy cập dữ liệu từ xa một cách trực quan và tiện lợi.

Sự kết hợp giữa phần cứng linh hoạt và công nghệ phần mềm hiện đại đã tạo nên nền tảng vững chắc để triển khai hệ thống giám sát môi trường hiệu quả, đáp ứng yêu cầu theo dõi từ xa và cảnh báo kịp thời, góp phần nâng cao chất lượng sống và an toàn cho người sử dụng.

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ, THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG

3.1. Sơ đồ khối hệ thống



Hình 1: Sơ đồ khối hệ thống

Hệ thống được chia thành ba khối chính với các chức năng cụ thể:

Khối cảm biến: Bao gồm cảm biến DHT22 (đo nhiệt độ và độ ẩm) và MQ2 (đo nồng độ khói, khí gas). Dữ liệu môi trường được đọc qua các chân GPIO của ESP32. Các cảm biến này cung cấp đầu vào để hệ thống đánh giá điều kiện môi trường.

```
#define DHTPIN 23
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#define MQ2_PIN 34

float t = dht.readTemperature();
float h = dht.readHumidity();
int mq2_raw = analogRead(MQ2_PIN);
```

Khối xử lý trung tâm: Vi điều khiển ESP32 đảm nhiệm việc đọc dữ liệu từ các cảm biến, xử lý và đánh giá các ngưỡng cảnh báo. ESP32 có khả năng tính toán nhanh, hỗ trợ giao tiếp mạng và xử lý đa nhiệm, phù hợp với ứng dụng giám sát thời gian thực.

Sử dụng vi điều khiển ESP32 với khả năng xử lý nhanh, hỗ trợ WiFi, analog input và xuất PWM để điều khiển buzzer cảnh báo.

Xử lý dữ liệu từ cảm biến, đánh giá điều kiện cảnh báo, kích hoạt buzzer nếu cần.

Code đánh giá cảnh báo và kích hoạt buzzer:

```
#define BUZZER_PIN 12
bool buzzerActive = false;
```

```
unsigned long buzzerStartMillis = 0;
const unsigned long buzzerDuration = 5000; // 5 giây

tone(BUZZER_PIN, 7000); // Bật cảnh báo
noTone(BUZZER_PIN); // Tắt cảnh báo

if (tempc <= 20 || tempc >= 38 || humi <= 30 || humi >= 90 || ppm >= 600) {
    startBuzzer();
}
```

Khởi ứng dụng:

ESP32 sử dụng Wi-Fi để gửi dữ liệu thu thập được đến cơ sở dữ liệu MySQL thông qua giao thức HTTP. Dữ liệu sau đó được hiển thị trên giao diện Web, giúp người dùng theo dõi thông tin một cách trực quan và thuận tiện.

Lưu trữ và phân tích Dữ liệu môi trường được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu SQL, phục vụ cho việc truy xuất, phân tích và đưa ra các cảnh báo khi có hiện tượng bất thường, góp phần xây dựng hệ thống giám sát môi trường thông minh và hiệu quả.

ESP32 kết nối WiFi và gửi dữ liệu môi trường tới máy chủ MySQL thông qua giao thức HTTP. Dữ liệu được gửi định kỳ mỗi 2 giây qua POST request tới testdata.php.

Code gửi dữ liệu HTTP:

```
HTTPClient http;
String postData = "tempc=" + String(tempc) + "&humi=" + String(humi) + "&ppm="
+ String(ppm);
http.begin("http://172.20.10.8/ESP32_SMART_2/testdata.php");
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
int httpCode = http.POST(postData);
```

Giao diện web:

Một trang web được xây dựng để hiển thị biểu đồ thời gian thực các giá trị nhiệt độ, độ ẩm và khí gas. Web sử dụng thư viện Chart.js để vẽ biểu đồ và cảnh báo khi giá trị vượt ngưỡng, phát âm thanh cảnh báo.

```
<h1>Real-Time Monitoring</h1>
<canvas id="sensorChart"></canvas>
<div id="alertTempHigh" class="alertText"></div>
<audio id="alertSound" src="beep_07.wav"></audio>
<script>
```

```
fetch('getdata.php').then(res => res.json()).then(data => {  
  // cập nhật biểu đồ và cảnh báo  
});  
</script>
```

3.2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống

Các bước trong quá trình hoạt động:

1. Thu thập dữ liệu từ cảm biến

DHT11 đo nhiệt độ và độ ẩm → truyền tín hiệu One-wire về ESP32.

MQ2 đo nồng độ khí gas → truyền tín hiệu Analog về ESP32.

2. Xử lý dữ liệu tại vi điều khiển ESP32

Đọc dữ liệu từ các cảm biến.

Kiểm tra giá trị ngưỡng cảnh báo (nếu có).

Hiển thị cảnh báo bằng buzzer nếu khí gas vượt ngưỡng.

3. Gửi dữ liệu qua HTTP

Dữ liệu được gửi từ ESP32 đến server thông qua giao thức HTTP POST.

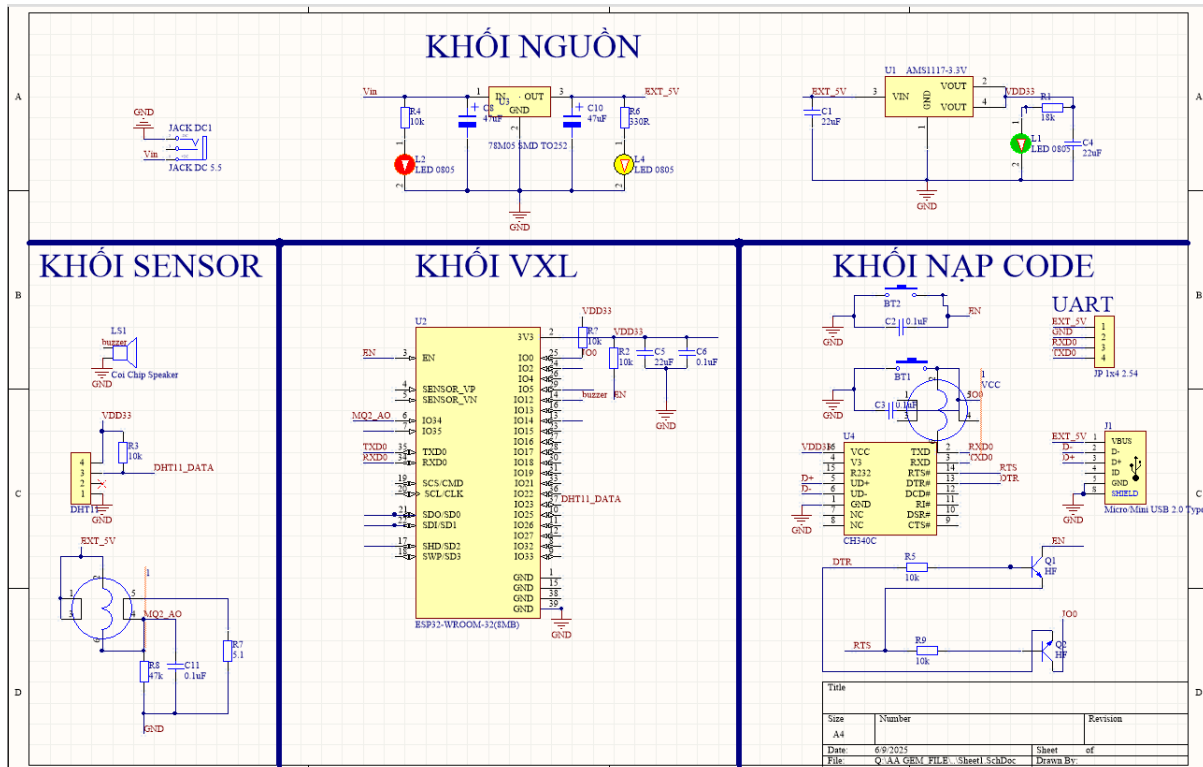
4. Lưu trữ dữ liệu vào cơ sở dữ liệu MySQL

Server nhận dữ liệu từ ESP32 và lưu vào MySQL bằng PHP script hoặc API.

5. Hiển thị dữ liệu trên giao diện Web

Giao diện Web truy vấn dữ liệu từ MySQL và hiển thị đồ thị nhiệt độ, độ ẩm và khí gas theo thời gian thực.

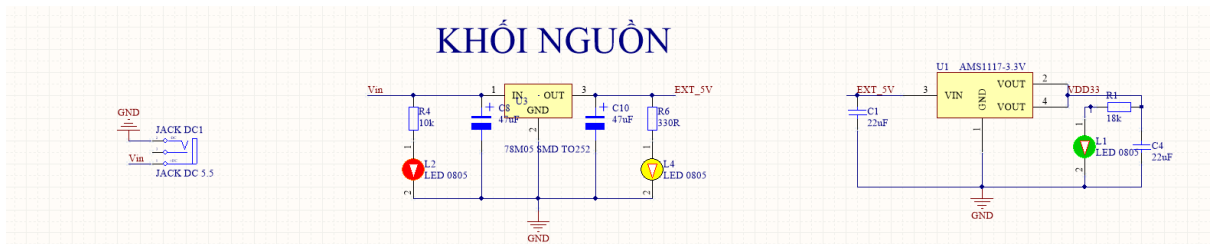
3.3. Sơ đồ mạch nguyên lý



Hình 2: Sơ đồ mạch nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống giám sát môi trường được chia thành 4 khối chính: Khối nguồn, Khối sensor, Khối vi xử lý (VXL), Khối nạp code.

3.3.1. Khối nguồn



Hình 3: Khối nguồn

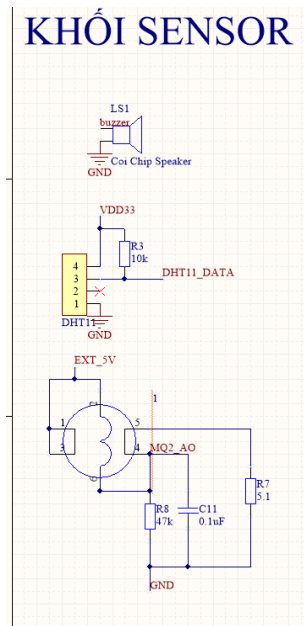
Sử dụng jack DC 5.5mm để cấp nguồn đầu vào 7–12V.

Sử dụng IC ổn áp tuyến tính 78M05 để tạo ra điện áp 5V ổn định.

Sau đó, IC AMS1117-3.3 chuyển đổi từ 5V sang 3.3V để cấp cho ESP32 và các linh kiện cần điện áp thấp.

Các đèn LED báo nguồn 5V và 3.3V giúp xác định tình trạng cấp nguồn. LED đỏ báo nguồn 12V, LED vàng báo đã ra nguồn 5V (để chạy các cảm biến). LED xanh báo nguồn 3.3V để cấp cho ESP32.

3.3.2. Khối sensor:



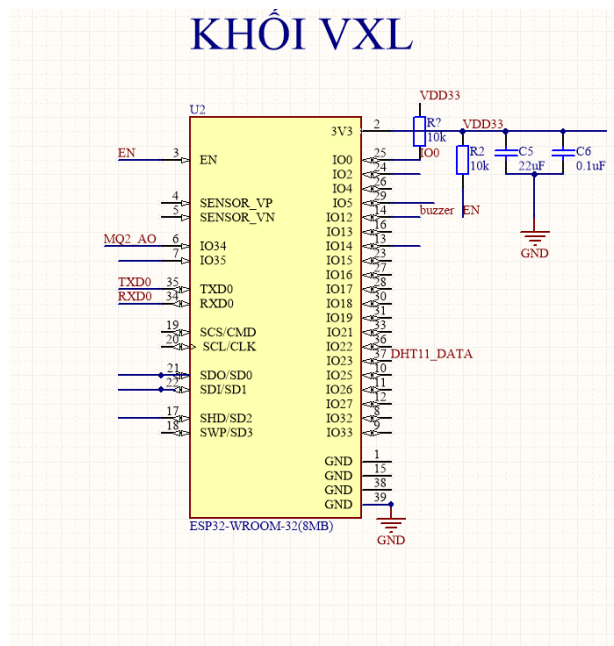
Hình 4: Khối sensor

Cảm biến DHT11 được cấp nguồn 3.3V và kết nối chân dữ liệu đến GPIO23 trên ESP32.

Cảm biến MQ2 dùng để đo nồng độ khí gas, được mắc phân áp với điện trở và tụ lọc nhiễu, ngõ ra analog đưa vào chân GPIO34 của ESP32.

Buzzer cảnh báo được điều khiển qua chân GPIO12 (EN), kích hoạt khi vượt ngưỡng cảnh báo.

3.3.3. Khối vi xử lý (VXL):



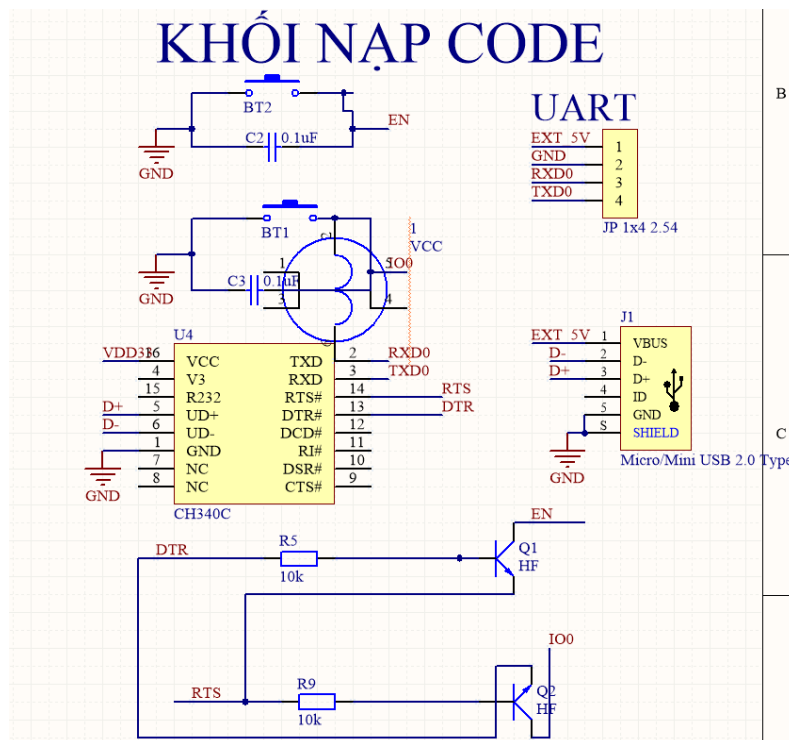
Hình 5: Khối vi xử lý

Sử dụng module ESP32-WROOM-32, kết nối với các cảm biến thông qua các chân GPIO.

Các chân TXD0, RXD0 kết nối tới khối UART để lập trình và truyền dữ liệu.

Kết nối trực tiếp với nguồn 3.3V từ IC AMS1117-3.3 và có tụ lọc nguồn tại các chân VCC để ổn định điện áp.

3.3.4. Khối nạp code:



Hình 6: Khối nạp Code

Bao gồm IC CH340C dùng để chuyển đổi USB-UART, cho phép ESP32 được lập trình trực tiếp từ máy tính qua cổng USB Micro.

Có các nút nhấn BOOT và EN (RESET) để đưa ESP32 vào chế độ nạp code thủ công.

Tín hiệu RTS và DTR từ CH340C cũng được sử dụng để hỗ trợ reset/nạp code tự động.

Tu và điện trở pull-up/pull-down được thêm vào để ổn định quá trình nạp và khởi động.

Khối UART:

Sử dụng chân header 4 pin (EXT_5V, GND, RXD0, TXD0) để kết nối dữ liệu UART ngoài hoặc sử dụng cho debug.

Cổng Micro USB được dùng để cấp điện và giao tiếp khi lập trình thông qua CH340C.

Tóm lại, sơ đồ nguyên lý thể hiện rõ ràng mối quan hệ giữa các khối chức năng trong hệ thống, giúp việc thiết kế mạch in và thử nghiệm phần cứng trở nên chính xác

và hiệu quả hơn. Sơ đồ được thiết kế bằng phần mềm Altium Designer và đảm bảo tiêu chuẩn kỹ thuật cho hệ thống nhúng IoT.

3.4. Thiết kế mạch PCB

Trong quá trình hiện thực hóa hệ thống giám sát môi trường, mạch in PCB được thiết kế để tích hợp các thành phần phần cứng bao gồm vi điều khiển ESP32, cảm biến nhiệt độ và độ ẩm DHT11, cảm biến khí gas MQ2 cùng các linh kiện hỗ trợ như điện trở, tụ điện, và đầu nối. Việc thiết kế mạch in giúp tối ưu hóa không gian, đảm bảo tính thẩm mỹ, độ chắc chắn và độ ổn định của hệ thống trong quá trình vận hành lâu dài.

Quy trình thiết kế mạch PCB được thực hiện qua ba giai đoạn chính:

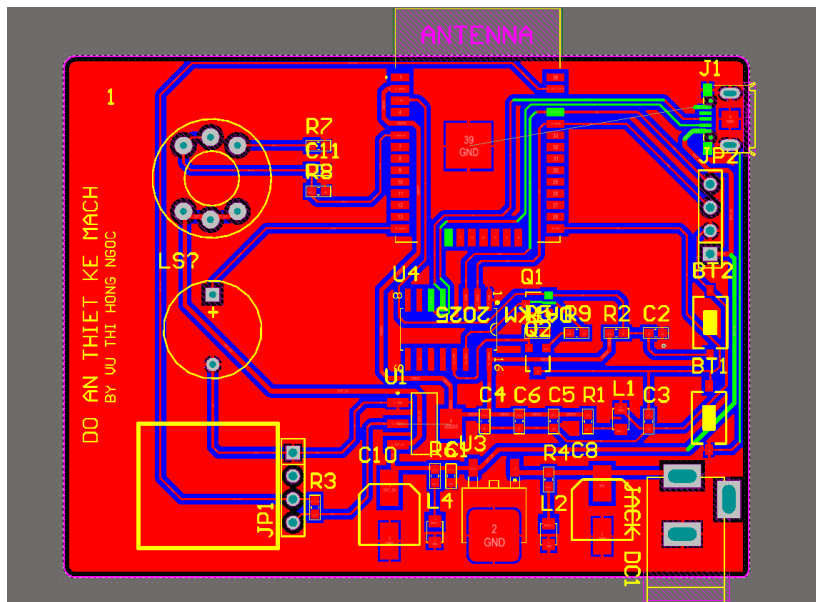
Thiết kế sơ đồ nguyên lý (schematic): Dựa trên cấu trúc hệ thống, các linh kiện được lựa chọn và kết nối logic để đảm bảo đầy đủ chức năng giám sát nhiệt độ, độ ẩm và khí gas.

Thiết kế layout PCB: Sử dụng phần mềm thiết kế mạch in (như Altium Designer hoặc EasyEDA), các đường mạch được bố trí hợp lý, đảm bảo tiêu chuẩn kỹ thuật như khoảng cách an toàn giữa các lớp dẫn, kích thước chân linh kiện, và tránh nhiễu tín hiệu.

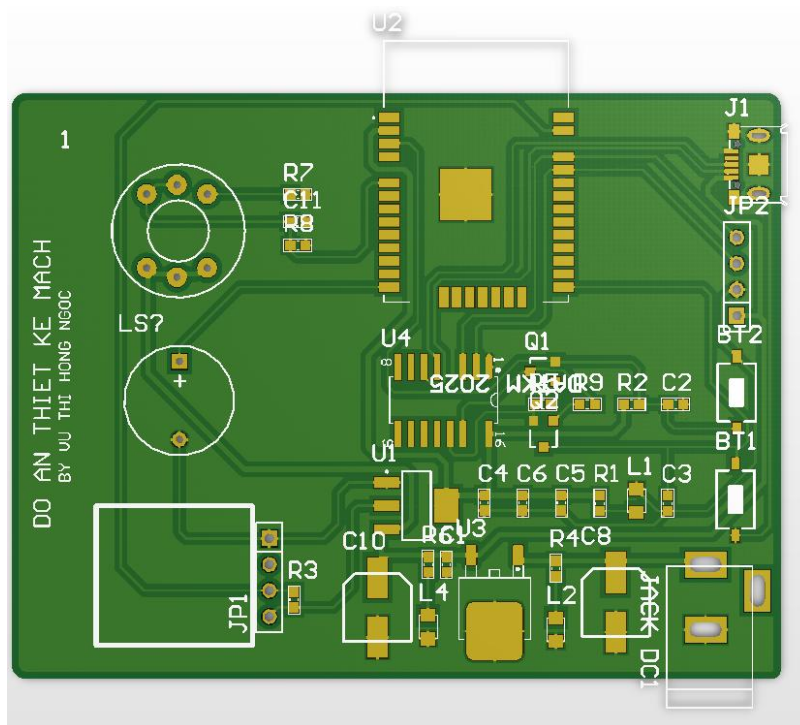
Xuất bản 2D và 3D PCB: Hình ảnh 2D thể hiện rõ sơ đồ đường dẫn, trong khi mô hình 3D mô phỏng không gian thật để kiểm tra sự phù hợp của linh kiện và khả năng lắp ráp thực tế.

Hình 7 và Hình 8 bên dưới lần lượt minh họa bố cục mạch PCB ở chế độ 2D và 3D. Sau khi hoàn tất thiết kế, mạch được in và hàn linh kiện theo đúng sơ đồ. Hình 9 thể hiện mạch thực tế sau khi gia công hoàn chỉnh. Trên mạch có thể thấy rõ các vị trí linh kiện quan trọng như module ESP32, cảm biến DHT11, cảm biến MQ2, các đầu nối cấp nguồn, lập trình, và các chân giao tiếp tín hiệu.

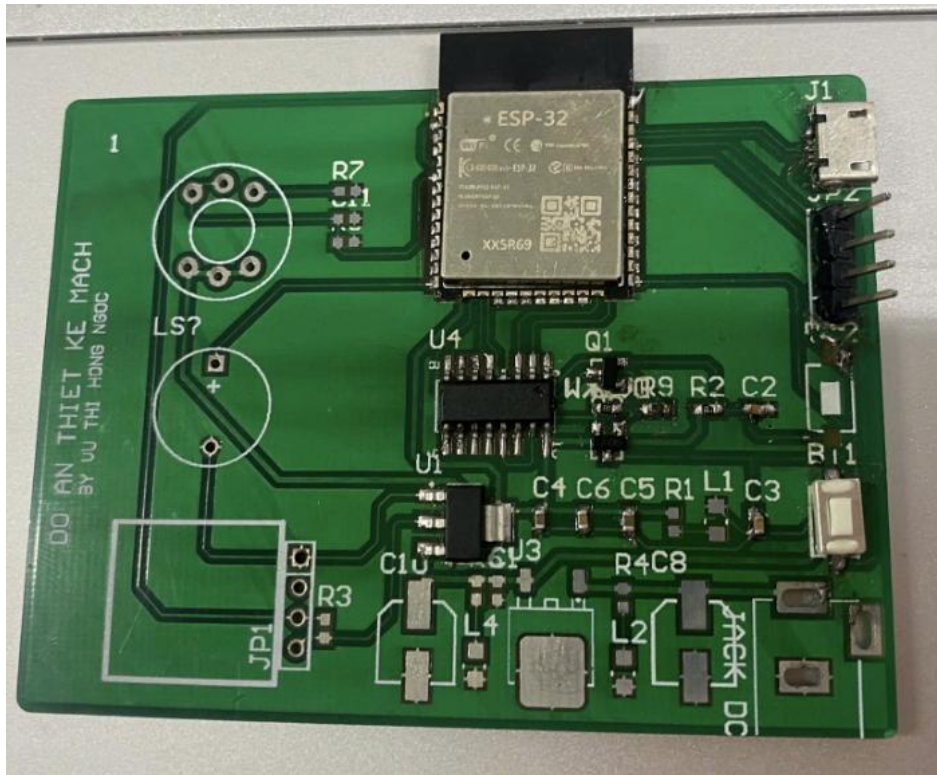
Việc thiết kế mạch PCB không chỉ giúp hệ thống trở nên gọn gàng, dễ bảo trì mà còn là bước quan trọng để đảm bảo khả năng mở rộng và sản xuất hàng loạt trong tương lai.



Hình 7: 2D PCB



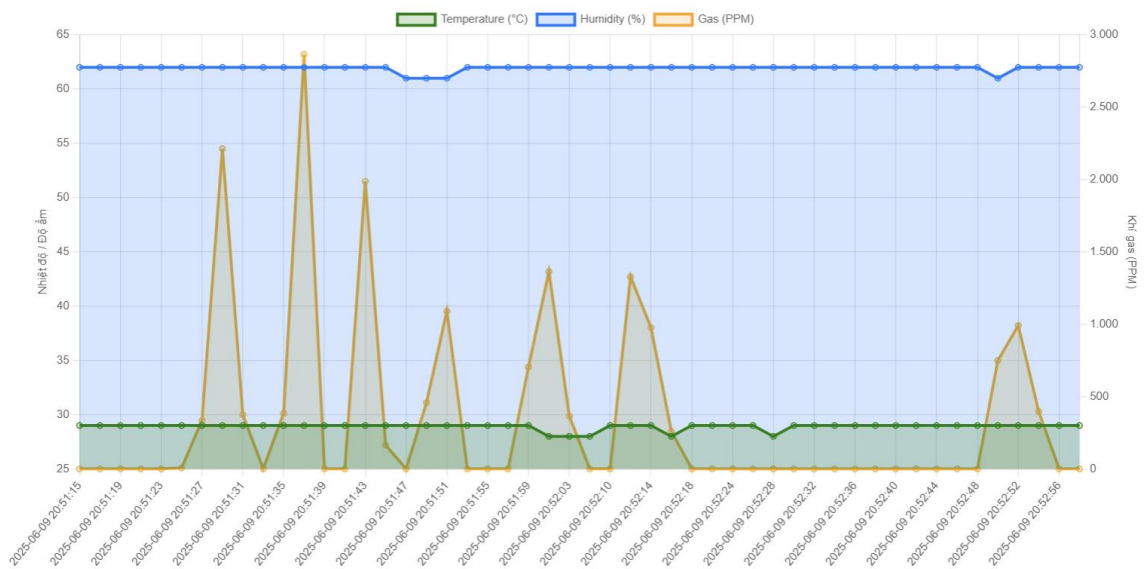
Hình 8: 3D PCB



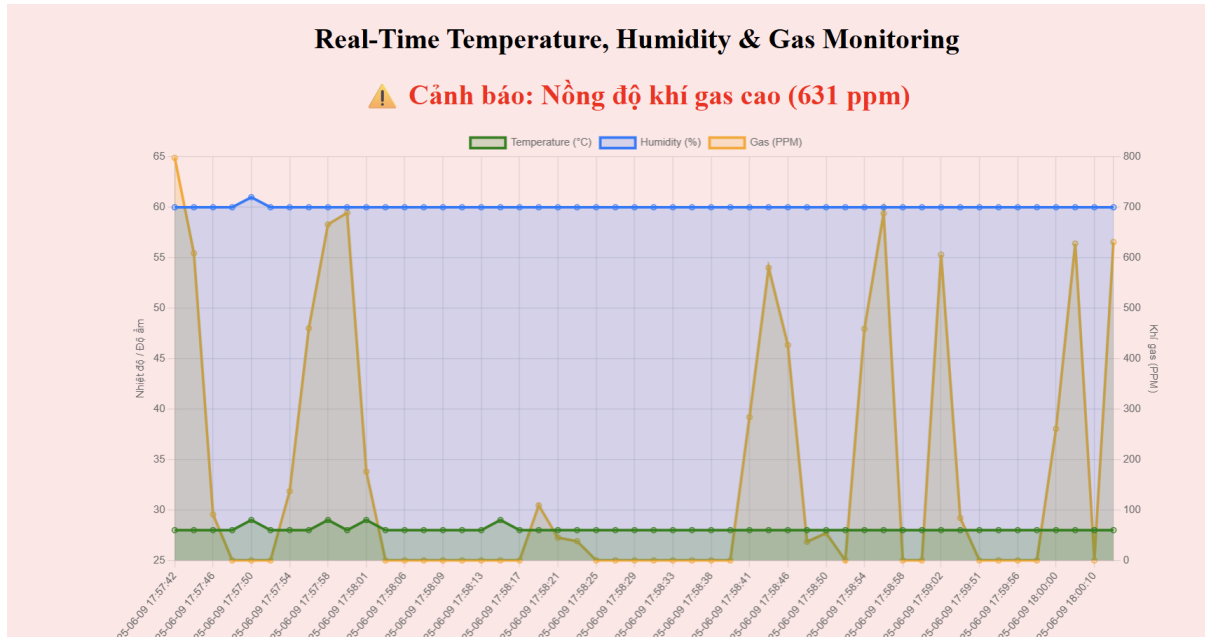
Hình 9: Mạch thực tế

3.5. Giao diện Web

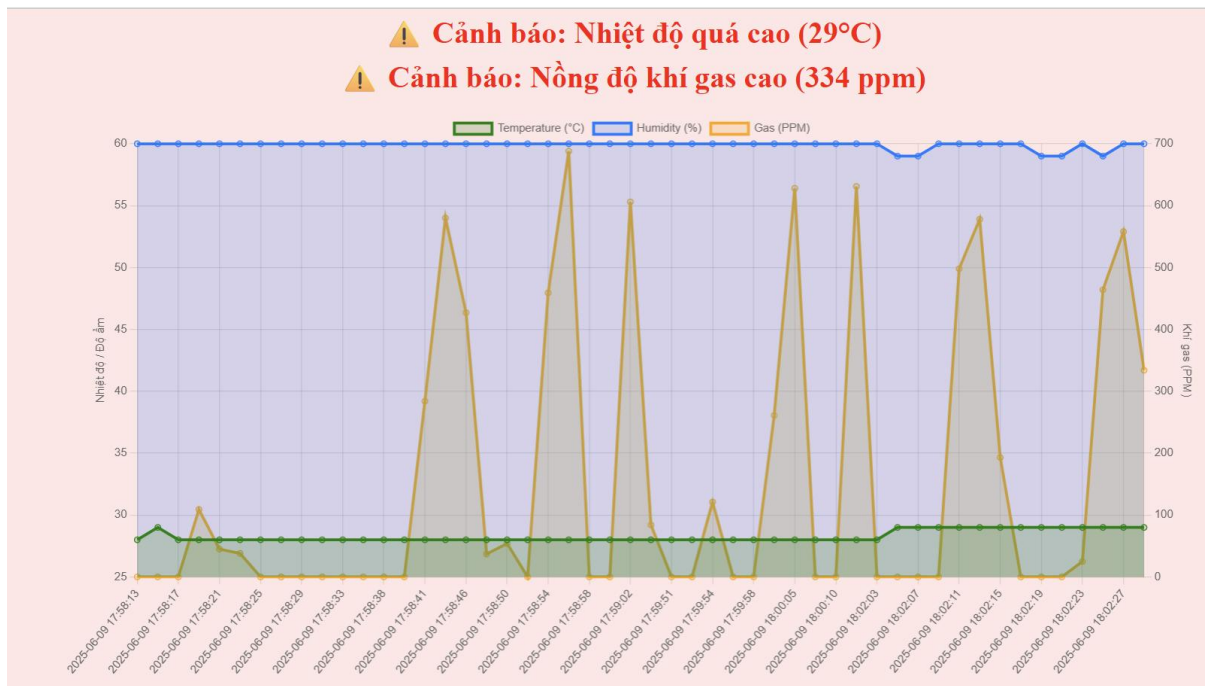
Real-Time Temperature, Humidity & Gas Monitoring



Hình 10: Web hiển thị các thông số bình thường



Hình 11: Web hiển thị cảnh báo khi nồng độ khí gas cao quá



Hình 12: Web hiển thị khi nhiệt độ và độ ẩm đều quá cao

Giao diện web được thiết kế để hiển thị dữ liệu giám sát môi trường gồm các thông số nhiệt độ, độ ẩm và nồng độ khí gas theo thời gian thực. Giao diện cung cấp biểu đồ trực quan sử dụng thư viện Chart.js, giúp người dùng dễ dàng theo dõi biến động các thông số một cách sinh động và trực quan. Dữ liệu được cập nhật tự động định kỳ mỗi 5 giây, đảm bảo luôn hiển thị thông tin mới nhất từ cảm biến.

Giao diện có các vùng cảnh báo riêng biệt cho từng thông số, được đặt phía trên biểu đồ với màu chữ đỏ, kích thước lớn để người dùng dễ nhận biết khi có hiện tượng bất thường. Các ngưỡng cảnh báo cho nhiệt độ, độ ẩm và khí gas được xác định và thiết lập trong mã nguồn như sau:

Nhiệt độ cảnh báo khi nhỏ hơn 10°C hoặc lớn hơn 35°C .

Độ ẩm cảnh báo khi nhỏ hơn 30% hoặc lớn hơn 85%.

Khí gas cảnh báo khi vượt quá 300 ppm.

Khi một hoặc nhiều thông số vượt mức bình thường này, hệ thống không chỉ hiển thị thông báo cảnh báo cụ thể, mà còn thay đổi màu nền của trang web sang màu hồng nhạt để thu hút sự chú ý của người dùng. Đồng thời, một âm thanh cảnh báo dạng beep cũng được phát trong vòng 5 giây để báo hiệu nguy hiểm, giúp người dùng có thể nhận biết ngay cả khi không nhìn trực tiếp vào màn hình.

Sau khi các thông số trở về mức an toàn, cảnh báo sẽ tự động biến mất, màu nền trang web trở lại trạng thái trắng mặc định và âm thanh ngừng phát. Thiết kế này đảm bảo tính liên tục trong giám sát cũng như sự an toàn cho môi trường được theo dõi. Ngoài ra, giao diện còn có phần chú thích rõ ràng cho từng đường biểu diễn dữ liệu (nhiệt độ, độ ẩm và khí gas), cùng với trục tung được phân tách rõ ràng giúp người dùng dễ dàng so sánh và đánh giá mức độ biến đổi của từng thông số trong cùng một biểu đồ.

Tóm lại, giao diện web đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp dữ liệu giám sát môi trường một cách trực quan, đồng thời hỗ trợ cảnh báo tức thời giúp người dùng kịp thời xử lý các tình huống bất thường, từ đó nâng cao hiệu quả giám sát và đảm bảo an toàn môi trường.

3.6. Cơ sở dữ liệu SQL

The screenshot shows the phpMyAdmin interface with the 'dht22_mq2' table selected. The table structure and data are as follows:

id	tempc	humi	ppm	datetime
1	29	68	0	2025-05-21 12:28:09
2	29	68	0	2025-05-21 12:28:14
3	29	68	0	2025-05-21 12:28:14
4	29	68	0	2025-05-21 12:28:16
5	29	67	0	2025-05-21 12:28:18
6	29	68	0	2025-05-21 12:28:20
7	29	68	0	2025-05-21 12:28:25
8	29	68	0	2025-05-21 12:28:26
9	29	68	0	2025-05-21 12:28:28
10	29	68	0	2025-05-21 12:28:30
11	29	68	0	2025-05-21 12:28:32
12	29	67	0	2025-05-21 12:28:34
13	29	67	0	2025-05-21 12:28:36
14	29	68	0	2025-05-21 12:28:38
15	29	67	0	2025-05-21 12:28:40
16	29	67	0	2025-05-21 12:28:42
17	29	68	0	2025-05-21 12:28:44
18	29	68	0	2025-05-21 12:28:46
19	29	68	0	2025-05-21 12:28:48
20	29	68	0	2025-05-21 12:28:50
21	29	68	0	2025-05-21 12:28:52
22	29	68	0	2025-05-21 12:28:54
23	29	68	0	2025-05-21 12:28:56
24	29	68	0	2025-05-21 12:28:58
25	29	68	0	2025-05-21 12:29:00

Hình 13: Cơ sở dữ liệu SQL

Trong hệ thống giám sát môi trường sử dụng cảm biến DHT11 và MQ2 trên vi điều khiển ESP32, dữ liệu môi trường thu thập được từ các cảm biến sẽ được lưu trữ vào cơ sở dữ liệu SQL để phục vụ cho việc phân tích, truy xuất và hiển thị trên giao diện web. Cơ sở dữ liệu QSL trong hệ thống này có cấu trúc đơn giản với các trường thông tin chính, bao gồm các giá trị đo đạc từ cảm biến và thời gian ghi nhận dữ liệu. Dưới đây là mô tả chi tiết về cơ sở dữ liệu QSL:

Các trường dữ liệu:

1. id: Đây là khóa chính của bảng, giúp phân biệt các bản ghi trong cơ sở dữ liệu. Mỗi bản ghi sẽ có một giá trị id duy nhất.
2. tempc: Giá trị nhiệt độ đo được từ cảm biến DHT11, được lưu trữ dưới dạng số nguyên (ví dụ: 29 độ C).
3. humi: Giá trị độ ẩm đo được từ cảm biến DHT11, lưu trữ dưới dạng số nguyên (ví dụ: 68%).
4. ppm: Giá trị nồng độ khí (ppm) đo được từ cảm biến MQ2, lưu trữ dưới dạng số nguyên. Nếu cảm biến không phát hiện khí, giá trị này sẽ là 0.
5. datetime: Thời gian ghi nhận dữ liệu, được lưu trữ dưới dạng chuỗi định dạng YYYY-MM-DD HH:MM:SS, cho phép người dùng biết thời gian chính xác khi cảm biến thu thập dữ liệu.

Ví dụ về bảng dữ liệu:

id	tempc	humi	ppm	datetime
1	29	68	0	2025-05-21 12:28:09
2	29	68	0	2025-05-21 12:28:14
3	29	68	0	2025-05-21 12:28:14
4	29	68	0	2025-05-21 12:28:16
5	29	67	0	2025-05-21 12:28:18
...

Mô tả hoạt động của cơ sở dữ liệu:

Lưu trữ và cập nhật dữ liệu: Các dữ liệu từ cảm biến DHT11 và MQ2 sẽ được gửi từ vi điều khiển ESP32 qua giao thức HTTP tới máy chủ web. Dữ liệu này sẽ được ghi vào cơ sở dữ liệu SQL trong thời gian thực.

Truy vấn và phân tích dữ liệu: Người sử dụng có thể truy vấn các bản ghi theo thời gian, nhiệt độ, độ ẩm, hoặc nồng độ khí. Ví dụ, có thể lọc dữ liệu theo khoảng thời gian nhất định hoặc tìm kiếm những lần đo có giá trị nồng độ khí cao.

Tính năng mở rộng: Cơ sở dữ liệu này có thể dễ dàng mở rộng để thêm các cảm biến mới hoặc các trường dữ liệu khác, phục vụ cho việc mở rộng hệ thống giám sát môi trường trong tương lai.

Ứng dụng trong hệ thống:

Cơ sở dữ liệu QSL giúp lưu trữ và quản lý dữ liệu thu thập từ các cảm biến một cách hiệu quả.

Dữ liệu này có thể được sử dụng để hiển thị thông tin trên giao diện web, phục vụ cho người dùng trong việc theo dõi và kiểm soát tình trạng môi trường trong thời gian thực.

Hệ thống cũng có thể áp dụng các thuật toán phân tích dữ liệu để phát hiện sự thay đổi bất thường trong các thông số môi trường, giúp cảnh báo sớm các tình huống nguy hiểm.

Cơ sở dữ liệu này đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì sự ổn định và hiệu quả của hệ thống giám sát môi trường, giúp người dùng dễ dàng truy xuất và phân tích thông tin từ các cảm biến.

3.7. Kết luận chương 3

Trong chương 3, hệ thống giám sát môi trường sử dụng cảm biến DHT11 và MQ2 trên nền tảng vi điều khiển ESP32 đã được thiết kế và triển khai đầy đủ cả về phần cứng lẫn phần mềm. Hệ thống được chia thành ba khối chính: khối cảm biến, khối xử lý trung tâm và khối ứng dụng, đảm nhiệm các chức năng thu thập, xử lý, truyền tải và hiển thị dữ liệu môi trường theo thời gian thực.

Về phần cứng, sơ đồ nguyên lý và sơ đồ mạch PCB đã được thiết kế chi tiết, đảm bảo kết nối chính xác giữa các linh kiện, tối ưu hóa cho việc đo đạc, lập trình và bảo trì. Các cảm biến được tích hợp phù hợp với nguồn điện cung cấp, đồng thời hệ thống cảnh báo qua buzzer được triển khai nhằm phản ứng nhanh với các giá trị bất thường.

Về phần mềm, vi điều khiển ESP32 được lập trình để đọc dữ liệu từ cảm biến, đánh giá điều kiện môi trường và gửi dữ liệu qua giao thức HTTP đến máy chủ. Giao diện web được xây dựng trực quan với biểu đồ thời gian thực và các chức năng cảnh báo bằng âm thanh và hình ảnh, giúp người dùng dễ dàng nhận biết các thay đổi trong môi trường.

Cơ sở dữ liệu SQL đóng vai trò quan trọng trong việc lưu trữ, truy xuất và phân tích dữ liệu cảm biến. Với cấu trúc bảng đơn giản và hiệu quả, hệ thống có thể mở rộng trong tương lai để tích hợp thêm nhiều loại cảm biến hoặc chức năng phân tích nâng cao.

Tóm lại, chương 3 đã trình bày đầy đủ quá trình thiết kế, thử nghiệm và triển khai hệ thống giám sát môi trường. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, có khả năng phản hồi nhanh và cung cấp dữ liệu chính xác, đáp ứng tốt mục tiêu đề ra. Đây là nền tảng quan trọng cho việc phát triển các hệ thống giám sát thông minh trong các ứng dụng thực tiễn như nhà thông minh, nông nghiệp công nghệ cao hoặc các hệ thống cảnh báo môi trường đô thị.

CHƯƠNG 4: ĐÁNH GIÁ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

4.1. Đánh giá hệ thống

4.1.1. Ưu điểm của hệ thống

Tối ưu chi phí, dễ triển khai: Hệ thống sử dụng phần cứng phổ biến, chi phí thấp nhưng vẫn đảm bảo các chức năng cốt lõi như đo lường, cảnh báo và lưu trữ dữ liệu.

Giám sát thời gian thực: Dữ liệu từ cảm biến được gửi liên tục qua mạng WiFi và hiển thị lên giao diện web cập nhật 5 giây/lần, phục vụ giám sát liên tục.

Giao diện trực quan, dễ sử dụng: Giao diện web thân thiện, biểu đồ sinh động sử dụng Chart.js giúp người dùng không chuyên vẫn có thể theo dõi hệ thống dễ dàng.

Cảnh báo chủ động: Hệ thống phát hiện sớm các điều kiện môi trường bất thường và đưa ra cảnh báo bằng cả âm thanh và hiển thị trên giao diện.

Lưu trữ có tổ chức: Dữ liệu được ghi nhận vào cơ sở dữ liệu SQL giúp quản lý lâu dài, truy xuất linh hoạt, hỗ trợ phân tích và thống kê.

4.1.2 Hạn chế của hệ thống

Độ chính xác hạn chế: DHT11 và MQ2 chỉ phù hợp cho các ứng dụng giám sát cơ bản, không đảm bảo độ chính xác cao trong môi trường công nghiệp.

Khả năng bảo mật thấp: Hệ thống sử dụng HTTP thay vì HTTPS, chưa có lớp bảo mật dữ liệu khi truyền tải qua mạng.

Khả năng phân tích còn hạn chế: Hệ thống mới chỉ lưu trữ và hiển thị, chưa có khả năng học hỏi hoặc đưa ra dự đoán.

Không có lưu trữ đám mây hoặc đồng bộ từ xa: Việc lưu trữ tại máy chủ nội bộ làm hạn chế khả năng truy cập từ xa hoặc chia sẻ hệ thống cho nhiều người dùng.

4.2. Hướng phát triển

4.2.1. Nâng cấp phần cứng

Thay cảm biến chính xác hơn: Thay DHT11 bằng DHT22 hoặc SHT31 (có độ chính xác cao hơn), thay MQ2 bằng các cảm biến chuyên biệt như MQ135, CCS811, BME680 để đo chất lượng không khí chính xác hơn.

Tăng tính di động và độc lập: Tích hợp pin sạc lithium + module sạc năng lượng mặt trời giúp hệ thống hoạt động độc lập và bền bỉ ngoài trời.

Thêm các cảm biến mở rộng: Thêm cảm biến bụi mịn PM2.5, ánh sáng (BH1750), hoặc cảm biến CO2 để theo dõi môi trường toàn diện.

4.2.2. Tích hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI)

Dự đoán và phân loại nguy cơ: Ứng dụng mô hình học máy (machine learning) như hồi quy tuyến tính, mạng neuron để dự đoán xu hướng nhiệt độ, độ ẩm, hoặc phát hiện các bất thường trong dữ liệu (anomaly detection).

Phân tích hành vi theo thời gian: Áp dụng các thuật toán AI để phân tích thói quen môi trường, dự báo thời điểm có nguy cơ cao xảy ra cháy nổ (do khí gas), từ đó đưa ra cảnh báo sớm hơn.

Tự động điều chỉnh thiết bị: Nếu hệ thống được kết hợp với các thiết bị điều khiển (quạt, van điện, máy lọc không khí), AI có thể tự đưa ra quyết định bật/tắt thiết bị khi phát hiện bất thường.

4.2.3. Kết nối điện toán đám mây và nền tảng IoT

Tích hợp nền tảng đám mây (Firebase, Blynk, ThingsBoard, Azure IoT): Cho phép lưu trữ dữ liệu lâu dài, truy cập mọi lúc mọi nơi và dễ dàng mở rộng người dùng.

Tạo dashboard điều khiển từ xa: Tạo bảng điều khiển từ xa cho người dùng điều chỉnh ngưỡng cảnh báo, xem lại lịch sử dữ liệu, xuất báo cáo PDF/Excel.

Hỗ trợ nhiều người dùng: Xây dựng hệ thống tài khoản, phân quyền theo người dùng, cho phép mỗi người giám sát khu vực riêng biệt.

4.2.4 Mở rộng ứng dụng thực tiễn

Giám sát môi trường trong lớp học, bệnh viện, nhà xưởng: Giám sát nhiệt độ, độ ẩm, khí độc trong các không gian kín để đảm bảo sức khỏe cho học sinh, công nhân, bệnh nhân.

Ứng dụng trong nông nghiệp thông minh: Theo dõi vi khí hậu nhà kính, điều khiển tự động tưới tiêu hoặc thông gió dựa trên phân tích dữ liệu.

Giám sát môi trường đô thị: Kết hợp nhiều hệ thống ESP32 tạo thành mạng lưới giám sát môi trường ở quy mô quận, phường.

4.3. Kết luận chương

Hệ thống giám sát môi trường đã đạt được các mục tiêu thiết kế cơ bản, từ thu thập – xử lý – truyền dữ liệu đến lưu trữ và hiển thị. Qua đánh giá thực tế, hệ thống có thể hoạt động ổn định, cung cấp thông tin hữu ích trong thời gian thực, cảnh báo hiệu quả khi xảy ra bất thường.

Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác, độ tin cậy, khả năng mở rộng và giá trị phân tích của hệ thống, các hướng phát triển đã được đề xuất bao gồm: thay thế cảm biến chính xác hơn, tích hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI), lưu trữ và xử lý dữ liệu qua nền tảng đám mây, cũng như mở rộng phạm vi ứng dụng vào các lĩnh vực như nông nghiệp thông minh, giám sát công nghiệp, và đô thị thông minh. Việc áp dụng các công nghệ hiện đại này sẽ biến hệ thống ban đầu thành một giải pháp IoT hoàn chỉnh và thông minh hơn, góp phần nâng cao chất lượng sống và quản lý môi trường hiệu quả hơn trong tương lai.