

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ

-----o0o-----



BÀI TẬP LỚN THIẾT KẾ HỆ THỐNG NHÚNG

**HỆ THỐNG ĐO ĐỘ ÂM VÀ TUỐI
TIÊU SỬ DỤNG STM32**

Lớp: L03 – Nhóm 01 – HK251

GVHD: Thầy Nguyễn Phan Hải Phú

Họ Tên	MSSV	Nhiệm vụ	Hoàn thành
Nguyễn Quốc Tín	2213496	Phần mềm	100%
Nguyễn Duy Tuyên	2213821	Phần mềm	100%
Nguyễn Ngọc Hải	2210893	Schematic, PCB	100%
Nguyễn Quốc Thái	2313103	Thử nghiệm breadboard	100%

TP. HỒ CHÍ MINH, THÁNG 11 NĂM 2025

TÓM TẮT ĐỀ TÀI

Đề tài hướng đến việc xây dựng một hệ thống đo độ ẩm đất và điều khiển tưới tiêu tự động sử dụng kit STM32F103C8T6, nhằm giải quyết bài toán tự động hóa trong chăm sóc cây trồng ở quy mô nhỏ. Hệ thống tích hợp cảm biến độ ẩm, màn hình LCD 16x2 giao tiếp I2C để hiển thị thông số và IC thời gian thực DS3231 giúp đồng bộ thời gian trong các chế độ hẹn giờ. Động cơ bơm chìm được điều khiển thông qua relay 5V, đảm bảo đủ dòng để vận hành tưới tiêu cho cây trồng mô hình. Để cung cấp năng lượng ổn định cho toàn bộ hệ thống, nguồn đầu vào 5V được hạ xuống 3.3V bằng IC ổn áp AMS1117-3.3, kết hợp với các tụ lọc ở ngõ vào, ngõ ra nhằm giảm nhiễu và ổn định điện áp cấp cho vi điều khiển cũng như toàn bộ ngoại vi I2C, cảm biến và các nút nhấn. Thiết kế này đảm bảo độ an toàn, hạn chế sụt áp và giúp STM32 hoạt động ổn định trong thời gian dài.

Hệ thống được tổ chức thành ba chế độ làm việc chính. Chế độ Manual cho phép đo độ ẩm liên tục và duy trì động cơ bơm luôn hoạt động và hiển thị nhiệt độ, phù hợp cho thử nghiệm hoặc mô hình cần tưới liên tục. Chế độ Auto sử dụng thuật toán điều khiển theo ngưỡng: bơm sẽ tự động khởi động khi độ ẩm thấp hơn 40% và ngừng lại khi vượt 50%, giúp tiết kiệm nước và giữ độ ẩm đất trong khoảng tối ưu. Chế độ Timer tận dụng thời gian thực từ DS3231, cho phép người dùng đặt giờ tưới – lịch tưới theo nhu cầu. Hệ thống sử dụng 6 nút nhấn: ba nút chọn chế độ (Mode 1–3), một nút Reset để làm mới mỗi khi đổi mode và hai nút tăng/giảm (INC/DEC) phục vụ điều chỉnh thời gian trong chế độ Timer, giúp giao diện điều khiển trở nên trực quan và dễ thao tác.

MỤC LỤC

1. GIỚI THIỆU.....	1
1.1 Tổng quan	1
1.2 Nhiệm vụ đề tài.....	1
2. LÝ THUYẾT	5
2.1 Kit STM32F103C8T6.....	5
2.2 Cảm biến độ ẩm đất	8
2.2.1. Giới thiệu về cảm biến độ ẩm đất.....	8
2.2.2. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các đặc điểm của cảm biến độ ẩm đất.....	9
2.3 Module thời gian thực RTC DS3231	11
2.3.1. Giới thiệu về IC DS3221	11
2.3.2. Nguyên lý hoạt động.....	11
2.3.2. Cấu tạo và các thành phần chính	12
2.4 LCD 16x2 giao tiếp I2C.....	13
2.4.1. Giới thiệu LCD 16x2 có tích hợp module I2C.....	13
2.4.2. Nguyên lý hoạt động của LCD 16x2 có tích hợp module I2C.....	13
2.5 Relay và mạch điều khiển bơm.....	14
2.5.1. Giới thiệu module relay 5V	14
2.5.2. Nguyên lý hoạt động.....	14
2.6 IC ổn áp AMS1117-3.3V	15
2.6.1. Giới thiệu AMS1117-3.3V	15
2.6.2. Nguyên lý hoạt động.....	15
2.7 Nút nhấn vật lý 6x6x5mm (Tact Switch).....	16
2.8 Nguồn Adapter 5V 1A	17
3. THIẾT KẾ VÀ THỰC HIỆN PHẦN CỨNG	18
3.1 Yêu cầu thiết kế	18
3.2 Phân tích phương pháp thiết kế.....	19

3.2.1. Phân tích lựa chọn vi điều khiển	19
3.2.2. Phân tích phương án đọc độ ẩm.....	20
3.2.3. Phân tích phương pháp điều khiển động cơ bơm chìm	20
3.2.4. Phân tích hiển thị thông tin	20
3.2.5. Phương án thiết kế nguồn.....	20
3.3 Sơ đồ khái tổng quan của hệ thống.....	21
3.4 Sơ đồ khái chi tiết của hệ thống.....	23
3.5 Tính toán và vẽ sơ đồ mạch chi tiết	25
3.5.1. Sơ đồ mạch chi tiết	25
3.5.2. Sơ đồ layout PCB	29
4. THIẾT KẾ VÀ THỰC HIỆN PHẦN MỀM.....	32
4.1 Tổng quan phần mềm	32
4.2 Máy trạng thái của chương trình.....	32
4.3 Chế độ Manual.....	33
4.4 Chế độ Auto	33
4.5 Chế độ Timer	34
4.6 Xử lý giao diện nút nhấn.....	34
4.7 Hiển thị (LCD I2C).....	35
5. KẾT QUẢ THỰC HIỆN	36
6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	39
6.1 Kết luận.....	39
6.2 Hướng phát triển	39
7. TÀI LIỆU THAM KHẢO	41
8. PHỤ LỤC	42

1. GIỚI THIỆU

1.1 Tổng quan

Trong những năm gần đây, nhu cầu tự động hóa trong lĩnh vực nông nghiệp ngày càng tăng nhằm cải thiện hiệu suất tưới tiêu, tối ưu lượng nước sử dụng và giảm công lao động cho người trồng trọt. Các hệ thống tưới thông minh có khả năng tự động đo độ ẩm và điều khiển bơm nước đang được ứng dụng rộng rãi trong mô hình nông nghiệp hiện đại. Xuất phát từ yêu cầu thực tế đó, nhóm thực hiện đề tài “Hệ thống đo độ ẩm và tưới tiêu sử dụng STM32” với mục tiêu xây dựng một mô hình tưới tiêu tự động nhỏ gọn, dễ vận hành, có khả năng điều khiển bơm dựa trên độ ẩm đất hoặc theo lịch trình.

Hệ thống sử dụng kit vi điều khiển STM32F103C8T6 làm bộ xử lý trung tâm, kết hợp với cảm biến độ ẩm đất, LCD 16x2 giao tiếp I2C, IC thời gian thực DS3231, relay điều khiển bơm chìm, và mạch nguồn 5V – 3.3V dùng AMS1117-3.3V để đảm bảo cấp nguồn ổn định cho toàn bộ hệ thống. Hệ thống hỗ trợ ba chế độ hoạt động gồm:

- Manual: đo độ ẩm liên tục và cho bơm hoạt động không gián đoạn.
- Auto: tưới tự động theo ngưỡng độ ẩm (bơm khi < 40% và dừng khi > 50%).
- Timer: tưới theo thời gian thực dựa trên lịch hẹn từ DS3231.

Qua các chức năng trên, nhóm mong muốn xây dựng được một hệ thống có tính ứng dụng, hoạt động ổn định và là nền tảng để tiếp tục phát triển thành mô hình tưới tiêu thông minh trong tương lai. Từ mục tiêu đó, nhóm xác định các nhiệm vụ và hướng tiếp cận cụ thể như trình bày trong phần tiếp theo.

1.2 Nhiệm vụ đề tài

Để hoàn thành đề tài “Hệ thống đo độ ẩm và tưới tiêu sử dụng STM32”, nhóm tiến hành xác định và phân chia công việc thành nhiều nhiệm vụ cụ thể, tương ứng với các giai đoạn nghiên cứu lý thuyết, phân tích yêu cầu, thiết kế phần cứng, lập trình phần mềm, tích hợp hệ thống và kiểm thử thực tế. Mỗi nhiệm vụ đều có yêu cầu riêng, kết quả mong muốn và phương pháp thực hiện rõ ràng để đảm bảo quá trình phát triển hệ thống được khoa học, logic và hạn chế sai sót trong quá trình triển khai. Nội dung chi tiết các nhiệm vụ như sau:

Nội dung 1: Nghiên cứu cơ sở lý thuyết và thành phần hệ thống

Yêu cầu:

Nhóm cần tìm hiểu đầy đủ nguyên lý làm việc của các phần tử trong hệ thống bao gồm cảm biến độ ẩm đất dạng điện trở, vi điều khiển STM32F103C8T6, giao tiếp I2C của LCD 16x2, IC thời gian thực DS3231, relay điều khiển bơm chìm và mạch nguồn ổn áp AMS1117-3.3V. Việc nắm rõ từng thành phần giúp nhóm hiểu rõ chuỗi hoạt động của hệ thống từ khâu đo đặc, xử lý, hiển thị, điều khiển.

Kết quả cần đạt:

- Hiểu cấu tạo cảm biến và mức tín hiệu ADC tương ứng độ ẩm.
- Nắm rõ các chân chức năng của STM32, đặc biệt là ADC, GPIO, Timer và I2C.
- Nắm nguyên lý hoạt động và cách đọc thời gian thực từ DS3231.
- Hiểu cách relay kích tải và các yêu cầu về dòng – áp khi điều khiển bơm.
- Xác định cách thiết kế mạch nguồn 5V và hạ áp xuống 3.3V với tụ lọc.

Cách tiếp cận:

- Đọc datasheet từng linh kiện, tài liệu CubeMX/CubeIDE.
- Mô phỏng hoạt động cảm biến và phân tích nhiễu tín hiệu ADC.
- Xây dựng sơ đồ khái tổng thể để hình dung luồng xử lý của hệ thống.

Nội dung 2: Phân tích và cấu hình kit STM32F103C8T6

Yêu cầu:

STM32 cần được cấu hình chính xác để đọc cảm biến, giao tiếp I2C với LCD và DS3231, cũng như xuất tín hiệu điều khiển relay. Nhóm phải đảm bảo hệ thống chạy ổn định, không treo, không reset khi tải (bơm) hoạt động.

Kết quả cần đạt:

- Cấu hình ADC 12-bit với tần suất lấy mẫu hợp lý.
- Thiết lập Timer tạo chu kỳ đọc cảm biến và cập nhật LCD.
- Cấu hình I2C đúng tốc độ để giao tiếp ổn định với LCD và DS3231.

- Thiết lập GPIO input cho sáu nút nhấn có chống rung nút nhấn bằng phần cứng và cả phần mềm.
- Thiết lập GPIO output để điều khiển relay kích bơm.

Cách tiếp cận:

- Sử dụng STM32CubeMX để cấu hình từng ngoại vi.
- Test từng module độc lập trước khi tích hợp: test ADC → test I2C → test relay → test LCD.

Nội dung 3: Thiết kế bộ điều khiển ... sử dụng giải thuật ...

Yêu cầu:

Toàn bộ hệ thống cần vận hành theo ba chế độ: Manual, Auto và Timer; mỗi chế độ phải chạy đúng logic và không ảnh hưởng lẫn nhau. Nhóm cần thiết kế thuật toán rõ ràng, dễ mở rộng và trực quan khi vận hành.

Kết quả cần đạt:

- Mode Manual: bơm chạy liên tục, cảm biến đọc liên tục.
- Mode Auto: bơm $<40\%$ và dừng $>50\%$, với độ trễ phù hợp để tránh bật/tắt liên tục.
- Mode Timer: đặt được giờ – phút tưới bằng nút nhấn và lưu dựa trên thời gian DS3231.
- Chuyển mode chính xác bằng nút 1,2,3; reset hệ thống mỗi khi đổi mode bằng nút 4.
- Nút tăng/giảm (5,6) hoạt động ổn định trong chế độ Timer.

Cách tiếp cận:

- Dùng timer nội bộ để đọc cảm biến, tính toán và cập nhật LCD theo chu kỳ 100–500 ms.
- Áp dụng chống rung nút bằng thuật toán lọc thời gian và tự lọc.

Ý tưởng thực hiện:

Trong chế độ Timer, nhóm tạo một màn hình hiển thị riêng để người dùng điều chỉnh giờ, sau đó xác nhận và lưu thời gian kích bơm vào biến hệ thống.

Nội dung 4: Thiết kế và thi công mạch in cho hệ thống

Yêu cầu:

Ở nội dung này, nhóm cần thiết kế và thi công mạch in (PCB) hoàn chỉnh cho toàn bộ hệ thống đo độ ẩm và tưới tiêu. Mạch in phải tích hợp đầy đủ các khối chức năng gồm: mạch nguồn, vi điều khiển STM32F103C8T6, cảm biến độ ẩm, relay điều khiển bơm, giao tiếp I2C cho LCD và DS3231, cùng các nút nhấn chọn chế độ và điều chỉnh thời gian. PCB cần đảm bảo tính ổn định, độ an toàn điện và hạn chế nhiễu, đồng thời bố trí linh kiện hợp lý để dễ dàng lắp ráp và bảo trì.

Kết quả cần đạt:

- Hoàn thiện sơ đồ nguyên lý (schematic) dựa trên mô hình hoạt động của hệ thống.
- Thiết kế layout PCB 1–2 lớp tùy mức độ phức tạp, đảm bảo đường mạch rõ ràng và không giao thoa nhiều giữa các khối công suất và khối điều khiển.
- Bố trí khối nguồn 5V và IC AMS1117-3.3V hợp lý, kết hợp tụ lọc 10 µF – 100 nF gần chân nguồn STM32 và DS3231 để đảm bảo điện áp ổn định.
- Cách ly tương đối đường cấp nguồn cho relay và bơm chìm nhằm giảm nhiễu ngược về vi điều khiển.
- Hoàn thiện file Gerber và tiến hành gia công PCB, sau đó lắp ráp, hàn linh kiện và kiểm tra tính liên tục của đường mạch.

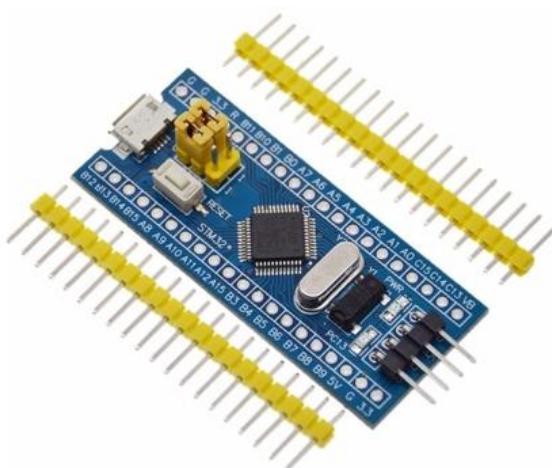
Cách tiếp cận:

- Nhóm sử dụng phần mềm thiết kế mạch Altium Designer để vẽ sơ đồ nguyên lý và bố trí PCB.
- Sau khi hoàn thành layout, nhóm thực hiện kiểm tra ERC/DRC để đảm bảo không có lỗi nối sai, hở mạch hoặc khoảng cách giữa các đường mạch không đạt chuẩn.
- Khi gia công xong PCB, nhóm tiến hành kiểm tra bằng đồng hồ VOM để đảm bảo không có chạm chập hoặc đứt mạch trước khi hàn linh kiện.

2. LÝ THUYẾT

2.1 Kit STM32F103C8T6

Kit STM32F103C8T6, như được minh họa trong hình 2-1, là một trong những bo mạch phát triển phổ biến thuộc dòng STM32 của hãng STMicroelectronics. Board được thiết kế nhỏ gọn, chi phí thấp, dễ tiếp cận và được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng nhúng, điều khiển tự động, thu thập dữ liệu và các hệ thống cần giao tiếp đa chuẩn. Nhờ tích hợp lõi xử lý ARM Cortex-M3 cùng các ngoại vi phong phú, kit STM32F103C8T6 thích hợp cho cả các dự án từ cơ bản đến nâng cao trong lĩnh vực kỹ thuật điều khiển – điện tử.



Hình 2-1: Kit phát triển STM32F103C8T6.

Bên trong kit STM32F103C8T6 bao gồm:

Vi điều khiển STM32F103C8T6

- Bộ xử lý: ARM Cortex-M3, kiến trúc 32-bit RISC.
- Xung nhịp hoạt động: tối đa 72 MHz, đáp ứng tốt các bài toán yêu cầu xử lý tốc độ cao.
- Bộ nhớ chương trình (Flash): 64 KB.
- Bộ nhớ dữ liệu (SRAM): 20 KB.
- Tốc độ bus: hỗ trợ bus APB1/APB2 cho ngoại vi.

Bộ nhớ và ngoại vi tích hợp

- ADC: Bộ chuyển đổi tương tự – số 12 bit, tối đa 16 kênh (ADC1 và ADC2), phục vụ đo tín hiệu analog chính xác.
- Timers: Nhiều bộ định thời hỗ trợ PWM, capture/compare, tạo xung hoặc đo tần số.
- USART/UART: Dùng cho giao tiếp nối tiếp, debug và truyền dữ liệu.
- SPI: Kết nối tốc độ cao với ngoại vi như EEPROM, cảm biến, RF module.
- I2C: Giao tiếp hai dây với LCD I2C, cảm biến,...
- USB Device: Cho phép kết nối với máy tính (tùy phiên bản firmware).

Hình 2-2 trình bày sơ đồ chân tổng quát của kit STM32F103C8T6, gồm 40 chân header, trong đó đa phần có thể cấu hình làm GPIO đa dụng. Ngoài ra, một số chân được gán chức năng cố định hoặc ưu tiên.

Các nhóm chân chính gồm:

- **Chân nguồn:**
 - 3.3V: Nguồn nuôi chính cho vi điều khiển và ngoại vi logic mức thấp.
 - 5V: Nguồn cấp từ USB hoặc adapter ngoài.
 - GND: Đất của hệ thống.
 - VBAT: Nguồn nuôi RTC bên trong MCU khi mất nguồn chính.
- **GPIO:**
 - Tổng cộng khoảng 35 chân GPIO khả dụng (sau khi loại các chân nguồn).
 - Các chân có thể đảm nhiệm vai trò input, output, PWM, hoặc chức năng ngoại vi theo cấu hình.
- **ADC:**
 - Các chân analog thuộc port A (PA0–PA7), hỗ trợ đo điện áp chính xác 12-bit.
- **PWM / Timer:**

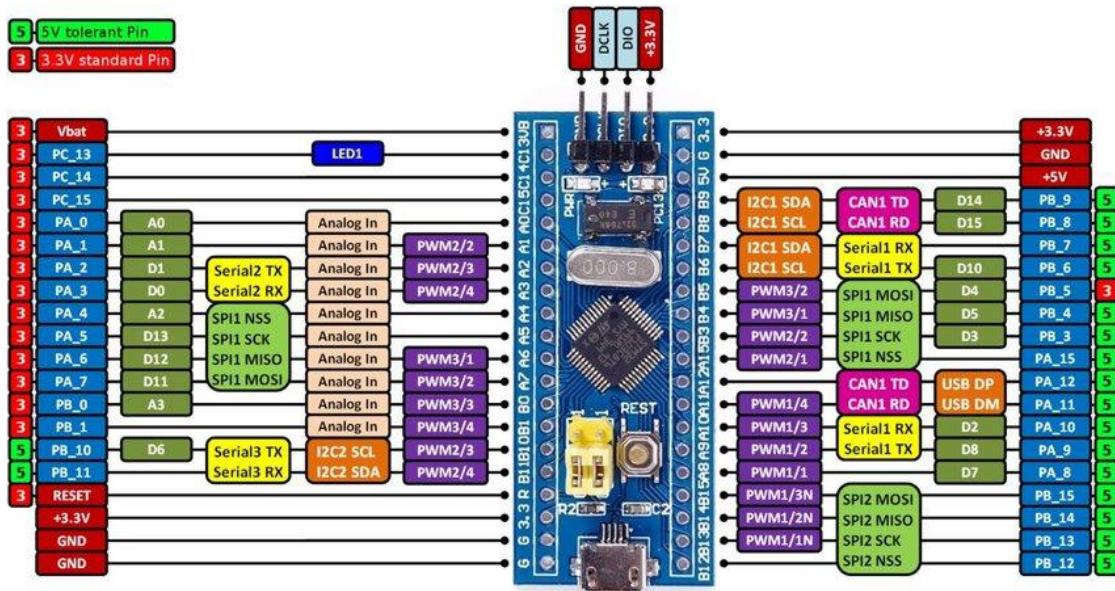
- Có mặt trên các chân như PA0–PA3, PA6–PA7, PB0–PB1..., dùng để tạo xung điều khiển hoặc đo tín hiệu.
- **UART (USART1, USART2, USART3):**
 - Dùng cho giao tiếp nối tiếp hai chiều, truyền dữ liệu, debug.
- **SPI:**
 - Các chân PA4–PA7 phục vụ kết nối ngoại vi dùng giao thức SPI.
- **I2C:**
 - PB6 – SCL
 - PB7 – SDA
- **USB:**
 - PA11 – DM, PA12 – DP cho giao tiếp USB Device.
- **RESET:**
 - Chân Reset dùng khởi động lại vi điều khiển không cần tắt nguồn.
- **BOOT0/BOOT1:**
 - Các chân lựa chọn chế độ khởi động (Flash, SRAM, UART).
- **LED on-board:**
 - Nối với PC13, thường dùng kiểm tra nhanh hoạt động của chương trình.

Nguồn cấp

Kit STM32 có thể được cấp nguồn theo nhiều cách:

- Qua cổng USB Mini (5V).
- Qua chân 5V trên header.
- Qua chân 3.3V nếu nguồn ngoài đã ổn định.

Điện áp hoạt động của MCU là 3.3V, vì vậy nếu cấp 5V, board sẽ sử dụng bộ ổn áp tuyến tính để chuyển xuống 3.3V.

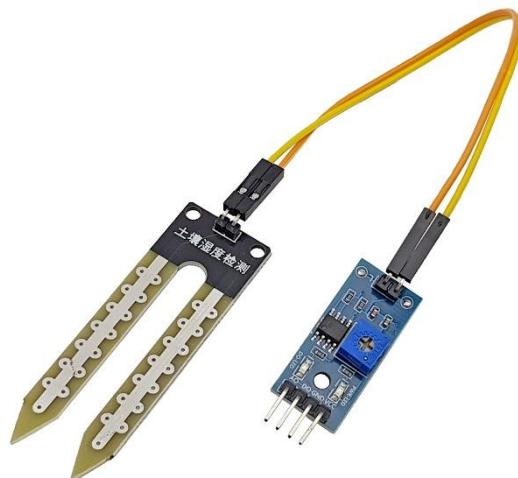


Hình 2-2: Sơ đồ chân của kit STM32F103C8T6.

2.2 Cảm biến độ ẩm đất

2.2.1. Giới thiệu về cảm biến độ ẩm đất

Cảm biến độ ẩm đất được sử dụng trong đề tài là loại cảm biến phô biến trong các mô hình nông nghiệp và hệ thống tưới tự động. Loại cảm biến này bao gồm hai phần riêng biệt: đầu dò (probe) và module xử lý tín hiệu (mạch so sánh). Hình 2-3 minh họa cấu tạo đầy đủ của cảm biến.



Hình 2-3: Cảm biến độ ẩm đất dạng điện trở gồm đầu dò và module xử lý tín hiệu.

2.2.2. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các đặc điểm của cảm biến độ ẩm đất

a) Cấu tạo cảm biến

Đầu dò (Soil Probe):

- Gồm hai thanh kim loại dạng bản mỏng, được phủ mạch in và cắm trực tiếp vào đất.
- Hai thanh này đóng vai trò như hai điện cực, đo khả năng dẫn điện của đất.
- Độ ẩm càng cao thì khả năng dẫn điện càng tốt làm điện trở giữa hai bản cực càng thấp.

Module khuếch đại và điều khiển:

- Chứa mạch so sánh (thường là IC LM393).
- Có 4 chân:
 - AO (Analog Output): xuất giá trị điện áp analog tỷ lệ với độ ẩm.
 - DO (Digital Output): mức 0/1 dựa trên ngưỡng đặt bằng biến trở.
 - VCC: thường 3.3V hoặc 5V.
 - GND: đất hệ thống.
- Tích hợp biến trở chỉnh ngưỡng, cho phép điều chỉnh độ ẩm mà tại đó ngõ DO đổi trạng thái.
- Có LED báo trạng thái, sáng khi độ ẩm vượt ngưỡng.

b) Nguyên lý hoạt động

Cảm biến làm việc theo nguyên lý thay đổi điện trở của môi trường đất:

- Khi đất khô, điện trở giữa hai thanh dò tăng, điện áp AO thường cao.
- Khi đất ẩm, điện trở giảm, điện áp AO thấp.
- Tín hiệu được module xử lý và xuất ra hai dạng:

AO (Analog Output):

- Là điện áp tương tự (0–3.3V hoặc 0–5V tùy nguồn cấp).
- Được đưa vào ADC để biến đổi thành giá trị số.

DO (Digital Output):

- Là tín hiệu số 0/1 dựa vào ngưỡng được chỉnh bằng biến trở.
- Có thể dùng để kích thăng relay theo mức so sánh.

Trong các ứng dụng yêu cầu hiển thị hoặc điều khiển chính xác, người ta ưu tiên sử dụng ngõ AO kết hợp với ADC của vi điều khiển.

c) Đặc tính tín hiệu và phạm vi đo

- Tín hiệu analog không tuyến tính và phụ thuộc loại đất.
- Điện áp AO thường nằm trong khoảng:
 - 0–1V: đất rất ẩm
 - 1–2.5V: đất ẩm trung bình
 - 2.5–5V: đất khô
- Đo thực tế thường yêu cầu hiệu chỉnh để phù hợp từng môi trường đất cụ thể.

d) Ưu điểm và hạn chế

Ưu điểm:

- Giá thành thấp, dễ sử dụng.
- Cho phép lấy cả tín hiệu analog và digital.
- Mạch đơn giản, dễ tích hợp vào các mô hình.

Hạn chế:

- Điện cực kim loại dễ bị ăn mòn theo thời gian do điện phân.
- Độ chính xác phụ thuộc loại đất, độ mặn, nhiệt độ.
- Cần hiệu chỉnh để sử dụng trong môi trường thật.

e) Ứng dụng

Cảm biến loại này rất phổ biến trong:

- Mô hình tưới tự động, giám sát cây trồng, nhà kính.
- Hệ thống IoT nông nghiệp.
- Các đề tài nghiên cứu học thuật liên quan đến đo đạc môi trường đất.

2.3 Module thời gian thực RTC DS3231

2.3.1. Giới thiệu về IC DS3231

IC DS3231 là một RTC (Real-Time Clock) – mạch tích hợp thời gian thực có nhiệm vụ duy trì và cung cấp thông tin thời gian hiện tại bao gồm giây, phút, giờ, ngày, tháng và năm. DS3231 được thiết kế để hoạt động liên tục và chính xác ngay cả khi hệ thống chính mất nguồn nhờ sử dụng pin dự phòng. Đây là một trong những RTC có độ chính xác cao nhất trong phân khúc giá thấp nhờ tích hợp bộ dao động tinh thể và cơ chế bù nhiệt bên trong chip.

2.3.2. Nguyên lý hoạt động

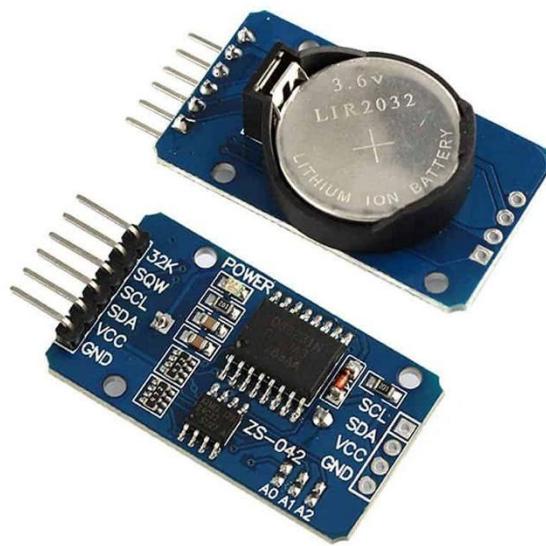
IC DS3231 hoạt động dựa trên bộ dao động thạch anh tích hợp bên trong chip. Dao động này tạo ra xung clock ổn định để đếm thời gian. Điểm đặc biệt của IC DS3231 là khả năng tự bù nhiệt: bên trong chip có cảm biến nhiệt độ dùng để hiệu chỉnh tần số dao động nhằm giảm sai số do nhiệt độ môi trường. Nhờ đó, IC DS3231 đạt độ chính xác cao, sai số chỉ khoảng ± 2 ppm (tương đương ± 1 phút/năm).

Dữ liệu thời gian được lưu trữ trong các thanh ghi dạng BCD (Binary Coded Decimal). Vì điều khiển giao tiếp với DS3231 thông qua chuẩn I2C để:

- Đọc thời gian hiện tại.
- Ghi thời gian mới.
- Cấu hình báo thức (Alarm 1 và Alarm 2).
- Đọc giá trị cảm biến nhiệt độ tích hợp.

Ngay cả khi nguồn 5V/3.3V bị ngắt, DS3231 vẫn tiếp tục đếm thời gian nhờ pin dự phòng (CR2032) nối vào chân VBAT.

2.3.2. Cấu tạo và các thành phần chính



Hình 2-4: Module thời gian thực RTC DS3231.

Một module DS3231 được minh họa như hình 2-4 bên trong thường gồm:

1. IC DS3231, chip RTC chính và bên trong bao gồm:

- Bộ tạo dao động tinh thể nội
- Bộ cảm biến nhiệt
- Bộ đếm thời gian
- 2 bộ ngắt báo thức (Alarm)
- Giao tiếp I2C

2. Pin dự phòng CR2032

- Đảm bảo IC hoạt động liên tục khi mất nguồn chính.

3. EEPROM AT24C32 (tùy phiên bản)

- Bộ nhớ 32Kbit dùng để lưu dữ liệu hoặc cấu hình lâu dài.

4. Các chân giao tiếp:

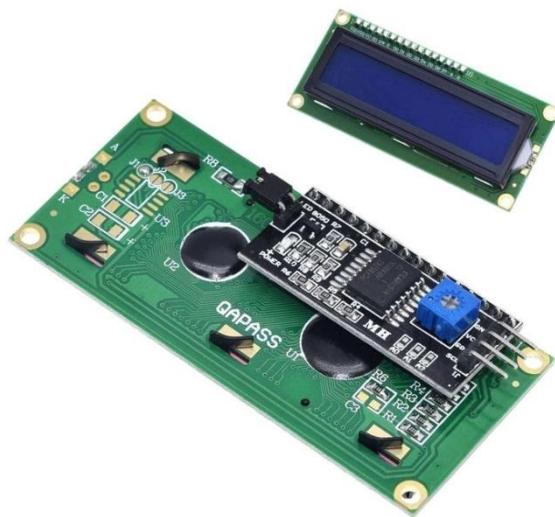
- VCC: cấp nguồn 3.3V hoặc 5V

- GND: đất chung của cả hệ thống
- SCL, SDA: đường I2C
- SQW/INT: xuất xung vuông hoặc báo thức

2.4 LCD 16x2 giao tiếp I2C

2.4.1. Giới thiệu LCD 16x2 có tích hợp module I2C

LCD 16x2 là loại màn hình ký tự phổ biến trong các hệ thống nhúng, cho phép hiển thị hai dòng, mỗi dòng gồm 16 ký tự. Ở dạng nguyên bản, LCD sử dụng giao tiếp song song 8-bit/4-bit với bộ điều khiển HD44780, yêu cầu nhiều chân GPIO và dây nối. Để giảm số lượng dây kết nối và giúp việc tích hợp với vi điều khiển trở nên dễ dàng hơn, LCD thường được gắn thêm module mở rộng I2C như thể hiện trong hình 2-5. Nhờ đó, LCD chỉ cần 4 chân kết nối: VCC, GND, SDA và SCL, giúp tiết kiệm tài nguyên phần cứng và phù hợp với các ứng dụng yêu cầu tính gọn nhẹ.



Hình 2-5: Màn hình LCD 16x2 kèm module mở rộng giao tiếp I2C.

2.4.2. Nguyên lý hoạt động của LCD 16x2 có tích hợp module I2C

Module I2C đóng vai trò chuyển đổi giao tiếp nối tiếp I2C từ vi điều khiển sang giao tiếp song song tương thích với HD44780 của LCD. Khi vi điều khiển gửi lệnh hoặc dữ liệu thông qua bus I2C, vi xử lý trong module sẽ giải mã và đưa tín hiệu tương ứng lên các chân điều khiển như RS, E và các bit dữ liệu của LCD. Quá trình này cho phép LCD thực hiện các thao tác như hiển thị ký tự, điều khiển con trỏ hoặc cập nhật màn hình chỉ thông qua hai dây

SDA và SCL. Nhờ hoạt động chuyên đổi này, LCD I2C đảm bảo đầy đủ chức năng hiển thị trong khi giảm tối đa số chân điều khiển, mang lại sự đơn giản và ổn định cho các hệ thống nhúng. Trong đề tài này, LCD 16x2 I2C được sử dụng để hiển thị các thông tin quan trọng của hệ thống như độ ẩm đất, chế độ hoạt động, thời gian và trạng thái bom. Việc dùng giao tiếp I2C giúp giảm số chân GPIO của STM32, đơn giản hóa việc đấu nối và đảm bảo hệ thống gọn nhẹ, dễ vận hành.

2.5 Relay và mạch điều khiển bom

2.5.1. Giới thiệu module relay 5V



Hình 2-6: Module Relay 5V điều khiển đóng ngắt tải.

Module relay 5V là thiết bị đóng cắt điện dùng để điều khiển các tải công suất như bom chìm, motor hoặc các thiết bị tiêu thụ dòng lớn mà vi điều khiển không thể điều khiển trực tiếp. Relay trong hình 2-6 là loại SRD-05VDC-SL-C, hoạt động với điện áp điều khiển 5V, chịu tải lên đến 10A tại 250VAC hoặc 30VDC. Module đã tích hợp sẵn các linh kiện phụ trợ gồm transistor kích, diode dập xung ngược, điện trở hạn dòng, và LED báo trạng thái, giúp việc kết nối với vi điều khiển trở nên đơn giản và an toàn. Nhờ đặc tính cách ly giữa mạch điều khiển và mạch công suất, relay đảm bảo vi điều khiển không bị ảnh hưởng bởi dòng điện lớn hoặc nhiễu từ tải.

2.5.2. Nguyên lý hoạt động

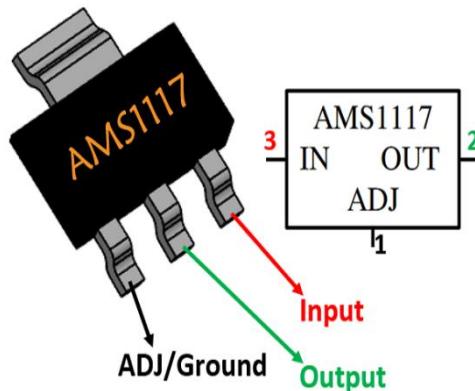
Module relay hoạt động dựa trên cơ chế kích từ cuộn dây điện từ. Khi vi điều khiển đưa tín hiệu mức cao đến chân IN, transistor trên module được kích dẫn, cho phép dòng điện chạy

qua cuộn dây relay. Cuộn dây sinh ra từ trường hút lá tiếp điểm, chuyển relay từ trạng thái thường mở (NO) sang đóng, giúp dòng điện từ nguồn cấp đi qua tải (bơm). Khi tín hiệu từ vi điều khiển ở mức thấp, transistor ngắn, cuộn dây mất từ trường, tiếp điểm trở lại trạng thái ban đầu và tải bị ngắt. Diode dập xung trên module bảo vệ vi điều khiển khỏi điện áp ngược sinh ra khi cuộn relay nhả, đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và an toàn.

2.6 IC ỗn áp AMS1117-3.3V

2.6.1. Giới thiệu AMS1117-3.3V

AMS1117-3.3V là một IC ỗn áp tuyến tính dạng Low Dropout (LDO), dùng để chuyển đổi điện áp đầu vào 5V xuống mức ỗn định 3.3V, phù hợp cho các mạch vi điều khiển và module logic hoạt động ở mức điện áp thấp. IC được thiết kế với dạng package SOT-223 gọn nhẹ, có dòng đầu ra tối đa khoảng 800mA, và hoạt động ỗn định khi đi kèm các tụ lọc đầu vào và đầu ra. AMS1117-3.3V thường được sử dụng trong các hệ thống nhúng, IoT, các kit phát triển, cũng như các mạch nguồn tự thiết kế để cấp điện cho cảm biến, LCD, và đặc biệt là các vi điều khiển như STM32. AMS1117 được minh họa như hình 2-7.



Hình 2-7: IC ỗn áp tuyến tính AMS1117-3.3V.

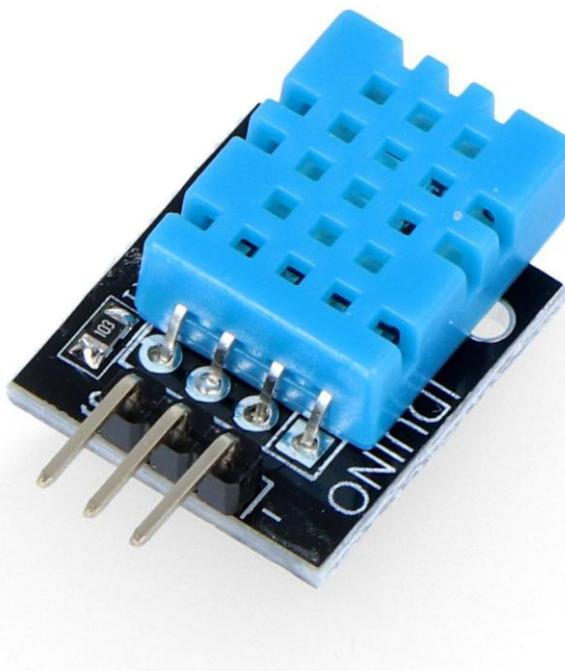
2.6.2. Nguyên lý hoạt động

AMS1117-3.3V hoạt động theo nguyên lý ỗn áp tuyến tính: IC sử dụng một phần tử điều khiển nội bộ để duy trì điện áp đầu ra cố định 3.3V, bất kể sự dao động nhỏ ở điện áp đầu vào (thường 4.5V–12V). Khi điện áp đầu vào được đưa vào chân IN, linh kiện điều chỉnh dòng qua IC sao cho điện áp tại chân OUT luôn ỗn định ở mức 3.3V. Phần chênh lệch giữa điện áp vào và ra bị tiêu tán dưới dạng nhiệt.

Vì là IC LDO, AMS1117 có điện áp rơi thấp khoảng 1.1V, giúp hoạt động tốt với nguồn 5V đầu vào. Khi hoạt động, IC yêu cầu lắp đặt các tụ điện (ví dụ: 10 μ F/22 μ F ở ngõ vào và ngõ

ra) để giảm nhiễu, chống dao động và đảm bảo đáp ứng tải tốt hơn. Nhờ sự ổn định và dễ sử dụng, AMS1117-3.3V trở thành lựa chọn thông dụng để tạo nguồn 3.3V trong các mạch điều khiển tự động.

2.7 Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm DHT11



Hình 2-8: Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm DHT11.

Hình 2.8 minh họa cảm biến DHT11, một module tích hợp dùng để đo nhiệt độ và độ ẩm môi trường. Trong đề tài, nhóm sử dụng module DHT11 thay cho phiên bản cảm biến gốc 4 chân nhằm đảm bảo độ ổn định và đơn giản hóa quá trình thiết kế. Module đã được tích hợp sẵn điện trở pull-up trên chân DATA, giúp tín hiệu giao tiếp ổn định và tránh các lỗi thường gặp khi tự mắc linh kiện ngoài. Bên cạnh đó, module chỉ còn 3 chân (VCC–DATA–GND) với chuẩn header dễ cắm lên PCB, giúp việc đi dây, hàn mạch và bố trí linh kiện nhanh chóng và an toàn hơn so với loại cảm biến thô vốn yêu cầu thêm điện trở rời và dễ sai sót khi lắp đặt.

2.8 Nguồn Adapter 5V 1A

5V-1A

5.5 x 2.1 mm



Hình 2-9: Nguồn Adapter 5V 1A.

Adapter, hay còn gọi là bộ chuyển đổi nguồn, là thiết bị dùng để biến đổi điện áp lưới 220V AC xuống mức điện áp thấp và an toàn hơn, phù hợp với yêu cầu hoạt động của các thiết bị điện tử. Adapter giúp cung cấp nguồn ổn định, đảm bảo các linh kiện và vi điều khiển trong hệ thống có thể vận hành đúng thông số thiết kế.

Thông số kỹ thuật:

+ Điện áp ngõ vào: 100~240VAC

+ Điện áp ngõ ra: 5V

+ Dòng điện ngõ ra: 1A

+ Điện áp ngõ vào: 100~240VAC

+ Đầu DC ngõ ra: 5.5x2.1

3. THIẾT KẾ VÀ THỰC HIỆN PHẦN CỨNG

3.1 Yêu cầu thiết kế

Trong phạm vi đề tài, nhóm cần xây dựng một hệ thống phần cứng có khả năng đo lường, điều khiển, hiển thị, vận hành tự động. Các yêu cầu thiết kế được xác định như sau:

Yêu cầu chức năng:

1. Đo độ ẩm đất bằng cảm biến analog (độ chính xác $\pm 3\text{--}5\%$).
2. Hiển thị giá trị độ ẩm, thời gian thực và chế độ hoạt động trên LCD 16x2 I2C.
3. Điều khiển bơm chìm qua relay 5V, đảm bảo an toàn điện.
4. Hỗ trợ 3 chế độ vận hành:
 - o *Manual*: bơm liên tục theo yêu cầu người dùng.
 - o *Auto*: tự động bơm khi độ ẩm $< 40\%$ và dừng khi $> 50\%$.
 - o *Timer*: hẹn giờ tưới theo thời gian thực DS3231.
5. Sử dụng 6 nút nhấn: chọn mode, reset mode, tăng/giảm giá trị.

Yêu cầu kỹ thuật:

- Điện áp hệ thống: 5V đầu vào, ổn áp xuống 3.3V bằng AMS1117-3.3V.
- Dòng tiêu thụ tối đa hệ thống: $< 500 \text{ mA}$ (không tính tải của bơm).
- Relay điều khiển tải tối đa: 10A – 220VAC / 30VDC cho bơm nhỏ 5–12V.
- Độ ổn định thời gian: DS3231 sai số $< \pm 3 \text{ ppm}$ ($\sim \pm 2 \text{ phút/năm}$).
- Hệ thống có thể kháng bụi và có thể chịu va đập nhẹ để đảm bảo độ bền.
- Thiết kế mạch in và thi công mạch in, kích thước mạch in khoảng 10x10cm.
- Kiểm tra hoạt động của mạch in đúng với chức năng đã thiết kế.

3.2 Phân tích phương pháp thiết kế

3.2.1. Phân tích lựa chọn vi điều khiển

Hiện nay trên thị trường có nhiều loại vi điều khiển khác nhau, bảng 3-1 sẽ liệt kê 3 loại khá phổ biến và nêu lí do tại sao chọn và không chọn.

Tiêu chí	Arduino Uno (ATmega328P)	ESP32 DevKit	Kit STM32F103C8T6
Kiến trúc & tốc độ	8-bit AVR, 16 MHz	32-bit Tensilica Xtensa dual-core, up to ~240 MHz.	32-bit ARM Cortex-M3, up to ~72 MHz (kit phổ biến)
Độ phân giải ADC & số chân I/O	10-bit ADC, ít chân I/O	12-bit ADC, nhiều chân I/O, WiFi/Bluetooth tích hợp	12-bit ADC, khá nhiều chân I/O, thư viện phong phú
Khả năng kết nối & tính năng bổ sung	Cơ bản – không WiFi/Bluetooth tích hợp	Tích hợp WiFi/Bluetooth – thích IoT	Không WiFi, tập trung vào điều khiển nhúng & hệ thống biểu diễn
Giá thành & đơn giản	Rất rẻ, dễ bắt đầu	Giá hợp lý, nhưng hơi phức tạp	Giá rẻ (kit clone), đòi hỏi kiến thức nhúng cao hơn
Hỗ trợ phần mềm & thư viện	Rất tốt cho người mới	Nhiều thư viện IoT, nhưng có thể phức tạp	Hệ sinh thái lớn, nhưng đường cong học tập cao hơn

Bảng 3-1: Phân tích một vài loại vi điều khiển trên thị trường.

Nhóm đã cân nhắc giữa Arduino Uno, ESP32 và STM32F103C8T6. Arduino dễ lập trình nhưng hạn chế về tốc độ xử lý (16 MHz) và độ phân giải ADC (10-bit), không phù hợp yêu cầu đo độ ẩm chính xác. ESP32 mạnh nhưng tích hợp WiFi/Bluetooth khiến thiết kế phức tạp và tiêu thụ điện cao, trong khi đê tài không sử dụng kết nối không dây. STM32F103C8T6

với lõi ARM Cortex-M3 tốc độ 72 MHz, ADC 12-bit, nhiều chân giao tiếp và độ ổn định cao là phương án phù hợp nhất, giúp hệ thống phản hồi nhanh và xử lý tín hiệu chính xác.

3.2.2. Phân tích phương án đọc độ âm

Cảm biến độ âm đất sử dụng nguyên lý đo điện áp analog theo độ dẫn điện của đất. Nhóm lựa chọn phương pháp đọc qua ADC của STM32. Nhược điểm của phương án đọc analog này là dễ bị nhiễu.

3.2.3. Phân tích phương pháp điều khiển động cơ bơm chìm

Hệ thống cần điều khiển động cơ bơm chìm 3-5V có dòng tương đối lớn nên không thể kết nối trực tiếp với chân GPIO của STM32. Nhóm cân nhắc giữa hai phương án: dùng MOSFET hoặc dùng module relay 5V. MOSFET có ưu điểm đóng cắt êm và tốc độ cao nhưng yêu cầu thiết kế mạch điều khiển phức tạp hơn, đồng thời không cung cấp cách ly giữa mạch công suất và mạch logic. Ngược lại, module relay 5V một kênh mà nhóm sử dụng đã tích hợp sẵn transistor kích, diode dập xung ngược và LED báo trạng thái, giúp quá trình điều khiển an toàn và đơn giản hơn rất nhiều. Dù relay có tốc độ đóng cắt thấp và phát tiếng tách nhẹ khi đóng/ngắt, đặc điểm này hoàn toàn không ảnh hưởng vì hệ thống tưới hoạt động với chu kỳ chậm. Do đó, lựa chọn module relay 5V là phương án phù hợp nhất, vừa đảm bảo an toàn, vừa dễ triển khai trên mạch PCB.

3.2.4. Phân tích hiển thị thông tin

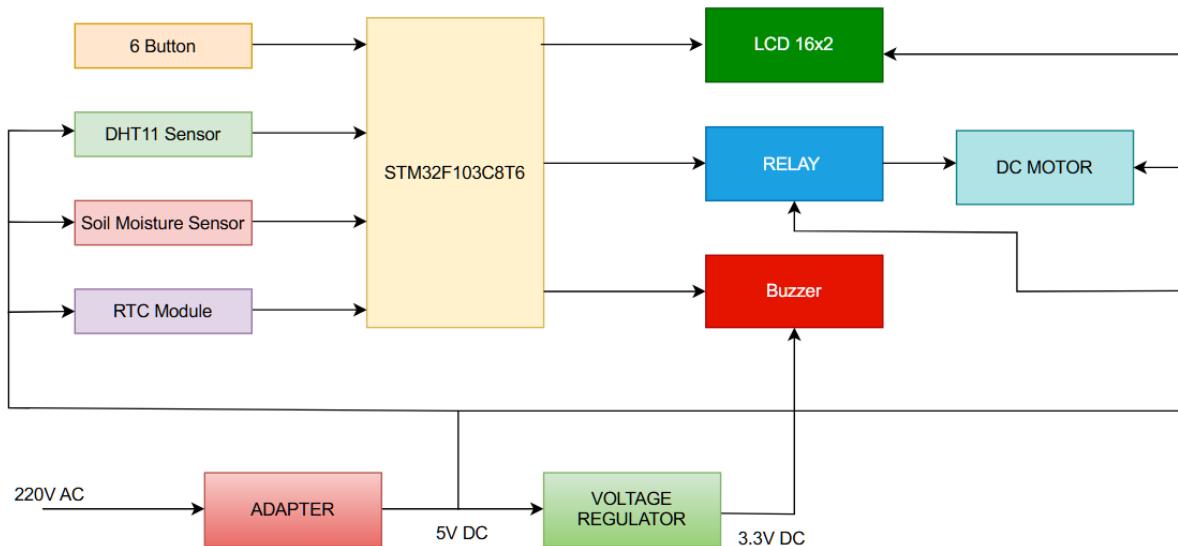
LCD 16x2 là lựa chọn phù hợp vì nhu cầu hiển thị trong đề tài chỉ dùng ở mức cơ bản: độ âm, thời gian và chế độ hoạt động. Nhóm lựa chọn bản LCD tích hợp module I2C để giảm số chân giao tiếp từ 8 đến 12 chân xuống chỉ còn 2 chân (SCL, SDA). Điều này giải phóng nhiều chân GPIO cho các nút nhấn và cảm biến khác. Mặc dù LCD có hạn chế về đồ họa, nhưng với ứng dụng điều khiển tưới tiêu thì độ đơn giản, tiết kiệm năng lượng và độ bền của LCD 16x2 lại hoàn toàn phù hợp.

3.2.5. Phương án thiết kế nguồn

Nhóm sử dụng nguồn vào 5V từ adapter và ổn áp xuống 3.3V bằng IC AMS1117-3.3 vì đây là phương án đơn giản và chi phí thấp. AMS1117 là LDO nên điện áp rời thấp, hoạt động tốt với 5V đầu vào và cung cấp dòng lên đến 800 mA, đủ cho vi điều khiển, LCD và cảm biến. Tuy nhiên LDO tỏa nhiệt khi tải cao, nhưng vì hệ thống tiêu thụ dòng nhỏ nên vấn đề này

không đáng kể. Tụ lọc 10-22 μF được bố trí ở đầu vào và đầu ra để ổn định nguồn, giúp toàn bộ hệ thống hoạt động ổn định trong thời gian dài.

3.3 Sơ đồ khái quát của hệ thống



Hình 3-1: Sơ đồ khái quát của hệ thống.

Để tài xâ dựng một hệ thống tưới tiêu tự động đơn giản với một vi điều khiển trung tâm STM32F103C8T6. Hệ thống gồm các khái chức năng chính như khái cảm biến độ ẩm, khái thời gian thực RTC và các nút nhấn để người dùng lựa chọn chế độ hoạt động. Tín hiệu thu được từ cảm biến và RTC sẽ được vi điều khiển xử lý và điều khiển các khái đầu ra như module relay (điều khiển bơm nước) và LCD để hiển thị thông tin. LCD giao tiếp với STM32 qua chuẩn I2C, trong khi cảm biến độ ẩm sử dụng tín hiệu analog đưa vào ADC của vi điều khiển.

Sơ đồ khái quát của hệ thống gồm các thành phần chính như sau:

1. Khái nguồn (Power Supply)

- Cung cấp điện áp 5V DC cho toàn hệ thống thông qua jack DC và module nguồn.
- IC AMS1117-3.3V được sử dụng để hạ áp từ 5V xuống 3.3V, cung cấp cho vi điều khiển và các cảm biến.
- Hệ thống có tụ lọc đầu vào và đầu ra (22 μF đến 100 μF) nhằm ổn định điện áp và giảm nhiễu.

2. Khối vi điều khiển trung tâm (STM32F103C8T6)

- Đóng vai trò là bộ xử lý chính của toàn hệ thống.
- Thu tín hiệu từ:
 - Cảm biến độ ẩm đất (ngõ ADC).
 - Cảm biến nhiệt độ – độ ẩm DHT11 (ngõ digital).
 - Module thời gian thực DS3231 (giao tiếp I2C).
 - Các nút nhấn (ngõ GPIO input).
- Xuất tín hiệu điều khiển:
 - Relay (qua transistor và opto PC817 cách ly).
 - LCD 16x2 I2C hiển thị trạng thái, thời gian, độ ẩm.
 - Buzzer cảnh báo khi thao tác nút hoặc lỗi hệ thống.

3. Khối cảm biến (Sensors Block)

- Cảm biến độ ẩm đất (Soil Moisture Sensor): Đưa ra điện áp tỷ lệ với độ ẩm, được đọc vào chân ADC của STM32 để xác định tình trạng khô/ẩm của đất.
- Cảm biến nhiệt độ – độ ẩm DHT11: Đọc đồng thời nhiệt độ và độ ẩm không khí, phục vụ việc theo dõi môi trường xung quanh.
- Module thời gian thực DS3231 (RTC): Cung cấp dữ liệu thời gian chính xác cho chế độ tự động Timer, giao tiếp với STM32 qua I2C bus.

4. Khối nút nhấn (Button Input Block)

- Gồm 6 nút nhấn:
 - 3 nút chọn chế độ: Manual, Auto, Timer.
 - 1 nút Reset: Đặt lại hệ thống.
 - 2 nút INC/DEC: Tăng giảm thời gian cài đặt cho chế độ Timer.

- Mỗi nút được mắc với điện trở kéo lên ($1\text{ k}\Omega$) và tụ chống dội (10 nF) để đảm bảo tín hiệu ổn định khi nhấn.

5. Khối điều khiển relay và bơm nước (Relay Driver Block)

- Sử dụng optocoupler PC817 để cách ly tín hiệu điều khiển với mạch công suất, đảm bảo an toàn cho vi điều khiển.
- Transistor Q2 (NPN) làm tăng khuếch đại dòng, điều khiển cuộn dây relay 5V.
- Diode SS14 mắc song song với relay để chống điện áp ngược.
- Relay ngắt/mở nguồn cho bơm DC, điều khiển tưới cây theo tín hiệu từ STM32.

6. Khối hiển thị (LCD 16x2 I2C Display)

- Hiển thị thông tin như:
 - Chế độ hoạt động hiện tại (Manual / Auto / Timer).
 - Độ ẩm đất, thời gian thực, và trạng thái bơm.
- Giao tiếp qua chuẩn I2C (SDA, SCL) giúp giảm số chân sử dụng trên vi điều khiển.

7. Khối cảnh báo âm thanh (Buzzer Block)

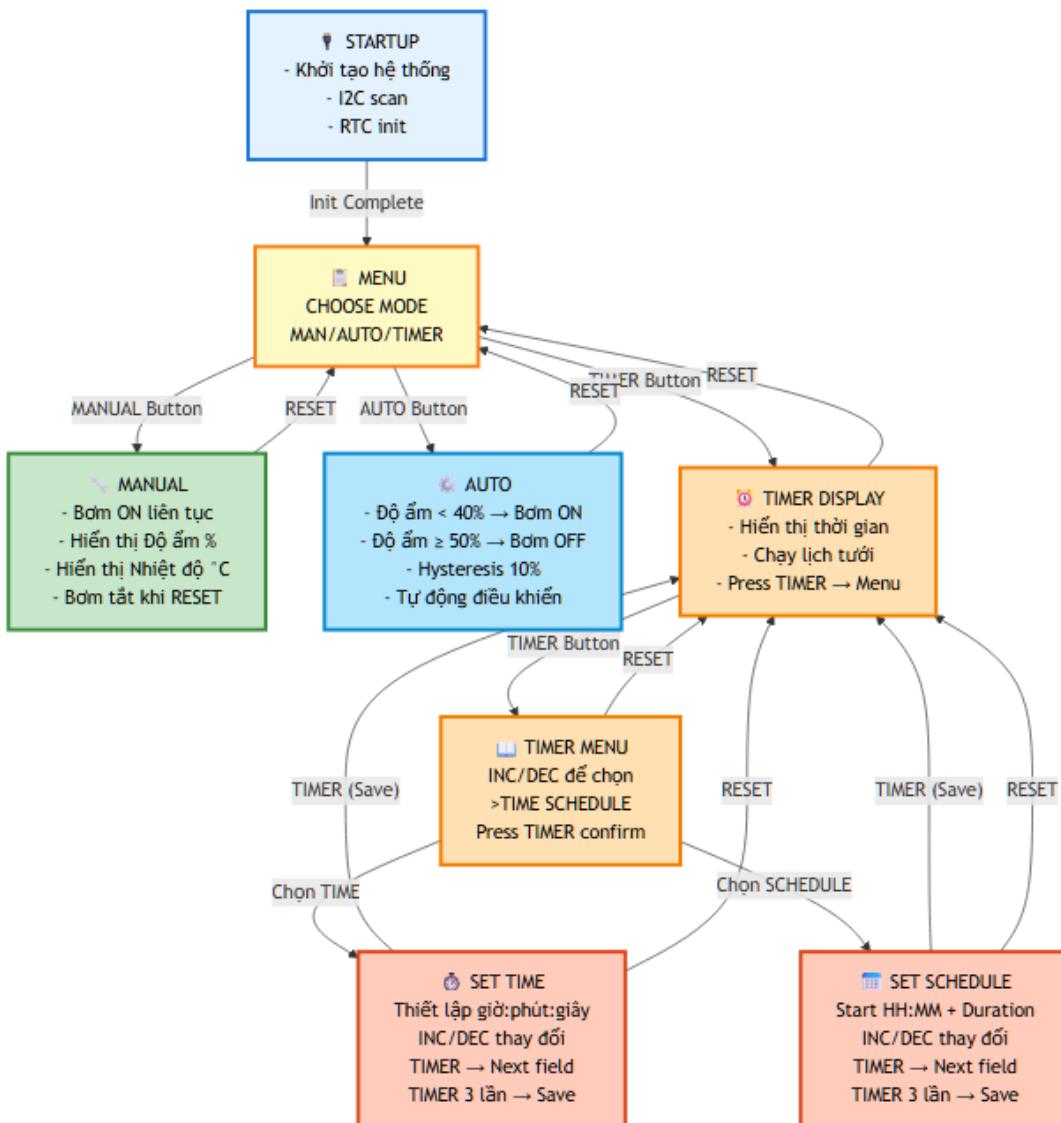
- Buzzer 3V hoặc 5V được kích hoạt khi người dùng nhấn nút hoặc khi có sự kiện thay đổi trạng thái.
- Mạch sử dụng diode tách dòng SS14 và transistor Q1 điều khiển, giúp buzzer chỉ kêu khi cần thiết, tránh gây nhiễu tín hiệu.

3.4 Sơ đồ khối chi tiết của hệ thống

Sơ đồ khối chi tiết mô tả rõ luồng hoạt động nội bộ của hệ thống tưới tiêu, bao gồm các trạng thái vận hành và cách thức các nút nhấn tương tác với hệ thống. Khối STARTUP là trạng thái đầu tiên sau khi cấp nguồn, tại đây vi điều khiển khởi tạo các ngoại vi như ADC, I2C và bộ đếm thời gian. Sau khi hoàn tất khởi tạo, hệ thống chuyển sang STATE_MENU – đây là trạng thái trung tâm cho phép người dùng lựa chọn 3 chế độ hoạt động thông qua các nút MANUAL, AUTO hoặc TIMER.

Ở chế độ Manual (STATE_MANUAL), relay được kích hoạt liên tục để bơm chạy ở trạng thái ON theo yêu cầu người dùng. Ở chế độ Auto (STATE_AUTO), vi điều khiển liên tục đọc giá trị độ ẩm đất và so sánh với hai ngưỡng 40% và 50%. Nếu độ ẩm nhỏ hơn 40%, hệ thống bật bơm; ngược lại, nếu vượt 50%, hệ thống tự động tắt bơm. Hai chế độ này hoạt động đơn giản và độc lập để đáp ứng các nhu cầu điều khiển cơ bản.

Chế độ Timer là phần phức tạp nhất, được mô tả chi tiết trong khái TIMER SYSTEM. Ở trạng thái TIMER_DISPLAY, hệ thống hiển thị thời gian thực từ RTC DS3231 và cho phép người dùng nhấn nút TIMER để vào menu chỉnh sửa. Tại TIMER_MENU, người dùng tiếp tục lựa chọn chỉnh thời gian (TIMER_SET_TIME) hoặc thiết lập lịch tưới (TIMER_SET_SCHEDULE). Trong hai trạng thái này, các nút UP/DOWN được sử dụng để thay đổi giá trị, trong khi nút RESET có chức năng hủy và quay lại trạng thái trước đó. Khi người dùng nhấn nút TIMER để xác nhận, hệ thống lưu lại cấu hình và quay về trạng thái TIMER_DISPLAY để tiếp tục giám sát thời gian. Hệ thống cũng liên tục kiểm tra thời gian thật từ RTC và so sánh với lịch tưới đã lưu để tự động kích bơm vào đúng thời điểm đặt trước.



Hình 3-2: Sơ đồ khối chi tiết của hệ thống.

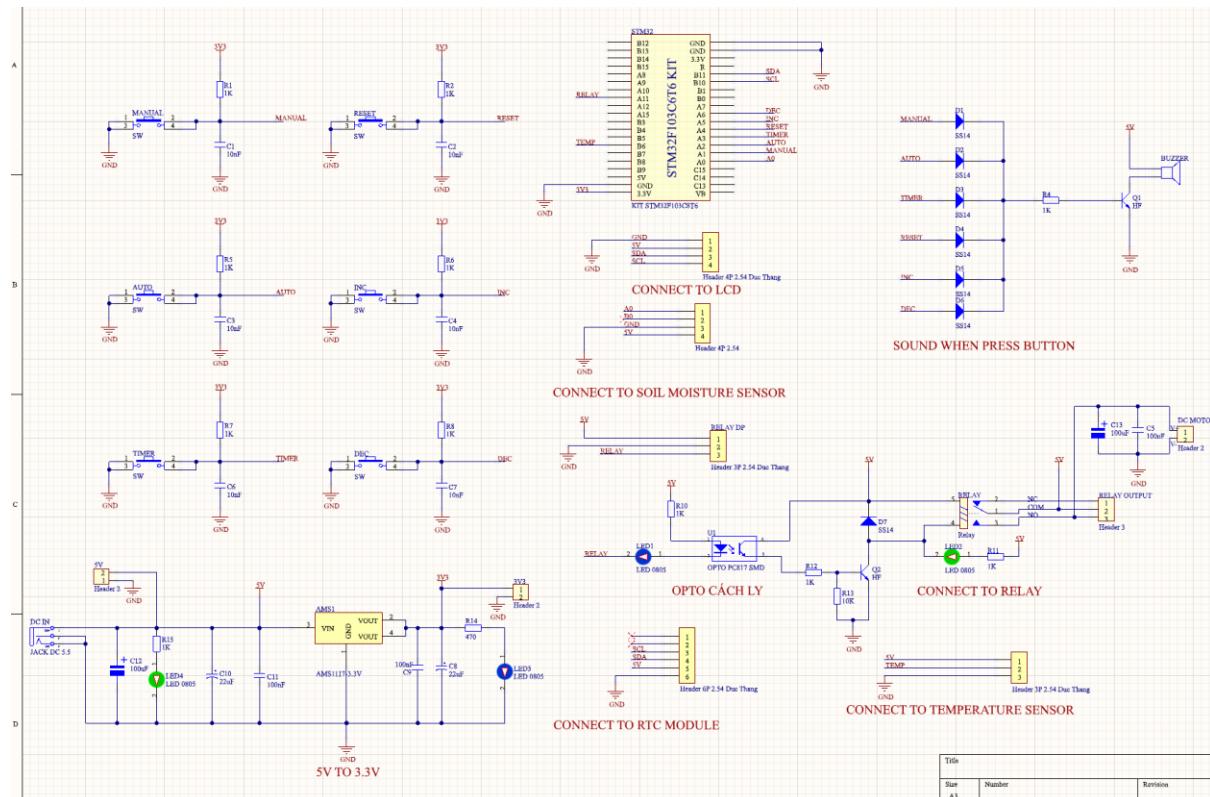
Sơ đồ khối chi tiết vì vậy mô tả đầy đủ cơ chế chuyển trạng thái, cách các nút nhấn điều hướng trong từng menu, cũng như sự phối hợp giữa các thành phần cảm biến, RTC, xử lý logic, điều khiển bơm. Đây chính là phần lõi vận hành thông minh của hệ thống tưới, đảm bảo toàn bộ hoạt động diễn ra mạch lạc, theo đúng yêu cầu từng chế độ mà người dùng lựa chọn.

3.5 Tính toán và vẽ sơ đồ mạch chi tiết

3.5.1. Sơ đồ mạch chi tiết

Sau quá trình nghiên cứu và mô phỏng mạch trên breadboard để thử nghiệm các chức năng cơ bản như đọc cảm biến, hiển thị LCD và điều khiển relay, nhóm đã triển khai toàn bộ sơ đồ nguyên lý của hệ thống trên phần mềm Altium Designer. Sơ đồ mạch được thiết kế theo dạng

các khôi chúc năng độc lập, sau đó kết nối vào vi điều khiển trung tâm STM32F103C8T6 thông qua các chân tín hiệu tương ứng để bảo đảm tính rõ ràng, dễ theo dõi và thuận lợi cho quá trình thiết kế PCB.



Hình 3-3: Sơ đồ nguyên lý của toàn bộ hệ thống.

Hệ thống gồm 7 khối chính:

1. Khối nút nhấn (6 nút)

Mỗi nút nhấn MANUAL, AUTO, TIMER, RESET, INC và DEC được mắc theo cấu trúc pull-up với điện trở $1\text{ k}\Omega$ và tụ chống rung 10 nF . Khi nhấn, tín hiệu kéo xuống GND và được đưa vào các chân GPIO của STM32, bao gồm:

- MANUAL → PA1
 - AUTO → PA2
 - TIMER → PA3
 - RESET → PA4
 - JNC → PA5

- DEC → PA6

Cách mắc này giúp tín hiệu ổn định, chống nhiễu tốt khi người dùng thao tác.

2. Khối cảm biến độ ẩm đất

Cảm biến độ ẩm được cấp nguồn 5V, tín hiệu đầu ra analog AO đưa vào chân ADC của STM32:

- AO → PA0

Mạch sử dụng header 3 pin để dễ tháo lắp và thay thế cảm biến.

3. Khối RTC DS3231

Module RTC giao tiếp với STM32 qua chuẩn I2C, cụ thể:

- SCL → PB10
- SDA → PB11

Nguồn cấp 3.3V được cung cấp từ AMS1117, bảo đảm tương thích mức điện áp logic.

4. Khối LCD 16x2 giao tiếp I2C

LCD sử dụng module PCF8574 nên chỉ cần 2 dây:

- SCL → PB10 (dùng chung I2C với RTC)
- SDA → PB11

LCD được cấp nguồn từ 5V, bảo đảm độ sáng ổn định của backlight.

5. Khối relay điều khiển bơm

Module relay 5V một kênh được điều khiển bằng:

- IN → PA11

Nguồn kích relay lấy từ 5V, bảo đảm khả năng đóng cắt bơm chìm. Relay cách ly hoàn toàn mạch công suất và mạch điều khiển.

6. Khối nguồn 5V → 3.3V (AMS1117-3.3)

Nguồn vào từ adapter DC 5V được hạ xuống 3.3V bằng AMS1117 kèm tụ lọc:

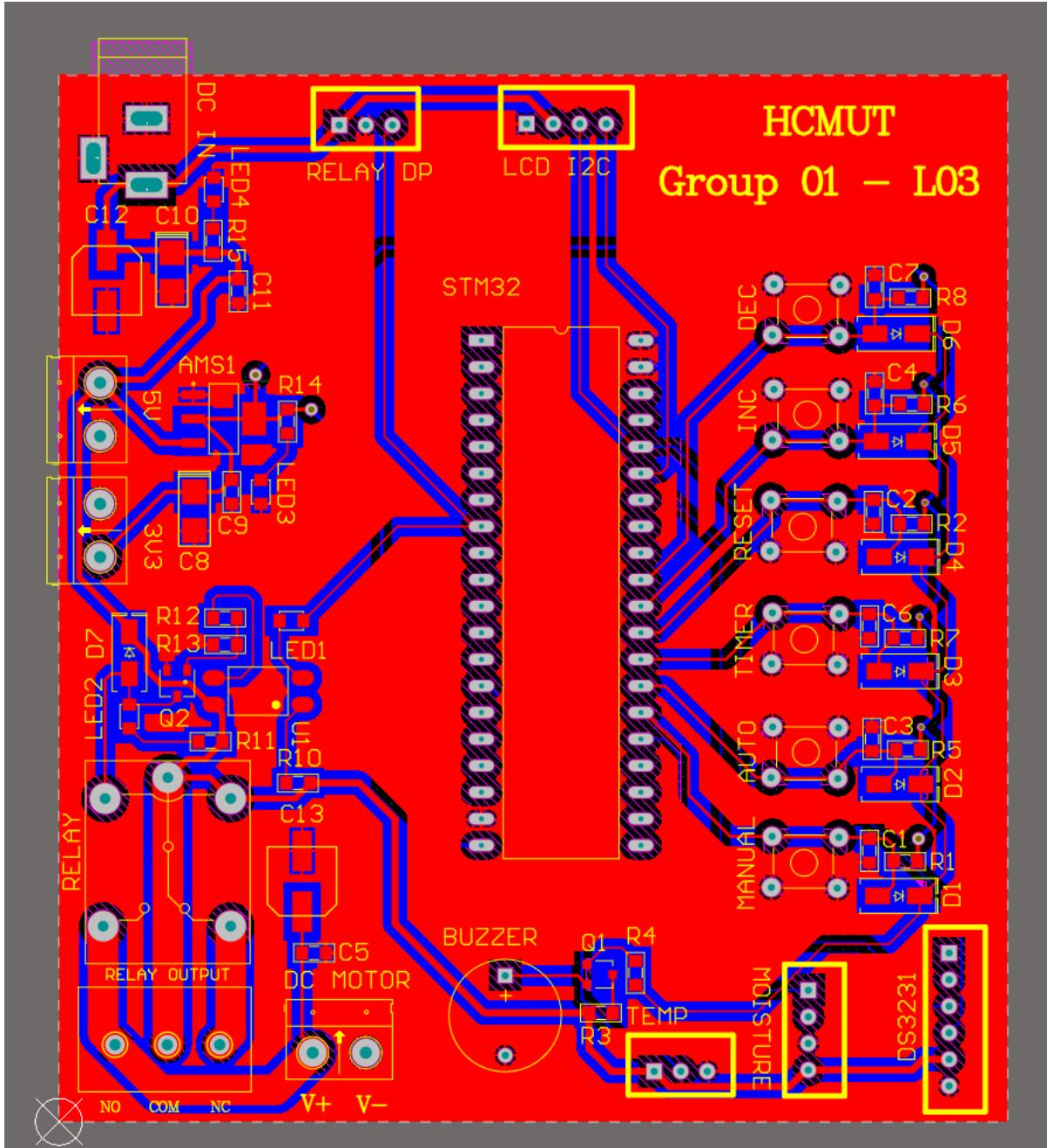
- C7, C11 = 22 μ F (lọc thấp tần)
- C9, C10 = 100 nF (lọc cao tần)

Đường 3.3V cung cấp cho STM32, RTC và phần logic của mạch.

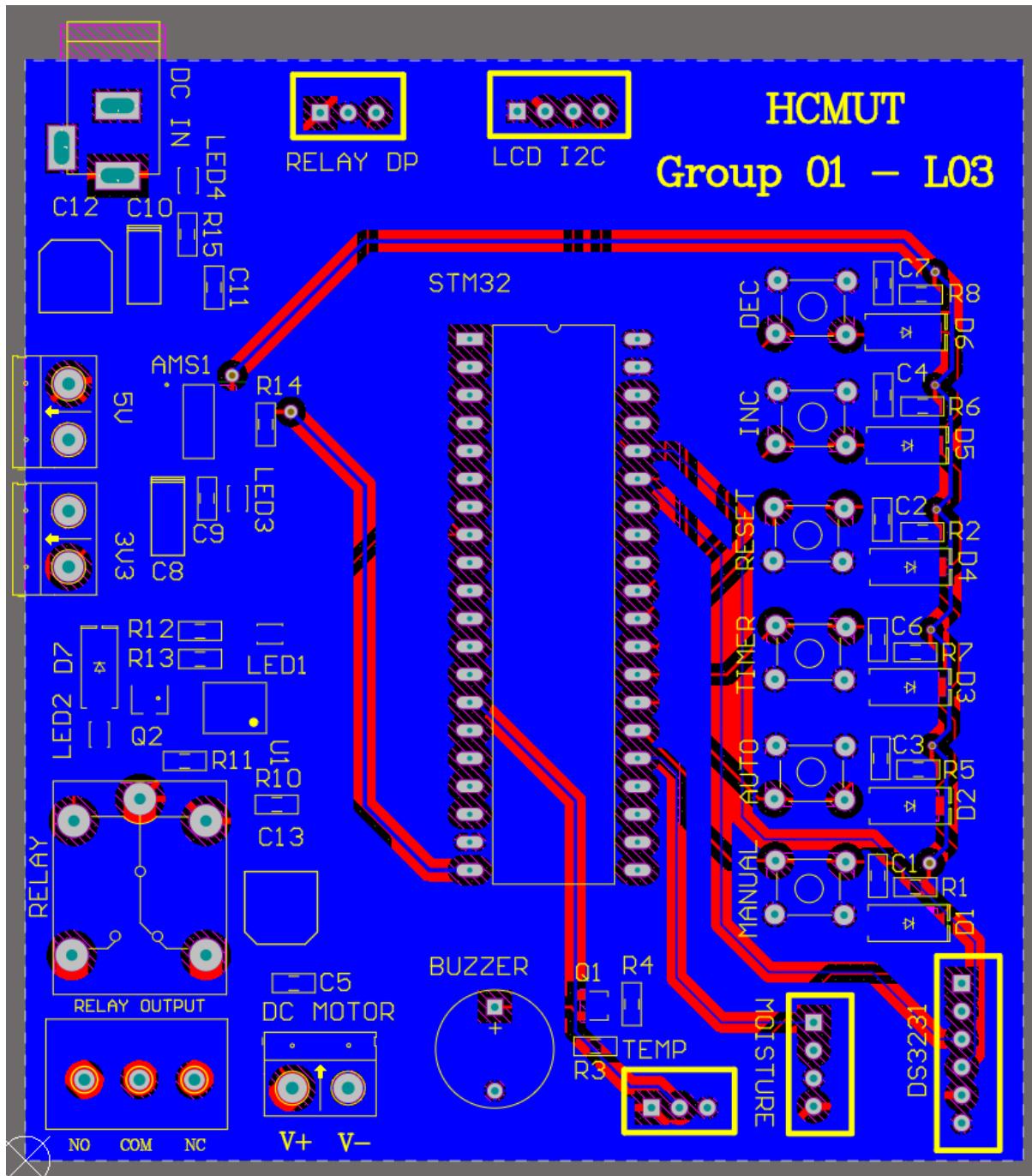
LED báo nguồn 5V sử dụng điện trở 1K và LED báo 3.3V sử dụng điện trở hạn dòng 470 Ω đảm bảo độ sáng và an toàn.

7. Khối cảm biến nhiệt độ và độ ẩm không khí

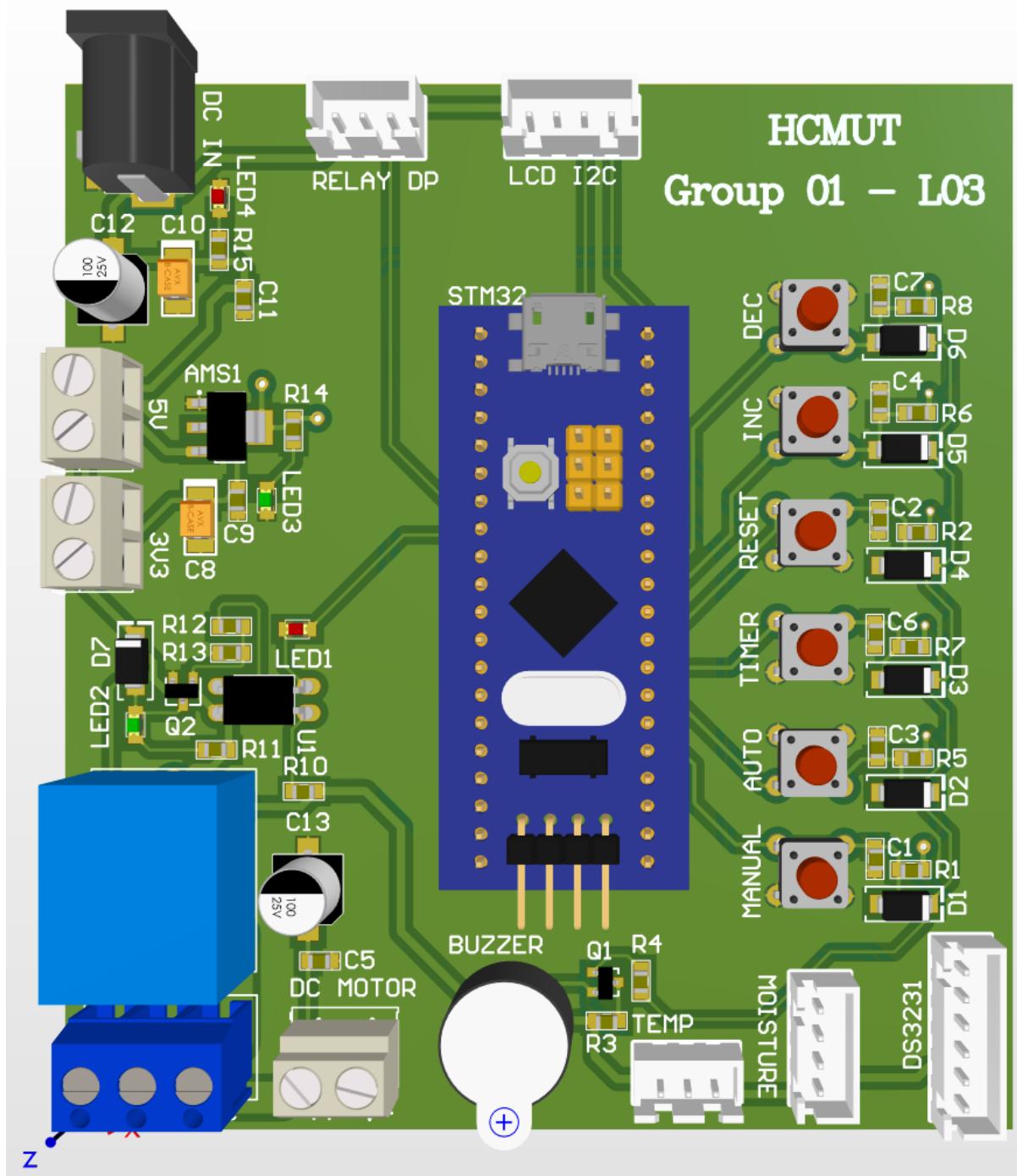
Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm không khí DHT11 đọc vào STM32 thông qua chân PB6.

3.5.2. Sơ đồ layout PCB

Hình 3-4: Layout PCB lớp trên của mạch.



Hình 3-5: Layout PCB lõi dưới của mạch.



Hình 3-6: Layout PCB góc nhìn 3D toàn mạch.

4. THIẾT KẾ VÀ THỰC HIỆN PHẦN MỀM

Phần mềm của hệ thống được xây dựng theo kiến trúc máy trạng thái (State Machine) nhằm đảm bảo chương trình chạy ổn định, dễ mở rộng và xử lý nhiều chế độ làm việc khác nhau. Hệ thống thực hiện nhiệm vụ đọc cảm biến, xử lý logic tưới và điều khiển bơm nước, đồng thời cập nhật thông tin lên LCD.

4.1 Tổng quan phần mềm

Chương trình gồm ba lớp chính:

- **BSP (Board Support Package)**

Chứa các hàm điều khiển phần cứng:

- bsp_moisture.c: đọc cảm biến độ ẩm đất (ADC).
- bsp_pump.c: điều khiển bơm qua relay.
- bsp_rtc.c: giao tiếp RTC DS3231 qua I2C.
- bsp_dht11.c: đọc DHT11 (nhiệt độ – độ ẩm).
- bsp_lcd_i2c.c: điều khiển LCD I2C.

- **MID (Middleware)**

Các lớp trung gian:

- mid_button.c: chống dội phím, nhận biết nút nhấn.
- mid_display.c: định dạng chuỗi và hiển thị theo từng chế độ.

- **APP (Application Layer)**

Xử lý thuật toán và điều khiển toàn hệ thống (app_irrigation.c).

4.2 Máy trạng thái của chương trình

Chương trình vận hành dựa trên 8 trạng thái chính:

Trạng thái	Chức năng
STARTUP	Khởi tạo hệ thống, quét I2C, kiểm tra cảm biến.
MENU	Hiển thị lựa chọn chế độ và chờ người dùng nhấn nút.
MANUAL	Bơm chạy liên tục cho tới khi nhấn RESET; có hiển thị DHT11 luân phiên.
AUTO	Tự động bật/tắt bơm theo ngưỡng ẩm 40% – 50%.
TIMER_DISPLAY	Hiển thị thời gian thực và kiểm tra lịch tưới.
TIMER_MENU	Chọn giữa “Set Time” và “Set Schedule”.
TIMER_SET_TIME	Cài đặt giờ – phút – giây cho RTC.
TIMER_SET_SCHEDULE	Cài đặt giờ tưới và thời gian tưới (phút).

Việc chuyển trạng thái được kích hoạt bởi các nút nhấn hoặc điều kiện thực tế (ngưỡng ẩm, lịch hẹn...).

4.3 Chế độ Manual

- Bơm được bật ngay khi vào chế độ.
- Hiển thị luân phiên:
 1. Độ ẩm đất
 2. Nhiệt độ/độ ẩm DHT11
- Nhấn RESET → dừng bơm và quay về MENU.

4.4 Chế độ Auto

Thuật toán:

- Nếu $\text{âm} < 40\%$ → bật bơm.

- Nếu $\hat{a}m > 50\%$ → tắt bơm.
- Hiển thị luân phiên độ ẩm và DHT11.
- Nhấn RESET → tắt bơm, quay về MENU.

4.5 Chế độ Timer

Chế độ Timer có **hai phần**:

1) Đồng hồ thời gian thực (RTC)

- Hiển thị giờ-phút-giây.
- Cho phép cài đặt lại thời gian hệ thống.

2) Lịch tưới (Schedule Mode)

Lịch tưới gồm 3 tham số:

- **start_hour**
- **start_minute**
- **duration_minutes**

Thuật toán:

- Khi thời gian thực trùng với thời gian bắt đầu → bật bơm.
- Tự tắt sau *duration_minutes*.
- Trong thời gian tưới, trạng thái được cập nhật liên tục lên LCD.

4.6 Xử lý giao diện nút nhấn

Hệ thống có 6 nút nhấn:

- MANUAL – AUTO – TIMER
- RESET
- INC – DEC

Các nút sử dụng:

- Chống dội (debounce)
- Nhận biết nhấn ngắn
- Nhận biết chuyển trạng thái menu trong Timer Mode

4.7 Hiển thị (LCD I2C)

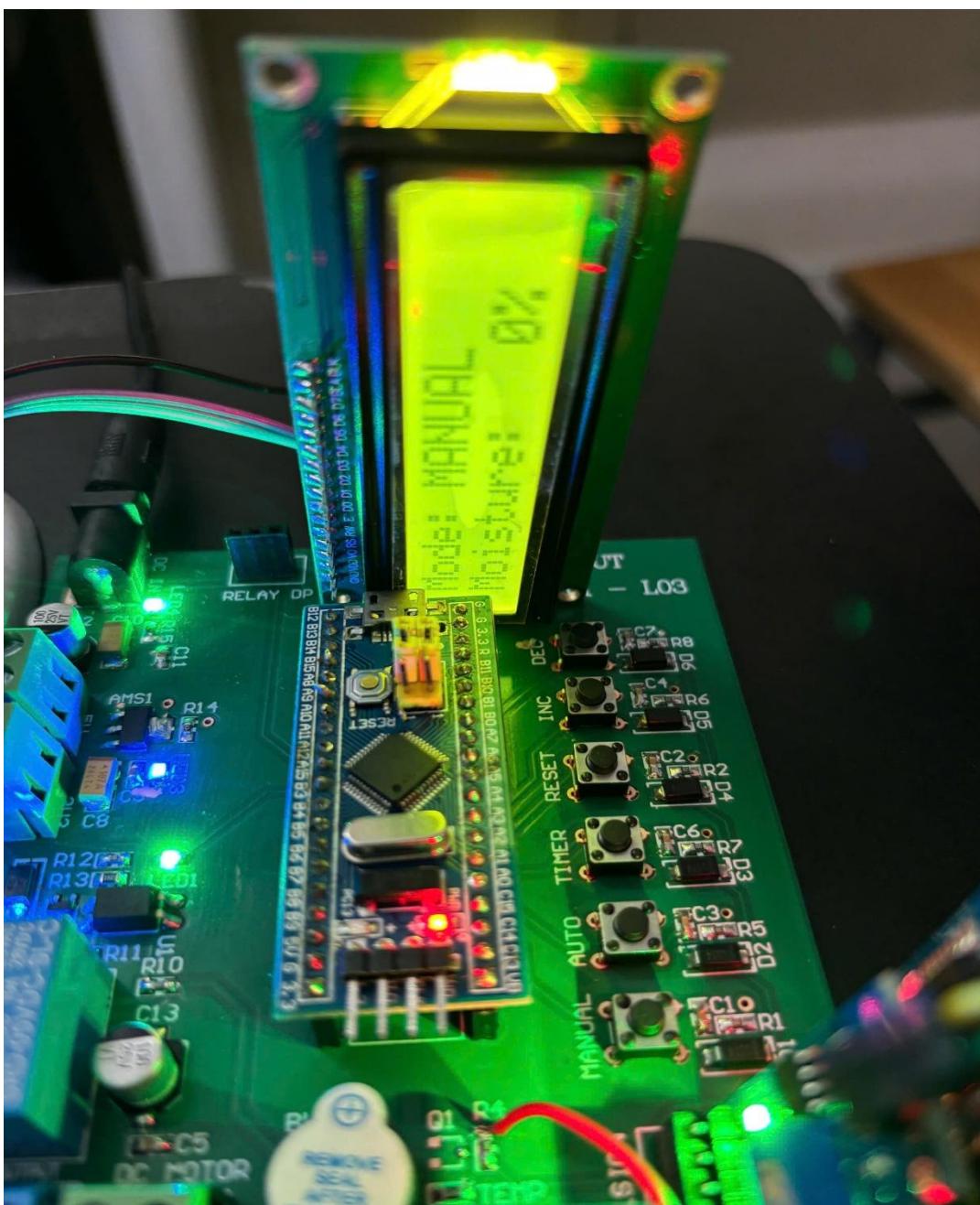
LCD hiển thị:

- Độ ẩm đất
- Nhiệt độ/độ ẩm không khí
- Trạng thái bơm
- Thời gian thực
- Giao diện cài đặt lịch tưới / thời gian

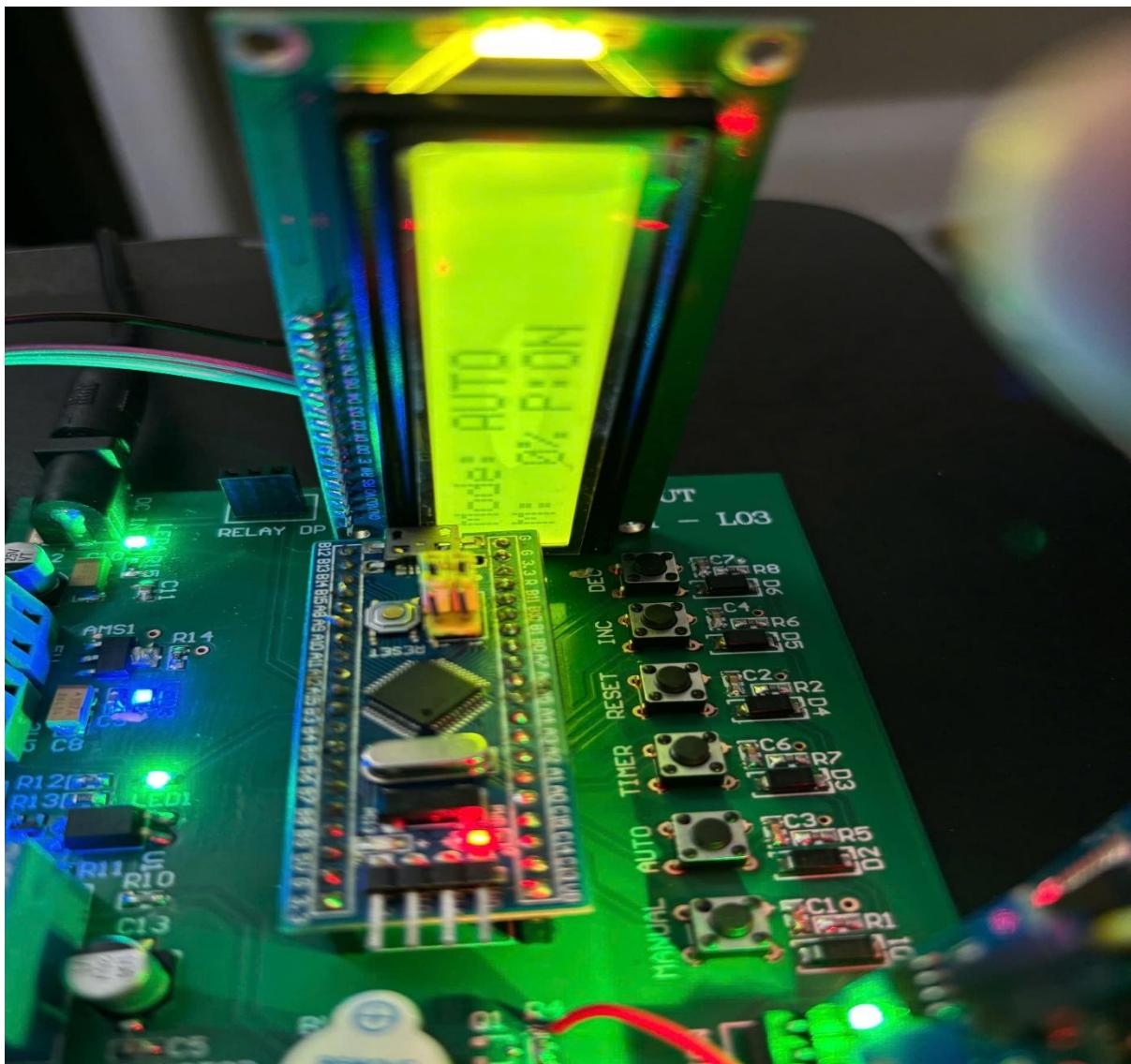
Giao tiếp qua I2C giúp giảm số chân IO cần dùng.

5. KẾT QUẢ THỰC HIỆN

Dưới đây lần lượt là 3 mode chế độ cho thiết kế: Manual, Auto và Timer. Hình 5-1 minh họa trạng thái làm việc của hệ thống khi người dùng chọn chế độ Manual. Vì điều khiển STM32F103C8T6 xử lý tín hiệu từ nút nhấn và điều khiển LCD để hiển thị trực quan chế độ hoạt động cùng giá trị độ ẩm hiện tại. Các đèn LED báo trạng thái và các nút chức năng trên PCB đều vận hành ổn định, thể hiện hệ thống đã hoạt động đúng theo thiết kế.

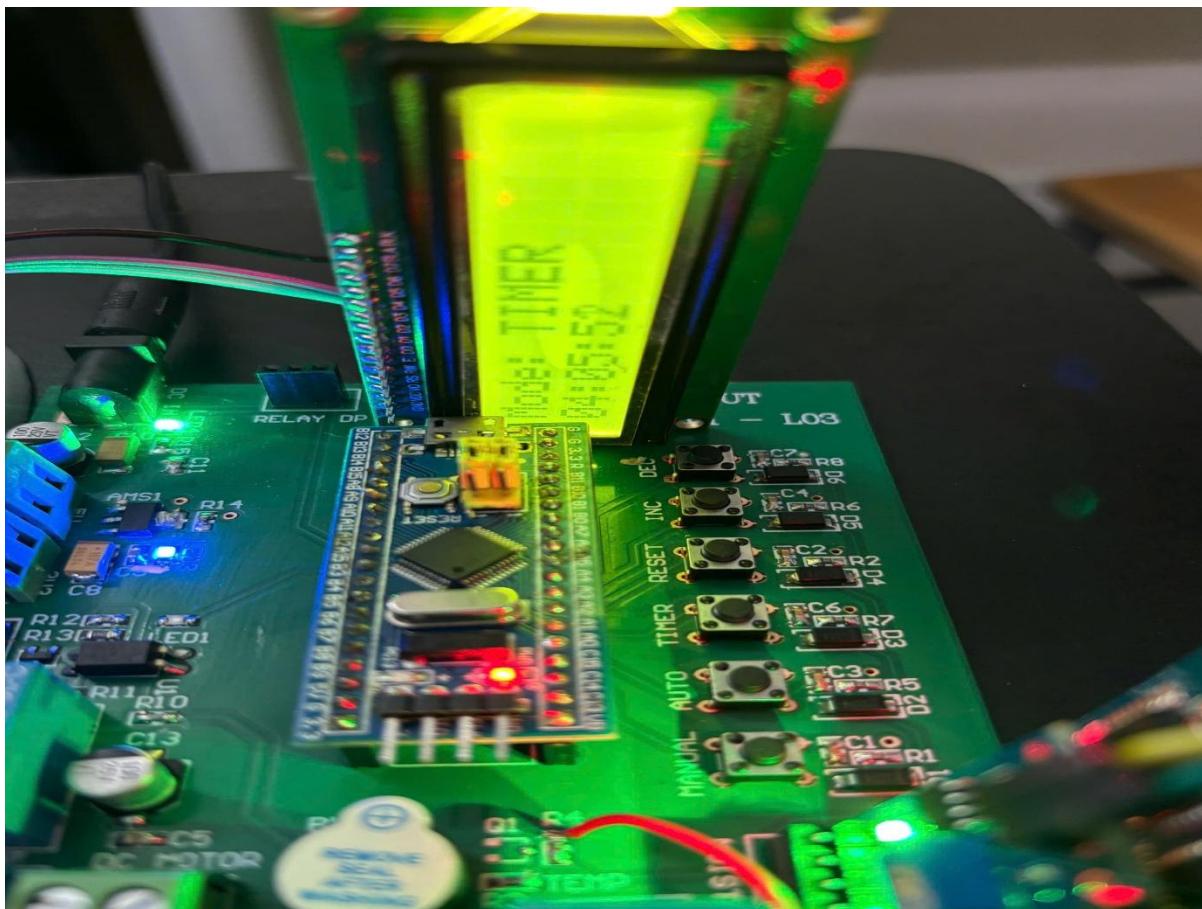


Hình 5-1: Mạch thực tế hoạt động ở chế độ Manual.



Hình 5-2: Mạch thực tế hoạt động ở chế độ Auto.

Hình 5.2 minh họa hệ thống đang vận hành ở chế độ Auto. Vị điều khiển tự động đọc giá trị độ ẩm đất và điều khiển relay theo ngưỡng đã cài đặt. Màn hình LCD hiển thị trạng thái "AUTO" cùng thông tin độ ẩm và tình trạng bơm (Pump ON/OFF), cho thấy hệ thống phản hồi đúng logic điều khiển và hoạt động ổn định trên mạch thực tế.



Hình 5-3: Mạch thực tế hoạt động ở chế độ Timer.

Hình 5.3 thể hiện hệ thống đang vận hành ở chế độ Timer. Vì điều khiển đọc thời gian thực từ module RTC DS3231 và hiển thị lên LCD, đồng thời so sánh với lịch tưới đã cài đặt để tự động kích hoạt relay trong đúng khoảng thời gian thiết lập. Ở chế độ này, tất cả sự vận hành của bơm được điều khiển hoàn toàn theo lịch đặt trước, đảm bảo tính chính xác và tự động hóa cao.

6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

6.1 Kết luận

Qua quá trình thiết kế và triển khai, nhóm đã xây dựng thành công một hệ thống tưới tiêu tự động sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6 với các tính năng cơ bản nhưng hoạt động ổn định và hiệu quả. Hệ thống đáp ứng mục tiêu ban đầu và mang lại nhiều ưu điểm:

- Thiết kế đơn giản, dễ lắp đặt, dễ sử dụng, phù hợp cho mô hình nhà vườn quy mô nhỏ.
- Linh kiện phổ biến, giá thành thấp, giúp tối ưu chi phí sản xuất.
- Tích hợp nhiều chế độ tưới gồm Manual – Auto – Timer, dễ dàng cài đặt thời gian tưới theo nhu cầu.
- Công suất tiêu thụ thấp, độ ổn định cao, các linh kiện chịu được điều kiện môi trường ngoài trời (âm, bụi...).
- Mạch điện và phần mềm vận hành ổn định, có khả năng mở rộng thêm chức năng trong tương lai.

Hệ thống cho thấy tính ứng dụng thực tế tốt và có tiềm năng phát triển thành một sản phẩm hoàn chỉnh.

Tuy nhiên sản phẩm mạch in thực tế bị một vấn đề nhỏ so với sơ đồ nguyên lý là còi Buzzer không hoạt động đúng như thiết kế vì nhóm đã chọn sai linh kiện Transistor, tuy nhiên đây chỉ là tính năng thêm khi nhấn nút thì còi Buzzer mới kêu để người dùng biết là nút đã được nhấn. Với lỗi nhỏ này không ảnh hưởng đến chức năng của mạch.

6.2 Hướng phát triển

Dựa trên nền tảng đã xây dựng, hệ thống có thể được nâng cấp để trở nên thông minh hơn, đáp ứng nhu cầu sử dụng trong nông nghiệp gia đình và mô hình IoT:

- Tích hợp kết nối không dây như WiFi, Bluetooth hoặc LoRa để:
 - Điều khiển từ xa qua smartphone.
 - Giám sát độ ẩm, lịch tưới theo thời gian thực.

- Nhận thông báo khi độ ẩm thấp hoặc bơm hoạt động bất thường.
- Bổ sung thêm cảm biến như:
 - Cảm biến ánh sáng (LDR) để tưới theo cường độ sáng.
 - Cảm biến áp suất nước hoặc mức nước trong bồn.
- Xây dựng ứng dụng điều khiển trên mobile (Android/iOS) hoặc dashboard Web.
- Sử dụng nguồn năng lượng tái tạo, điển hình là:
 - Pin năng lượng mặt trời kết hợp sạc dự phòng.
 - Giúp hệ thống hoạt động độc lập, phù hợp khu vực không có điện lưới.
- Tối ưu phần mềm và giao diện LCD:
 - Hiển thị đồ họa, trạng thái hệ thống theo thời gian thực.
 - Lưu lịch sử độ ẩm và số lần tưới.
- Tối ưu phần cứng:
 - Thiết kế mạch nhỏ gọn hơn và tối ưu đi dây PCB hơn, nên hạn chế sử dụng các module tích hợp sẵn mà phải thiết kế lại từ đầu các linh kiện, ví dụ STM32 thì chỉ dùng một vi xử lý cùng các linh kiện kèm theo thay vì là cả KIT STM32.
 - Tích hợp triệt nhiễu tốt hơn cho cảm biến analog.

7. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] STMicroelectronics. (2022), AN2586 Application note, "Getting started with STM32F10xxx hardware development".
- [2] M. Prasad and S. Pushpalatha, "Automated Irrigation System using STM32 and Modbus RTU Protocol," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 5, pp. 193–198, May 2020.
- [3] Y. Zhang, H. Li, and J. Wang, "Design and Implementation of Intelligent Irrigation System Based on IoT," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 45678–45685, Apr. 2024.
- [4] N. Subrah, "Automated Soil Irrigation System using STM32 Microcontrollers," *GitHub Repository*, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/nidhi-subrah/Automated-Soil-Irrigation-System>
- [5] A. Kumar and R. Singh, "Smart Irrigation System Using IoT and Soil Moisture Sensor," *International Conference on Smart Technologies for Smart Nation (SmartTechCon)*, Bangalore, India, Aug. 2017, pp. 1010–1015.
- [6] S. Patel and P. Chauhan, "Automatic Plant Watering System using Microcontroller," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 6, no. 7, pp. 6123–6129, Jul. 2017.
- [7] R. Gupta, M. Sharma, and A. Verma, "IoT Based Smart Irrigation System with Real-Time Monitoring," *IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, Greater Noida, India, Dec. 2016, pp. 158–163.
- [8] H. Alahi, M. Mukhopadhyay, and L. Yu, "Soil Moisture Measurement Using Capacitive Sensor for Smart Agriculture," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 14, pp. 6177–6185, Jul. 2018.
- [9] P. Raj and K. Reddy, "Design of Automatic Irrigation System Using STM32 Microcontroller," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 8, no. 11, pp. 227–231, Sep. 2019.
- [10] J. Lopez and F. Garcia, "Low-Cost Smart Irrigation Controller Using Embedded Systems," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 3, pp. 456–462, Mar. 2019.
- [11] A. Singh and B. Kaur, "Development of Real-Time Clock Based Irrigation Scheduling System," *International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCN)*

8. PHỤ LỤC

Source code:

https://github.com/nduytuyen/embedded_system/blob/main/README.md

Video nhóm đã thử nghiệm mạch:

<https://youtube.com/shorts/OXZNepubYd0?si=VnXM-oORiztZK31e>