

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ 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
ĐỀ TÀI:
THIẾT BỊ ĐO NHỊP TIM (HEARTBEAT
MONITOR)

Lớp L04 - Nhóm 07 - HK251

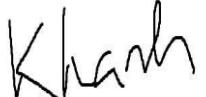
GVHD: Nguyễn Phan Hải Phú

Sinh viên thực hiện

Họ và tên	MSSV
Lê Đình Lân	2311833
Trần Quốc Khánh	2311539
Đào Khương Duy	2310451
Nguyễn Huỳnh Mẫn Đạt	2310663

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2025

BÁO CÁO PHÂN CÔNG NHIỆM VỤ VÀ KẾT QUẢ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI CỦA TÙNG NHIỆM VỤ

Họ và tên	MSSV	Nhiệm vụ	% hoàn thành	Chữ ký
Lê Đình Lân	2311833	Chương 3, 6	100	
Trần Quốc Khanh	2311539	Chương 1, tổng hợp word	100	
Đào Khương Duy	2310451	Chương 4, phần cứng	100	
Nguyễn Huỳnh Mẫn Đạt	2310663	Chương 2, 5	100	

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI	2
1.1. Đặc tả hệ thống	2
1.1.1. System name (tên hệ thống).....	2
1.1.2. Purpose (mục đích)	2
1.1.3. Input (đầu vào).....	2
1.1.4. Output(đầu ra)	2
1.1.5. Use case (Các trường hợp sử dụng).....	2
1.1.6. Function(Chức năng)	2
1.1.7. Performance (Hiệu năng)	2
1.1.8 Production costs (Chi phí sản xuất)	3
1.1.9. Power (Nguồn)	3
1.1.10. Sizre/Volume/ Installation (Kích thước/Khối lượng/ Lắp đặt).....	3
1.2. Nguyên lý hoạt động.....	4
1.2.1. Nguyên lý hoạt động	4
1.2.2. Khối Vị điều khiển (MCU)	4
1.2.3. Khối Đầu vào (Inputs).....	5
1.2.4. Khối Đầu ra (Outputs)	5
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	6
2.1. Tổng quan về Nguyên lý Đo lường Sinh trắc học Quang học	6
2.1.1. Cơ sở Sinh lý học Tuần hoàn và Đặc tính Quang học của Máu	6
2.1.2. Định luật Beer-Lambert trong Môi trường Tán xạ	6
2.1.3. Thuật toán Tính toán SpO₂ (Ratio of Ratios)	7
2.2. Phân tích Kỹ thuật Cảm biến Tích hợp MAX30100	7
2.2.1. Kiến trúc Phần cứng Nội tại	7
2.2.2. Chế độ Hoạt động và Quản lý Năng lượng	8
2.2.3. Cảm biến Nhiệt độ Tích hợp.....	9
2.3. Khối Xử lý Trung tâm: Vi điều khiển ESP8266 (NodeMCU)	9
2.3.1. Kiến trúc Vi xử lý Tensilica Xtensa LX106.....	9
2.3.2. Nền tảng NodeMCU và Các Giao tiếp Ngoại vi.....	9
2.3.3. Khả năng Kết nối IoT (Internet of Things).....	10

2.4. Công nghệ Hiển thị: Màn hình OLED và Trình điều khiển SSD1306	10
2.4.1. Cơ chế Vật lý của OLED (Organic Light Emitting Diode).....	10
2.4.2. Trình điều khiển Màn hình (Display Driver) SSD1306.....	10
2.5. Nền tảng Kết nối và Tạo mẫu: Breadboard.....	11
2.6. Giao thức Truyền thông Hệ thống: I2C (Inter-Integrated Circuit)	11
2.6.1. Cấu trúc Bus Vật lý	11
2.6.2. Cơ chế Định địa chỉ và Truyền dữ liệu	11
CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ	13
3.1.Yêu cầu thiết kế	13
3.1.1 . Mục tiêu hệ thống	13
3.1.2. Yêu cầu thiết kế.....	13
3.1.3 Giải pháp Firmware & Thuật toán	13
3.1.4. Tổng hợp: Lộ trình & lựa chọn phương án cuối cùng	14
3.1.5 Ưu điểm & khuyết điểm của phương án đề xuất.....	15
3.1.6. Các lựa chọn thay thế — khi nền dùng.....	15
3.1.7. Sơ đồ mạch.....	16
3.1.8. Sơ đồ khối hệ thống	16
CHƯƠNG 4: PHẦN MỀM	17
4.1. Yêu cầu đặt ra cho phần mềm.....	17
4.2. Lưu đồ giải thuật	18
4.3. Coding.....	19
CHƯƠNG 5 : KẾT QUẢ THỰC HIỆN	21
5.1.Hình ảnh thực tế Heartbeat monitor	21
5.2. Cách đo đặc	21
5.3. Kết quả kiểm tra hệ thống	21
CHƯƠNG 6: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	21
6.1. Kết luận.....	21
6.2. Hướng phát triển tiếp theo.....	23
6.2.1. Nâng cấp phần cứng	23
6.2.2. Phát triển thuật toán xử lý tín hiệu	23
6.2.3. Tăng cường khả năng kết nối và ứng dụng.....	24
6.2.4. Hoàn thiện tính thương mại và khả năng sử dụng	24
TÀI LIỆU THAM KHẢO	25

MỞ ĐẦU

Trong thời đại hiện nay, sức khỏe tim mạch là vấn đề được quan tâm hàng đầu trên toàn cầu. Các bệnh lý về tim mạch và hô hấp thường diễn biến thầm lặng nhưng để lại hậu quả nghiêm trọng. Việc theo dõi thường xuyên các chỉ số sinh tồn cơ bản như nhịp tim và nồng độ oxy trong máu (SpO_2) mang lại lợi ích to lớn trong việc phát hiện sớm và phòng ngừa rủi ro, đặc biệt là đối với người cao tuổi và những người có tiền sử bệnh lý.

Trong bối cảnh công nghệ 4.0 và xu hướng y tế thông minh (Smart Healthcare) đang phát triển mạnh mẽ, nhu cầu tự chăm sóc sức khỏe tại nhà ngày càng gia tăng. Tuy nhiên, các thiết bị y tế chuyên dụng tại bệnh viện thường cồng kềnh, đắt đỏ và khó vận hành đối với người dùng phổ thông. Việc thiếu các công cụ hỗ trợ theo dõi liên tục, nhỏ gọn và chi phí thấp là một hạn chế lớn trong việc bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

Chính vì vậy, việc ứng dụng công nghệ vi điều khiển và cảm biến sinh trắc học vào các thiết bị đeo thông minh trở thành xu hướng tất yếu. Các hệ thống đo lường tự động này không chỉ giúp người dùng nắm bắt tình trạng sức khỏe theo thời gian thực mà còn có thể đưa ra các cảnh báo sớm thông qua màn hình hiển thị hoặc kết nối IoT, giúp ngăn chặn kịp thời các tình huống nguy hiểm.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nhóm chúng em quyết định chọn đề tài “Thiết kế thiết bị đo nhịp tim và nồng độ bão hòa oxy trong máu (SpO_2)” để nghiên cứu và thực hiện. Đề tài hướng tới mục tiêu xây dựng một mô hình hoàn chỉnh có khả năng: Giám sát liên tục nhịp tim và SpO_2 ; Hiển thị trực quan kết quả đo trên màn hình OLED; Ứng dụng cảm biến MAX30100 và vi điều khiển ESP8266 để xử lý tín hiệu chính xác; Đảm bảo tính ổn định, nhỏ gọn và chi phí hợp lý cho nhu cầu cá nhân.

Thông qua đề tài này, nhóm mong muốn tạo ra một sản phẩm công nghệ hữu ích phục vụ đời sống, đồng thời minh chứng cho khả năng ứng dụng kiến thức Hệ thống nhúng vào giải quyết bài toán thực tế, hướng tới xây dựng những giải pháp chăm sóc sức khỏe thông minh và tiện lợi hơn.

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

1.1. Đặc tả hệ thống

1.1.1. System name (tên hệ thống)

Thiết bị đo nhịp tim và nồng độ bão hòa oxy trong máu (SpO₂).

1.1.2. Purpose (mục đích)

Thiết kế một hệ thống nhỏ gọn, chi phí thấp để theo dõi sức khỏe cá nhân không xâm lấn, hỗ trợ giám sát các bệnh về tim mạch và theo dõi sức khỏe cho người lớn tuổi hoặc người tập luyện thể thao.

1.1.3. Input (đầu vào)

Tín hiệu sinh học PPG (Photoplethysmography) thu được từ sự biến thiên thể tích máu tại đầu ngón tay thông qua cảm biến quang học.

1.1.4. Output(đầu ra)

- Giá trị nhịp tim (Heart Rate) tính theo đơn vị BPM.
- Nồng độ oxy trong máu (SpO₂) tính theo phần trăm (%).
- Thông tin hiển thị trực quan trên màn hình OLED và dữ liệu truyền qua cổng Serial.

1.1.5. Use case (Các trường hợp sử dụng)

- Đo tại chỗ: Người dùng đặt ngón tay lên cảm biến để kiểm tra nhanh sức khỏe.
- Giám sát liên tục: Theo dõi biến thiên nhịp tim trong thời gian thực.
- Cảnh báo: Hệ thống phát hiện và cảnh báo khi chỉ số vượt ngưỡng an toàn (ví dụ SpO₂ < 90%).

1.1.6. Function(Chức năng)

- Đo nhịp tim và SpO₂ theo thời gian thực với độ trễ hiển thị thấp (≤ 1 giây).
- Hiển thị kết quả dạng số và trạng thái lên màn hình OLED.
- Có khả năng kết nối Wi-Fi để mở rộng sang mô hình IoT (truyền dữ liệu lên server/app).

1.1.7. Performance (Hiệu năng)

- Phạm vi đo nhịp tim: 30 – 220 BPM với sai số mục tiêu ± 2 BPM.
- Phạm vi đo SpO₂: 70% – 100% với sai số mục tiêu $\pm 2\%$.
- Tốc độ lấy mẫu: Cấu hình từ 100Hz – 200Hz để đảm bảo độ chính xác.

1.1.8 Production costs (Chi phí sản xuất)

Bảng 1. Chi phí linh kiện

STT	TÊN LINH KIỆN	SỐ LƯỢNG	GIÁ THÀNH (VNĐ)
1	Oled 4 chân	1	44.000
2	ESP8266	1	59.000
3	Max30100	1	33.000
4	Breadboard	1	23.000
Tổng cộng			159.000

1.1.9. Power (Nguồn)

Sử dụng pin Li-Ion 1 cell 3.7V kết hợp với mạch ổn áp 3.3V, tối ưu hóa để tiêu thụ năng lượng thấp.

1.1.10. Size/Volume/ Installation (Kích thước/Khối lượng/ Lắp đặt)

- Thiết bị được thiết kế nhỏ gọn dưới dạng module đeo hoặc kẹp ngón tay, sử dụng màn hình 0.96 inch, dễ dàng di chuyển và lắp đặt trong vỏ hộp in 3D hoặc hộp kỹ thuật.
- Thông số thiết bị sử dụng:

Bảng 2. Thông số các linh kiện sử dụng

STT	TÊN SẢN PHẨM	MÔ TẢ
1	Oled 4 chân	<ul style="list-style-type: none"> Kích thước hiển thị: 0.96 inch Độ phân giải: 128 x 64 pixel Chip điều khiển: SSD1306 Giao tiếp: I2C (4 chân: VCC, GND, SCL, SDA) Điện áp hoạt động: 3.3V ~ 5V DC Góc nhìn: > 160 độ Màu sắc hiển thị: Trắng hoặc Xanh dương (tùy loại) Công suất tiêu thụ: Thấp (0.04W)

2	ESP8266	<ul style="list-style-type: none"> - Vi điều khiển: Tensilica L106 32-bit (80MHz - 160MHz) - Chuẩn WiFi: 802.11 b/g/n (2.4GHz) - Điện áp hoạt động (Chip): 3.3V - Điện áp đầu vào (Vin/USB): 5V - Bộ nhớ Flash: 4MB - Giao tiếp: GPIO, PWM, I2C, SPI, UART, 1 chân ADC (A0) - Phần mềm hỗ trợ: Arduino IDE, LuaLoader, MicroPython - Chức năng: Kết nối IoT, điều khiển qua mạng
3	Max30100	<ul style="list-style-type: none"> - Chức năng: Đo nhịp tim và nồng độ oxy trong máu (SpO2) - Điện áp hoạt động: 1.8V ~ 3.3V (Lưu ý: Một số mạch hỗ trợ 5V nhưng ổn định nhất ở 3.3V) - Giao tiếp: I2C - Loại cảm biến: Quang học (kết hợp LED đỏ và hồng ngoại) - Dòng tiêu thụ: Cực thấp (Ultra-low power) - Nhiệt độ hoạt động: -40°C đến +85°C - Tích hợp: Cảm biến nhiệt độ để bù trừ sai số

1.2. Nguyên lý hoạt động

1.2.1. Nguyên lý hoạt động

Hệ thống hoạt động dựa trên nguyên lý quang phổ thể tích (PPG) và định luật Beer-Lambert để phân tích sự hấp thụ ánh sáng của máu. Cấu trúc hệ thống được chia thành 3 khối chức năng chính kết nối với nhau qua giao tiếp IC.

1.2.2. Khối Vi điều khiển (MCU)

- **Thành phần:** Sử dụng module NodeMCU ESP8266 (CPU Tensilica Xtensa LX106).
- **Chức năng:**
 - Đóng vai trò là Master trong giao tiếp IC, điều phối hoạt động của toàn hệ thống.

- Đọc dữ liệu thô từ bộ đệm FIFO của cảm biến MAX30100.
- Thực hiện các thuật toán xử lý tín hiệu số (DSP): loại bỏ thành phần một chiều (DC removal), lọc nhiễu (bandpass filter), và phát hiện đỉnh (peak detection) để tính toán nhịp tim và SpO₂.
- Quản lý năng lượng và điều khiển nội dung hiển thị.

1.2.3. Khối Đầu vào (Inputs)

- **Thành phần:** Cảm biến tích hợp MAX30100.
- **Nguyên lý:**
 - Sử dụng hai đèn LED: LED Đỏ (660nm) và LED Hồng ngoại (880nm) chiếu ánh sáng vào mô da.
 - Một photodiode thu nhận ánh sáng phản xạ, tín hiệu này thay đổi theo nhịp đập của tim (do sự thay đổi thể tích máu) và độ bão hòa oxy (do sự hấp thụ khác nhau của Hb và HbO₂).
 - Tín hiệu analog được chuyển đổi sang digital (ADC) và lưu trữ vào bộ nhớ đệm (FIFO) để vi xử lý đọc về.

1.2.4. Khối Đầu ra (Outputs)

- **Thành phần:** Màn hình OLED 0.96 inch sử dụng driver SSD1306.
- **Chức năng:**
 - Nhận dữ liệu hiển thị từ ESP8266 thông qua giao tiếp IC.
 - Hiển thị trực quan các thông số: "Heart Rate" (BPM), "SpO2" (%) và trạng thái hệ thống (Welcome, Connecting...) với độ tương phản cao, giúp người dùng dễ đọc kết quả.
 - Ngoài ra, hệ thống còn có đầu ra dữ liệu qua cổng Serial (UART) để phục vụ quá trình debug hoặc vẽ đồ thị trên máy tính.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Tổng quan về Nguyên lý Đo lường Sinh trắc học Quang học

Sự phát triển của công nghệ y sinh không xâm lấn (non-invasive) đã tạo tiền đề cho việc thiết kế các thiết bị theo dõi sức khỏe cá nhân nhỏ gọn nhưng chính xác. Trong phạm vi đề tài "Thiết bị đo nhịp tim", cơ sở lý thuyết cốt lõi dựa trên sự tương tác giữa ánh sáng và các mô sinh học, cụ thể là máu trong hệ tuần hoàn. Phân mục này sẽ đi sâu phân tích cơ chế sinh lý học, nguyên lý quang phổ thể tích (Photoplethysmography - PPG) và định luật Beer-Lambert, vốn là nền tảng toán học cho hoạt động của cảm biến MAX30100.

2.1.1. Cơ sở Sinh lý học Tuần hoàn và Đặc tính Quang học của Máu

Hệ thống tuần hoàn của con người hoạt động dựa trên cơ chế bơm cơ học của tim. Trong mỗi chu kỳ tim (cardiac cycle), tâm thất trái co bóp (tâm thu - systole) đẩy máu giàu oxy vào động mạch chủ, tạo ra một làn sóng áp lực lan truyền khắp hệ thống động mạch đến các mao mạch ngoại vi (như đầu ngón tay, da tai). Sau đó, tim giãn ra (tâm trương - diastole), áp lực giảm và máu hồi lưu về tim. Sự thay đổi có chu kỳ này dẫn đến sự biến thiên thể tích máu tại các mô ngoại vi.

Máu chứa Hemoglobin (Hb), một protein chịu trách nhiệm vận chuyển oxy. Hb tồn tại chủ yếu ở hai dạng chức năng:

Oxyhemoglobin (HbO₂): Hemoglobin đã liên kết với oxy, chiếm tỷ lệ cao trong máu động mạch (thường > 95% ở người khỏe mạnh).

Deoxyhemoglobin (Hb - hoặc Rhb): Hemoglobin đã nhả oxy cho các mô, chiếm tỷ lệ cao hơn trong máu tĩnh mạch.

Điểm máu chót của công nghệ đo SpO₂ là sự khác biệt rõ rệt trong phô hấp thụ ánh sáng của hai dạng Hb này.

Tại bước sóng đỏ (Red - xấp xỉ 660nm): Hb khử (Deoxyhemoglobin) có hệ số hấp thụ ánh sáng cao hơn đáng kể so với HbO₂. Điều này giải thích tại sao máu tĩnh mạch (thiếu oxy) có màu đỏ thẫm.

Tại bước sóng hồng ngoại (Infrared - xấp xỉ 880nm - 940nm): HbO₂ có hệ số hấp thụ cao hơn hoặc tương đương, nhưng đường cong hấp thụ của Hb tại đây thấp hơn nhiều so với vùng 660nm. Quan trọng hơn, tại vùng hồng ngoại, sự hấp thụ của nước và các mô khác bắt đầu trở nên đáng kể, nhưng sự tương phản giữa Hb và HbO₂ vẫn đủ lớn để phân biệt.

2.1.2. Định luật Beer-Lambert trong Môi trường Tán xạ

Định luật Beer-Lambert mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa độ hấp thụ ánh sáng và nồng độ của chất hấp thụ trong dung dịch. Trong dạng đơn giản nhất:

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \epsilon(\lambda) \cdot c \cdot d$$

Tuy nhiên, trong mô sinh học, ánh sáng không chỉ bị hấp thụ mà còn bị tán xạ mạnh (scattering) bởi da, xương, và các thành phần tế bào. Do đó, định luật Beer-Lambert sửa đổi được áp dụng, coi sự suy giảm cường độ ánh sáng là tổng hợp của sự hấp thụ không đổi (DC) và sự hấp thụ biến thiên (AC).

Tín hiệu quang thu được tại cảm biến (PPG signal) bao gồm:

- **Thành phần DC (Direct Current):** Tín hiệu nền ổn định do sự hấp thụ của các mô tĩnh (da, xương, mỡ) và lượng máu tĩnh mạch không dao động.
- **Thành phần AC (Alternating Current):** Tín hiệu dao động đồng bộ với nhịp tim, gây ra bởi sự gia tăng thể tích máu động mạch trong thùy tim thu. Sự gia tăng thể tích này làm tăng độ dài đường đi quang học (\$d\$) và lượng chất hấp thụ (\$c\$), dẫn đến giảm cường độ ánh sáng thu được.

2.1.3. Thuật toán Tính toán SpO₂ (Ratio of Ratios)

Để loại bỏ các biến số không xác định như độ dày ngón tay, màu da, và cường độ tuyệt đối của đèn LED, kỹ thuật đo SpO₂ sử dụng tỷ số của các độ hấp thụ chuẩn hóa. Tỷ số \$R\$ được định nghĩa là:

$$R = \frac{\frac{AC_Red}{DC_Red}}{\frac{AC_IR}{DC_IR}}$$

Việc chia thành phần AC cho DC tại mỗi bước sóng giúp chuẩn hóa tín hiệu, loại bỏ ảnh hưởng của cường độ sáng nguồn và độ hấp thụ nền. Giá trị \$R\$ này có mối quan hệ nghịch đảo với độ bão hòa oxy (SpO₂). Thực nghiệm lâm sàng đã xây dựng phương trình xấp xỉ:

$$SP0_2 = 110 - 25$$

(Lưu ý: Các hệ số cụ thể có thể thay đổi tùy thuộc vào cấu trúc quang học của cảm biến MAX30100 và cần được hiệu chuẩn thực tế).

2.2. Phân tích Kỹ thuật Cảm biến Tích hợp MAX30100

Cảm biến MAX30100 được lựa chọn cho đề tài là một giải pháp tích hợp cao (System-in-Package) của hãng Maxim Integrated, được thiết kế chuyên biệt cho các ứng dụng đo oxy xung và nhịp tim. Việc sử dụng MAX30100 thay thế cho các mạch quang rời rạc mang lại độ chính xác cao hơn nhờ khả năng khử nhiễu và xử lý tín hiệu analog ngay tại nguồn.

2.2.1. Kiến trúc Phần cứng Nội tại

Sơ đồ khối của MAX30100 bao gồm các thành phần chức năng phức tạp được tích hợp trên một đế silicon duy nhất:

2.2.1.1. Hệ thống Quang học (Optical Subsystem):

LED Đỏ (Red LED): Bước sóng đỉnh (Peak Wavelength) tại 660nm. Đây là bước sóng quan trọng nhất để phát hiện sự giảm bão hòa oxy, vì sự thay đổi độ hấp thụ của Hb khử tại đây là lớn nhất.

LED Hồng ngoại (IR LED): Bước sóng đỉnh tại 880nm. Datasheet của MAX30100 chỉ định rõ bước sóng này khác biệt so với chuẩn 940nm thường thấy ở các oximeter bệnh viện, do đó cần bảng tra cứu (Look-up Table) riêng biệt.

Photodetector: Một photodiode băng thông rộng được tối ưu hóa để có độ nhạy cao tại cả hai vùng quang phổ nhìn thấy và hồng ngoại, đảm bảo thu nhận tín hiệu phản xạ (reflectance mode) từ mô dưới da.

2.2.1.2. Khối Xử lý Tín hiệu Tương tự (Analog Front-End - AFE):

Tín hiệu dòng điện từ photodiode (thường rất nhỏ, cỡ nano-ampere) được đưa vào bộ khuếch đại chuyển đổi trở kháng (Transimpedance Amplifier - TIA) để chuyển thành điện áp.

Bộ lọc ánh sáng môi trường (Ambient Light Cancellation - ALC): Đây là một tính năng quan trọng của MAX30100. Mạch ALC hoạt động bằng cách đo dòng điện sinh ra bởi photodiode khi cả hai LED đều tắt, sau đó bơm một dòng điện ngược chiều tương ứng vào đầu vào của TIA trong chu kỳ đo để triệt tiêu thành phần nhiễu này. Điều này giúp cảm biến hoạt động ổn định dưới ánh sáng đèn huỳnh quang hoặc ánh sáng mặt trời gián tiếp.

2.2.1.3. Bộ chuyển đổi Analog-Số (ADC) và Logic số:

MAX30100 sử dụng bộ ADC Sigma-Delta có độ phân giải cao để số hóa tín hiệu PPG.

Bộ đệm FIFO (First-In-First-Out): Cảm biến tích hợp bộ nhớ đệm dung lượng 16 mẫu (samples). Điều này cho phép vi điều khiển (ESP8266) không cần đọc dữ liệu liên tục từng mẫu một mà có thể đọc theo cụm, giúp tiết kiệm năng lượng và giảm tải xử lý ngắt (interrupt overhead) cho vi điều khiển.

2.2.2. Chế độ Hoạt động và Quản lý Năng lượng

MAX30100 hỗ trợ hai chế độ hoạt động chính:

Chế độ Chỉ đo Nhịp tim (Heart Rate Only): Chỉ bật LED Đỏ. Chế độ này tiết kiệm năng lượng hơn nhưng không đo được SpO2.

Chế độ Đo SpO2 và Nhịp tim: Bật luân phiên cả LED ĐỎ và LED IR theo cơ chế phân chia thời gian (Time Division Multiplexing).

Trong chu trình đo SpO2, trình tự điều khiển thời gian (Timing Sequence) diễn ra như sau:

Bật LED ĐỎ → Lấy mẫu ADC → Tắt LED ĐỎ.

Bật LED IR → Lấy mẫu ADC → Tắt LED IR.

Thời gian nghỉ (Dead time).

Dòng điện điều khiển LED (LED Current) có thể lập trình được từ 0mA đến 50mA thông qua các thanh ghi cấu hình I2C. Việc điều chỉnh dòng LED là cực kỳ quan trọng để đảm bảo tín hiệu không bị bão hòa (khi ngón tay quá mỏng hoặc da trắng) hoặc quá yếu (khi da sẫm màu hoặc ngón tay dày). Độ rộng xung (Pulse Width) cũng có thể điều chỉnh từ 200μs đến 1.6ms, ảnh hưởng trực tiếp đến độ phân

giải của ADC (độ rộng xung càng lớn, độ phân giải càng cao nhưng tốn năng lượng hơn).

2.2.3. Cảm biến Nhiệt độ Tích hợp

MAX30100 tích hợp một cảm biến nhiệt độ vùng silicon (die temperature) với độ phân giải cao. Mục đích chính không phải để đo thân nhiệt người dùng mà để hiệu chuẩn sai số của đèn LED hồng ngoại. Bước sóng phát xạ của LED có xu hướng trôi (drift) khi nhiệt độ thay đổi, làm sai lệch tính toán SpO₂. Hệ thống sử dụng dữ liệu nhiệt độ này để áp dụng hệ số bù vào thuật toán, đảm bảo độ chính xác trong các môi trường nhiệt độ khác nhau.

2.3. Khối Xử lý Trung tâm: Vi điều khiển ESP8266 (NodeMCU)

Trong kiến trúc hệ thống nhúng của thiết bị, module NodeMCU sử dụng SoC ESP8266 đóng vai trò là đơn vị xử lý trung tâm (Central Processing Unit), chịu trách nhiệm điều phối toàn bộ hoạt động từ thu thập dữ liệu, xử lý tín hiệu số (DSP) đến hiển thị kết quả.

2.3.1. Kiến trúc Vi xử lý Tensilica Xtensa LX106

ESP8266EX là một System-on-Chip (SoC) tích hợp cao, xoay quanh lõi vi xử lý Tensilica L106 32-bit RISC (Reduced Instruction Set Computer).

Hiệu năng xử lý: Lõi L106 hoạt động ở xung nhịp mặc định 80 MHz và có thể tăng tốc lên 160 MHz. So với các vi điều khiển 8-bit truyền thống như ATmega328P (Arduino Uno) chỉ chạy ở 16 MHz, ESP8266 cung cấp khả năng tính toán vượt trội. Điều này đặc biệt quan trọng khi thực hiện các thuật toán lọc số (như bộ lọc thông thấp Butterworth hoặc bộ lọc trung bình động) và phát hiện đỉnh (peak detection) trên thời gian thực để tính toán nhịp tim chính xác.

Kiến trúc Bộ nhớ: ESP8266 không có bộ nhớ Flash tích hợp bên trong nhân (on-chip flash) mà sử dụng bộ nhớ Flash ngoài thông qua giao tiếp SPI (Serial Peripheral Interface). Module NodeMCU thường đi kèm với 4MB Flash, đủ thừa để lưu trữ mã nguồn chương trình (firmware), các thư viện đồ họa cho OLED, và thậm chí lưu trữ dữ liệu lịch sử nhịp tim tạm thời (data logging).

2.3.2. Nền tảng NodeMCU và Các Giao tiếp Ngoại vi

NodeMCU là một bo mạch phát triển (development board) mã nguồn mở tích hợp ESP-12E module, được thiết kế để đơn giản hóa việc làm việc với ESP8266.

Hệ thống nguồn: ESP8266 hoạt động ở mức điện áp logic 3.3V. Bo mạch NodeMCU tích hợp sẵn bộ điều chỉnh điện áp tuyến tính (LDO Voltage Regulator) như AMS1117-3.3, cho phép cấp nguồn đầu vào từ 5V (qua cổng micro-USB) hoặc 7-12V (qua chân Vin). Việc hoạt động ở mức 3.3V giúp ESP8266 tương thích trực tiếp với cảm biến MAX30100 (cũng chạy 1.8-3.3V) mà không cần mạch chuyển đổi mức logic (Level Shifter), giảm thiểu độ phức tạp và nhiễu tín hiệu.

Giao tiếp I2C: ESP8266 hỗ trợ giao tiếp I2C thông qua việc giả lập phần mềm (bit-banging) hoặc phần cứng trên các chân GPIO. Trong thiết kế này, các chân D1 (GPIO 5) và D2 (GPIO 4) thường được cấu hình làm SCL (Serial Clock) và SDA (Serial Data). Khả năng này cho phép vi điều khiển giao tiếp đồng thời với nhiều thiết bị ngoại vi

(MAX30100 và màn hình OLED) trên cùng một bus 2 dây, tối ưu hóa không gian mạch.

2.3.3. Khả năng Kết nối IoT (Internet of Things)

Mặc dù bài toán yêu cầu thiết kế thiết bị đo cơ bản, việc lựa chọn ESP8266 mang lại tiềm năng mở rộng sang IoT. Với tích hợp Wi-Fi chuẩn 802.11 b/g/n và ngăn xếp giao thức TCP/IP đầy đủ, thiết bị có thể dễ dàng nâng cấp để gửi dữ liệu nhịp tim và SpO2 lên các nền tảng đám mây (Cloud) như Blynk, ThingSpeak hoặc máy chủ bệnh viện để theo dõi từ xa (Telemedicine). Đây là lợi thế cạnh tranh cốt lõi của ESP8266 so với các dòng vi điều khiển non-wireless.

2.4. Công nghệ Hiển thị: Màn hình OLED và Trình điều khiển SSD1306

Để hiển thị thông tin trực quan cho người dùng (nhịp tim BPM, nồng độ SpO2 %, và biểu đồ sóng PPG), hệ thống sử dụng màn hình OLED 0.96 inch giao tiếp I2C.

2.4.1. Cơ chế Vật lý của OLED (Organic Light Emitting Diode)

Khác với màn hình LCD (Liquid Crystal Display) truyền thống hoạt động dựa trên nguyên lý phản ánh ánh sáng từ đèn nền (backlight), công nghệ OLED là công nghệ phát sáng tự thân (emissive technology).

Cấu trúc: Mỗi điểm ảnh (pixel) của OLED bao gồm một mảng vật liệu hữu cơ điện phát quang (electroluminescent layer) kẹp giữa hai điện cực (Anode và Cathode). Khi dòng điện chạy qua, các hạt tải điện (lỗ trống và electron) tái hợp trong lớp vật liệu hữu cơ, giải phóng năng lượng dưới dạng photon ánh sáng.

Ưu điểm trong thiết bị y tế:

- Độ tương phản vô cực: Do điểm ảnh màu đen là trạng thái "tắt" hoàn toàn, OLED tạo ra nền đen tuyệt đối. Điều này giúp các con số và đồ thị hiển thị cực kỳ sắc nét, dễ đọc trong mọi điều kiện ánh sáng, giảm mỏi mắt cho nhân viên y tế.
- Tiêu thụ năng lượng thấp: Khi hiển thị giao diện tối (nền đen, chữ sáng), OLED tiêu thụ ít điện năng hơn nhiều so với LCD (vốn phải bật đèn nền toàn bộ diện tích). Điều này rất quan trọng đối với các thiết bị chạy pin.
- Góc nhìn rộng: OLED duy trì độ chính xác màu sắc và độ sáng ở góc nhìn lên đến gần 180 độ, cho phép quan sát dễ dàng từ nhiều vị trí.

2.4.2. Trình điều khiển Màn hình (Display Driver) SSD1306

SSD1306 là chip điều khiển CMOS tích hợp (driver IC) điều khiển ma trận điểm ảnh 128x64 của màn hình OLED.

– **Bộ nhớ GDDRAM:** SSD1306 tích hợp bộ nhớ RAM hiển thị (Graphic Display Data RAM) dung lượng 128x64 bit (1 bit cho mỗi pixel đơn sắc). Vi điều khiển ESP8266 chỉ cần ghi dữ liệu vào bộ nhớ này qua I2C, và SSD1306 sẽ tự động quét và làm tươi màn hình, giải phóng CPU khỏi nhiệm vụ quét LED liên tục.

– **Cơ chế Charge Pump:** Để kích hoạt vật liệu hữu cơ phát sáng, OLED cần điện áp cao hơn mức 3.3V logic (thường khoảng 7V-15V). Chip SSD1306 tích hợp sẵn mạch bơm điện tích (Charge Pump) sử dụng tụ điện ngoài để nâng điện áp nguồn lên mức cần thiết, giúp đơn giản hóa thiết kế nguồn của toàn hệ thống.

2.5. Nền tảng Kết nối và Tạo mẫu: Breadboard

Mặc dù thường được xem là linh kiện phụ trợ, Breadboard (bo mạch cắm) đóng vai trò quan trọng trong giai đoạn tạo mẫu (prototyping) và kiểm thử lý thuyết.

Cấu trúc: Breadboard gồm các dải kim loại dẫn điện (thường là hợp kim đồng-phốt pho hoặc niken) nằm dưới lớp vỏ nhựa cách điện. Các lỗ cắm được sắp xếp theo chuẩn kích thước chân linh kiện DIP (0.1 inch / 2.54mm).

Đặc tính điện học: Một yếu tố cần lưu ý trong thiết kế hệ thống nhúng cao tần là điện dung ký sinh (parasitic capacitance) giữa các dải tiếp điểm liền kề trên breadboard (thường từ 2pF đến 10pF). Đối với giao thức I2C hoạt động ở tốc độ 400kHz, điện dung này cộng với điện dung dây nối có thể làm biến dạng sườn lên (rising edge) của xung tín hiệu. Tuy nhiên, với thiết kế mạch đơn giản và khoảng cách ngắn, ảnh hưởng này thường nằm trong giới hạn cho phép, nhưng cần được cân nhắc nếu mở rộng hệ thống.

2.6. Giao thức Truyền thông Hệ thống: I2C (Inter-Integrated Circuit)

I2C là giao thức xương sống kết nối ESP8266 với cảm biến MAX30100 và màn hình OLED. Đây là giao thức truyền thông nối tiếp đồng bộ, đa chủ (multi-master), đa tớ (multi-slave).²¹

2.6.1. Cấu trúc Bus Vật lý

Bus I2C chỉ sử dụng hai đường tín hiệu:

- **SDA (Serial Data):** Đường truyền dữ liệu hai chiều.
- **SCL (Serial Clock):** Đường xung nhịp đồng bộ, được tạo bởi vi điều khiển chủ (Master).

Đặc điểm quan trọng nhất của I2C là cấu hình cực máng hở (Open-Drain/Open-Collector). Các thiết bị trên bus chỉ có khả năng kéo đường dây xuống mức thấp (Logic 0 - GND) thông qua transistor MOSFET nội bộ, nhưng không thể đẩy đường dây lên mức cao (Logic 1 - VCC). Do đó, bus I2C bắt buộc phải có các điện trở kéo lên (Pull-up resistors) nối từ SDA/SCL lên nguồn dương. Giá trị điện trở này (thường từ 2.2kΩ đến 10kΩ) quyết định dòng điện nạp cho điện dung ký sinh của đường dây, ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ truyền tối đa.

2.6.2. Cơ chế Định địa chỉ và Truyền dữ liệu

Mỗi thiết bị trên bus I2C được định danh bằng một địa chỉ 7-bit duy nhất, cho phép Master chọn thiết bị cụ thể để giao tiếp:

- **MAX30100:** Địa chỉ I2C thường là 0x57 (Write: 0xAE, Read: 0xAF).
- **OLED SSD1306:** Địa chỉ I2C thường là 0x3C hoặc 0x3D (tùy thuộc vào chân chọn địa chỉ DC/SA0).

Quy trình truyền một khung dữ liệu (Data Frame) bao gồm:

1. **START Condition:** Master kéo SDA xuống thấp trong khi SCL cao.
2. **Address Byte:** Master gửi 7 bit địa chỉ + 1 bit R/W (Đọc/Ghi).
3. **ACK Bit:** Slave có địa chỉ tương ứng sẽ kéo SDA xuống thấp để xác nhận đã nhận lệnh.

4. **Data Bytes:** Truyền dữ liệu 8-bit, theo sau bởi ACK từ bên nhận.
5. **STOP Condition:** Master thả SDA lên cao trong khi SCL cao, giải phóng bus.

Việc sử dụng I2C cho phép hệ thống mở rộng dễ dàng (ví dụ: thêm cảm biến nhiệt độ môi trường, cảm biến gia tốc để phát hiện chuyển động) mà không cần thay đổi phần cứng vi điều khiển, chỉ cần đấu nối song song vào bus I2C.

Bảng Tổng hợp Các Thông số Kỹ thuật Quan trọng

Để thuận tiện cho việc tra cứu và thiết kế, các thông số kỹ thuật cốt lõi của các linh kiện trong hệ thống được tóm tắt trong Bảng 1 dưới đây:

Bảng 3: Tổng hợp đặc tính kỹ thuật linh kiện hệ thống

Tham số	MAX30100	ESP8266 NodeMCU	OLED SSD1306
Chức năng	Cảm biến nhịp tim & SpO2	Vi điều khiển trung tâm & Wi-Fi	Hiển thị giao diện người dùng
Điện áp hoạt động	1.8V - 3.3V	3.3V (Đầu vào USB 5V)	3.3V - 5V (Logic 3.3V)
Giao thức	I2C (Slave)	I2C (Master), SPI, UART	I2C (Slave)
Dòng tiêu thụ	600µA (đo), 0.7µA (ngủ)	~80mA (trung bình), 170mA (đỉnh)	~20mA (phụ thuộc số pixel sáng)
Bước sóng/Màu	Đỏ (660nm), IR (880nm)	N/A	Trắng/Xanh (đơn sắc)
Độ phân giải	ADC 14-bit (xấp xỉ)	10-bit ADC (chân A0)	128 x 64 pixels
Địa chỉ I2C	0x57	N/A	0x3C (mặc định)

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ

3.1. Yêu cầu thiết kế

3.1.1 . Mục tiêu hệ thống

Thiết kế một thiết bị đeo ngón tay (wearable) để giám sát sức khỏe cá nhân (mức độ tiêu dùng/fitness), không phải thiết bị y tế chuyên dụng.

Chức năng chính: Đo nhịp tim (HR) và nồng độ oxy (SpO₂) liên tục, hiển thị lên OLED và gửi dữ liệu qua Wi-Fi về Server/App.

Nguồn: Pin Li-Ion 3.7V, yêu cầu tiết kiệm năng lượng.

Thành phần chính: ESP8266 (MCU + Wi-Fi), MAX30100 (Cảm biến), SSD1306 (OLED 0.96").

3.1.2. Yêu cầu thiết kế

Chỉ số đo lường & Hiệu năng

Thông số	Phạm vi / Giá trị	Độ chính xác mục tiêu	Ghi chú
Nhịp tim (HR)	30 – 220 bpm	±2 bpm hoặc ±3%	Đo tốt ở vùng 40-180 bpm.
SpO ₂	70% – 100%	±2% (vùng 90-100%)	Dưới 80% cần thận trọng.
Tốc độ lấy mẫu	100 – 200 Hz	-	Cân bằng giữa độ chi tiết và nhiễu.
Độ trễ (Latency)	Hiển thị LED 1s	Gửi dữ liệu: 5-10s/gói	Tối ưu hóa pin.

Phần cứng & Điện

– Nguồn: Dùng Buck converter 3.3V (1A) để đảm bảo dòng cho ESP8266 khi phát Wi-Fi (tránh sụt áp so với LDO).

– Chống nhiễu: Tụ decoupling (0.1μF + 10μF) tại mỗi IC; tách đất (AGND/PGND) cho MAX30100.

– Giao tiếp: I²C cho cả cảm biến và màn hình (chú ý địa chỉ bus).

– LED Current: Cấu hình động (Adaptive), khởi điểm 12-20mA, tối đa 50mA.

3.1.3 Giải pháp Firmware & Thuật toán

Xử lý tín hiệu (DSP)

B1: Lọc

- Band-pass: 0.7 – 4 Hz (tương ứng nhịp tim con người).

- Notch filter: Loại bỏ nhiễu điện lưới 50/60Hz.
- Khử DC: Dùng High-pass filter để loại bỏ đường nền (baseline wander).

B2: Thuật toán tính toán

- HR: Peak detection (tìm đỉnh) kết hợp Autocorrelation (tự tương quan) khi tín hiệu nhiễu.
- SpO₂: Phương pháp "Ratio-of-ratios" (tỷ lệ AC/DC của đèn Đỏ so với Hồng ngoại → Tra bảng (Lookup table) đã hiệu chuẩn.

B3: Xử lý nhiễu chuyển động (Motion Artifacts)

- Cơ bản: Heuristic rejection (loại bỏ mẫu nếu biên độ quá thấp hoặc biến thiên quá lớn).
- Nâng cao: Áp dụng Wavelet denoising khi phát hiện chuyển động. (Nếu nâng cấp phần cứng sẽ dùng thêm cảm biến gia tốc + Kalman filter).

Quản lý năng lượng & Giao tiếp

- Chế độ hoạt động: Duty-cycle (Đo ngắn quãng, ví dụ đo 5s nghỉ 30s) làm mặc định. Chế độ đo liên tục chỉ bật khi user yêu cầu.
- Wi-Fi: Gom dữ liệu (Batch upload) gửi mỗi 5-60s để giảm thời gian phát sóng. Dùng Deep sleep khi rảnh.
- Giao thức: MQTT over TLS (nhẹ, bảo mật) với định dạng JSON gói nhỏ.

3.1.4. Tổng hợp: Lộ trình & lựa chọn phương án cuối cùng

Mục tiêu: đạt độ chính xác, ổn định dưới chuyển động nhẹ, tuổi thọ pin hợp lý, chi phí hợp lý.

Chọn phương án cơ bản (khuyến nghị hiện tại):

- Phần cứng: ESP8266 (prototype) hoặc ESP32 (nếu có budget/tiền nâng cấp); MAX30100/02, OLED SSD1306, buck 3.3V 1A, Li-Ion 1 cell.

Lý do: balance cost / performance; ESP8266 đủ cho baseline; ESP32 cho xử lý nặng hơn. MAX30102 nếu có thể thay thế thì ưu hơn MAX30100.

– Sampling: 100–200 Hz; LED current adaptive start 12–20 mA.

Lý do: đủ SNR & CPU budget.

– Signal processing: detrend + bandpass (0.7–4 Hz) + 50/60Hz notch; HR = peak detection with autocorrelation fallback; SpO₂ = ratio-of-ratios with window 3–5 s and rejection criteria.

Lý do: đơn giản, hiệu quả, đáp ứng accuracy mục tiêu trong điều kiện bình thường.

– Motion handling: ban đầu heuristic rejection + wavelet denoise when motion detected; nếu cần nâng cấp thì thêm accelerometer và dùng adaptive filter / Kalman fusion.

Lý do: incremental, giảm chi phí ban đầu.

– Power: duty-cycle mặc định (5–10 s monitor mỗi 30s hoặc 1 phút), chế độ continuous chỉ khi user bật; batch Wi-Fi (upload every 5–60 s tùy config).

Lý do: kéo dài thời lượng pin trong khi vẫn đáp ứng monitoring.

– Comm: MQTT over TLS cho telemetry; JSON compressed small payloads; local buffer >24h tóm tắt.

Lý do: tiết kiệm băng thông và dễ mở rộng.

3.1.5 Ưu điểm & khuyết điểm của phương án đề xuất

Ưu điểm

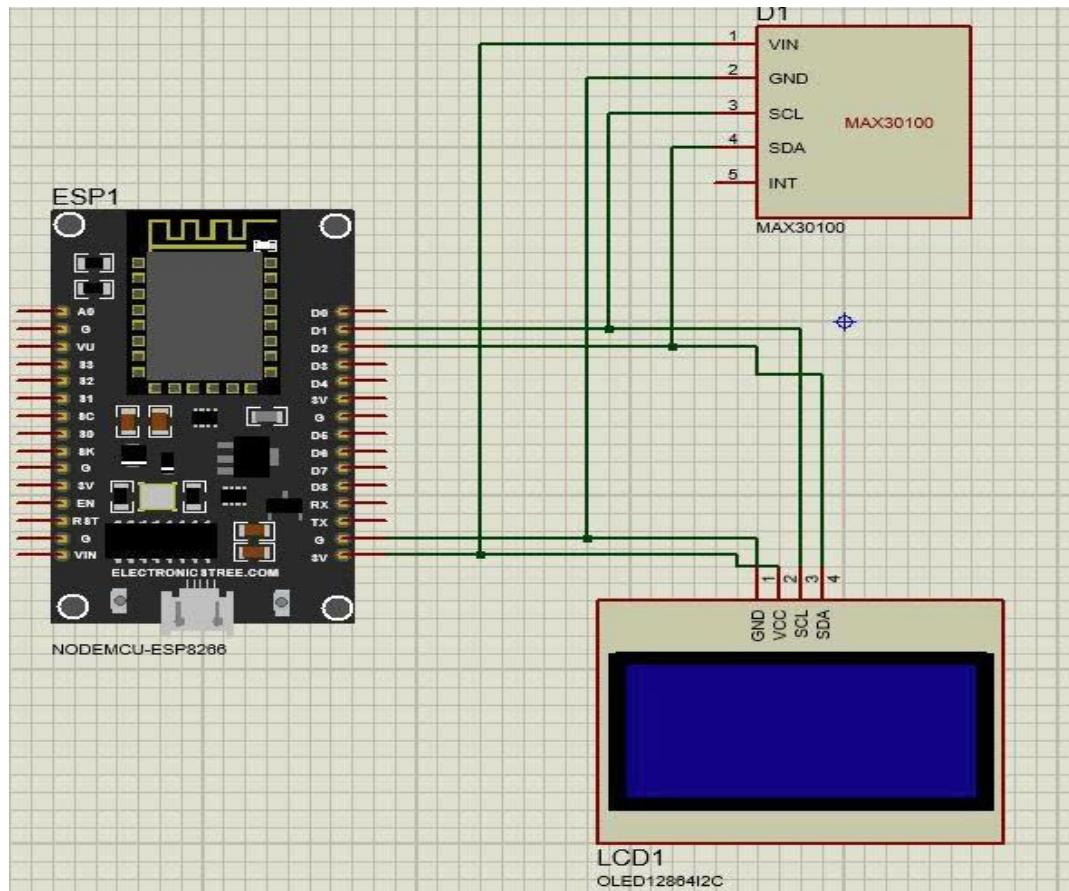
- Cân bằng giữa chi phí, phức tạp phát triển, và hiệu năng.
- Dễ phát triển incremental: có thể thêm accel/ESP32/thuật toán ML sau khi prototype.
- Đạt được các yêu cầu độ chính xác trong điều kiện bình thường; latency ≤ 1 s giữ được.
- Power-aware: duty-cycle & batch upload giúp pin thực tế dùng được lâu.
- Khuyết điểm
 - Trong chuyển động mạnh hoặc điều kiện ánh sáng ngoại suy (bright ambient), hiệu suất SpO₂ có thể kém → cần thêm sensor/accelerometer hoặc thuật toán phức tạp hơn để cải thiện.
 - ESP8266 có giới hạn CPU/RAM: nếu áp wavelet + kalman + ML nặng sẽ cần ESP32.
 - Độ chính xác y tế-grade (để clinical use) cần calibration lâm sàng và phần cứng chứng nhận; phương án hiện tại phù hợp cho thiết bị tiêu dùng/fitness, không phải thiết bị y tế được chứng nhận.

3.1.6. Các lựa chọn thay thế — khi nên dùng

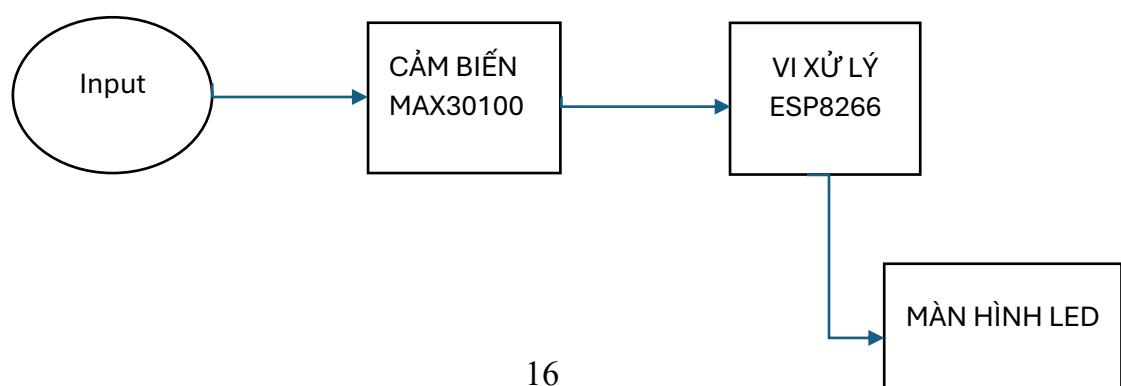
- Nếu mục tiêu sản phẩm y tế (clinic): cần nâng cấp cảm biến (chùm nhiều bước sóng / sensor chuyên dụng), dùng ESP32 hoặc MCU nhanh hơn, tiến hành calibration lâm sàng, và có thiết kế enclosure/optics tiêu chuẩn; thêm chứng nhận.

- Nếu ưu tiên thiết kế pin-long life (ví dụ wearable 1 tuần): giảm duty cycle, dùng BLE low energy (ESP32-BLE hoặc nRF52) thay vì Wi-Fi, và tối ưu firmware sâu hơn.
- Nếu ưu tiên đo dưới motion (thể thao): bắt buộc accelerometer fusion và thuật toán ANC; có thể cần multi-site sensors

3.1.7. Sơ đồ mạch



3.1.8. Sơ đồ khái niệm hệ thống



CHƯƠNG 4: PHẦN MỀM

4.1. Yêu cầu đặt ra cho phần mềm

Yêu cầu chung:

- Đọc dữ liệu từ MAX30100 với tần số ≥ 100 Hz.
- Tính toán (nhịp tim: sai số $\leq \pm 3$ BPM, phạm vi 40–180 BPM, SpO₂: sai số $\leq \pm 2\%$, phạm vi 70–100%).
- Cập nhật hiển thị mỗi 1 giây lên OLED.
- Phát hiện nhịp tim bằng callback, độ trễ ≤ 100 ms.
- Cảnh báo khi SpO₂ < 90%, BPM < 50 hoặc > 120
- Hoạt động ổn định liên tục ≥ 8 giờ.
- Thời gian khởi động ≤ 2 giây; thời gian nhận tín hiệu khi đặt ngón tay ≤ 3 giây.
- Vòng lặp không dùng delay lớn, không chặn quá 10 ms.

Yêu cầu giao tiếp:

- Serial UART tốc độ 115200 bps để xuất dữ liệu.
- OLED và MAX30100 giao tiếp qua I2C tốc độ 100–400 kHz.

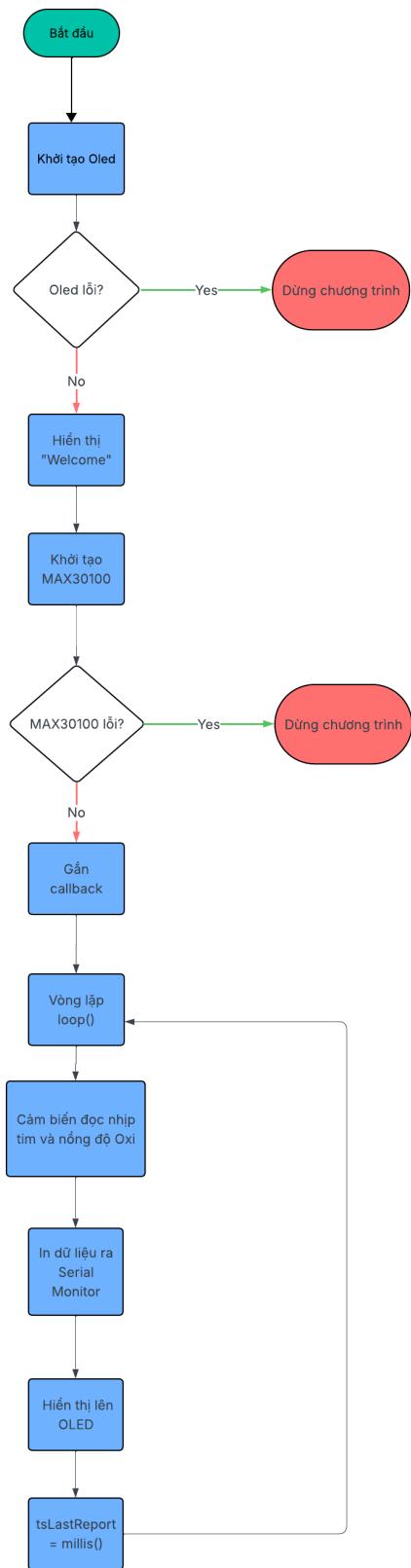
Yêu cầu xử lý tín hiệu:

- Có lọc nhiễu và ổn định tín hiệu (lọc chuyển động, lọc thấp tần).
- Đảm bảo nhiễu tín hiệu $< 5\%$ biên độ.

Yêu cầu an toàn và xử lý lỗi:

- Cảnh báo lỗi cảm biến trong < 500 ms.
- Hiển thị lỗi trên OLED và gửi thông báo qua Serial khi mất kết nối hoặc không có tín hiệu.

4.2. Lưu đồ giải thuật



4.3. Coding

-Khai báo thư viện

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Fonts/FreeSerif9pt7b.h>
-Khai báo đối tượng Oled
```

```
Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire, -1);
```

-Khai báo cảm biến

```
#include "MAX30100_PulseOximeter.h"
#define REPORTING_PERIOD_MS 1000
PulseOximeter pox;
uint32_t tsLastReport = 0;
-Callback khi phát hiện nhịp tim
void onBeatDetected(){
    Serial.println("Beat!");
}
-Hàm setup
void setup(){
    Serial.begin(115200);
-Khởi động Oled
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
        Serial.println("SSD1306 allocation failed");
        for(;;);
    }

```

-In dòng welcome

```
    display.setFont(&FreeSerif9pt7b);
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(20,15);
    display.println("Welcom to");
    display.setCursor(0,40);
    display.println("DTM E-SMART");
    display.display();
    display.setTextSize(1);
    delay(2000);

```

-Khởi động cảm biến

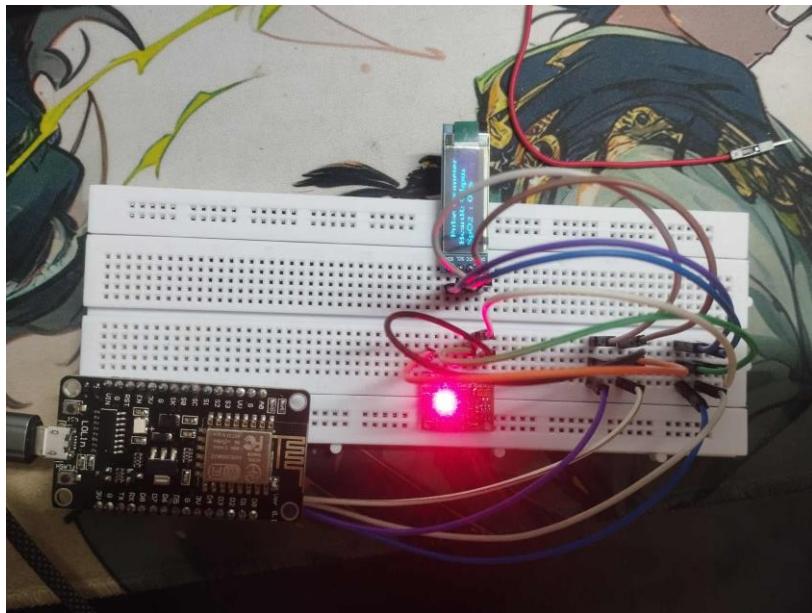
```
    Serial.print("Initializing pulse oximeter..");
    if (!pox.begin()) {
        Serial.println("FAILED");
        for(;;);
    } else {
        Serial.println("SUCCESS");
    }
```

-Gán khai báo nhịp tim

```
pox.setOnBeatDetectedCallback(onBeatDetected);
}
void loop(){
-Cập nhật dữ liệu cảm biến
    pox.update();
    if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
-In ra Serial
    Serial.print("Heart rate:");
    Serial.print(pox.getHeartRate());
    Serial.print("bpm / SpO2:");
    Serial.print(pox.getSpO2());
    Serial.println("%");
-Hiển thị lên Oled
    display.clearDisplay();
    display.setCursor(10,12);
    display.print("Pulse Oximeter");
    display.setCursor(0,35);
    display.print("HeartR:");
    display.setCursor(62,35);
    display.print(pox.getHeartRate(),0);
    display.println(" bpm");
    display.setCursor(0,59);
    display.print("SpO2 : ");
    display.setCursor(62,59);
    display.print(pox.getSpO2());
    display.println(" %");
    display.display();
-Cập nhật thời gian
    tsLastReport = millis();
}
}
```

CHƯƠNG 5 : KẾT QUẢ THỰC HIỆN

5.1.Hình ảnh thực tế Heartbeat monitor



5.2. Cách đo đạc

Sau khi khởi động thiết bị bằng cách cấp nguồn thông qua ESP8266, đợi thiết bị khởi động tầm 1-2 giây sau đó tiến hành đo đạc. Đeo ngón tay nhẹ trên phần cảm ứng của cảm biến MAX30100 và đợi vài giây. MAX30100 sẽ tiến hành đo nhịp tim và nồng độ oxi sau đó hiển thị trên Oled. Thiết bị sẽ đo liên tục nếu ngón tay còn trên cảm biến, khi lấy tay ra thì cảm biến sẽ mất tín hiệu và hiển thị 0 ở 2 phần nhịp tim và nồng độ oxi

5.3. Kết quả kiểm tra hệ thống

Sau khi hoàn thành việc lập trình và lắp ráp phần cứng, thiết bị được đưa vào chạy thử trong điều kiện thực tế nhằm đánh giá mức độ ổn định và khả năng phản hồi của các thuật toán điều khiển. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống vận hành đúng như thiết kế.

Cảm biến MAX30100 khi nhận được tín hiệu từ tay người sử dụng sẽ tiến hành đo nhịp tim (hàng trên) và nồng độ Oxi trong máu (hàng dưới) sau đó hiển thị trên màn hình Oled.

Thiết bị đo chính xác và đưa ra kết quả nhanh chóng chỉ sau vài giây nhấp thao tác qua đó có thể sử dụng trong thực tế trong y học để giám sát các bệnh về tim cũng như theo dõi sức khỏe cho người lớn tuổi.

CHƯƠNG 6: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

6.1. Kết luận

Sau thời gian nghiên cứu và thực hiện đề tài “Thiết bị đo nhịp tim và nồng độ oxy trong máu”, nhóm đã hoàn thành được một hệ thống hoạt động ổn định, có khả năng đo và hiển thị nhịp tim (Heart Rate) và nồng độ bão hòa oxy trong máu (SpO₂) theo thời

gian thực. Đây là một kết quả đáng khích lệ, đặc biệt trong điều kiện sử dụng các linh kiện giá rẻ và giới hạn về độ chính xác của cảm biến MAX30100. Trong quá trình thử nghiệm, thiết bị cho thấy khả năng phản hồi nhanh, cập nhật giá trị liên tục và biểu diễn thông tin một cách rõ ràng trên màn hình OLED, giúp người dùng dễ dàng quan sát và theo dõi các chỉ số sinh học của bản thân.

Thông qua quá trình đo thực tế, nhóm nhận thấy rằng tín hiệu PPG thu được từ MAX30100 có thể đạt được mức độ ổn định tương đối nếu người dùng đặt ngón tay đúng vị trí, áp lực phù hợp và hạn chế tối đa sự di chuyển. Điều này phù hợp với lý thuyết về cảm biến quang học, khi ánh sáng phản xạ từ mao mạch bị ảnh hưởng mạnh bởi chuyển động cơ học. Việc áp dụng các kỹ thuật xử lý tín hiệu như lọc trung bình trượt, lấy mẫu theo chu kỳ cố định, loại bỏ outlier và cân chỉnh biên độ tín hiệu giúp kết quả đo trở nên mượt hơn và giảm thiểu các sai số đột ngột. Nhóm cũng đã thử nghiệm nhiều tham số khác nhau của cảm biến như cường độ LED, tốc độ lấy mẫu, độ phân giải ADC... và rút ra được các giá trị tối ưu để đạt hiệu suất đo ổn định nhất.

Bên cạnh việc xây dựng thuật toán, nhóm còn hiểu rõ hơn về bản chất của tín hiệu sinh học PPG – một tín hiệu rất nhạy, chứa nhiều thành phần nhiễu, đòi hỏi kỹ thuật xử lý phù hợp. Những kiến thức này không chỉ giúp nhóm hoàn thành đề tài mà còn mở ra hướng nghiên cứu sâu hơn trong tương lai như tách nhịp đập chính xác hơn, phát hiện nhịp bất thường, phân tích sự biến thiên nhịp tim (HRV)... Đây là những kỹ thuật quan trọng trong y sinh học và có thể được ứng dụng vào các sản phẩm chăm sóc sức khỏe chuyên nghiệp.

Quá trình thực hiện đề tài mang đến cho nhóm nhiều kinh nghiệm quý báu về phần cứng. Nhóm đã học được cách thiết kế, lắp ráp và kiểm tra mạch sao cho hạn chế nhiễu và đảm bảo tính ổn định của hệ thống. Ví dụ, nhóm rút ra rằng việc nối dây dài hoặc tiếp xúc lỏng có thể khiến tín hiệu I2C hoạt động thất thường; nguồn cung cấp không ổn định hoặc không đủ dòng sẽ làm cảm biến MAX30100 nóng lên nhanh hơn; việc kéo lên (pull-up) không đúng giá trị dẫn đến mất tín hiệu giao tiếp. Những kinh nghiệm thực tế này mang ý nghĩa lớn vì chúng giúp nhóm nhận thức rõ ràng rằng một hệ thống phần cứng dù đơn giản cũng yêu cầu sự chính xác và cẩn thận trong từng chi tiết nhỏ.

Việc lập trình ESP8266 cũng đem lại nhiều bài học quan trọng. Đây là một vi điều khiển mạnh nhưng có những giới hạn nhất định về bộ nhớ và thời gian xử lý khi chạy các thuật toán liên tục. Nhóm đã phải tối ưu mã nguồn, hạn chế dùng biến tạm không cần thiết, giảm số phép tính lặp lại, và phân chia các tác vụ xử lý thời gian thực để tránh gây trễ dữ liệu. Đồng thời, nhóm cũng hiểu rõ hơn về giao tiếp I2C như cách đọc ghi thanh ghi của cảm biến MAX30100, xử lý trường hợp bus bị treo, tình trạng xung đột dữ liệu hoặc cảm biến trả về giá trị không hợp lệ. Đây là những kiến thức có ý nghĩa thực tiễn rất lớn vì chúng thường xuyên xuất hiện trong các hệ thống nhúng thực tế.

Ngoài ra, nhóm còn phát triển các kỹ năng mềm quan trọng như phân tích yêu cầu, quản lý tiến độ, phân công công việc và xử lý các vấn đề bất ngờ trong quá trình thực hiện đề tài. Việc liên tục thử nghiệm – đánh giá – điều chỉnh giúp nhóm rèn luyện được tư duy phản biện và quy trình làm việc khoa học. Những trải nghiệm này sẽ hỗ trợ nhóm trong các dự án lớn hơn sau này.

Về ưu điểm, sản phẩm của đề tài đạt độ hoàn thiện khá tốt so với mục tiêu ban đầu. Thiết bị nhỏ gọn, tiết kiệm năng lượng, chi phí chế tạo thấp và dễ mở rộng. Việc sử dụng màn hình OLED cho phép hiển thị thông tin rõ ràng, trực quan. ESP8266 giúp thiết bị

không chỉ xử lý dữ liệu mà còn có khả năng kết nối Internet nếu muốn triển khai các tính năng như gửi dữ liệu lên server, đồng bộ lên ứng dụng điện thoại hay theo dõi sức khỏe từ xa. Điều này khẳng định rằng hệ thống hoàn toàn có thể phát triển thành một thiết bị IoT trong tương lai. Sản phẩm còn có ý nghĩa thực tiễn vì có thể ứng dụng trong học tập, nghiên cứu và các bài toán chăm sóc sức khỏe cá nhân cơ bản.

Tuy vậy, đề tài vẫn tồn tại nhiều hạn chế cần được cải thiện nếu muốn tiến gần hơn đến các tiêu chuẩn y tế. Cảm biến MAX30100 có độ nhạy kém và dễ bị nhiễu do chuyển động, ánh sáng môi trường hoặc nhiệt độ. So với các thiết bị Pulse Oximeter chuyên dụng, sai số của hệ thống vẫn còn khá lớn, đặc biệt trong các điều kiện đo không lý tưởng. Ngoài ra, việc cảm biến bị nóng sau thời gian hoạt động dài làm thay đổi đặc tính đo và đôi khi gây khó chịu cho người sử dụng. Giới hạn tài nguyên của ESP8266 cũng khiến nhóm không thể triển khai các thuật toán lọc tín hiệu nâng cao như FFT, adaptive filtering hay lọc Kalman—những thuật toán có thể cải thiện đáng kể độ chính xác. Màn hình OLED nhỏ cũng chỉ hiển thị được lượng thông tin hạn chế và chưa thể đưa ra các biểu đồ trực quan hay phân tích sâu hơn về tín hiệu.

Từ những kết quả đạt được và các hạn chế đã phân tích, nhóm nhận thấy rằng đề tài không chỉ giúp hoàn thành một mô hình thiết bị đo nhịp tim – SpO₂ đơn giản mà còn mở ra nhiều hướng phát triển mới như nâng cấp cảm biến lên MAX30102/30105 để tăng độ chính xác, xây dựng hệ thống lưu trữ và phân tích dữ liệu dài hạn, tích hợp WiFi để theo dõi từ xa, thiết kế giao diện mobile app, hoặc nghiên cứu thuật toán phát hiện bất thường nhịp tim. Những hướng phát triển này sẽ giúp thiết bị tiến gần hơn đến các giải pháp chăm sóc sức khỏe thông minh trong tương lai.

6.2. Hướng phát triển tiếp theo

Trong thời gian tới, hệ thống có thể được phát triển theo nhiều hướng nhằm nâng cao tính ổn định, độ chính xác và tính ứng dụng thực tiễn:

6.2.1. Nâng cấp phần cứng

- Thay thế MAX30100 bằng MAX30102 hoặc MAX86150 có độ nhạy cao hơn và khả năng lọc nhiễu tốt hơn.
- Bổ sung gia tốc kế (MPU6050) để triệt nhiễu chuyển động bằng thuật toán bù (motion compensation).F
- Thiết kế mạch PCB chuyên dụng, tối ưu độ nhiễu và cải thiện trải nghiệm đeo.

6.2.2. Phát triển thuật toán xử lý tín hiệu

- Áp dụng lọc Kalman, wavelet transform, hoặc adaptive filtering để giảm nhiễu động tốt hơn.
- Xây dựng mô hình dự đoán nhịp tim bằng AI/ML, giúp cải thiện độ ổn định trong điều kiện nhiễu cao.
- Tích hợp thuật toán phát hiện bất thường như nhịp tim không đều (arrhythmia screening).

6.2.3. Tăng cường khả năng kết nối và ứng dụng

- Kết nối với Firebase, MQTT, hoặc WebServer để lưu trữ dữ liệu theo thời gian thực.
- Xây dựng app điện thoại (Android/iOS) để theo dõi sức khỏe liên tục.
- Tích hợp thêm các chỉ số sức khoẻ khác như nhiệt độ cơ thể, huyết áp (kết hợp cảm biến phụ).

6.2.4. Hoàn thiện tính thương mại và khả năng sử dụng

- Thiết kế vỏ hộp 3D chuyên nghiệp, nhỏ gọn, dễ sử dụng.
- Kiểm thử trên mẫu người dùng thực tế, thu thập số liệu đánh giá sai số.
- Tối ưu thời lượng pin và giảm tiêu thụ năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. MAX30100 Pulse Oximeter : PinOut, Datasheet & Its Working - ElProCus, accessed November 27, 2025, <https://www.elprocus.com/max30100-pulse-oximeter/>
2. Principles of pulse oximetry - Deranged Physiology, accessed November 27, 2025, <https://derangedphysiology.com/main/cicm-primary-exam/respiratory-system/Chapter-410/principles-pulse-oximetry>
3. The light-tissue interaction of pulse oximetry - PubMed, accessed November 27, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18048891/>
4. MAX30100 Sensor - JustDoElectronics, accessed November 27, 2025, <https://justdoelectronics.com/max30100-sensor/>
5. Pulse oximetry - Wikipedia, accessed November 27, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_oximetry
6. Pulse Oximetry Basic Principles and Interpretation | Iowa Head and Neck Protocols, accessed November 27, 2025, <https://iowaproocols.medicine.uiowa.edu/protocols/pulse-oximetry-basic-principles-and-interpretation>
7. MAX30100 Pulse Oximeter and Heart-Rate ... - Analog Devices, accessed November 27, 2025, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30100.pdf>
8. Interfacing MAX30100 Pulse Oximeter and Heart Rate Sensor with Arduino, accessed November 27, 2025, <https://lastminuteengineers.com/max30100-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/>
9. Introduction to the Internet of Things (IoT): ESP8266 architecture and Arduino GUI, accessed November 27, 2025, https://annefou.github.io/IoT_introduction/02-ESP8266/index.html
10. NodeMCU ESP8266 Pinout, Specifications, Features & Datasheet - Components101, accessed November 27, 2025, <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>
11. ESP8266 NodeMCU WiFi Module User Manual - Handson Technology, accessed November 27, 2025, <https://handsontec.com/dataspecs/module/esp8266-V13.pdf>
12. Help with coding [MAX30100 pulse oximeter & buzzer] - General Guidance - Arduino Forum, accessed November 27, 2025, <https://forum.arduino.cc/t/help-with-coding-max30100-pulse-oximeter-buzzer/1301498>
13. WiFi ECG Monitor - ESP and MAX30100 (heart-rate, oximeter) - Hackster.io, accessed November 27, 2025, <https://www.hackster.io/mvtdesign/wifi-ecg-monitor-esp-and-max30100-heart-rate-oximeter-00ddcd>
14. OLED Displays: Thinner and More Power Efficient than LCD - AI-FutureSchool, accessed November 27, 2025, <https://www.ai-futureschool.com/en/electronics/advantages-of-oled-displays-over-lcd.php>
15. OLED - Wikipedia, accessed November 27, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/OLED>
16. OLED vs. LCD: A Comprehensive Analysis of Display Technologies - Riverdi, accessed November 27, 2025, <https://riverdi.com/blog/oled-vs-lcd-breaking-down-the-differences>
17. Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and

- future perspectives - PMC - PubMed Central, accessed November 27, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6060049/>
18. OLED vs. LCD - Comprehensive Guide 2024 - LED Display Controller, accessed November 27, 2025, <https://ledsino.store/oled-vs-lcd/>
19. OLED Display 0.96" I2C 128x64 SSD1306 white - Nettigo, accessed November 27, 2025, [https://nettigo.eu/products/oled-display-0-96-i2c-128x64\(ssd1306-white](https://nettigo.eu/products/oled-display-0-96-i2c-128x64(ssd1306-white)
20. SSD1306 - Adafruit, accessed November 27, 2025, <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
21. A Basic Guide to I2C - Texas Instruments, accessed November 27, 2025, <https://www.ti.com/lit/pdf/sbaa565>
22. I2C - Wikipedia, accessed November 27, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/I2C>
23. I2C Communication Protocol - GeeksforGeeks, accessed November 27, 2025, <https://www.geeksforgeeks.org/computer-organization-architecture/i2c-communication-protocol/>
24. Introduction to I²C and SPI protocols, accessed November 27, 2025, <https://web.eng.fiu.edu/watsonh/intromicros/M14-I2C/Introduction%20to%20I%C2%B2C%20and%20SPI%20protocols.pdf>
25. display oled i2c 0.96" ssd1306 - Mouser Electronics, accessed November 27, 2025, https://www.mouser.com/datasheet/2/1398/Soldered_333099-3395096.pdf
26. I2C - SparkFun Learn, accessed November 27, 2025, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all>