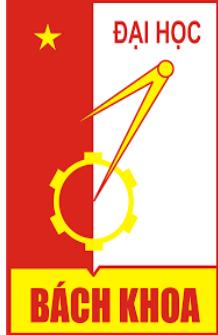


ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐIỆN – ĐIỆN TỬ



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP CỦ NHÂN

Thiết kế hệ thống giám sát gió phục vụ trạm quan trắc  
khí tượng bề mặt

Nguyễn Đình Giới

Gioi.nd202614@sis.hust.edu.vn

Ngành Kỹ thuật Điều khiển – Tự động hóa

Giảng viên hướng dẫn:

ThS. Nguyễn Thị Huệ

Khoa:

Tự động hóa

Chữ ký của GVHD

Trường:

Điện – Điện tử

HÀ NỘI, 7/2024

NHIỆM VỤ  
ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên: Nguyễn Đình Giới

Mã số sinh viên: 20202614

Khóa: 65

Trường: Điện - Điện tử

Ngành: KT ĐK & TĐH

1. *Tên đề tài:*

Thiết kế hệ thống giám sát gió phục vụ trạm quan trắc khí tượng bề mặt.

2. *Nội dung đề tài:*

Hệ thống giám sát gió gồm các thiết bị node cảm biến có chức năng đo các thông số môi trường liên quan tới gió và một thiết bị thu thập dữ liệu (gateway) từ các node cảm biến. Thiết bị gateway nhận dữ liệu từ node, hiển thị các thông số đo, gửi dữ liệu đo tới nền tảng trực tuyến (server) bằng Internet. Tại server, người dùng quan sát các biến đổi của gió để đưa ra các đánh giá phù hợp. Mục tiêu đồ án tập trung vào thiết kế hệ thống với các thiết bị đo (node) và thiết bị thu thập dữ liệu (gateway), xử lý quá trình truyền nhận giữa các thiết bị, phân tích và tổng hợp dữ liệu.

Hệ thống sử dụng công nghệ LoRa để gửi bản tin giữa thiết bị node và gateway. Dữ liệu gateway nhận từ node cảm biến được xử lý để hiển thị màn hình, gửi tới Thingsboard Server bằng MQTT và có kết nối WiFi. Hệ thống được thiết kế với nhiều tính năng, được kiểm tra qua các quá trình thử nghiệm tại các vị trí và môi trường khác nhau để thu được các kết quả xác thực.

3. *Cán bộ hướng dẫn:* ThS. Nguyễn Thị Huệ

4. *Thời gian giao đề tài:* 04/03/2024

5. *Thời gian hoàn thành:* 30/06/2024

Ngày.....tháng.....năm 2024

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

## LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên em xin được gửi lời cảm ơn sâu sắc đến cô **Nguyễn Thị Huệ** - giảng viên Khoa Tự động hóa, trường Điện – Điện Tử đã luôn tận tình hướng dẫn, chỉ bảo và giúp đỡ em trong suốt quá trình thực hiện đề tài đồ án tốt nghiệp của mình. Đồng thời em xin gửi lời cảm ơn tới tập thể Lab Mandevices đã nhiệt tình giúp đỡ em cùng với sự hỗ trợ to lớn từ mặt trang thiết bị của Lab.

Em xin chân thành cảm ơn.

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong thời đại khoa học và công nghệ hiện nay, sự phát triển của các ngành kinh tế và sản xuất đang diễn ra một cách vượt bậc. Nhờ vào sự tiến bộ trong các lĩnh vực như trí tuệ nhân tạo, công nghệ thông tin và tự động hóa, các doanh nghiệp và tổ chức có thể tận dụng hiệu quả hơn các công nghệ mới để cải thiện hiệu suất sản xuất, tối ưu hóa quy trình kinh doanh và tăng cường cạnh tranh trên thị trường toàn cầu. Và điều kiện thời tiết là một trong những yếu tố ảnh hưởng tới sự phát triển đó.

Trong nông nghiệp, gió có vai trò quan trọng trong việc thu phấn cho cây trồng, đặc biệt là các loại cây lương thực như lúa và ngô. Trong ngư nghiệp, gió tác động tới hoạt động trên biển khi điều khiển hướng của thuyền buồm. Đặc biệt, việc theo dõi thông tin về gió giúp dự báo các hiện tượng thời tiết như bão, lốc xoáy, sự di chuyển của các hệ thống khí áp thấp và cao. Dựa trên dữ liệu về gió có thể xác định các luồng không khí di chuyển, ảnh hưởng đến nhiệt độ và độ ẩm của một khu vực, dự báo các điều kiện thời tiết. Vì vậy, theo dõi các biến đổi của gió là yếu tố quan trọng để đưa ra các dự báo.

Việc theo dõi trực tiếp các thông số của gió tại vị trí nhất định gây ra nhiều bất tiện và lưu trữ thủ công có thể có sai sót. Khi theo dõi tại nhiều vị trí, khu vực sẽ có nhiều khó khăn khi tiếp cận hoặc gây tổn thất nguồn nhân lực. Vì vậy với mong muốn ứng dụng công nghệ truyền tin không dây để cải thiện hiệu suất của hệ thống, em quyết định thực hiện đề tài “**Thiết kế hệ thống giám sát gió phục vụ trạm quan trắc khí tượng bờ biển**”. Đề tài của em được chia thành 4 chương chính:

- Chương 1: Tổng quan đề tài
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết
- Chương 3: Thiết kế hệ thống
- Chương 4: Hoàn thiện sản phẩm, thử nghiệm và đánh giá

Trong quá trình thực hiện đề tài này, em đã tìm hiểu về các phương pháp đo gió phổ biến và các sản phẩm trên thị trường, lập sơ đồ hệ thống, lựa chọn cảm biến đo tốc độ và hướng gió sử dụng chuẩn giao tiếp RS485, các cảm biến đo nhiệt độ, độ ẩm không khí, sử dụng vi điều khiển để tính toán, xử lý dữ liệu, hiển thị màn hình tại thiết bị thu thập dữ liệu và hiển thị trực tuyến, sử dụng công nghệ truyền tin không dây. Khi thực hiện đề tài này, em đã tiếp thu và học hỏi được các kiến thức về chuẩn RS485, các cấu hình mạng phổ biến, cách hoạt động của công nghệ truyền tin, thực hiện thiết kế mạch điện, lựa chọn vỏ và cải thiện kỹ năng lập trình phần mềm.

Với điều kiện thời gian và kiến thức còn hạn chế nên còn nhiều thiếu sót trong thiết kế hệ thống. Vì vậy, em rất mong nhận được sự nhận xét, góp ý của thầy cô để hoàn thiện đề tài.

Sinh viên thực hiện  
**Nguyễn Đình Giới**

# MỤC LỤC

<b>DANH MỤC HÌNH VẼ.....</b>	<b>1</b>
<b>DANH MỤC BẢNG BIỂU .....</b>	<b>5</b>
<b>CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ĐỀ TÀI.....</b>	<b>6</b>
1.1    Giới thiệu đề tài .....	6
1.1.1    Bài toán đặt ra .....	6
1.1.2    Phân loại thiết bị đo gió phô biến .....	7
1.2    Tính cấp thiết của thiết bị đo gió hiện nay.....	13
1.3    Các thiết bị đo gió phô biến trên thị trường.....	14
1.3.1    Thiết bị đo gió cầm tay .....	14
1.3.2    Thiết bị đo gió từ xa.....	15
1.4    Mục tiêu đề tài .....	17
1.5    Kết luận chương 1 .....	17
<b>CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT .....</b>	<b>18</b>
2.1    Tổng quan về cảm biến đo tốc độ và hướng gió.....	18
2.1.1    Cảm biến đo tốc độ gió .....	18
2.1.2    Cảm biến đo hướng gió.....	21
2.2    Phương án truyền tin cho thiết bị đo gió .....	23
2.2.1    Phân tích phương án và lựa chọn công nghệ truyền tin.....	23
2.2.2    Tổng quan về LoRa.....	26
2.2.3    Băng tần LoRa .....	26
2.2.4    LoRa Physical Layer.....	27
2.2.5    Mạng LoRaWAN.....	29
2.2.6    Cấu trúc khung bản tin trong LoRa .....	30
2.3    Kết luận chương 2 .....	31
<b>CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ HỆ THỐNG.....</b>	<b>32</b>
3.1    Tổng quan mô hình hệ thống .....	32
3.1.1    Phân tích vấn đề .....	32
3.1.2    Mục tiêu thiết kế .....	32

3.2	Thiết kế phần cứng cho thiết bị đo gió .....	33
3.2.1	Yêu cầu thiết kế .....	33
3.2.2	Sơ đồ khói, lựa chọn linh kiện và thiết kế các khói .....	35
3.2.3	Hoàn thiện thiết kế phần cứng thiết bị đo gió .....	56
3.3	Thiết kế phần cứng gateway .....	60
3.3.1	Xây dựng sơ đồ khói thiết bị .....	60
3.3.2	Lựa chọn kinh kiện và thiết kế các khói của gateway .....	61
3.3.3	Hoàn thiện thiết kế phần cứng gateway .....	66
3.4	Thiết kế phần mềm cho các thiết bị .....	69
3.4.1	Triển khai thiết kế hệ thống mạng cảm biến không dây .....	69
3.4.2	Thiết kế chương trình phần mềm cho thiết bị đo gió .....	75
3.4.3	Thiết kế chương trình phần mềm cho gateway .....	79
3.5	Kết luận chương 3 .....	81
<b>CHƯƠNG 4. HOÀN THIỆN SẢN PHẨM, THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ .....</b>	<b>82</b>	
4.1	Kết quả thiết kế phần cứng .....	82
4.1.1	Sản phẩm thiết bị đo gió hoàn thiện .....	82
4.1.2	Thiết bị gateway hoàn thiện .....	83
4.2	Xây dựng kịch bản thử nghiệm .....	83
4.2.1	Kiểm tra nguồn cung cấp cho các thành phần và khói chuyển nguồn .....	83
4.2.2	Kịch bản kiểm tra node cảm biến .....	84
4.2.3	Kịch bản kiểm tra chức năng gateway và dữ liệu hiển thị tại server .....	84
4.2.4	Kiểm tra độ chính xác của các cảm biến .....	84
4.2.5	Kịch bản thử nghiệm khoảng cách truyền tin tối đa .....	85
4.2.6	Kiểm tra hoạt động của hệ thống mạng cảm biến .....	85
4.3	Tiến hành thử nghiệm và kết quả .....	85
4.3.1	Kết quả kiểm tra nguồn cung cấp và khói chuyển nguồn .....	85
4.3.2	Kết quả kiểm tra node cảm biến .....	87
4.3.3	Kết quả kiểm tra gateway .....	87
4.3.4	Kết quả kiểm tra độ chính xác các cảm biến .....	91

4.3.5	Kết quả thử nghiệm khoảng cách truyền tin .....	96
4.3.6	Kết quả kiểm tra hoạt động của hệ thống mạng cảm biến.....	98
4.4	Đánh giá kết quả .....	99
<b>KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....</b>		<b>101</b>
1.	Kết luận.....	101
2.	Hướng phát triển của đồ án.....	102
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>		<b>103</b>

## DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Một số ứng dụng của thiết bị đo gió.....	6
Hình 1.2 Máy đo gió dạng 4 cốc .....	7
Hình 1.3 Máy đo gió 3 cốc .....	8
Hình 1.4 Máy đo gió dạng cánh gió .....	9
Hình 1.5 Sơ đồ nguyên lý cảm biến đo gió theo Dòng điện không đổi .....	10
Hình 1.6 Sơ đồ nguyên lý cảm biến đo gió theo Nhiệt độ không đổi .....	11
Hình 1.7 Cảm biến đo gió dạng siêu âm .....	11
Hình 1.8 Cấu tạo thiết bị đo tốc độ gió cộng hưởng âm thanh.....	13
Hình 1.9 Công suất điện gió thế giới qua các năm.....	13
Hình 1.10 Máy đo tốc độ gió Extech AN10.....	15
Hình 1.11 Máy đo gió AM-1236C .....	15
Hình 1.12 Máy đo tốc độ gió WS1 Pro Wind .....	16
Hình 2.1 Cấu tạo cảm biến đo gió dạng cốc.....	18
Hình 2.2 Cấu tạo encoder .....	19
Hình 2.3 Nguyên lý hoạt động của encoder quang .....	19
Hình 2.4 Encoder tuyệt đối.....	20
Hình 2.5 Encoder tương đối .....	20
Hình 2.6 Encoder quang trong cấu tạo của cảm biến tốc độ gió .....	21
Hình 2.7 Cảm biến hướng gió sử dụng chiết áp.....	21
Hình 2.8 Mô tả cấu tạo cảm biến TMR .....	22
Hình 2.9 Cấu trúc cảm biến đo hướng gió .....	23
Hình 2.10 Cấu tạo cảm biến quang .....	23
Hình 2.11 Mô hình truyền tin trực tiếp.....	24
Hình 2.12 Mô hình truyền tin gián tiếp .....	24
Hình 2.13 Một số dải tần của từng khu vực .....	27
Hình 2.14 Mô hình mạng 7 lớp OSI.....	27
Hình 2.15 Minh họa LoRa Chirp Spread Spectrum .....	28
Hình 2.16 Mô hình mạng LoRaWAN .....	29
Hình 2.17 Cấu trúc bản tin LoRa.....	30
Hình 3.1 Mô hình truyền dữ liệu của hệ thống.....	32
Hình 3.2 Sơ đồ bố trí tháp quan trắc theo TCVN 12635-1:2019 .....	34
Hình 3.3 Sơ đồ khói.....	36
Hình 3.4 Cảm biến đo tốc độ gios FSJT - No1 .....	37
Hình 3.5 Cấu tạo cảm biến FSJT - No1.....	37
Hình 3.6 Cảm biến đo hướng gió FXJT - No1 .....	38

Hình 3.7 Xác định hướng trên vỏ cảm biến .....	38
Hình 3.8 Cấu tạo cảm biến hướng gió FXJT – No1 .....	39
Hình 3.9 Sơ đồ chân của IC MAX485 .....	40
Hình 3.10 Mạch chuyển đổi RS485 to UART .....	40
Hình 3.11 Sơ đồ chân cảm biến LM35.....	41
Hình 3.12 Sơ đồ chân IC LM358 .....	41
Hình 3.13 Mạch nguyên lý khói khuếch đại .....	42
Hình 3.14 Cảm biến AHT20 .....	43
Hình 3.15 Khối phản hồi điện áp.....	44
Hình 3.16 Module LoRa Ra - 02 .....	44
Hình 3.17 Sơ đồ chân của chip SX1278.....	45
Hình 3.18 Kết nối chân giữa Master và Slave .....	46
Hình 3.19 Vi điều khiển STM32F103C8T6.....	46
Hình 3.20 Mạch nguyên lý của khối MCU .....	47
Hình 3.21 Pin Li - ion 3s .....	49
Hình 3.22 Mạch ổn áp 5V .....	50
Hình 3.23 Mạch ổn áp 3.3V .....	51
Hình 3.24 Mạch phân áp của khói phản hồi .....	51
Hình 3.25 Acquy lithium 12V .....	53
Hình 3.26 Quá trình sạc pin Li - ion.....	54
Hình 3.27 Mạch sạc pin 3s .....	55
Hình 3.28 Adapter 12.6V 1A .....	55
Hình 3.29 Mạch chuyển nguồn giữa adapter và khối pin.....	56
Hình 3.30 Bộ nguồn AC - DC 12V 1A .....	56
Hình 3.31 Sơ đồ triển khai chi tiết của thiết bị đo gió.....	57
Hình 3.32 Mạch nguyên lý khói nguồn của thiết bị đo gió .....	57
Hình 3.33 Mạch nguyên lý các khói của thiết bị đo gió.....	58
Hình 3.34 Top Layer và Bottom Layer của mạch in.....	58
Hình 3.35 Mạch in 3D của thiết bị đo .....	59
Hình 3.36 Sản phẩm mạch in hoàn thiện.....	59
Hình 3.37 Khối pin 3s kèm mạch sạc cân bằng và bảo vệ pin.....	59
Hình 3.38 Hộp nhựa ABS .....	60
Hình 3.39 Sơ đồ khói của thiết bị thu dữ liệu.....	60
Hình 3.40 Sơ đồ kết nối giữa vi điều khiển và module LoRa .....	61
Hình 3.41 Màn hình TFT LCD 2.8" .....	62
Hình 3.42 Mạch nguyên lý khói hiển thị và tương tác .....	63
Hình 3.43 ESP32 – WROOM – 32D.....	63

Hình 3.44 Mạch nguyên lý của khối MCU .....	65
Hình 3.45 Bộ chuyển đổi AC – DC 5V .....	66
Hình 3.46 Mạch nguyên lý khói nguồn của thiết bị thu dữ liệu .....	66
Hình 3.47 Sơ đồ triển khai chi tiết cho gateway .....	67
Hình 3.48. Mạch nguyên lý của thiết bị thu thập dữ liệu .....	67
Hình 3.49 Top Layer và Bottom Layer của mạch in 2D .....	68
Hình 3.50 Mạch in 3D của thiết bị thu thập dữ liệu .....	68
Hình 3.51 Sản phẩm mạch in thực tế của thiết bị thu thập dữ liệu .....	68
Hình 3.52 Thingsboard hỗ trợ đa dạng các giao thức kết nối .....	70
Hình 3.53 Thiết lập các thông số trên công cụ .....	72
Hình 3.54 Các thông số đã tính toán .....	73
Hình 3.55 Khoảng cách truyền tối đa dựa trên tính toán .....	73
Hình 3.56 Cấu trúc bản tin kết nối .....	74
Hình 3.57 Cấu trúc bản tin dữ liệu đo .....	74
Hình 3.58 Cấu trúc bản tin phản hồi .....	74
Hình 3.59 Lưu đồ thuật toán của chương trình chính .....	76
Hình 3.60 Lưu đồ thuật toán hàm Response và Link Mode .....	76
Hình 3.61 Lưu đồ thuật toán hàm Reconnect Mode và Normal Mode .....	77
Hình 3.62 Khung bản tin thay đổi địa chỉ cảm biến .....	79
Hình 3.63 Khung bản tin truy vấn dữ liệu cảm biến .....	79
Hình 3.64 Bản tin trả về của cảm biến tốc độ gió .....	79
Hình 3.65 Bản tin trả về của cảm biến đo hướng gió .....	79
Hình 3.66 Luồng hoạt động của chương trình gateway .....	80
Hình 4.1 Thiết bị đo gió hoàn thiện .....	82
Hình 4.2 Thiết bị node cảm biến .....	83
Hình 4.3 Thiết bị gateway hoàn chỉnh .....	83
Hình 4.4 Giá trị điện áp pin, cảm biến gió và điện áp phản hồi .....	85
Hình 4.5 Giá trị điện áp đường 5V và đường 3.3V tại node cảm biến .....	86
Hình 4.6 Kiểm tra mạch chuyển nguồn .....	86
Hình 4.7 Các giá trị điện áp đo tại gateway .....	87
Hình 4.8 Gateway kết nối WiFi thành công .....	88
Hình 4.9 Giao diện màn hình khi kết nối WiFi và lấy thời gian thực .....	88
Hình 4.10 Giao diện màn hình mặc định ban đầu .....	88
Hình 4.11 Màn hình hiển thị dữ liệu các node cảm biến .....	89
Hình 4.12 Kết nối với Thingsboard bằng MQTT .....	89
Hình 4.13 Giao diện hiển thị tại Thingsboard .....	90
Hình 4.14 Máy đo tốc độ gió HT – 81 .....	91

Hình 4.15 Thiết bị kiểm tra tốc độ gió .....	92
Hình 4.16 Chức năng thay đổi khoảng thời gian hiển thị .....	92
Hình 4.17 Nhiệt kế hồng ngoại CK T-1803 .....	93
Hình 4.18 Thiết bị kiểm tra nhiệt độ .....	93
Hình 4.19 Biểu đồ thể hiện kết quả kiểm tra nhiệt độ .....	94
Hình 4.20 Thiết bị kiểm tra độ ẩm .....	95
Hình 4.21 Biểu đồ biểu diễn kết quả đo độ ẩm .....	95
Hình 4.22 Thử nghiệm khoảng cách truyền tại khu vực Đại học Bách Khoa Hà Nội ..	96
Hình 4.23 Vị trí đặt node cảm biến .....	97
Hình 4.24 Thử nghiệm khoảng cách truyền tin tại trường hợp 2 .....	97
Hình 4.25 Gateway nhận bản tin kết nối từ các node cảm biến .....	98
Hình 4.26 Gateway nhận bản tin dữ liệu từ 2 node và truyền tới Server .....	99

## **DANH MỤC BẢNG BIỂU**

Bảng 2.1 So sánh một số công nghệ truyền tin .....	25
Bảng 3.1 Một số thông số kỹ thuật của thiết bị đo tự động theo tiêu chuẩn .....	33
Bảng 3.2 Yêu cầu cầu thiết kế cho thiết bị đo gió .....	35
Bảng 3.3 So sánh một số cảm biến nhiệt độ.....	41
Bảng 3.4 So sánh một số loại cảm biến độ ẩm không khí.....	43
Bảng 3.5 Chức năng các chân của module LoRa Ra-02 .....	45
Bảng 3.6 Dòng điện tiêu thụ cực đại của từng thành phần.....	48
Bảng 3.7 So sánh pin Li-ion và pin Li-po .....	49
Bảng 3.8 Tính toán dòng điện tiêu thụ với hoạt động cụ thể .....	52
Bảng 3.9 So sánh một số loại màn hình hiển thị .....	62
Bảng 3.10 Dòng tiêu thụ của từng thành phần trong gateway .....	65
Bảng 4.1 Kết quả kiểm tra độ chính xác tốc độ gió tại các mức độ .....	91
Bảng 4.2 Kết quả kiểm tra nhiệt độ các node cảm biến .....	93
Bảng 4.3 Kết quả kiểm tra độ ẩm 2 node cảm biến.....	95

# CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ĐỀ TÀI

## 1.1 Giới thiệu đề tài

### 1.1.1 Bài toán đặt ra

Vai trò và ứng dụng của gió trong thực tế là vô cùng đa dạng và đóng góp quan trọng vào nhiều lĩnh vực khác nhau trong cuộc sống. Không chỉ là một yếu tố tạo nên bản chất thời tiết của một vùng, khu vực hay quốc gia, gió còn ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động sản xuất nông, lâm, ngư nghiệp.

Để đảm bảo cho sự an toàn và hiệu suất hoạt động tốt trong nhiều lĩnh vực, nhiều địa điểm khác nhau như lắp đặt trong các cột buồm hay trên vỏ tuabin gió, đặc biệt là ở các khu vực ven biển, nơi mà thời tiết có thể thay đổi đột ngột và không đoán trước được, việc có thông tin chính xác về tốc độ và hướng gió giúp góp phần đưa ra dự báo về thời tiết khi chuyển biến xấu là cực kỳ cần thiết. Điều này sẽ hỗ trợ công tác ứng phó với các hiện tượng thời tiết cực đoan như bão, lốc xoáy, thiên tai, giúp cảnh báo sớm và giảm thiểu thiệt hại về tài sản và con người, đảm bảo an toàn cho các tàu thuyền hoạt động trên biển, người dân và các cơ quan quản lý có thể chuẩn bị kế hoạch phòng tránh và ứng phó kịp thời. Mặt khác, việc hiểu rõ về hướng gió và cường độ gió giúp các kỹ sư và nhà thiết kế tàu thuyền tối ưu hóa hiệu suất và an toàn của tàu, đồng thời giảm thiểu tác động của gió đối với việc điều khiển và duy trì đường đi.

Đo lường gió là quá trình xác định các thông số về tốc độ và hướng của gió. Để thực hiện quá trình này, cần sử dụng các thiết bị chuyên dụng như anemometer, wind vane. Anemometer thường được sử dụng để đo tốc độ gió tại các trạm khí tượng, sân bay, hoặc trong các nghiên cứu khoa học liên quan đến khí hậu. Wind vane là công cụ quan trọng trong việc xác định hướng gió, giúp cung cấp dữ liệu quan trọng cho các dự báo thời tiết hay các hoạt động hàng không.



Hình 1.1 Một số ứng dụng của thiết bị đo gió

Việc dự báo thời tiết được dựa trên thông tin thu thập từ các trạm khí tượng. Trạm khí tượng thủy văn là nơi được lựa chọn theo các yêu cầu kỹ thuật chuyên môn để đặt một hoặc nhiều công trình khí tượng thủy văn, gồm các loại: trạm khí tượng bờ biển, trạm khí tượng trên cao, trạm ra đa thời tiết, trạm khí tượng nông nghiệp, trạm thủy văn, trạm hải văn, trạm đo mưa, trạm định vị sét và các loại trạm chuyên đề khác.

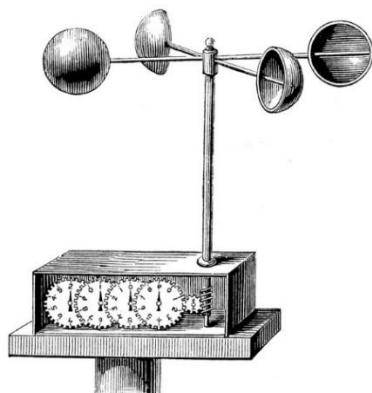
Với sức ảnh hưởng của gió trong dự báo thời tiết, dựa trên thực tế cho thấy cần có một hệ thống có thể giám sát thông tin về tốc độ và hướng gió từ một hoặc nhiều địa điểm, để đưa ra dự báo thời tiết được chính xác.

### 1.1.2 Phân loại thiết bị đo gió phổ biến

Máy đo gió là một thiết bị dùng để đo tốc độ gió, tức là khoảng cách mà gió di chuyển trong một đơn vị thời gian. Máy đo gió thường bao gồm một rôto có gắn hai cánh tay hoặc cốc tròn. Rôto được kết nối với một trục chuyển đổi tốc độ quay của nó thành tín hiệu điện biểu thị tốc độ gió. Máy đo tốc độ gió được chia làm hai loại: loại dùng để đo tốc độ gió và loại dùng để đo áp suất của gió. Tuy nhiên giữa tốc độ và áp suất gió có những điểm liên quan mật thiết với nhau, vì vậy một máy đo gió phù hợp với hai loại này sẽ cho cả hai thông tin này.

#### 1.1.2.1. Máy đo tốc độ gió dạng cốc

Máy đo gió dạng cốc là loại đơn giản của máy đo gió được phát minh vào năm 1845 bởi Tiến sĩ John Thomas Romney Robinson, của Đài thiên văn Armagh. Nó bao gồm bốn cốc hình bán cầu (hình 1.2), mỗi cái được gắn trên một đầu của bốn tay ngang, mà lần lượt được gắn ở các góc bằng nhau trên một trục dọc. Luồng không khí qua các cốc trong bất kỳ hướng nằm ngang nào đều quay trực theo một chiều và tỷ lệ thuận với tốc độ gió. Vì vậy, đếm các lượt quay của trục trong một khoảng thời gian thiết lập sẽ thu được tốc độ gió trung bình cho một dải rộng các tốc độ. Trên một máy đo với bốn cốc hứng gió, do các cốc được bố trí một cách đối xứng ở đầu của các tay ngang, gió luôn luôn hướng vào lòng chảo của một cốc và thổi trên mặt sau của cốc trên đầu đối diện của thanh chéo (chữ thập). Tỷ lệ tốc độ của gió, tốc độ của các cốc và hệ số máy đo gió phụ thuộc vào kích thước của các cốc và tay ngang.



Hình 1.2 Máy đo gió dạng 4 cốc



Hình 1.3 Máy đo gió 3 cốc

Máy đo gió ba cốc (hình 1.3) được phát triển bởi John Patterson Canada vào năm 1926 và các cải tiến cốc tiếp sau đó, được thực hiện bởi Brevoort & Joiner của Hoa Kỳ vào năm 1935 đưa ra một thiết kế cốc dạng bánh lái (cupwheel), tốc độ gió là tuyến tính và có một lỗi nhỏ hơn 3% trên tốc độ 60 mph (97 km/h).

Cảm biến gió dạng cốc hoạt động dựa trên nguyên lý đo tốc độ gió bằng cách đếm số lần quay của các cánh quạt hoặc cốc khi gió thổi qua trong một khoảng thời gian xác định. Hệ số cản là 0.38 ở mặt cầu và 1.42 ở mặt rỗng, do đó lực được tạo ra trên cốc khiến mặt rỗng của cốc chịu tác động của gió. Bởi vì do lực không đổi xứng này, momen xoắn được tạo ra trên trục của máy đo gió, khiến nó quay. Sự quay của các cánh quạt thường được đo bằng các cảm biến như encoder quang hoặc cảm biến từ. Những cảm biến này phát hiện sự di chuyển của các cánh quạt và chuyển đổi nó thành tín hiệu điện. Bằng cách đếm số tín hiệu đầu ra trong một khoảng thời gian cụ thể, cảm biến có thể xác định tốc độ gió. Tốc độ gió từ tín hiệu điện của cảm biến có thể tính bằng công thức:

$$V = \frac{RN}{K}$$

Trong đó:

- V: tốc độ gió
- R: bán kính của vòng quay của cảm biến tốc độ gió
- N: tốc độ quay của cảm biến
- K: hệ số chuyển đổi

Cảm biến gió dạng cốc có ưu điểm là đơn giản, dễ sử dụng và có chi phí thấp. Tuy nhiên, độ chính xác của cảm biến này bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như ma sát không khí, hướng gió và sai số của cánh quạt.

#### 1.1.2.2. Máy đo tốc độ gió dạng cánh gió

Thiết bị đo tốc độ gió dạng cánh là một loại máy đo gió dùng để đo vận tốc và lưu lượng của không khí, bằng cách sử dụng một cánh quạt xoay quanh một trục song song

với hướng gió. Tốc độ quay của cánh quạt được chuyển đổi thành tín hiệu điện hoặc xung số, từ đó tính được tốc độ gió.



Hình 1.4 Máy đo gió dạng cánh gió

Tốc độ của các cánh được đo bằng một bộ đếm vòng quay và chuyển đổi sang tốc độ gió bởi một con chip điện tử. Do đó, lưu lượng thể tích có thể được tính nếu biết diện tích mặt cắt ngang. Dựa vào tần số quay của cánh gió có thể tính được tốc độ gió theo công thức:

$$V = k \cdot f$$

Trong đó:

- V: tốc độ gió (m/s)
- f: tần số quay của cánh gió (vòng / s)
- k: hệ số hiệu chuẩn.

Trong trường hợp hướng chuyển động không khí là không đổi như trong những đường hầm thông gió của các mỏ và các tòa nhà, các quạt gió được sử dụng như là các máy đo không khí và cho các kết quả khả quan nhất.

#### 1.1.2.3. Máy đo tốc độ gió dạng dây nhiệt

Các máy đo gió dạng dây nóng sử dụng một dây rất nhỏ (vài micromet) được làm nóng lên bằng điện và có trở kháng phụ thuộc vào nhiệt độ. Do điện trở điện của hầu hết các kim loại phụ thuộc vào nhiệt độ của kim loại, thường một lựa chọn phổ biến cho dây nóng là vonfram, nên có thể đạt được một thiết lập quan hệ giữa điện trở của dây và tốc độ dòng chảy của không khí. Cụ thể, khi không khí chảy qua, dây dẫn bị làm mát và trở kháng giảm, sự thay đổi trở kháng được đo bằng một cầu Wheatstone và được liên hệ với vận tốc không khí theo công thức nhiệt động lực học.

Cảm biến đo gió kiểu dây nhiệt xác định tốc độ làm mát bằng một số phương pháp như dòng điện không đổi (CCA), nhiệt độ không đổi (CTA), điện áp không đổi (CVA)

và điều chế độ rộng xung (PWM). Trong đó 2 phương pháp dòng điện không đổi và nhiệt độ không đổi được sử dụng phổ biến nhất. [1]

- **Phương pháp dòng điện không đổi:** Một dòng điện cố định chạy qua đốt nóng dây cảm biến. Sự tiếp xúc của dây cảm biến với nguồn không khí sẽ làm thay đổi nhiệt độ của dây. Dựa trên sự thay đổi nhiệt độ, thiết bị có thể xác định được vận tốc gió theo công thức:

$$v = \frac{K \cdot P}{A \cdot \Delta T}$$

Trong đó:

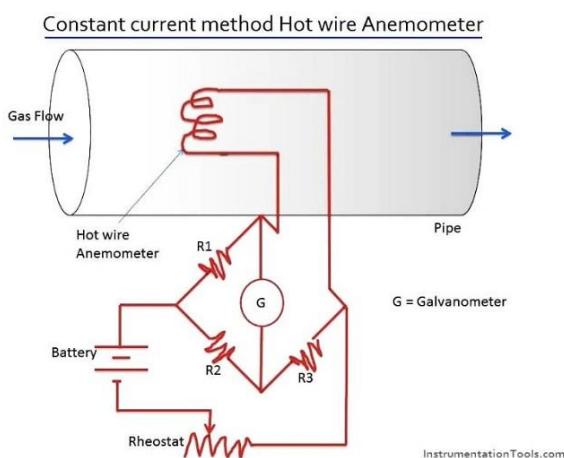
v: vận tốc gió trong không khí

P: công suất tiêu thụ của dây nhiệt khi dòng điện không đổi

A: diện tích thiết diện của dây nhiệt

$\Delta T$ : sự thay đổi nhiệt độ của dây so với nhiệt độ tham chiếu

K: hệ số hiệu chỉnh



Hình 1.5 Sơ đồ nguyên lý cảm biến đo gió theo Dòng điện không đổi

- **Phương pháp nhiệt độ không đổi:** Các nhiệt kế dây nhiệt có tác dụng giữ cho dây cảm biến ở nhiệt độ không đổi. Khi không khí đi qua làm giảm nhiệt của dây dẫn, thiết bị sẽ cần thêm dòng điện để giữ nhiệt độ ổn định, sau đó thiết bị sẽ tính toán dòng điện cần thiết để duy trì nhiệt độ không đổi, từ đó xác định tốc độ gió qua công thức cơ bản:

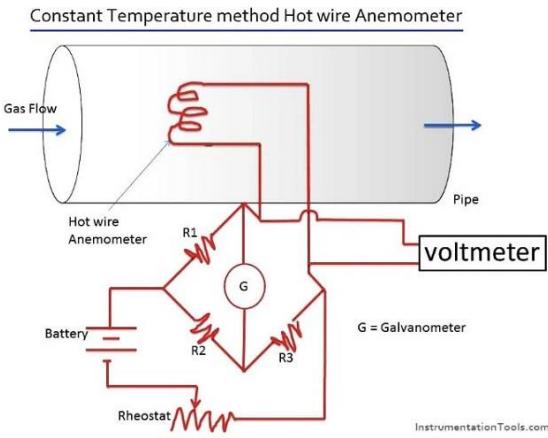
$$v = K \cdot I$$

Trong đó:

v: vận tốc gió trong không khí

I: cường độ dòng điện cung cấp

K: hằng số được xác định từ quá trình hiệu chỉnh

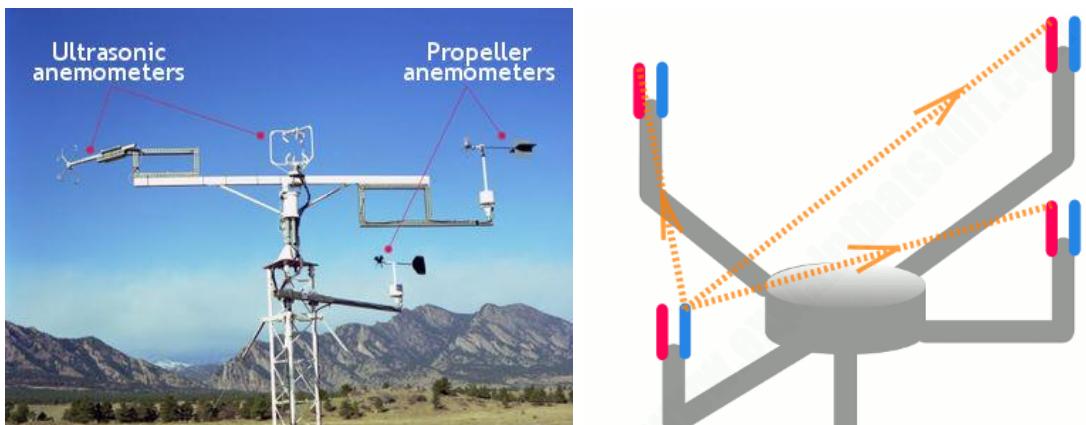


Hình 1.6 Sơ đồ nguyên lý cảm biến đo gió theo Nhiệt độ không đổi

Thiết bị đo gió dạng dây nhiệt có độ nhạy cao trong môi trường tốc độ gió thấp và có thể hoạt động tốt ở môi trường nhiệt độ cao. Thiết bị phù hợp cho các ứng dụng giám sát HVAC, giám sát khí thải, kiểm tra hệ thống mùi và hệ thống xả.

#### 1.1.2.4. Máy đo tốc độ gió dạng siêu âm

Các máy đo gió dạng siêu âm, được phát triển đầu tiên vào những năm 1950, sử dụng các sóng siêu âm để đo tốc độ gió. Thời gian truyền sóng âm phụ thuộc vào khoảng cách giữa các cặp đầu dò, tốc độ âm thanh và vận tốc của không khí theo hướng của các cặp đầu dò. Bằng cách đo thời gian truyền sóng âm theo hai hoặc ba hướng khác nhau, có thể tính được vận tốc không khí theo ba chiều. Tùy thuộc vào cách gió thổi, nó sẽ ảnh hưởng đến một số chùm âm thanh nhiều hơn những chùm âm thanh khác, làm nó chậm lại hoặc tăng tốc rất nhẹ. Các mạch đo sự khác biệt về tốc độ của các chùm tia và sử dụng kết quả đó để tìm ra tốc độ gió thổi. [2]



Hình 1.7 Cảm biến đo gió dạng siêu âm

Sự khác biệt về thời gian di chuyển theo mỗi hướng được sử dụng để tính toán tốc độ gió. Nếu  $t_1$  là thời gian để sóng di chuyển theo hướng xuôi và  $t_2$  là thời gian để xung di chuyển ngược lại, tốc độ gió có thể được tính bằng công thức:

$$v = \frac{d}{2} \cdot \left| \frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right|$$

Trong đó:

- v: tốc độ gió
- $t_1$ : thời gian truyền sóng âm theo hướng xuôi
- $t_2$ : thời gian truyền sóng âm theo hướng ngược
- d: khoảng cách giữa hai đầu dò

Các máy đo gió siêu âm hai chiều được sử dụng trong các ứng dụng như trạm thời tiết, điều hướng tàu, tua bin gió, hàng không và phao thời tiết. Các máy đo gió siêu âm ba chiều được sử dụng rộng rãi để đo các dòng khí thải và hệ sinh thái bằng cách sử dụng phương pháp hiệp phương sai xoáy khi được sử dụng với các bộ phân tích khí gas hòng ngoại đáp ứng nhanh hoặc các bộ phân tích laser.

Một số giải pháp với các công nghệ khác nhau cho cảm biến gió hai chiều:

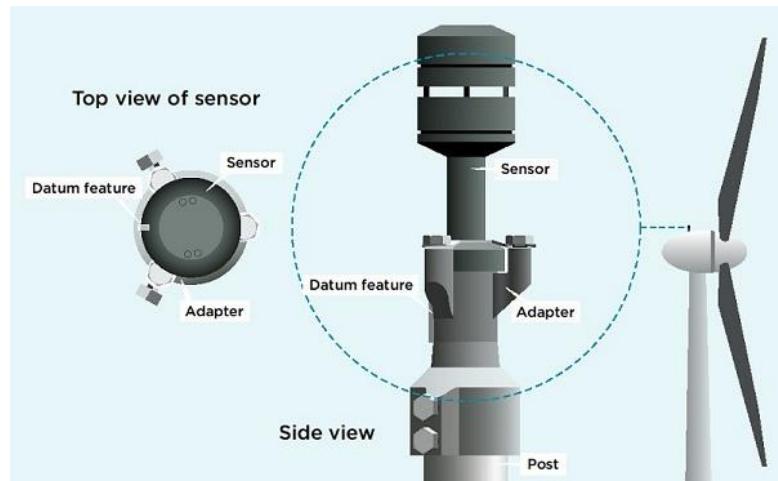
- Hai đường siêu âm: những cảm biến này có 4 hướng, dễ dàng hơn để phát triển so với cảm biến ba đường siêu âm. Nhược điểm của loại cảm biến này là khi gió đến từ một hướng của đường siêu âm, lưu lượng khí quanh các hướng gây ra bất ổn khí động học làm dụng cụ đo mất ổn định và cảm biến bị mất đi độ chính xác.
- Ba đường siêu âm: những cảm biến này có 3 hướng, được phát triển với cảm biến gió bởi nó mang lại một đường dự phòng cho dụng cụ đo nhằm cải thiện độ chính xác của cảm biến và giảm thiểu bất ổn khí động học.

Ngoài ra, cảm biến đo gió dạng siêu âm có nhược điểm là bị ảnh hưởng bởi mưa, sương mù hoặc băng tuyết, vì chúng làm thay đổi tốc độ âm thanh và làm giảm tín hiệu phản xạ hoặc còn có thể bị nhiễu bởi các nguồn âm thanh khác trong môi trường.

#### 1.1.2.5. Máy đo tốc độ gió cộng hưởng âm thanh

Máy đo gió cộng hưởng âm thanh là một phiên bản mới hơn của máy đo gió siêu âm. Các cảm biến cộng hưởng âm thanh sử dụng các sóng âm thanh cộng hưởng (siêu âm) trong một khoang nhỏ được xây dựng có chủ đích để thực hiện đo lường của chúng.

Kết cấu trong khoang là một sự bố trí các đầu dò siêu âm, được sử dụng để tạo ra các mẫu sóng tiêu chuẩn riêng biệt ở tần số siêu âm. Khi có gió đi qua khoang, một sự thay đổi trong thuộc tính của sóng xảy ra (dịch pha). Bằng cách đo lượng dịch pha trong các tín hiệu nhận của mỗi đầu dò, sau đó bằng cách xử lý toán học các dữ liệu, cảm biến có thể cung cấp phép đo theo phương ngang của tốc độ và hướng gió.



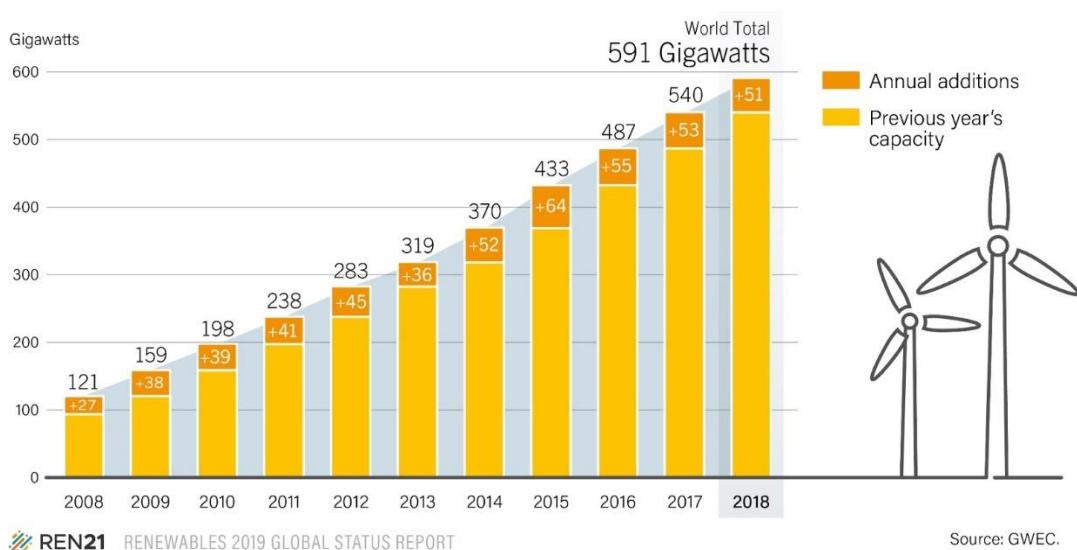
Hình 1.8 Cấu tạo thiết bị đo tốc độ gió công hưởng âm thanh

Công nghệ cộng hưởng âm thanh cho phép đo trong một khoang nhỏ, do đó các cảm biến có kích thước thông thường nhỏ hơn so với các cảm biến siêu âm khác. Kích cỡ nhỏ của máy đo gió công hưởng âm thanh làm chúng cứng cáp hơn và dễ dàng để làm nóng, giúp chúng có khả năng chống đóng băng. Do đó, chúng đạt được khả năng có dữ liệu ở các mức cao, phù hợp cho điều khiển tuabin gió và các mục đích sử dụng khác mà yêu cầu các bộ cảm biến nhỏ mạnh mẽ.

Tuy nhiên, loại cảm biến này có độ chính xác đo lường kém khi được so sánh với một bộ cảm biến cơ được hiệu chuẩn. Đối với nhiều mục đích sử dụng, điểm yếu này được bù bằng tuổi thọ lâu dài của cảm biến và thực tế nó không yêu cầu hiệu chuẩn lại sau khi cài đặt.

## 1.2 Tính cấp thiết của thiết bị đo gió hiện nay

Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2008-2018



Hình 1.9 Công suất điện gió thế giới qua các năm

Ngày nay, nhu cầu sử dụng thiết bị đo gió ngày càng tăng cao, đặc biệt là trong các lĩnh vực quan trọng như dự báo thời tiết, năng lượng tái tạo, hàng hải, nông nghiệp và môi trường. Chẳng hạn trong lĩnh vực về năng lượng tái tạo như điện gió, các công ty sản xuất điện gió cần sử dụng thiết bị đo gió để đánh giá tiềm năng của một khu vực cụ thể, nhận biết hướng gió để đón gió, lắp đặt các đài gió. Các dữ liệu đo gió giúp xác định vị trí lắp đặt tốt nhất, cung cấp thông tin về tốc độ gió trung bình hàng năm và phân phối hướng gió, từ đó ước lượng được sản lượng điện có thể tạo ra. Các thiết bị đo gió cơ bản được thiết kế hiển thị điện tử giúp người dùng có thể quan sát và đọc hiểu số liệu về tốc độ gió. Tính năng truyền dữ liệu sẽ mang lại nhiều lợi ích, giúp con người tương tác tốt hơn với thiết bị đo gió từ xa. Trong ứng dụng tại trạm khí tượng bề mặt, con người không thể tiếp cận trực tiếp với thiết bị đo gió để quan sát giá trị đo do thiết bị đo gió cần được đặt ở các vị trí cao, thông thoáng để đo được chính xác nhất. Hay khi ghi chép, lưu trữ số liệu từ thiết bị đo có thể có các sự thiếu sót, dẫn tới những đánh giá không chính xác. Việc sử dụng tính năng truyền tin có thể giúp lưu trữ dữ liệu đo, đưa ra các so sánh, đánh giá, dự báo chính xác nhất có thể mà không mất quá nhiều thời gian.

Vì vậy việc xây dựng tính năng truyền dữ liệu cho thiết bị đo tốc độ và hướng gió là rất cần thiết. Tính năng này không chỉ mang lại sự tiện lợi và hiệu quả trong việc đo lường tốc độ gió mà còn đem lại sự tương tác tốt hơn với người dùng, thay thế phương pháp đo lường truyền thống đã lỗi thời.

### **1.3 Các thiết bị đo gió phổ biến trên thị trường**

Với sự phát triển của khoa học và công nghệ hiện nay, có rất nhiều thiết bị đo gió được sử dụng phổ biến trong các lĩnh vực khác nhau như hàng không, nông nghiệp, năng lượng tái tạo và khoa học môi trường, cung cấp nhiều giải pháp đo gió khác nhau ứng với từng ứng dụng cụ thể. Thiết bị đo gió có thể kể đến hai loại chính như thiết bị đo gió cầm tay và thiết bị đo gió từ xa.

#### **1.3.1 Thiết bị đo gió cầm tay**

Thiết bị đo gió cầm tay được thiết kế nhỏ gọn và dễ sử dụng. Các thiết bị này cung cấp thông tin chính xác và nhanh chóng về tốc độ và hướng gió, giúp người dùng có thể đọc được số liệu trực tiếp được hiển thị trên màn hình, có tính di động và có thể sử dụng ở bất kỳ địa điểm nào. Dưới đây là một loại máy đo cầm tay thông dụng.



Hình 1.10 Máy đo tốc độ gió Extech AN10

Một số tính năng và đặc điểm của máy đo gió AN10:

- Giá thành: 1.700.000 – 1.800.000 vnđ
- Thiết kế bỏ túi với hoạt động bằng một nút bấm
- Đo vận tốc không khí: 80 đến 3936ft / phút
- Độ chính xác: +/- 3%
- Chức năng đọc MAX / AVG
- Đo vận tốc không khí: 80 đến 2980ft / phút, 0.4 đến 25 m/s, 1.4 đến 54.0 km/h, 0.9 đến 33.0 MPH và 0.8 đến 29.0 hải lý
- Màn hình LCD có đèn nền tự động lớn khi bật đồng hồ
- Đi kèm với pin 9V và cảm biến tích hợp
- Ứng dụng trong hoạt động bảo trì nhà máy, phân tích môi trường, các thử nghiệm tủ hút và đánh giá hệ thống HVAC.

### 1.3.2 Thiết bị đo gió từ xa

Thiết bị đo gió từ xa có thể sử dụng loại truyền có dây hoặc truyền không dây để truyền tải dữ liệu. Thiết bị đo gió truyền dữ liệu có dây gồm thiết bị đo và một thiết bị thu thập dữ liệu, có hiển thị màn hình và chúng thường được kết nối với nhau thông qua các giao thức Modbus.



Hình 1.11 Máy đo gió AM-1236C

Một số đặc trưng của thiết bị đo tốc độ gió, hướng gió dạng cốc AM-1236C:

- Giá thành: 3.500.000 vnđ
- Chức năng giữ dữ liệu giá trị lớn nhất.
- Chức năng DATA HOLD để lưu trữ 24 nhóm dữ liệu.
- Tự động tắt nguồn, 09 phút do người dùng đặt.
- Sử dụng đầu ra dữ liệu USB/RS232 để kết nối với PC hoặc lựa chọn Bộ điều hợp dữ liệu Bluetooth với phần mềm.
- Hiển thị màn hình: LCD
- Vận tốc không khí: m/s, km/h, ft/min, hải lý.
- Lưu lượng không khí: CMM ( $m^3$ /phút), CFM ( $ft^3$ /phút).
- Điều kiện hoạt động: 0°C - 50 °C, độ ẩm <80% RH.
- Nguồn điện: 4x1.5V AAA (UM-4) Pin.

Đối với truyền dữ liệu không dây, thiết bị đo gió có thể gửi dữ liệu và lưu trữ qua các công nghệ truyền tin như Wifi, Bluetooth với tốc độ nhanh chóng. Tuy nhiên chúng thường có phạm vi hoạt động hạn chế và có thể tiêu tốn nhiều năng lượng khi sử dụng lâu dài.



Hình 1.12 Máy đo tốc độ gió WS1 Pro Wind

Các đặc trưng của máy đo tốc độ gió online WS1 Pro Wind:

- Bao gồm cả cảm biến nhiệt độ và độ ẩm gắn trên thiết bị
- Dải đo nhiệt độ: -20°C – 60°C ( $\pm 0.3^\circ C$ )
- Dải đo độ ẩm: 10% – 90% ( $\pm 3\% RH$ )
- Kết nối với cảm biến tốc độ gió bằng cáp Micro – USB
- Khoảng đo: 0 – 30m/s
- Độ chính xác:  $\pm (0.3 + 0.03v)$  m/s
- Kết nối với Cloud thông qua WIFI
- Hiển thị màn hình LCD 4.4”

- Nguồn: 4 pin AA / DC USB (5V/2A)
- Bộ nhớ trên bo mạch: 300000 bản ghi.

Mỗi loại thiết bị đều có thể sử dụng trong các ứng dụng phù hợp. Tuy nhiên giá thành nhìn chung vẫn còn khá cao. Các thiết bị đo gió phổ biến có giá thành từ vài trăm đến vài triệu đồng, ngoài ra có những sản phẩm lên tới 400\$ – 600\$.

#### **1.4 Mục tiêu đề tài**

Từ những phân tích đã nêu ra, em lựa chọn hướng nghiên cứu của đồ án là thiết kế thiết bị đo tốc độ và hướng gió cùng với nhiệt độ, độ ẩm không khí, đồng thời truyền dữ liệu từ xa được ứng dụng trong trạm khí tượng bề mặt để giám sát, đánh giá, đưa ra các dự báo về thời tiết. Các mục tiêu cần đạt trong đề tài này:

- Thiết kế thiết bị đo gió giúp con người sử dụng dễ dàng trong việc theo dõi, chẩn đoán để đưa ra các đánh giá phù hợp, có thể đặt ngoài trời hoặc có che chắn.
- Thực hiện truyền dữ liệu của thiết bị đo gió đến trạm giám sát, giúp tiết kiệm thời gian thu thập dữ liệu, giảm nhân công, tăng hiệu suất làm việc.
- Thiết kế hệ thống để quản lý cùng lúc nhiều thiết bị đo gió khi cần thiết.
- Thiết kế giao diện hiển thị tại thiết bị thu thập dữ liệu, gửi dữ liệu tới nền tảng trực tuyến để phân tích, đưa ra các thông số khách quan, chính xác, giúp đánh giá, theo dõi, đưa ra các dự báo.

#### **1.5 Kết luận chương 1**

Kết thúc chương 1, em đã thực hiện giới thiệu tổng quan về đề tài, phân tích bài toán đặt ra, tìm hiểu, phân loại các loại thiết bị đo gió, đưa ra các quan điểm chứng minh về tính ứng dụng của thiết bị. Bên cạnh đó em còn tìm hiểu một số thiết bị đo gió được bày bán trên thị trường từ đơn giản đến hiện đại và đưa ra các mục tiêu chính cần thực hiện của đề tài.

Tiếp theo ở chương 2, em thực hiện tìm hiểu về các cơ sở lý thuyết, đưa ra và lựa chọn các phương án phù hợp cho thiết kế hệ thống.

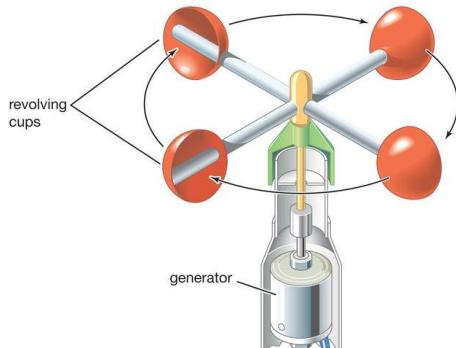
## CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1 Tổng quan về cảm biến đo tốc độ và hướng gió

#### 2.1.1 Cảm biến đo tốc độ gió

Cảm biến đo tốc độ gió thường sử dụng nguyên lý cơ học hoặc điện tử để đo lường tốc độ di chuyển của không khí. Trong khi nghiên cứu đề tài này, em tập trung vào cảm biến đo tốc độ gió dạng cốc, là một trong những loại cảm biến được sử dụng phổ biến, với việc đo tốc độ gió dựa trên số vòng quay của trực.

Gió do luồng không khí tạo ra sẽ thúc đẩy ba cốc gió cùng quay bởi khi máy đo gió được đặt bên trong dòng chảy, bề mặt lõm của cốc có sức cản gió cao hơn so với bề mặt lồi của chúng. Điều này tạo ra một mômen không cân bằng đối với trực giữa và buộc các cốc quay, trực trung tâm điều khiển tích hợp phần tử cảm biến bên trong để tạo tín hiệu đầu ra. Trong điều kiện dòng chảy ổn định, tốc độ quay của máy đo gió có liên quan trực tiếp đến tốc độ gió.

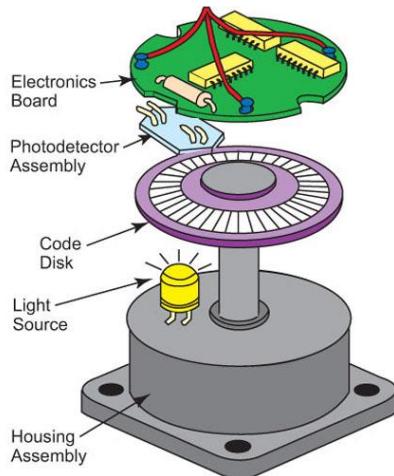


Hình 2.1 Cấu tạo cảm biến đo gió dạng cốc

Bộ phận cảm biến của cảm biến tốc độ gió là bộ phận ba cốc gió, được cấu tạo bởi ba cốc gió bằng sợi carbon và giá đỡ cốc. Bộ chuyển đổi của cảm biến là một rotor nhiều răng và một bộ chuyển đổi quang điện.

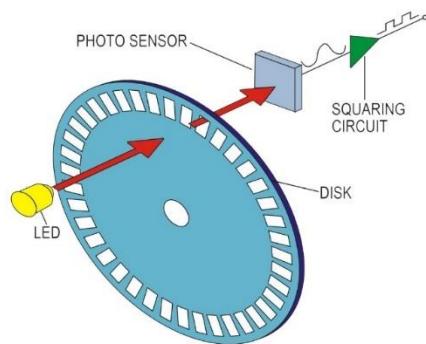
Encoder hay còn gọi là bộ mã hóa, là cảm biến cơ học thực hiện chuyển đổi vị trí góc quay hoặc chuyển động của trực quay thành tín hiệu kỹ thuật số. Encoder được dùng để phát hiện vị trí, hướng di chuyển, tốc độ... của động cơ bằng cách đếm số vòng quay được của trực. Có hai loại encoder là tuyến tính và quay. Encoder tuyến tính đáp ứng chuyển động đọc theo một đường dẫn và encoder quay đáp ứng với chuyển động quay.

Cấu tạo của encoder quang gồm các thành phần chính như đĩa quang tròn có rãnh nhỏ quay quanh trực, trên đĩa được thiết kế các lỗ rãnh, bộ cảm biến thu (photosensor), nguồn sáng (light source) và mạch khuếch đại tín hiệu được mô tả trên hình 2.2.



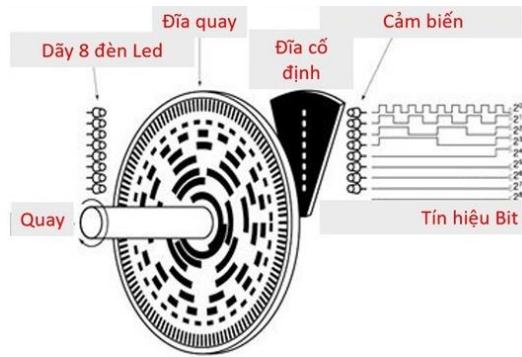
Hình 2.2 Cấu tạo encoder

Khi encoder chuyển động, đĩa quay quanh trục, trên đĩa có các rãnh để tín hiệu quang chiếu qua. Tại vị trí có rãnh thì ánh sáng xuyên qua được và không có rãnh thì ánh sáng không xuyên qua được. Cảm biến ánh sáng hoạt động tạo ra các tín hiệu điện, chuyển hóa các xung vuông, có thể truyền đến bộ xử lý trung tâm. Số xung Encoder được quy ước là số lần ánh sáng chiếu qua khe.



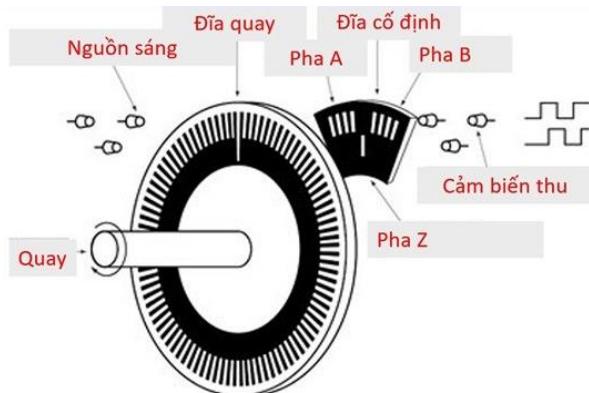
Hình 2.3 Nguyên lý hoạt động của encoder quang

Có hai loại encoder cơ bản là encoder tuyệt đối và encoder tương đối. Encoder tuyệt đối là loại encoder cho biết chính xác vị trí của encoder mà người sử dụng không phải xử lý thêm, được mô tả tại hình 2.4. Encoder tuyệt đối tương ứng với đĩa quay 8bit hay 8 dãy rãnh, cho ngõ ra dạng mã kỹ thuật số (BCD), mã nhị phân hoặc mã Gray. Có cấu tạo gồm bộ phát ánh sáng, đĩa mã hóa (có chứa dải băng mang tín hiệu), một bộ thu ánh sáng nhạy với ánh sáng phát ra. Đĩa mã hóa ở encoder tuyệt đối được chế tạo từ vật liệu trong suốt, mặt đĩa được chia thành các góc đều nhau cùng các đường tròn đồng tâm. Chúng có thể ghi nhớ vị trí khi bị mất nguồn do mỗi vị trí có một mã tín hiệu riêng.



Hình 2.4 Encoder tuyệt đối

Encoder tương đối là thiết bị mã hóa chuyển đổi chuyển động góc hoặc vị trí của trục thành mã tương tự hoặc kỹ thuật số để xác định vị trí hoặc chuyển động. Encoder tương đối tương đương với đĩa 2bit cho đầu ra xung sóng vuông pha AB, ABZ,  $\bar{A}\bar{B}Z$ . Và phổ biến là loại bộ mã hóa với hai tín hiệu xung A và B. Tín hiệu khe Z là tín hiệu để xác định xem động cơ có thể thực hiện một vòng quay hay không. Đĩa mã hóa bao gồm một dải băng tạo xung, thường được chia thành nhiều lỗ băng nhau và được cách đều nhau.



Hình 2.5 Encoder tương đối

Cảm biến đo tốc độ gió dạng cốc hoạt động dựa trên nguyên lý đếm số vòng quay, khi bị gió thổi qua các cốc khiến cho rôto quay. Một chuỗi xung được tạo ra từ cảm biến, cụ thể là encoder quang (tại hình 2.6), đọc theo một vòng quay của rôto [3]. Dựa trên tốc độ gió mà mỗi vòng quay sẽ cho ra số xung tương ứng. Dựa trên số xung, cảm biến có bộ chuyển đổi với các loại đầu ra khác nhau. Từ đầu ra của cảm biến có thể xử lý, tính toán để tính được tốc độ và hướng gió.



Hình 2.6 Encoder quang trong cấu tạo của cảm biến tốc độ gió

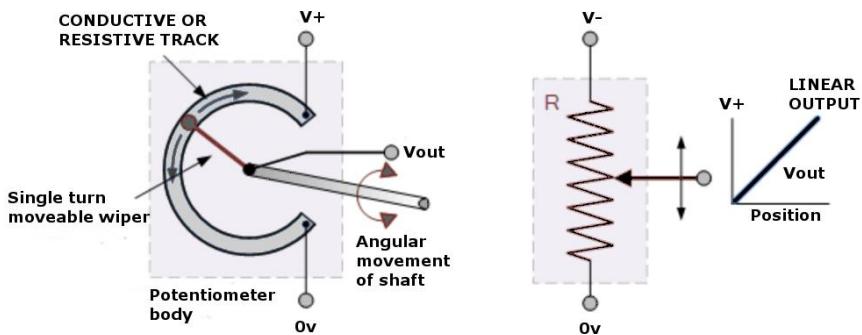
### 2.1.2 Cảm biến đo hướng gió

Cảm biến hướng gió là một thiết bị vật lý dùng để đo và truyền thông tin hướng gió. Nó hoạt động thông qua chuyển động quay của mũi tên cánh gió và truyền thông tin đo của nó đến bộ mã hóa đồng trực, đồng thời xuất ra giá trị liên quan tới hướng gió.

Bộ chuyển đổi của cảm biến hướng gió có một số loại cấu tạo như sử dụng cảm biến truyền quang và dựa trên nguyên lý của encoder quang, cảm biến sử dụng chiết áp hoặc cảm biến điện trở từ đường hầm TMR (Tunnel Magneto-Resistive).

#### 2.1.2.1. Cảm biến sử dụng chiết áp

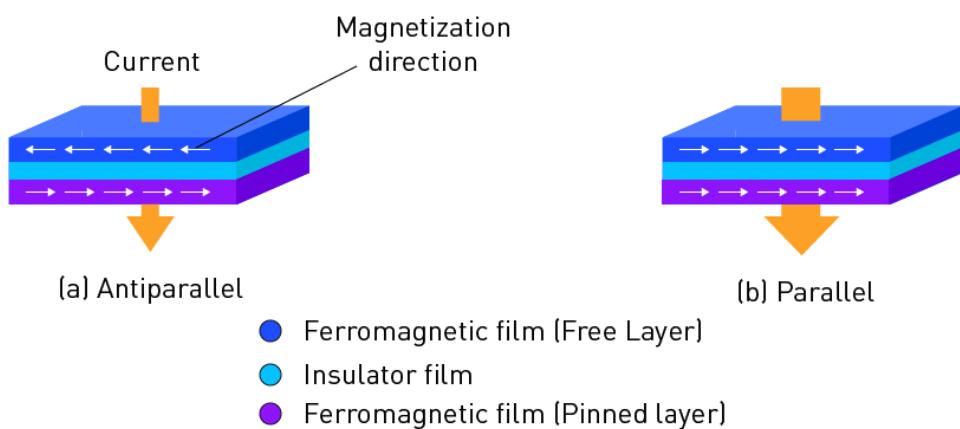
Khi hướng gió thay đổi, cánh đuôi quay quanh trục để điều khiển trực chiết áp quay, từ đó tạo ra đầu ra tín hiệu điện trở thay đổi ở đầu di động của chiết áp, từ đó tạo tín hiệu đầu ra dạng điện áp. Đối với loại cảm biến chất lượng không đảm bảo, có thể xuất hiện sự hao mòn và lão hóa của các thiết bị cơ khí.



Hình 2.7 Cảm biến hướng gió sử dụng chiết áp

### 2.1.2.2. Cảm biến hướng gió sử dụng cảm biến điện trở từ trường hầm

Đối với loại cảm biến này, trục của cánh gió chạy trong các ô bi và mang một nam châm từ hóa theo đường kính ở đầu bên trong. Cảm biến TMR phát hiện từ trường bằng cách sử dụng hiện tượng cơ học lượng tử của điện trở từ xuyên hầm. Cấu trúc cảm biến TMR bao gồm một màng sắt từ nhiều lớp (lớp được ghim), màng cách điện và màng sắt từ (lớp tự do). Tỷ lệ electron di chuyển qua chất cách điện dao động do hiệu ứng đường hầm (mô tả sự chuyển dịch của hệ vật chất từ trạng thái này sang trạng thái khác mà thông thường bị ngăn cản bởi các quy luật vật lý cổ điển). Kết quả là, điện trở thay đổi tùy thuộc vào hướng từ hóa của lớp được ghim và lớp tự do là phản song song hay song song. Vị trí góc của trục cánh gió được quét không tiếp xúc bằng cảm biến góc từ tính TMR thông qua vị trí của từ trường. Khi cảm biến vận hành ở trạng thái bão hòa từ, các hiệu ứng của từ trường bên ngoài gần như có thể bị loại bỏ. Thiết bị điện tử được kết nối sẽ tính toán vị trí góc của trục dựa vào sự thay đổi của từ trường và cung cấp tín hiệu đầu ra đồng bộ nối tiếp.



Hình 2.8 Mô tả cấu tạo cảm biến TMR

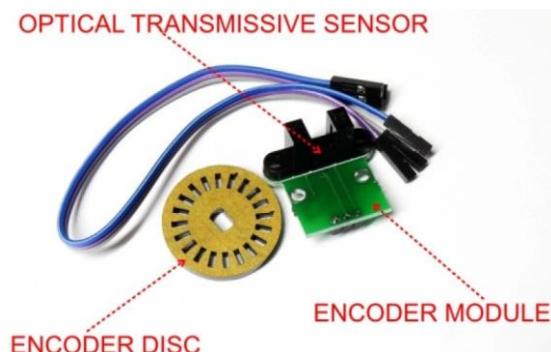
### 2.1.2.3. Cảm biến đo hướng gió sử dụng cảm biến truyền quang

Vỏ của loại cảm biến này gồm một đầu rộng (đuôi) và một đầu nhọn (chỉ hướng gió). Đầu rộng có diện tích bề mặt lớn hơn, tạo ra lực cản không khí lớn hơn. Khi gió thổi sẽ tạo ra mô-men lực đủ lớn để quay cánh gió. Cảm biến hướng gió được cấu tạo từ các cảm biến truyền quang, mỗi hướng gió ứng với một cảm biến quang nhất định. Khi cánh gió ổn định, đầu nhọn giữ tại một vị trí cố định, tại đây, khe cảm biến của cảm biến truyền quang bị che lại, dựa vào vị trí của cảm biến truyền quang, có thể xác định hướng gió chính xác, tín hiệu xung của cảm biến được xử lí qua mạch điện để có các loại đầu ra tín hiệu khác nhau. Dựa vào điều này có thể đọc được hướng gió bằng vi điều khiển hoặc máy tính.



Hình 2.9 Cấu trúc cảm biến đo hướng gió

Cảm biến quang học là một cảm biến được sử dụng để chuyển đổi các tia sáng thành tín hiệu điện tử. Các thành phần cơ bản của cảm biến truyền quang gồm bộ phát (bộ phát ánh sáng) và bộ phát hiện ánh sáng (bộ thu ánh sáng). Thông thường, IRED (Đèn LED phát hồng ngoại) và Phototransistor được sử dụng và bộ phát được đặt đối diện với bộ thu. Hình 2.10 mô tả cấu tạo của cảm biến này.



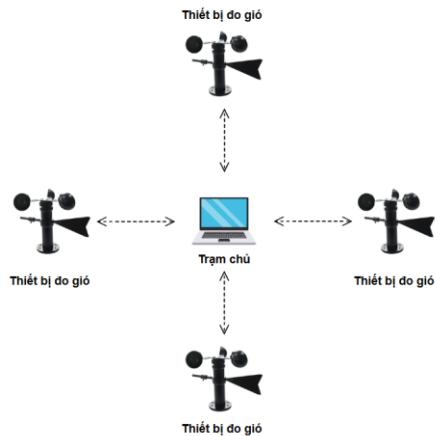
Hình 2.10 Cấu tạo cảm biến quang

## 2.2 Phương án truyền tin cho thiết bị đo gió

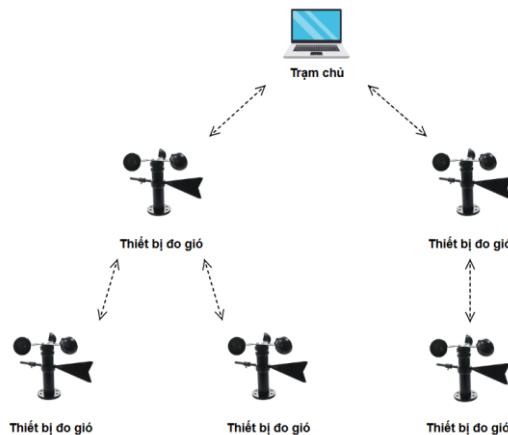
### 2.2.1 Phân tích phương án và lựa chọn công nghệ truyền tin

Trong các ứng dụng thực tế, việc lắp đặt thiết bị đo tốc độ và hướng gió cố định cũng cần những tiêu chuẩn nhất định. Đa phần các thiết bị đo gió được lắp đặt ở các vị trí cao như trên đỉnh cột buồm, trên mái nhà hoặc tại các vị trí gần nguồn tạo gió để có thể tránh các vật cản, đo được kết quả chính xác nhất, cụ thể trong trạm khí tượng bờ biển, cảm biến đo tốc độ và hướng gió cần đặt cao ít nhất 10m. Việc sử dụng phương án truyền thông có dây có thể không được khuyến khích. Do yêu cầu đường dây phức tạp, có thể gây mất thẩm mĩ của không gian xung quanh, nếu đường dây quá dài sẽ gây ra tổn thất về chi phí khi thu thập dữ liệu từ nhiều thiết bị đo gió. Do đó, việc sử dụng phương án truyền thông không dây là một lựa chọn phù hợp. Hiện nay có đa dạng cấu

trúc tổ chức mạng không dây, tuy nhiên có hai loại phổ biến nhất là mô hình truyền tin trực tiếp và mô hình truyền tin gián tiếp (được mô tả trong hình 2.11 và hình 2.12).



Hình 2.11 Mô hình truyền tin trực tiếp



Hình 2.12 Mô hình truyền tin gián tiếp

Với mô hình truyền tin trực tiếp tại hình 2.11, còn được gọi là cấu trúc mạng hình sao, dữ liệu được đo từ các thiết bị đo gió (node cảm biến) sẽ được truyền trực tiếp tới thiết bị thu thập dữ liệu (gateway) và dữ liệu từ gateway được gửi tới máy tính bằng đường truyền có dây hoặc không dây. Cấu trúc mạng này có một số ưu điểm:

- Các node của hệ thống mạng được thiết kế kết nối độc lập với trung tâm, đảm bảo quá trình hoạt động của mạng không bị gián đoạn, hoạt động bình thường khi có một node thông tin bị hư hỏng.
- Tính đơn giản, có khả năng giữ mức tiêu thụ điện năng của node cảm biến ở mức tối thiểu do không cần nhiều thời gian để lắng nghe. Nó cho phép thông tin liên lạc có độ trễ thấp giữa node cảm biến và thiết bị thu thập dữ liệu.

Tuy nhiên mô hình mạng sao có một số nhược điểm như thiết bị thu thập dữ liệu cần nằm trong phạm vi truyền dẫn vô tuyến của tất cả các node riêng lẻ, khả năng mở rộng có thể sẽ không bằng các cấu trúc mạng khác do sự phụ thuộc của nó vào một máy

chủ đề quản lý mạng và số lượng kết nối với thiết bị thu là khá lớn nếu sử dụng nhiều thiết bị đo.

Đối với mô hình truyền tin gián tiếp tại hình 2.12, còn được gọi là cấu trúc mạng hình sao mở rộng, tức là bản tin có thể được truyền qua các node cảm biến khác trước khi truyền tới được gateway. Về ưu điểm, mô hình này có thể làm tăng phạm vi quản lý dữ liệu, giảm số lượng kết nối trực tiếp với thiết bị thu thập dữ liệu. Về nhược điểm, khi sử dụng mô hình này, năng lượng tiêu thụ của thiết bị đo gió có thể cao hơn so với cấu trúc mạng hình sao do các node cảm biến cần nhiều thời gian hơn để lắng nghe và nhận dữ liệu, cần tính toán số lượng thiết bị tối đa có thể kết nối tại một thiết bị đo và cần phân bố vị trí hợp lí.

Với mục tiêu là thiết kế thiết bị đo gió phục vụ trạm quan trắc khí tượng bề mặt, yêu cầu về khoảng cách truyền từ thiết bị đo tới vị trí thu thập dữ liệu không yêu cầu quá lớn, tuy nhiên khoảng cách truyền càng xa sẽ giúp mở rộng phạm vi quản lý của thiết bị thu dữ liệu được đặt tại trạm giám sát, số lượng thiết bị đo kết nối với trạm thu thập dữ liệu là không nhiều và nhằm tiết kiệm năng lượng cho các thiết bị đo, em lựa chọn cấu trúc mạng hình sao để thiết kế mạng cảm biến cho hệ thống giám sát gió. Dưới đây là bảng so sánh một số công nghệ truyền tin với khoảng cách xa mà em đã tìm hiểu.

Bảng 2.1 So sánh một số công nghệ truyền tin

	BLE ver 5.0	LoRa	Wifi 4 (802.11n)	NB-IoT	RF
Phạm vi	10m-100m	1km-15km	15m-100m	17km-20km	5 – 10m hoặc 300m khi gắn thêm anten
Băng thông	ISM 2.4GHz	433,490,780, 915MHz...	ISM 2.4GHz và 5GHz	Băng tần cho phép, băng tần vận hành	ISM 2.4GHz
Tốc độ	125kbps- 2Mbps	10kbps- 50kbps	600 Mbps	Up to 200kbps	250Kbps, 1Mbps, 2Mbps
Công suất	Thấp	Thấp	Trung bình	Thấp	Thấp
Giá thành	Dưới 5\$	8\$-15\$	Dưới 10\$	8\$-20\$	Dưới 1\$
Số thiết bị trong mạng	32767	Lên tới 60000	255	Lên tới 200000	Lên tới 30000
Độ trễ	< 1s	Phụ thuộc vào thông số	< 1s	6s – 10s	<< 1s

Dựa trên bảng so sánh một số công nghệ truyền tin, LoRa và NB – IoT có khoảng cách truyền khá xa. Trong ứng dụng tại trạm khí tượng, thiết bị đo gió thường được đặt tại các khu vực thưa dân hoặc đặt trên các trụ cao, không có vật cản, yêu cầu mức tiêu thụ năng lượng thấp. NB – IoT phù hợp cho các khu đô thị đông đúc nhà ở và cư dân, mang đến độ tin cậy và cho phép truyền thông tin dữ liệu nhanh chóng, ổn định nhưng mức tiêu tốn năng lượng thường cao hơn LoRa. LoRa phù hợp cho các ứng dụng không tiêu tốn quá nhiều năng lượng, ít vật cản, không cần bảo trì hay giám sát các thiết bị phân cứng thường xuyên.

Do đó, em lựa chọn công nghệ truyền tin không dây LoRa để truyền dữ liệu của thiết bị đo gió trong đề tài này bởi ứng dụng không yêu cầu về truyền tin với tốc độ cao, cần tiết kiệm năng lượng để có thể sử dụng với pin trong thời gian dài và có ưu điểm về khoảng cách truyền tin.

### 2.2.2 Tổng quan về LoRa

Lora là viết tắt của Long Range, là một giao thức không dây mới được thiết kế hỗ trợ truyền tải dữ liệu ở khoảng cách xa với lượng điện năng tiêu thụ thấp. Công nghệ LoRa được phát triển bởi Semtech, có trụ sở tại California. LoRa hướng tới các kết nối M2M (Machine-to-Machine) ở khoảng cách lớn. Nó có thể hỗ trợ liên lạc ở khoảng cách lên tới 5 km ở khu vực đô thị và 15 – 20 km ở khu vực nông thôn. Công nghệ LoRa yêu cầu điện năng rất thấp, vì vậy thực tế các thiết bị LoRa có thể duy trì kết nối và chia sẻ dữ liệu trong thời gian dài chỉ với năng lượng pin.

Kỹ thuật điều chế Chirp Spread Spectrum là kỹ thuật sử dụng các xung chirp để mã hóa các thông tin, được coi là nền tảng phát triển công nghệ LoRa. Đầu tiên, tín hiệu của dữ liệu gốc sẽ được khuếch đại với tần số cao hơn, sau đó được mã hóa thành chuỗi các tín hiệu chirp và cuối cùng được gửi đi từ anten.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) là một mạng không dây tiêu chuẩn được thiết kế đặc biệt để kết nối các thiết bị IoT (Internet of Things) ở khoảng cách xa với mức tiêu thụ năng lượng thấp dựa trên chip LoRa. Theo giao thức truyền thông truyền thống, LoRaWAN là lớp MAC (Medium Access Control - một phần của tầng liên kết dữ liệu trong mô hình OSI) và LoRa là lớp vật lý.

### 2.2.3 Băng tần LoRa

LoRa hoạt động trên băng tần ISM (các dải tần số vô tuyến dành riêng cho các mục đích công nghiệp, khoa học và y tế). Các thiết bị hoạt động trong băng tần này không cần giấy phép. Tại mỗi quốc gia hoặc vùng lãnh thổ có các quy định khác nhau. Một số dải tần tiêu biểu ứng với các khu vực trên thế giới được thể hiện trong hình 2.13.

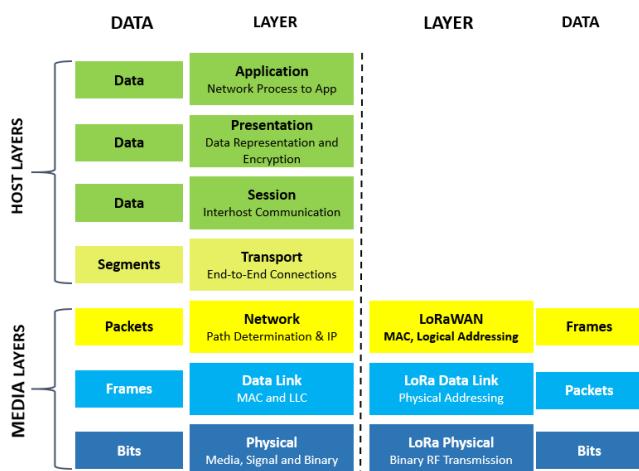
Region	Frequency (MHz)
Asia	433
Europe, Russia, India, Africa (parts)	863-870
US	902-928
Australia	915-928
Canada	779-787
China	779-787, 470-510

Hình 2.13 Một số dải tần của từng khu vực

#### 2.2.4 LoRa Physical Layer

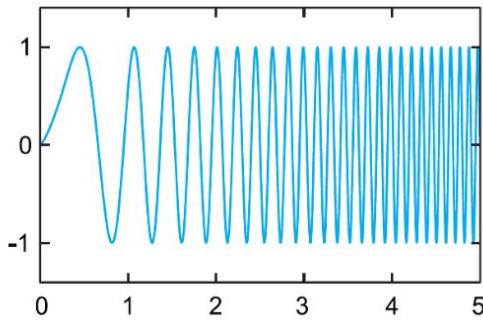
Lớp vật lý LoRa đóng vai trò quan trọng trong hoạt động của hệ thống. Về cơ bản, nó điều chỉnh các khía cạnh của tín hiệu RF (Radio Frequency) được truyền giữa các end devices hoặc các node. Giao diện vô tuyến hoặc lớp vật lý điều chỉnh các khía cạnh của tín hiệu bao gồm định dạng điều chế, tần số và mức năng lượng. Lớp này cũng kiểm soát tín hiệu giữa các phần tử truyền và nhận.

Điều chế vô tuyến trong LoRa sử dụng một kỹ thuật điều chế trai phổ độc quyền có nguồn gốc từ công nghệ Chirp Spread Spectrum (CSS), LoRa mang đến sự cân bằng giữa độ nhạy và tốc độ dữ liệu, trong khi hoạt động ở kênh băng thông cố định 125 KHz hoặc 500 KHz (đối với kênh uplink) và 500 KHz (đối với kênh downlink). Ngoài ra, LoRa sử dụng hệ số trai phổ trực giao. Điều này cho phép mạng duy trì tuổi thọ pin của các end nodes được kết nối bằng cách thực hiện tối ưu hóa mức năng lượng và tốc độ dữ liệu của từng end nodes. LoRa hoàn toàn là việc triển khai lớp vật lý (PHY) hoặc lớp “bits”, được định nghĩa bởi Mô hình mạng bảy lớp OSI trong hình 1.17.



Hình 2.14 Mô hình mạng 7 lớp OSI

Hệ thống DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) có nhược điểm là yêu cầu đồng hồ tham chiếu có độ chính xác và chi phí cao. Công nghệ LoRa Chirp Spread Spectrum (CSS) của Semtech cung cấp một giải pháp thay thế DSSS với chi phí thấp và năng lượng thấp nhưng mạnh mẽ, không yêu cầu đồng hồ tham chiếu có độ chính xác cao. Trong điều chế LoRa, sự trai phổ của tín hiệu có thể đạt được bằng cách tạo ra tín hiệu chirp có tần số thay đổi liên tục, như được mô tả trong hình 1.18.



Hình 2.15 Minh họa LoRa Chirp Spread Spectrum

Việc thay đổi điều chế LoRa có thể dựa trên các thông số:

- Hệ số trại phổ (Spreading Factor – SF): số lượng chip trên mỗi symbol được sử dụng trong xử lý dữ liệu trước khi truyền tín hiệu đi, biểu diễn số bit thông tin tối đa mà một symbol có thể mang theo, có tổng cộng sáu hệ số trại phổ (SF7 đến SF12). Hệ số trại phổ được sử dụng càng lớn thì tín hiệu có thể truyền đi càng xa và vẫn được máy thu RF nhận được mà không có lỗi.
- Băng thông (Bandwidth – BW): biên độ tần số mà chirp signal có thể thay đổi. LoRa có thể sử dụng một trong ba băng thông là 125 kHz, 250 kHz và 500 kHz.
- Tỉ lệ mã hóa (Coding Rate – CR): kỹ thuật FEC (Forward error correction) được sử dụng trong LoRa để tăng khả năng xử lý dữ liệu bên phía thiết bị nhận. FEC là một kỹ thuật mã hóa kênh dùng để phát hiện và sửa lỗi gói tin truyền đi bằng cách thêm vào sau gói tin một đoạn mã được tính toán từ dữ liệu bên trong rồi được gửi đi cùng với kiểu FEC. Vì vậy độ lớn của gói tin phụ thuộc vào hệ số CR. LoRa sử dụng các tỉ lệ mã hóa là 4/5, 4/6, 4/7, 4/8.

LoRa sử dụng các xung chirp được điều chế tần số tuyển tính để mã hóa các bit thông tin. Chirp còn được gọi là sweep signal, tín hiệu có tần số tăng theo thời gian (gọi là up-chirp) hoặc giảm theo thời gian (gọi là down-chirp). Các tín hiệu chirp này được sử dụng làm tín hiệu sóng mang để mã hóa tin nhắn.

Một chirp là sweep signal kéo dài toàn bộ băng thông biểu diễn giá trị của symbol, mỗi symbol được mã hóa thành  $2^{SF}$  chip. Việc tăng SF thì sẽ làm tăng lượng chip mã hóa một symbol, làm cho tốc độ truyền nhận bị giảm. SF = 7 có tốc độ truyền cao nhất nhưng khoảng cách truyền nhỏ nhất.

Công thức tính tốc độ truyền bit  $R_b$  có thể được tính như sau:

$$R_b = \frac{SF \cdot BW \cdot CR}{2^{SF}}$$

Trong đó: SF: Hệ số trại phổ

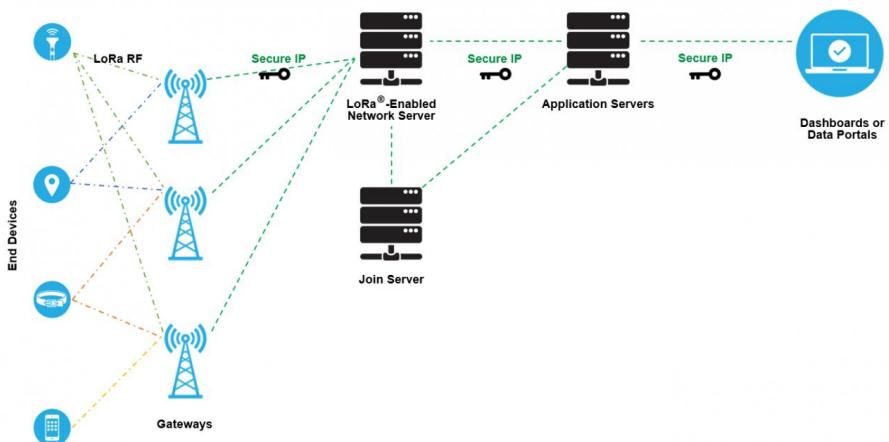
BW: băng thông

CR: tỉ lệ mã hóa. CR =  $\frac{4}{4+n}$ , n ∈ {1,2,3,4}

Như vậy, SF, BW và CR là ba thông số cơ bản và quan trọng của chipset LoRa. Hệ số trai phỏ SF và băng thông BW ảnh hưởng tới tốc độ truyền và khoảng cách truyền dữ liệu. Tỷ lệ mã hóa CR cao sẽ làm cho việc xử lý nhiễu trở nên khó khăn hơn. Cần dựa trên các yêu cầu, ứng dụng cụ thể để chọn giá trị hợp lý, sao cho tối ưu quá trình truyền nhận bản tin qua LoRa.

### 2.2.5 Mạng LoRaWAN

LoRaWAN là một giao thức mạng mở cung cấp các kết nối giữa các cổng LPWAN (mạng diện rộng công suất thấp) với các thiết bị IoT ở end node được tiêu chuẩn hóa và duy trì bởi LoRa Alliance. LoRaWAN chịu trách nhiệm quản lý tần số giao tiếp, tốc độ dữ liệu và năng lượng cho tất cả các thiết bị trong mạng.



Hình 2.16 Mô hình mạng LoRaWAN

Mạng LoRaWAN bao gồm các thành phần:

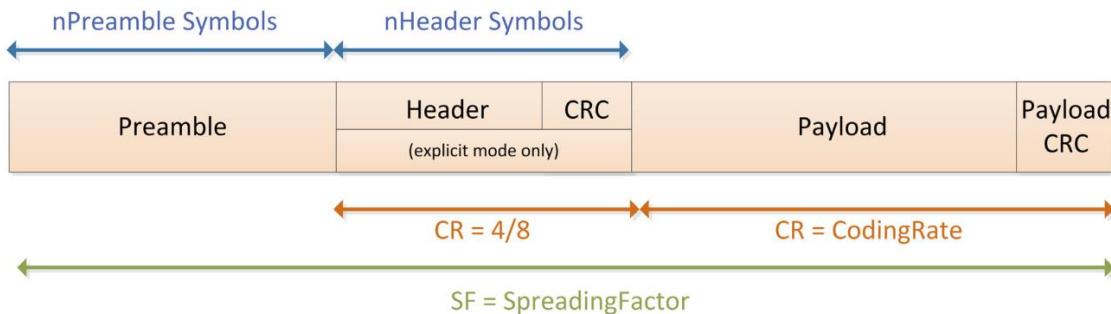
- **End Devices:** một thiết bị được kết nối không dây với mạng LoRaWAN thông qua các gateway sử dụng công nghệ điều chế LoRa, phần lớn hoạt động bằng pin và thực hiện các chức năng số hóa các thông tin vật lý hoặc môi trường.
- **Gateway LoRaWAN:** nhận các dữ liệu RF được điều chế LoRa từ end devices và chuyển tiếp dữ liệu này đến máy chủ ở mạng LoRaWAN.
- **Network server:** quản lý toàn bộ hệ thống mạng và các thông số thích hợp để điều chỉnh hệ thống, thiết lập kết nối AES 128-bit an toàn, truyền tải và kiểm soát dữ liệu.
- **Application servers:** xử lý và diễn giải dữ liệu nhận được từ các cảm biến một cách an toàn, đồng thời tạo ra một downlink payloads tới end devices.
- **Join Server:** quản lý quá trình kích hoạt cho end devices được thêm vào mạng.

Các node cảm biến thuần sử dụng LoRa khác với các node (end devices) trong mạng LoRaWAN. Các node có hỗ trợ LoRaWAN được lập trình để gửi thông tin đến server có hỗ trợ platform của nó mà không giao tiếp theo kiểu ngang hàng (peer to peer). Mặt khác, các node sử dụng điều chế Lora giao tiếp với nhau theo kiểu ngang hàng, vì vậy

có thể thiết kế một cấu trúc mạng bất kì với các node cảm biến LoRa tùy vào mục đích và yêu cầu thực tiễn.

### 2.2.6 Cấu trúc khung bản tin trong LoRa

Với công nghệ LoRa được phát triển bởi Semtech, khung bản tin được định nghĩa cụ thể với SF và BW cố định. LoRa sử dụng hai loại định dạng gói, explicit và implicit. Gói explicit bao gồm một header ngắn chứa thông tin về số byte, coding rate và CRC có được sử dụng trong gói hay không. Định dạng gói được hiển thị trong hình dưới đây.



Hình 2.17 Cấu trúc bản tin LoRa

LoRa packet bao gồm các thành phần:

- **Preamble:** đồng bộ hóa bộ thu với luồng dữ liệu đến. Theo mặc định, gói được cấu hình với chuỗi dài 12 ký tự. Đây là một biến có thể lập trình nên độ dài preamble có thể được mở rộng, ví dụ như nhằm giảm duty cycle của máy thu trong các ứng dụng thu chuyên sâu. Tuy nhiên, độ dài tối thiểu sẽ đủ cho tất cả các giao tiếp. Độ dài preamble được truyền có thể được thay đổi bằng cách đặt thanh ghi đầu từ 6 đến 65535, mang lại tổng độ dài phần mở đầu từ 6+4 đến 65535+4 ký hiệu. Bộ thu thực hiện quá trình phát hiện preamble và khởi động lại theo định kỳ sau khi xem xét preamble cố định của dữ liệu. Do đó, độ dài preamble phải được cấu hình giống với độ dài preamble của bộ phát. Trong trường hợp không biết độ dài preamble hoặc có thể thay đổi, độ dài preamble tối đa phải được lập trình ở bộ thu.
- **Header:** chế độ Explicit Header là chế độ hoạt động mặc định, cung cấp thông tin về payload gồm độ dài payload tính bằng byte, error correction code rate, 16bit CRC cho payload. Trong một số trường hợp, khi payload, coding rate và CRC được cố định hoặc biết trước, việc giảm thời gian truyền bằng cách gọi chế độ Implicit Header có thể có lợi, header sẽ bị xóa khỏi gói. Trong trường hợp này, độ dài payload, coding rate và CRC phải được cấu hình thủ công trên cả hai phía của liên kết vô tuyến.

- **Payload:** trường có độ dài thay đổi chứa dữ liệu thực tế được mã hóa error rate như được chỉ định trong header ở chế độ explicit hoặc trong thiết lập thanh ghi ở chế độ implicit.
- **Payload CRC:** giá trị CRC của trường Payload.

### 2.3 Kết luận chương 2

Chương 2 đã thực hiện tìm hiểu về các phương pháp, cấu tạo và nguyên lý đo lường để đo được các thông số cần thiết của cảm biến đo tốc độ gió dạng cốc và cảm biến hướng gió.

Tại chương này, em cũng đã phân tích các phương án để thiết kế cấu trúc mạng, đưa ra phương án phù hợp nhất với bài toán đặt ra, tiến hành so sánh một số công nghệ truyền tin được sử dụng phổ biến và lựa chọn công nghệ truyền tin LoRa do đáp ứng được các yêu cầu về truyền tin với khoảng cách xa, không đòi hỏi tốc độ truyền lớn, tiết kiệm năng lượng, phù hợp với ứng dụng tại trạm khí tượng bề mặt. Sau đó, em đã tìm hiểu chi tiết về các thông tin như băng tần, lớp vật lý LoRa, kiến trúc mạng LoRa và cấu trúc khung bản tin của LoRa.

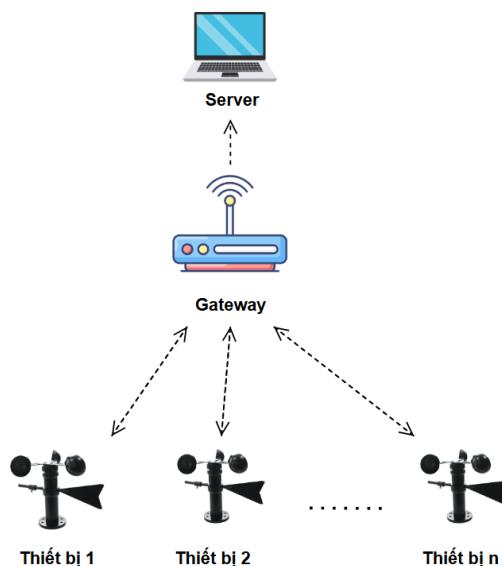
Tiếp theo ở chương 3, em đi vào thiết kế hệ thống với các nội dung chính bao gồm phân tích vấn đề và đưa ra mục tiêu thiết kế cụ thể, thiết kế phần cứng dựa trên các tiêu chuẩn và thiết kế chương trình phần mềm.

## CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ HỆ THỐNG

### 3.1 Tổng quan mô hình hệ thống

#### 3.1.1 Phân tích vấn đề

Vấn đề được đặt ra trong đề tài này là thiết kế thiết bị đo tốc độ và hướng gió dựa trên các tiêu chuẩn đo lường, các thiết bị đo gió (node cảm biến) sẽ truyền dữ liệu về thiết bị thu thập dữ liệu (gateway). Như đã phân tích ở chương 1, ứng dụng yêu cầu thiết kế một thiết bị thu thập dữ liệu của các thiết bị đo gió theo chu kỳ nhất định, thiết bị có thể hiển thị thông số đo trên màn hình và truyền dữ liệu lên server để quản lý, giám sát. Mô hình tổng quan được thể hiện trong hình 2.1.



Hình 3.1 Mô hình truyền dữ liệu của hệ thống

Kết nối giữa thiết bị đo và gateway là kết nối vô tuyến sử dụng công nghệ truyền tin LoRa. Tại gateway, dữ liệu thu thập được từ các thiết bị đo gió được truyền tới server bằng một công nghệ không dây khác. Như trên hình 3.1, kết nối giữa thiết bị đo và gateway là các đường nét đứt hai chiều, thể hiện các thiết bị truyền nhận dữ liệu dựa trên công nghệ không dây. Khi một thiết bị truyền bản tin cho gateway, thiết bị đó sẽ lắng nghe để nhận bản tin phản hồi từ gateway để xác nhận truyền thành công hay chưa. Việc gửi dữ liệu từ gateway tới server là một chiều thể hiện rằng gateway gửi dữ liệu tới server mà không có lệnh điều khiển từ server tới gateway. Do khả năng còn hạn chế nên em chưa thể thiết kế lệnh điều khiển gateway từ server trong đề tài này.

#### 3.1.2 Mục tiêu thiết kế

- Đối tượng thiết kế: thiết bị đo tốc độ và hướng gió, thiết bị thu thập dữ liệu.
- Phạm vi ứng dụng: trạm quan trắc khí tượng bề mặt, vị trí đặt cần đại diện cho khu vực quan trắc.
- Các mục tiêu chính:

- Thiết kế thiết bị đo tốc độ và hướng gió, truyền dữ liệu không dây bằng công nghệ LoRa.
- Xây dựng cấu hình mạng để quản lý các thiết bị.
- Thiết kế thiết bị thu thập dữ liệu có thể kết nối với thiết bị đo gió và truyền dữ liệu đến server, xây dựng một số tính năng hỗ trợ người dùng trong giám sát như hiển thị, tương tác tại thiết bị thu dữ liệu.
- Xây dựng server quản lý dữ liệu thu thập được từ các thiết bị đo, đảm bảo tính linh hoạt, dễ dàng sử dụng.

### 3.2 Thiết kế phần cứng cho thiết bị đo gió

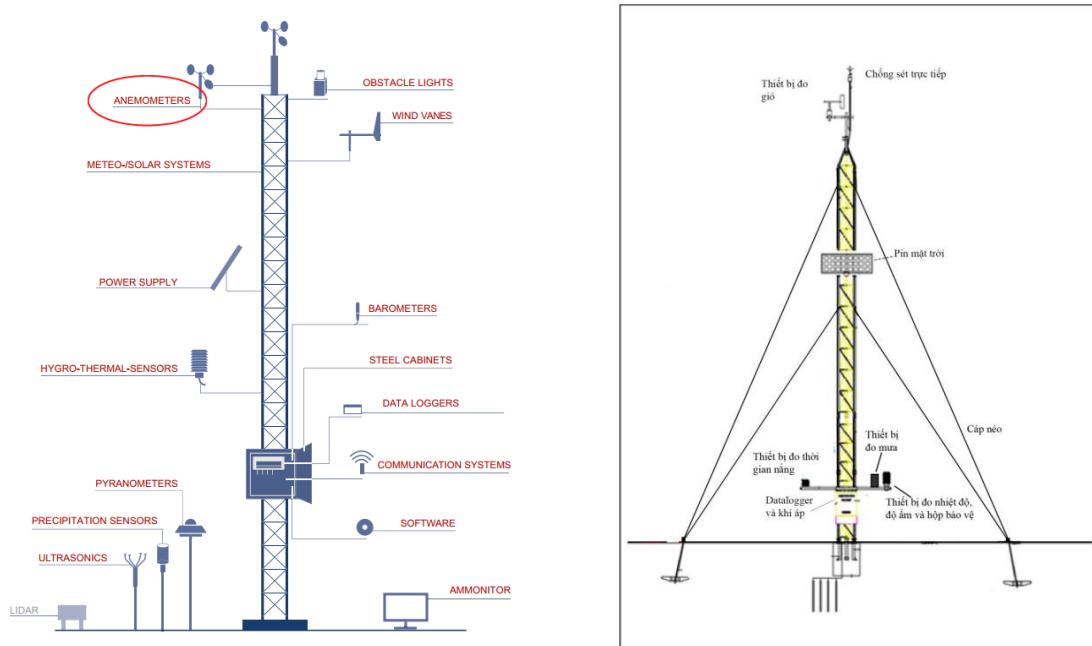
#### 3.2.1 Yêu cầu thiết kế

Để đưa ra thiết kế tổng thể cho thiết bị đo gió, cần dựa trên các tiêu chuẩn được quy định. Có một số tiêu chuẩn thiết kế trong trạm khí tượng bờ biển cần tuân thủ như trong tiêu chuẩn quốc gia TCVN 12635-1:2019, cột lắp thiết bị đo gió cần được cố định, chịu được gió có vận tốc tối đa 100 m/s; chiều cao từ 10 m đến 12 m; đảm bảo thẳng đứng [4]. Theo TCVN 12635-6:2022, tại khu vực đồng bằng khoảng cách giữa các trạm quan trắc hướng và tốc độ gió không lớn hơn 40 km và tại khu vực trung du, miền núi, khoảng cách giữa các trạm quan trắc hướng và tốc độ gió không lớn hơn 35 km. Theo thông tư 14/2022/TT-BTNMT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quan trắc khí tượng, em đã liệt kê số một số thông số kỹ thuật của các thiết bị đo tự động trong bảng 3.1. [5]

Bảng 3.1 Một số thông số kỹ thuật của thiết bị đo tự động theo tiêu chuẩn

STT	Thông số đo	Đơn vị đo	Khoảng đo	Độ phân giải	Sai số
1	Nhiệt độ không khí	°C	Từ -10°C đến +50°C	0.1 °C	± 0.5 °C
2	Độ ẩm không khí	% RH	Từ 0 đến 100 % RH	1 % RH	± 6 % RH
3	Tốc độ gió	m/s, km/h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Từ 0 m/s đến 40 m/s cho vùng núi và trung du</li> <li>Từ 0m/s đến 60 m/s cho vùng đồng bằng và ven biển</li> <li>Từ 0 m/s đến 80 m/s cho vùng bờ biển và hải đảo</li> </ul>	0,5 m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>± 0,5 m/s với tốc độ ≤ 5 m/s</li> <li>± 10 % với tốc độ &gt; 5 m/s</li> </ul>
4	Hướng gió	Độ	Từ 0° đến 360°	1°	± 5°

Ngoài ra, IEC 61400-12-1 là tiêu chuẩn quan trọng để đo lường gió. Tiêu chuẩn này quy định việc lắp đặt chính xác cột đo bao gồm cả việc lắp đặt các cảm biến. Nó mô tả chất lượng của các cảm biến được lắp đặt trên cột đo về độ chính xác và độ tin cậy. Ngoài ra, nó xác định một bộ tiêu chí liên quan đến số lượng và chất lượng dữ liệu.



Hình 3.2 Sơ đồ bố trí trạm quan trắc theo TCVN 12635-1:2019

Do có nhiều tiêu chuẩn nên khó có thể tuân thủ toàn bộ, vì vậy em chỉ đưa ra một số tiêu chuẩn chính cho thiết bị đo lường gió cần tuân thủ. Dựa trên VĂN BẢN KỸ THUẬT ĐO LUỒNG VIỆT NAM ĐLVN 345: 2021, cấu tạo, vật liệu và các bước kiểm định của thiết bị đo gió gồm [6]:

- Vật liệu của cốc hoặc cánh gió làm bằng kim loại chống ăn mòn tốt, được sơn tĩnh điện, sử dụng được trong môi trường khắc nghiệt qua nhiều năm.
- Ngoài ra 3 cánh quay cần nhạy và thiết kế cơ khí cần chắc chắn đảm bảo được độ bền theo thời gian. Bên cạnh đó, thiết kế gọn gàng dễ tháo lắp giúp người sử dụng tiết kiệm được thời gian lắp đặt cũng như bảo trì sản phẩm.
- Sai số tương đối ( $\Delta v$ ) của phương tiện đo vận tốc gió (PTDG) tại mỗi điểm kiểm tra phải nhỏ hơn hoặc bằng sai số cho phép lớn nhất (MPE):  $|\Delta v| \leq |MPE|$ . Độ hời sai (chênh lệch giữa số chỉ vận tốc theo chiều tăng vận tốc và giảm vận tốc tại điểm đo đó) không được vượt quá giá trị tuyệt đối quy định của MPE.
- Chu kỳ kiểm định của phương tiện đo vận tốc gió: 24 tháng.

Kiểm định thiết bị:

- Điều kiện kiểm định cần tuân thủ văn bản ĐLVN 345: 2021.

- Các số chỉ thị của thiết bị thu phải rõ ràng, dễ quan sát. Màn hình hoặc bộ phận chỉ thị phải đảm bảo chỉ thị rõ ràng các thông số đo lường và liên tục trong suốt thời gian đo của mỗi phép đo.
- Đơn vị chỉ thị của vận tốc gió là m/s hoặc ft/s... Ký hiệu hay tên đơn vị phải xuất hiện rõ ràng ngay cạnh số chỉ thị.
- Bộ phận chỉ thị của phương tiện đo vận tốc gió cần hiển thị tối thiểu một trong các thông số đo lường sau: vận tốc trung bình, vận tốc tức thời, ... trên màn hình hiển thị ở chế độ hoạt động bình thường.

Từ các phân tích và đánh giá, em đưa ra thiết kế phần cứng chi tiết cho thiết bị đo gió tuân theo các tiêu chuẩn của thiết bị tại trạm khí tượng bờ biển. Do khả năng còn hạn chế nên em chưa thể đáp ứng được tất cả các tiêu chuẩn đề ra, tuy nhiên em đã cố gắng thiết kế sao cho phù hợp nhất với mục đích sử dụng. Các yêu cầu thiết kế chi tiết cho thiết bị đo gió được tổng hợp tại bảng 3.2.

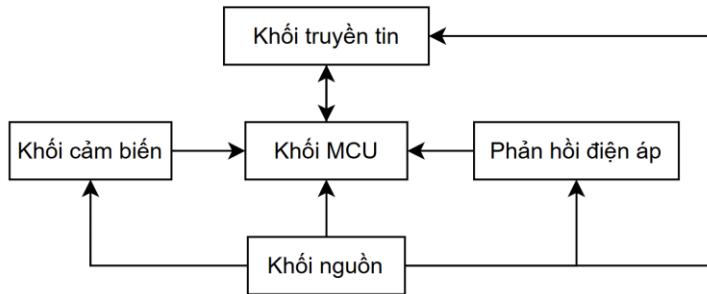
Bảng 3.2 Yêu cầu thiết kế cho thiết bị đo gió

Yêu cầu	Giá trị
Cảm biến tốc độ gió	Dải đo 0 – 60 m/s, độ phân giải 0.5 m/s, độ chính xác 0.5 m/s với tốc độ < 5m/s và 10% với tốc độ > 5m/s
Cảm biến hướng gió	Cảm biến theo dõi tối thiểu 8 hướng, sai số $\pm 5^\circ$
Cảm biến nhiệt độ không khí	Dải đo từ -10°C đến 70°C, độ phân giải 0.1°C, độ chính xác 1°C
Cảm biến độ ẩm không khí	Dải đo 0 – 100 %RH, độ phân giải 1%, độ chính xác 6%
Chức năng	Thiết kế để pin sử dụng trong thời gian dài, có thể sạc lại Truyền dữ liệu đo và điện áp nguồn về thiết bị thu theo chu kỳ nhất định

### 3.2.2 Sơ đồ khái niệm lựa chọn linh kiện và thiết kế các khối

#### 3.2.2.1. Sơ đồ khái niệm tổng quan

Dựa trên các yêu cầu cần thiết kế cho thiết bị đo gió, em đã phân tích các yêu cầu và đưa ra sơ đồ khái niệm tổng quan cho thiết bị tại hình 3.3.



Hình 3.3 Sơ đồ khói

Sơ đồ khói của thiết bị đo bao gồm các khói chính:

- **Khối cảm biến:** sử dụng cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, cảm biến đo tốc độ và hướng gió gửi dữ liệu cho khói MCU tính toán, xử lí.
- **Khối MCU:** sử dụng vi điều khiển để tính toán, xử lí dữ liệu từ cảm biến, điện áp nguồn và giao tiếp với khói truyền tin.
- **Khối truyền tin:** sử dụng module LoRa để truyền bản tin tới gateway.
- **Khối nguồn:** cung cấp năng lượng cho toàn bộ khói khác trong thiết bị.
- **Khối phản hồi điện áp:** xử lí điện áp phản hồi của pin và gửi cho vi điều khiển để tính toán điện áp thực của pin.

### 3.2.2.2. Khối cảm biến

Qua phân tích yêu cầu của đề tài, khói cảm biến của thiết bị đo gió sẽ gồm có cảm biến đo tốc độ gió, cảm biến đo hướng gió, cảm biến đo nhiệt độ không khí và cảm biến đo độ ẩm không khí.

#### a. Cảm biến đo tốc độ và hướng gió

##### ➤ Cảm biến đo tốc độ gió

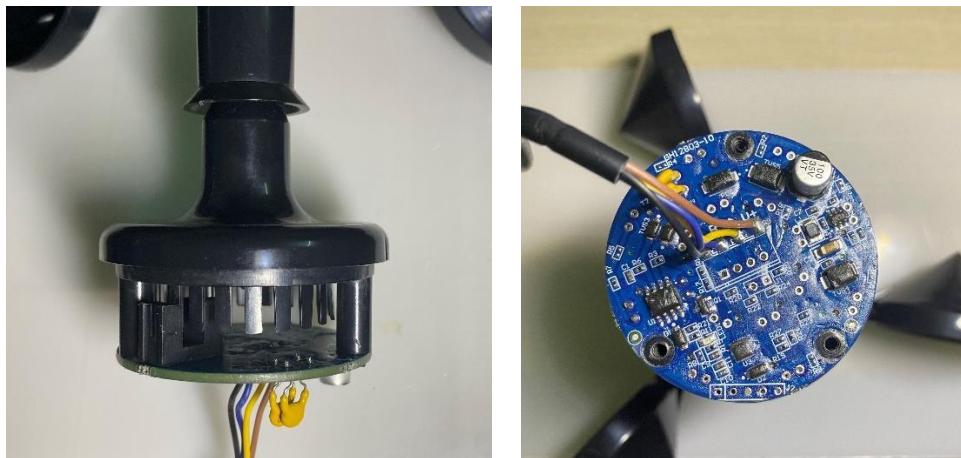
Như trong phân loại cảm biến đo gió tại chương 1, cùng với sự tìm hiểu kỹ lưỡng, hiện nay có một số loại cảm biến tốc độ gió như cảm biến gió âm thanh, cảm biến gió dạng cánh quạt, cảm biến gió dạng cốc, ... Dựa trên điều kiện thực tế và yêu cầu của đề tài, em lựa chọn cảm biến tốc độ gió dạng cốc bởi đây là một sản phẩm phổ biến trên thị trường, giá thành không quá cao, phù hợp với yêu cầu dài đo đã đặt ra và thuận tiện để tìm kiếm các tài liệu liên quan.

Cảm biến đo tốc độ gió dạng cốc gồm có 3 loại đầu ra phổ biến là tín hiệu ra dạng điện áp, tín hiệu ra dạng dòng điện và tín hiệu ra dạng modbus RS485. Để thuận lợi trong việc giao tiếp với vi điều khiển, em lựa chọn loại có tín hiệu đầu ra modbus RS485.



Hình 3.4 Cảm biến đo tốc độ gió FSJT - No1

Cảm biến tốc độ gió FSJT – No1 (hình 3.4) thiết kế với vỏ được làm từ nhựa tổng hợp polycarbon, có đặc tính chống ăn mòn, chống xói mòn, không bị rỉ sét trong thời gian dài. Hệ thống ổ trục hoạt động trơn tru giúp giá trị đo được chính xác nhất. Cấu tạo cảm biến hoạt động dựa trên cơ chế của cảm biến quang chữ U, tín hiệu dạng xung của cảm biến quang được xử lý và tạo tín hiệu đầu ra dạng RS485. Mạch in đảm bảo tính ổn định của các thông số đo và hiệu suất điện, có khả năng chống nhiễu điện từ.



Hình 3.5 Cấu tạo cảm biến FSJT - No1

Một số thông số kỹ thuật của cảm biến FSJT – No1:

- Model: ZTS – 3000 – FSJT – No1
- Nguồn điện: 10 ~ 30VDC
- Năng lượng tiêu thụ tối đa: 0.3W
- Nhiệt độ và độ ẩm hoạt động: -40°C ~ +60°C, 0%RH ~ 80%RH
- Giao tiếp RS485: tốc độ truyền mặc định 4800, địa chỉ mặc định 0x01
- Độ phân giải: 0.1 m/s
- Dải đo: 0 ~ 70 m/s
- Độ chính xác:  $\pm (0.2 + 0.03v)$  m/s, @ (0 ~ 30m/s, 25°C) với v là tốc độ gió
- Thời gian đáp ứng: ≤ 1s

→ Cảm biến đã đáp ứng được các yêu cầu về dải đo, độ phân giải, độ chính xác và các điều kiện hoạt động phù hợp với môi trường của ứng dụng tại trạm quan trắc khí tượng bề mặt.

#### ➤ Cảm biến đo hướng gió

Sau khi tìm hiểu và lựa chọn các sản phẩm trên thị trường, hầu hết các loại cảm biến đo hướng gió có cùng một cấu tạo hình dáng duy nhất. Giống như cảm biến đo tốc độ gió, cảm biến đo hướng gió cũng có 3 loại đầu ra phổ biến gồm tín hiệu đầu ra dạng điện áp, tín hiệu đầu ra dạng dòng điện và tín hiệu đầu ra dạng modbus RS485. Bên cạnh đó, với mỗi loại tín hiệu đầu ra, cảm biến đo hướng gió còn gồm các loại dữ liệu đầu ra như dữ liệu 8 hướng gió, dữ liệu 16 hướng gió và dữ liệu số đo góc. Do điều kiện chưa cho phép, em lựa chọn loại cảm biến hướng gió có tín hiệu đầu ra modbus RS485 với dữ liệu đo 8 hướng model FXJT – No1 tại hình 3.6.

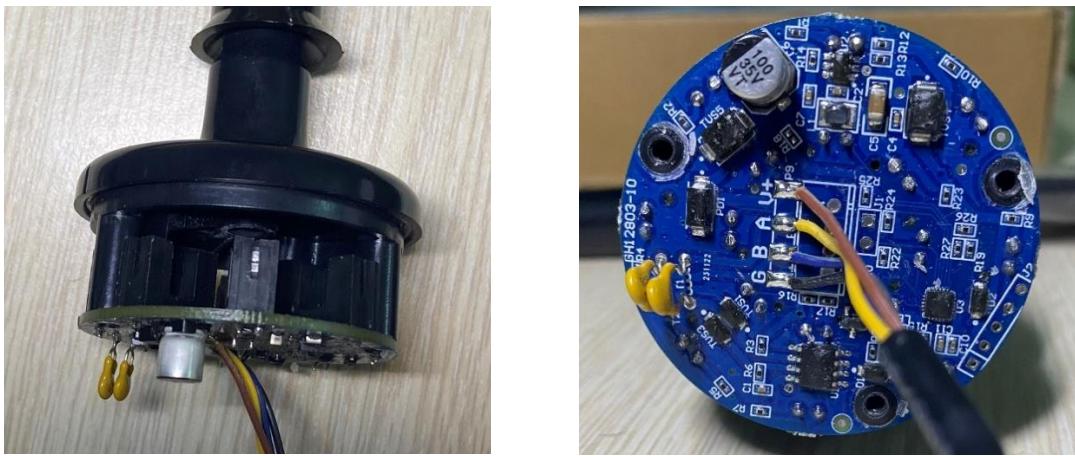


Hình 3.6 Cảm biến đo hướng gió FXJT - No1

Cảm biến hướng gió FXJT – No1 được thiết kế vỏ làm bằng vật liệu polycarbon, có đặc tính chống ăn mòn và chống xói mòn, các mạch bên trong được bảo vệ và có khả năng thích ứng tốt với môi trường khắc nghiệt. Cấu tạo bên trong cảm biến sử dụng các cảm biến quang chữ U đặt tại vị trí ứng với từng hướng cụ thể, khi cảm biến quang bị che sẽ xuất hiện tín hiệu và được xử lý bởi module mạch có khả năng chống nhiễu, tạo đầu ra dạng modbus RS485. Để xác định hướng gió đúng với dữ liệu cảm biến, bên ngoài vỏ của cảm biến đánh dấu hướng Bắc để người sử dụng có thể thiết lập vị trí chính xác nhất, được mô tả trong hình 3.7.



Hình 3.7 Xác định hướng trên vỏ cảm biến



Hình 3.8 Cấu tạo cảm biến hướng gió FXJT – No1

Thông số kỹ thuật của cảm biến hướng gió FXJT – No1:

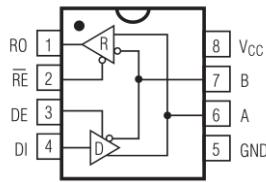
- Model: ZTS – 3000 – FXJT – No1
- Nguồn điện: 10 ~ 30VDC
- Năng lượng tiêu thụ tối đa: 0.15W
- Nhiệt độ và độ ẩm hoạt động: -40°C ~ +60°C, 0%RH ~ 80%RH
- Giao tiếp RS485: tốc độ truyền mặc định 4800, địa chỉ mặc định 0x01
- Dải đo: 8 hướng
- Thời gian phản hồi:  $\leq 0.5s$

#### ➤ Khối chuyển đổi RS485

RS485 còn gọi là TIA-485 (-A) hay EAI-485, là một phương thức giao tiếp nối tiếp giữa máy tính và các thiết bị khác trong ngành công nghiệp, viễn thông, ... Chuẩn giao tiếp RS485 có thể kết nối tối đa 32 thiết bị trên một cặp dây đơn và một hệ thống dây nối đất ở khoảng cách lên tới 1200m.

Cáp RS485 được cấu tạo từ các sợi dây được xoắn lại với nhau theo từng cặp, cung cấp độ bền và khả năng chống nhiễu. Một yếu tố quan trọng của RS485 là việc sử dụng một trở kháng  $120\Omega$  ở cuối đường truyền, giúp ngăn chặn tín hiệu phản xạ và giao thoa, đảm bảo hiệu suất truyền dẫn dữ liệu cao nhất. Với khả năng kết nối đồng thời nhiều thiết bị truyền và nhận dữ liệu, RS485 cho phép tạo ra các hệ thống mạng phân tán linh hoạt và mở rộng được sử dụng trong ứng dụng công nghiệp và dân dụng.

Để sử dụng được cảm biến đo gió với đầu ra modbus RS485 giao tiếp với vi điều khiển, em thiết kế một mạch chuyển đổi từ RS485 sang giao tiếp UART để giao tiếp với vi điều khiển sử dụng IC MAX485.

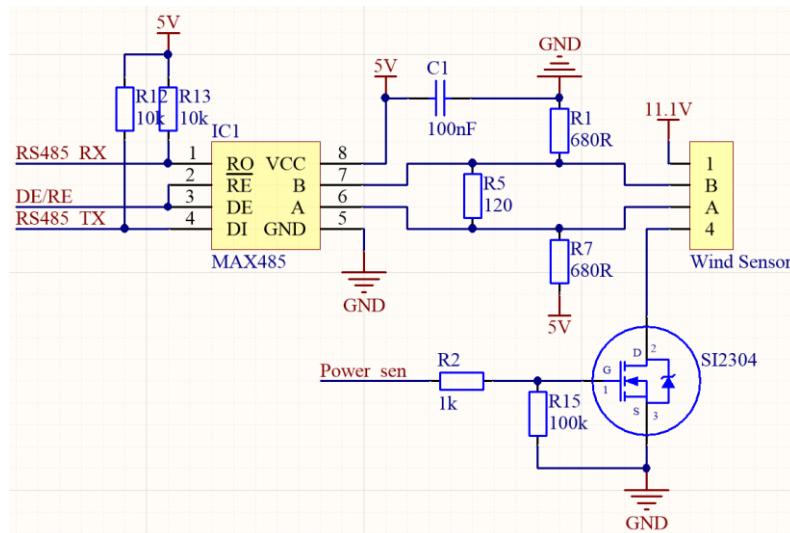


Hình 3.9 Sơ đồ chân của IC MAX485

IC MAX485 gồm có các chân và chức năng:

- DI (Data In): truyền dữ liệu vào.
- RO (Receive Out): đầu ra dữ liệu nhận.
- DE (Data Enable), RE (Receive Enable): chân cho phép truyền và nhận dữ liệu.
- VCC, GND: nguồn cung cấp.
- A, B: các chân tín hiệu của cáp xoắn.

Sau khi tìm hiểu và phân tích em đã hoàn thành mạch nguyên lý cho khối chuyển đổi RS485 sang UART, mạch được thể hiện trong hình.



Hình 3.10 Mạch chuyển đổi RS485 to UART

Mạch nguyên lý có các chân DE, RE, RO, DI của IC MAX485 được kết nối với các chân của vi điều khiển. Hai điện trở  $680\Omega$  nhằm đảm bảo điện áp trên đường dây được xác định rõ ràng trong trường hợp half-duplex và không có driver nào điều khiển trên bus, giúp tránh được nhiễu từ các đường dây nối. Ngoài ra, em sử dụng một mosfet kênh N để điều khiển đóng cắt nguồn cung cấp của cảm biến đo gió, nhằm tối ưu năng lượng. Mosfet chỉ hoạt động khi vi điều khiển yêu cầu đọc giá trị đo từ cảm biến.

#### b. Cảm biến nhiệt độ không khí

Với các hiểu biết của mình, em đã tìm hiểu và so sánh một số cảm biến nhiệt độ phổ biến trên thị trường.

Bảng 3.3 So sánh một số cảm biến nhiệt độ

Cảm biến	LM35	DS18B20	SHT31
Dải đo	-55 – 150°C	-55 – 125°C	-40 – 125°C
Kiểu giao tiếp	Analog	1 Wire	I2C
Nguồn cấp	4 – 30V	3 – 5.5V	2.4 – 5.5V
Dòng tiêu thụ	60µA	1.5mA	Tối đa 1.5 mA
Độ chính xác	± 0.25°C	± 0.5°C	± 0.2°C

Dựa vào bảng so sánh, em lựa chọn cảm biến nhiệt độ LM35 bởi dải đo và độ chính xác đáp ứng được yêu cầu đặt ra, dòng điện tiêu thụ thấp, kích thước nhỏ gọn và giá thành không cao. LM35 là một cảm biến nhiệt độ tương tự, với điện áp đầu ra tỷ lệ thuận với nhiệt độ tức thời và lớp vỏ bên ngoài được bảo vệ khỏi tình trạng quá nhiệt. Cảm biến có sơ đồ chân như trong hình 3.11.



Hình 3.11 Sơ đồ chân cảm biến LM35

Do điện áp đầu ra của cảm biến là tương đối nhỏ nên tại chân OUT của cảm biến LM35, em đã thiết kế mạch sử dụng IC LM358 để khuếch đại tín hiệu điện áp ở đầu ra, tín hiệu sau khi khuếch đại được đưa vào vi điều khiển.

LM358 là bộ khuếch đại thuật toán kép có cấu tạo bao gồm 2 opamp riêng biệt được đóng trong một gói duy nhất, có mức tiêu thụ dòng điện thấp. Hai opamp này đều có độ lợi cao, sử dụng bộ nguồn đơn hoặc kép.



Hình 3.12 Sơ đồ chân IC LM358

Thông số kỹ thuật của IC LM358:

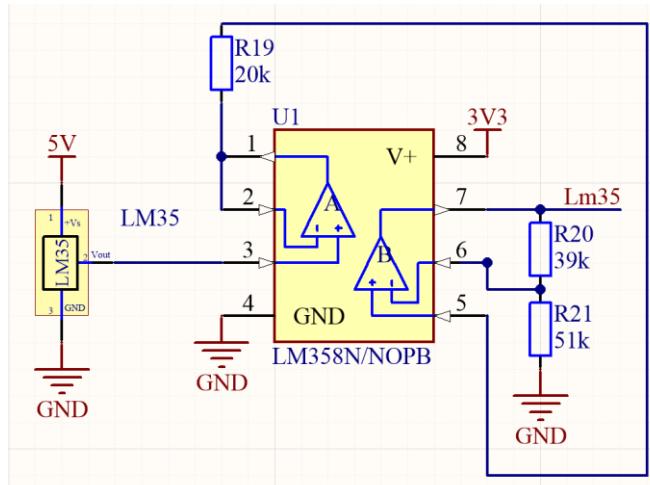
- Điện áp nguồn đơn: 3 – 32V
- Điện áp nguồn đôi: 1.5 – 16V

- Dòng điện áp hoạt động: Khoảng  $500\mu A$
- Điện áp ngõ ra: Từ  $0V$  đến  $\pm 1.5V$
- Đội lợi của bộ khuếch đại:  $100dB$
- Băng thông:  $1MHz$

Sơ đồ và chức năng các chân ra của ICLM358:

- Chân 1: Output 1 là đầu ra của bộ khuếch đại 1.
- Chân 2: Inverting Input 1 là đầu vào đảo ngược của bộ khuếch đại 1.
- Chân 3: Non-Inverting Input 1 là đầu vào không đảo của bộ khuếch đại 1.
- Chân 4: chân GND.
- Chân 5: Inverting Input 2 là đầu vào đảo ngược của bộ khuếch đại 2.
- Chân 6: Non-Inverting Input 2 là đầu vào không đảo của bộ khuếch đại 2.
- Chân 7: Output 2 là đầu ra của bộ khuếch đại 2.
- Chân 8: Nguồn cung cấp cho cả 2 opamp.

Mạch nguyên lý của khối khuếch đại điện áp cho cảm biến LM35 được thể hiện trong hình 3.13.



Hình 3.13 Mạch nguyên lý khối khuếch đại

Khối khuếch đại điện áp gồm hai opamp, mạch opamp thứ nhất là mạch lặp điện áp có tác dụng lọc điện áp đầu vào nên điện áp đầu vào bằng điện áp đầu ra ( $V_o = V_i$ ). Mạch opamp thứ hai là mạch khuếch đại không đảo, điện áp đầu vào là điện áp ra của mạch opamp thứ nhất và điện áp ra của mạch opamp thứ hai được tính bằng công thức:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{20}}{R_{21}}\right)V_{in}$$

Trong đó:

- $V_{out}$ : điện áp đầu ra của bộ opamp thứ hai
- $V_{in}$ : điện áp đầu ra của bộ opamp thứ nhất
- $R_{20}, R_{21}$ : các giá trị điện trở, chọn  $R_{20} = 39k\Omega$ ,  $R_{21} = 51k\Omega$

### c. Cảm biến độ ẩm không khí

Dựa trên các loại cảm biến thông dụng, em đưa ra so sánh một số loại cảm biến độ ẩm không khí.

Bảng 3.4 So sánh một số loại cảm biến độ ẩm không khí

Cảm biến	DHT22	AHT20	SHT31
Dải đo	0 – 100% RH	0 – 100% RH	0 – 100% RH
Kiểu giao tiếp	1 wire	I2C	I2C
Độ phân giải	0.1% RH	0.1% RH	0.15% RH
Nguồn cấp	3.3 – 6V	2.2 – 5.5V	2.4 – 5.5V
Dòng tiêu thụ khi đo	1.5 mA	1 mA	Tối đa 1.5 mA
Độ chính xác	± 5% RH	± 2% RH	± 2% RH

Từ bảng so sánh, em lựa chọn cảm biến độ ẩm không khí AHT20 do có dải đo đạt yêu cầu, độ chính xác cao, dòng điện tiêu thụ nhỏ và giá thành rẻ.



Hình 3.14 Cảm biến AHT20

Thông số kỹ thuật của cảm biến AHT20:

- Điện áp sử dụng: 2.2~5.5VDC
- Chuẩn giao tiếp: I2C
- Khoảng nhiệt độ: -40 ~ 85°C, sai số 0.3°C.
- Khoảng độ ẩm: 0 ~100% RH, sai số 2% RH.
- Kích thước: 10.4 x 15mm

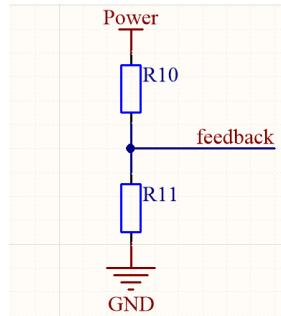
Sơ đồ chân cảm biến AHT20:

- VIN - chân cấp nguồn 2.2~5.5VDC.
- GND - chân cấp nguồn 0VDC (Mass)
- SCL - Chân tín hiệu Clock I2C
- SDA - Chân tín hiệu Data I2C

Cảm biến AHT20 có kích thước nhỏ gọn, độ chính xác cao, sử dụng giao thức I2C để giao tiếp với vi điều khiển. Đây là một lựa chọn phù hợp cho các tiêu chí đã đặt ra khi thiết kế thiết bị tại trạm quan trắc khí tượng bề mặt.

### 3.2.2.3. Khối phản hồi điện áp

Mạch phản hồi điện áp có chức năng gửi giá trị điện áp cho vi điều khiển để tính toán, xử lý và truyền dữ liệu về gateway. Dựa vào giá trị điện áp pin có thể nhận biết thời điểm pin yếu và cần mang đi sạc lại. Mạch được thiết kế dựa trên mạch phân áp cầu tạo từ hai điện trở, điện áp ra được đưa vào vi điều khiển để tính toán, xử lí.



Hình 3.15 Khối phản hồi điện áp

### 3.2.2.4. Khối truyền tin

Khối truyền tin có chức năng gửi dữ liệu đo được từ thiết bị đo gió về thiết bị thu thập dữ liệu và phản hồi từ thiết bị thu đến thiết bị đo. Do còn hạn chế về kiến thức, việc thiết kế mạch thu phát sóng vô tuyến để đạt yêu cầu và ổn định là rất khó khăn, vì vậy em lựa chọn sử dụng các module truyền tin không dây để đạt được hiệu quả tốt nhất trong thiết kế thiết bị. Sau khi tìm hiểu, so sánh và lựa chọn kĩ lưỡng các module trên thị trường, em lựa chọn mạch thu phát RF Lora Ra-02 được thiết kế và phát triển bởi Ai-thinker, sử dụng chip SX1278 của nhà sản xuất SEMTECH.

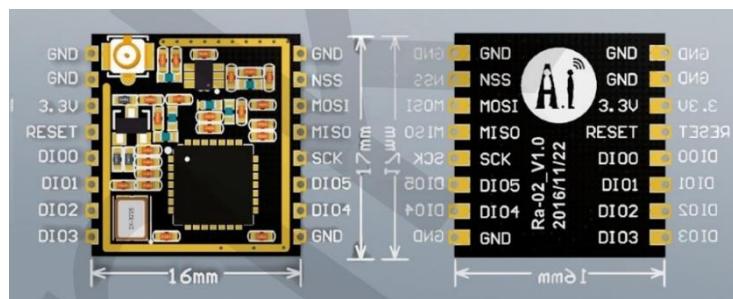


Hình 3.16 Module LoRa Ra - 02

Module LoRa SX1278 Ra – 02 có hai yếu tố nổi bật là tiết kiệm năng lượng và khoảng cách phát rất xa. Ngoài ra còn có khả năng cấu hình để tạo thành mạng truyền nhận nên hiện tại được phát triển và sử dụng khá phổ biến trong các nghiên cứu về IoT. Module LoRa Ra – 02 bao gồm các thông số kỹ thuật chính như sau:

- Chip: SX1278
- Điện áp hoạt động: 1.8 – 3.7V
- Công suất truyền tối đa: +20dBm – 10mW
- Dòng điện tiêu thụ:
  - Transmit: <120mA (+20dBm)

- Receive: < 10.8mA
- Standby: 1.6 mA
- Sleep: 0.2  $\mu$ A
- Tốc độ bit đạt tối 300kbps
- Phạm vi sóng 127dB RSSI
- Chuẩn không dây: 433 MHz
- Dải tần: 410 – 525 MHz
- Khoảng cách truyền tối đa: 10km
- Nhiệt độ làm việc: -40°C – +85°C

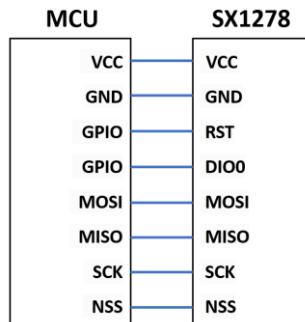


Hình 3.17 Sơ đồ chân của chip SX1278

Bảng 3.5 Chức năng các chân của module LoRa Ra-02

Số chân	Tên chân	Chức năng chân
1	ANT	Kết nối Anten
2	GND	Nối đất
3	3.3V	Cấp nguồn
4	RESET	Thiết lập lại
5	DIO0	Sử dụng như một chân interrupt
6	DIO1	
7	DIO2	
8	DIO3	
9	GND	Nối đất
10	DIO4	Sử dụng như một chân interrupt
11	DIO5	
12	SCK	Chân xung clock giao tiếp SPI
13	MISO	Truyền dữ liệu từ chip sang master
14	MOSI	Truyền dữ liệu từ master sang chip
15	NSS	Chân chọn slave khi giao tiếp SPI
16	GND	Nối đất

Giao tiếp giữa vi điều khiển và module truyền tin là giao tiếp SPI, một kiểu truyền thông nối tiếp kiểu đồng bộ. Do đó, kết nối thiết bị giữa master (vi điều khiển) và slave (LoRa Ra – 02) có thể được kết nối như hình 3.18.



Hình 3.18 Kết nối chân giữa Master và Slave

### 3.2.2.5. Khối MCU

Qua phân tích, lựa chọn và thiết kế các khối chính, em đã tính toán số lượng các ngoại vi, giao thức ứng với số chân cần kết nối với khối MCU. Với khoảng 18 đường tín hiệu, tốc độ xử lý tín hiệu với hiệu suất tốt, bộ nhớ khả dụng, hỗ trợ các giao thức I2C, SPI, ADC, em lựa chọn vi điều khiển STM32F103C8T6 do hãng STMicroelectronics sản xuất. STM32F103C8T6 là một trong những vi điều khiển tầm trung thuộc họ STM32F103x8 theo kiến trúc vi mạch RISC. STM32F103C8T6 có lõi ARM 32-bit Cortex-M3, là một chip công nghệ flash CMOS. Các thiết bị ngoại vi cung cấp khả năng điều khiển và hoạt động với điện áp thấp, vì vậy nó phù hợp với ứng dụng trong đề tài này.

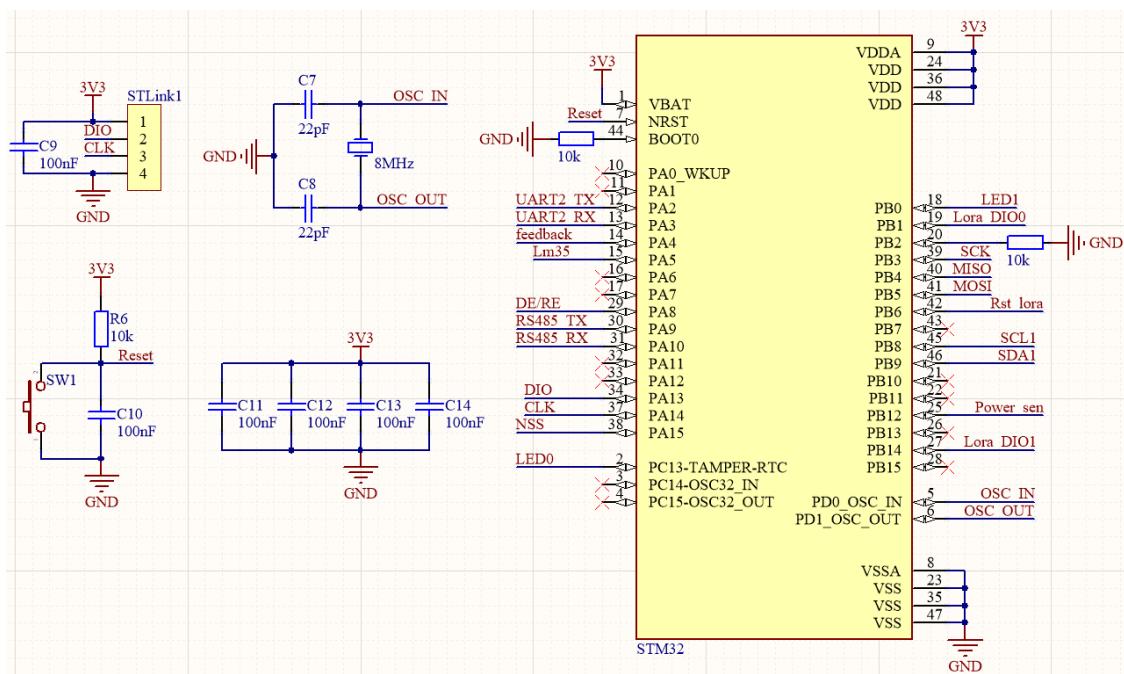


Hình 3.19 Vi điều khiển STM32F103C8T6

Dưới đây là một số thông số kỹ thuật chính của STM32F103C8T6:

- Kiến Trúc: Dựa trên kiến trúc ARM Cortex-M3 32-bit.
- Điện áp làm việc: 2.0 ~ 3.6 VDC
- Thạch anh: 4 ~ 16MHz
- Dòng điện tiêu thụ:
  - Run mode: tối đa 50 mA (tại 72MHz, 85°C)
  - Sleep mode: tối đa 32 mA (tại 72MHz, 105°C)
  - Stop mode: 0.2 mA
  - Standby mode: 4 μA
- Bộ Nhớ:

- Flash: 64 KB
  - RAM: 20 KB
  - Tốc Độ Xử Lý: tối đa 72 MHz.
  - Giao Tiếp:
    - UART: 3 module.
    - I2C: 2 module.
    - SPI: 2 module.
    - USART: 2 module.
    - USB: 1 module.
  - GPIO (General-Purpose Input/Output): 37 chân.
  - Timer:
    - Timer 16-bit: 3 module (TIM1, TIM2, TIM3).
    - Timer 32-bit: 1 module (TIM4).
  - DMA (Direct Memory Access): 7 kênh DMA.
  - ADC (Analog-to-Digital Converter): 10 kênh ADC với độ phân giải 12-bit.
  - DAC (Digital-to-Analog Converter): 2 kênh DAC với độ phân giải 12-bit.
  - RTC (Real-Time Clock): Có
- STM32F103C8T6 đáp ứng được đầy đủ các yêu cầu về ngoại vi cho các khối khác, giá thành rẻ và tiêu thụ năng lượng khá thấp, phù hợp với mục tiêu thiết kế của thiết bị. Mạch nguyên lý của khối vi điều khiển sử dụng STM32F103C8T6 được thể hiện trong hình 3.20.



Hình 3.20 Mạch nguyên lý của khối MCU

Mạch nguyên lý được thiết kế gồm vi điều khiển STM32F103C8T6 và các thành phần khác như nút reset của vi điều khiển, bộ tạo dao động sử dụng thạch anh 8MHz, các tụ lọc điện áp và chân ra STLink sử dụng để nạp chương trình cho vi điều khiển.

### 3.2.2.6. Khối nguồn

Để thiết kế khối nguồn, cần dựa trên các mức điện áp sử dụng, dòng điện tiêu thụ, dung lượng của loại pin sử dụng và thời gian hoạt động của thiết bị.

#### ➤ Lựa chọn pin

Dựa vào điện áp hoạt động của từng thành phần cùng với dòng điện tiêu thụ cực đại, công suất cực đại được tính tại bảng 3.6.

Bảng 3.6 Dòng điện tiêu thụ cực đại của từng thành phần

Thành phần	Điện áp hoạt động (V)	Dòng điện cực đại (mA)
STM32	3.3	50 (tại 72MHz)
Cảm biến tốc độ và hướng gió	11	41
AHT20	3.3	1
LED	3.3	15
MAX485	5	1
SX1278	3.3	120 (chế độ truyền, công suất 20 dBm)
LM358	3.3	0.7
Tổng		228.7

Dựa vào bảng 3.6 có thể thấy rằng khi hoạt động ở mức tối đa, các thành phần tiêu tốn năng lượng không quá nhiều. Các phần tử tiêu tốn nhiều năng lượng gồm có vi điều khiển, cảm biến tốc độ và hướng gió, module truyền tin LoRa Ra – 02, tuy nhiên đây là năng lượng tiêu thụ khi các phần tử hoạt động để đạt hiệu quả tốt nhất về tốc độ xử lý dữ liệu. Để tiết kiệm năng lượng, có thể lập trình vi điều khiển STM32F103C8T6 hoạt động với tần số thấp hơn tần số tối đa là 72MHz, giảm công suất truyền của module LoRa Ra – 02 nhưng vẫn ổn định trong phạm vi truyền tin cần thiết và bật/tắt nguồn cung cấp của cảm biến khi thực hiện đo đạc các thông số. Dựa vào các phương pháp này, có thể tối ưu năng lượng dư thừa, giúp tiết kiệm năng lượng cho pin.

Sau khi liệt kê điện áp hoạt động cho từng khối, từng thành phần, dựa vào điện áp làm việc, em lựa chọn pin lithium Ion (Li – ion) để thiết kế nguồn cung cấp năng lượng cho thiết bị. Đặc điểm nổi bật của pin lithium là mật độ năng lượng cao hơn so với nhiều

loại pin khác, cho phép duy trì năng lượng lâu hơn trong quá trình sử dụng. Dưới đây là bảng so sánh hai loại pin lithium được sử dụng phổ biến trong thực tế.

Bảng 3.7 So sánh pin Li-ion và pin Li-po

Đặc Điểm	Pin Lithium-ion (Li-ion)	Pin Lithium polymer (Li-Po)
Dung lượng cao	Có	Có
Tỷ lệ tự xả thấp	Có	Không
Tuổi thọ trung bình	2-3 năm hoặc 300-500 chu kỳ sạc/xả	2-3 năm hoặc 300-500 chu kỳ sạc/xả
An toàn	Tương đối	Tương đối
Dung lượng và công suất	Cao	Cao
Giá thành	Trung bình	Cao

Qua bảng so sánh cho thấy pin Lithium – ion tuy có kích thước không quá nhỏ gọn nhưng giá thành sản xuất là nhỏ hơn so với pin lithium Li – po và đây là loại pin có thể sạc lại. Vì vậy em lựa chọn pin lithium – ion để thực hiện cấp nguồn cho thiết bị. Pin Li – ion có điện áp danh định là 3.7V và khi được sạc đầy, điện áp pin có thể đạt tới 4.2V. Để đáp ứng mức điện áp hoạt động cho các thành phần trong mạch điện, trong đó có điện áp làm việc của cảm biến đo tốc độ và hướng gió, em thực hiện ghép nối tiếp 3 cell pin lithium – ion để tạo khối pin có điện áp danh định là 11.1V và khi sạc đầy, điện áp khối pin có thể đạt tới 12.6V.



Hình 3.21 Pin Li - ion 3s

Điện áp của khối pin có thể cung cấp trực tiếp cho cảm biến đo tốc độ và hướng gió. Tuy nhiên, điện áp làm việc của các khối khác cần ở mức thấp hơn. Dựa vào datasheet với các dải điện áp làm việc của từng thành phần, đặc biệt là module LoRa Ra – 02 cần mức điện áp ổn định 3.3V và khối chuyển đổi RS485 cần mức điện áp 5V để

hoạt động, do đó phương án tối ưu là thiết kế mạch nguồn ổn áp 5V và mạch nguồn ổn áp 3.3V.

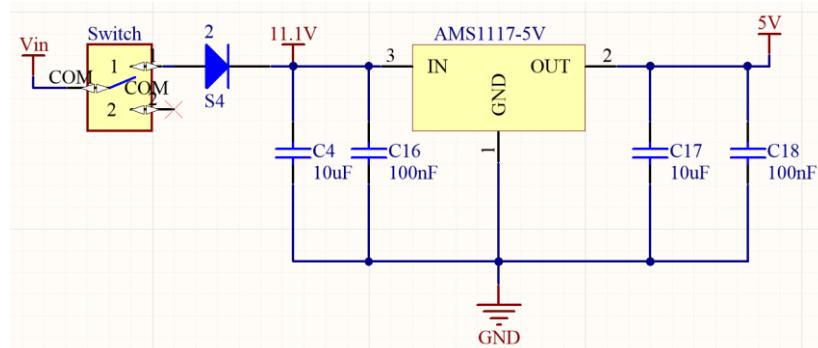
### ➤ Mạch nguồn ổn áp 5V

Với điện áp của khối pin từ 11.1 – 12.6 V và điện áp hoạt động là 5V, mức điện áp chênh lệch giữa điện áp vào và điện áp ra là 6.1 – 7.6V. Với độ chênh lệch điện áp là không nhỏ, cần sử dụng một mạch hạ áp có thể hoạt động lâu dài. Vì vậy em lựa chọn IC nguồn tuyến tính (LDO - Low Dropout) với các tiêu chí như đáp ứng độ chênh lệch điện áp giữa đầu vào và đầu ra tối đa là 7.6V, dòng điện đầu ra tối thiểu 230 mA.

Dựa vào các tiêu chí và thông số cụ thể, em lựa chọn IC ổn áp AMS1117 5V. IC AMS1117 5V gồm một vài thông số kỹ thuật chính:

- Điện áp đầu vào: 6.5 – 15 VDC
- Điện áp đầu ra cố định: 5V
- Điện áp sụt tối đa: 1.3V
- Dòng điện đầu ra tối đa: 800mA
- Nhiệt độ hoạt động: -40°C ~ 125°C

Sơ đồ mạch nguyên lý của mạch nguồn ổn áp 5V sử dụng IC AMS1117 5V được thể hiện trên hình 3.22.



Hình 3.22 Mạch ổn áp 5V

Mạch nguyên lý áp dụng IC ổn áp 5V sử dụng đầu vào là khói pin, sử dụng một công tắc on/off, điện áp  $V_{in}$  được đưa qua diode SS34 có độ sụt áp thấp để ngăn dòng ngược. Điện áp qua diode được sử dụng làm đầu vào và cấp nguồn cho cảm biến đo gió, điện áp làm việc tối thiểu của cảm biến là 10V. Vì vậy điện áp tối thiểu của khói pin để cảm biến đo gió có thể hoạt động là:

$$V_{BAT\_min} = 10 + V_{diode} = 10 + 0.3 = 10.3 (V)$$

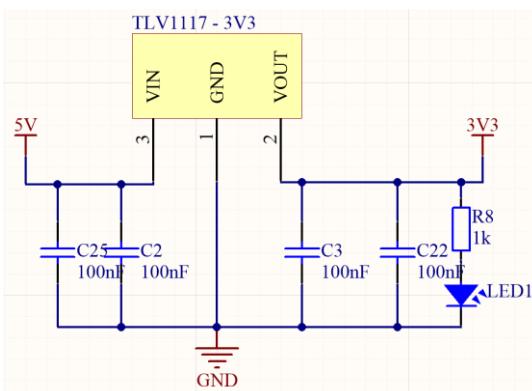
Như vậy với điện áp của khói pin tối thiểu là 10.3V, tương ứng với điện áp trung bình của mỗi cell pin là 3.5V, thì cảm biến có thể hoạt động bình thường.

### ➤ Mạch nguồn ổn áp 3.3V

Để độ chênh lệch điện áp giữa đầu vào và đầu ra của mạch ổn áp không quá lớn, em sử dụng điện áp 5V của mạch ổn áp 5V làm đầu vào của mạch ổn áp 3.3V. Với mức điện áp chênh lệch cố định là 1.7V và dòng điện đầu ra tối thiểu 230 mA, em lựa chọn IC nguồn tuyển tính TLV1117LV của hãng Texas Instruments. Các thông số kỹ thuật chính của IC TLV1117LV như sau:

- Điện áp đầu ra: 3.3 V
- Điện áp đầu vào: 2 – 5.5 V
- Dòng điện đầu ra tối đa: 1A
- Dòng điện trạng thái nghỉ: 100 uA
- Điện áp sụt tối đa: 570 mV
- Nhiệt độ hoạt động: -40°C ~ 125°C

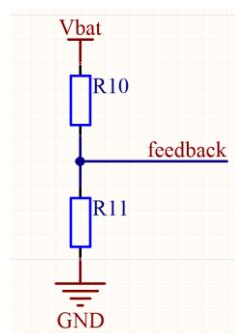
Do điện áp đầu vào là 5V cố định và độ chênh lệch điện áp là 1.7V không quá nhỏ nên mạch ổn áp 3V3 có thể đảm bảo đầu ra 3.3V ổn định. Mạch nguyên lý sử dụng IC ổn áp TLV1117LV được thể hiện trên hình 3.23.



Hình 3.23 Mạch ổn áp 3.3V

#### ➤ Tính toán khối phản hồi điện áp

Với điện áp đầu vào là điện áp của khói pin, cần tính toán và lựa chọn các giá trị điện trở hợp lý để đưa vào vi điều khiển.



Hình 3.24 Mạch phân áp của khối phản hồi

Điện áp khói pin có điện áp tối đa là 12.6V nên điện áp  $V_{bat}$  đạt tối đa là 12.6V. Điện áp tối đa để đưa vào vi điều khiển là 3.3V, gọi điện áp phản hồi là  $V_{fb}$ . Do điện áp

pin được đưa qua diode schottky nên công thức liên hệ giữa điện áp pin và điện áp phản hồi là:

$$V_{bat} - V_{diode} = \left(1 + \frac{R_{10}}{R_{11}}\right) \cdot V_{fb}$$

Với  $V_{bat} = 12.6V$ ,  $V_{diode} = 0.3V$  và  $V_{fb} = 3.3V$ , tỉ số điện trở  $\frac{R_{10}}{R_{11}} = 2.73$ . Vậy tỉ số điện trở tối thiểu cần đạt là 2.73. Để đảm bảo điện áp phản hồi nhỏ hơn 3.3V, em lựa chọn tỉ số điện trở lớn hơn 2.73 và để đảm bảo dòng điện đầu vào ADC của vi điều khiển là nhỏ nên em lựa chọn  $R_{10} = 39k\Omega$  và  $R_{11} = 10k\Omega$ .

#### ➤ Tính toán thời gian sử dụng trong trường hợp cụ thể

Với mô hình hệ thống đã nêu tại mục 3.1, hệ thống gồm các thiết bị truyền nhận bản tin trực tiếp với cấu trúc mạng hình sao. Cụ thể, thiết bị đo gió sẽ thực hiện đo các thông số trong 4 giây, truyền bản tin trong 0.5 giây và nhận phản hồi từ thiết bị gateway trong thời gian tối đa 4 giây sau đó vi điều khiển đi vào chế độ standby trong 300s. Em đã tính toán dòng điện tiêu thụ trong trường hợp truyền nhận cụ thể của thiết bị đo gió và được thể hiện trong bảng 3.8.

Bảng 3.8 Tính toán dòng điện tiêu thụ với hoạt động cụ thể

Chế độ	Thành phần	Dòng điện tiêu thụ (mA)	Thời gian (s)	Tiêu thụ (mAs)
Đo thông số và truyền nhận dữ liệu	STM32	8 (tại 8MHz)	8.5	68
	Cảm biến đo gió	42	3.5	147
	AHT20	1	8.5	8.5
	LM35	0.06	8.5	0.51
	LED	10	8.5	85
	MAX485	1	8.5	8.5
	LM358	0.35	8.5	3
	SX1278 chế độ truyền	29 (tại +13 dBm)	0.5	14.5
	SX1278 chế độ nhận	12	4	18
<b>Tổng</b>				<b>353</b>
Standby	STM32 chế độ standby	0.004	300	1.2

	AHT20	0.0003	300	0.09
	LM35	0.002	300	0.6
	LED	3.3	300	990
	MAX485	0.5	300	150
	LM358	0.35	300	105
	SX1278 chế độ sleep	0.0002	300	0.06
<b>Tổng</b>				<b>1247</b>

Dựa vào bảng tính toán dòng điện tiêu thụ, tổng số dòng điện tiêu thụ trong cả hai chế độ là 1600 mAs. Dòng điện tiêu thụ trung bình được tính bằng:

$$I_{tb} = \frac{1600}{308.5} = 5.2 \text{ (mA)}$$

Với dung lượng pin em sử dụng là 3000mAh và dòng điện tiêu thụ trung bình được lấy là 7mA, thời gian sử dụng được tính bằng:

$$t_1 = \frac{3000}{7} = 428.6 \text{ (h)} = 17.9 \text{ (ngày)}$$

Trong điều kiện thực tế tại trạm quan trắc khí tượng bè mặt, để có thể kéo dài thời gian sử dụng, em lựa chọn sử dụng bình acquy lithium 12V.



Hình 3.25 Acquy lithium 12V

Với nguồn cấp là acquy lithium 12V dung lượng 60Ah, dòng điện tiêu thụ trung bình là 7 mA, thời gian sử dụng có thể tính bằng:

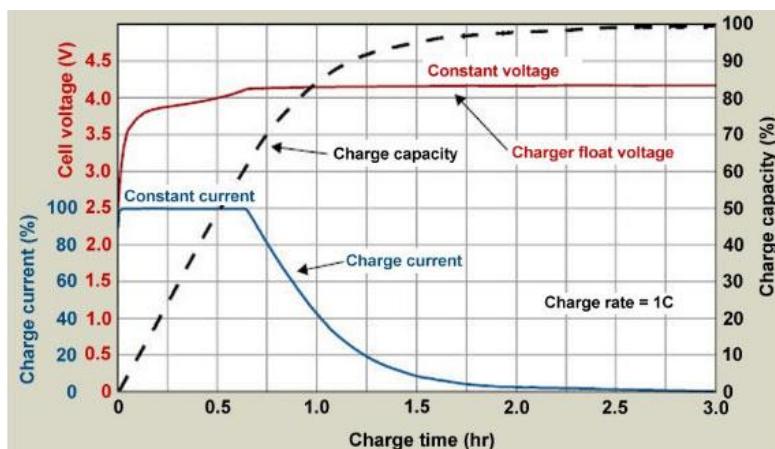
$$t_2 = \frac{60000}{7} = 8571.4 \text{ (h)} = 357.1 \text{ (ngày)}$$

Thời gian duy trì thiết bị hoạt động khi sử dụng acquy theo tính toán là 357 ngày, tương đương khoảng gần 1 năm. Tuy nhiên, do điều kiện còn hạn chế, em chưa thể tiến hành thử nghiệm với nguồn cung cấp là acquy lithium.

#### ➤ Lựa chọn mạch sạc pin

Để lựa chọn bộ sạc pin giúp chủ động trong việc nạp lại pin và bảo vệ pin, em nêu ra một số định nghĩa về pin sạc Lithium – ion. Có hai loại sạc chính như sau:

- Sạc ồn dòng: dòng điện sạc được giữ không đổi, thông thường bằng  $C/2 - C$  (trong đó,  $C$  là dung lượng [Ah] của pin). Dòng điện sạc càng lớn, quá trình sạc ồn dòng càng ngắn tuy nhiên quá trình sạc ồn áp sẽ càng dài. Vì dòng điện lớn sẽ làm tăng nhiệt độ của pin nên trong quá trình sạc cần theo dõi nhiệt độ sát sao, nhiệt độ quá cao có thể làm cho pin bị hỏng hoặc phát nổ.
- Sạc ồn áp: với chế độ sạc ồn áp, điện áp sạc thường được giữ không đổi bằng 4.2V/cell. Do dung lượng của pin được phục hồi dần, sức điện động của nó tăng lên làm cho dòng điện giảm dần. Khi dòng điện giảm về nhỏ hơn  $3\%C$ , chế độ sạc ồn áp kết thúc, dung lượng pin đạt khoảng 99%. Trong quá trình sạc ồn dòng, điện áp trên hai đầu cực của pin tăng dần. Khi điện áp bằng sức điện động của pin khi đầy, bộ sạc kết thúc quá trình sạc ồn dòng và chuyển sang chế độ sạc ồn áp hoặc tự động ngắt sạc.



Hình 3.26 Quá trình sạc pin Li - ion

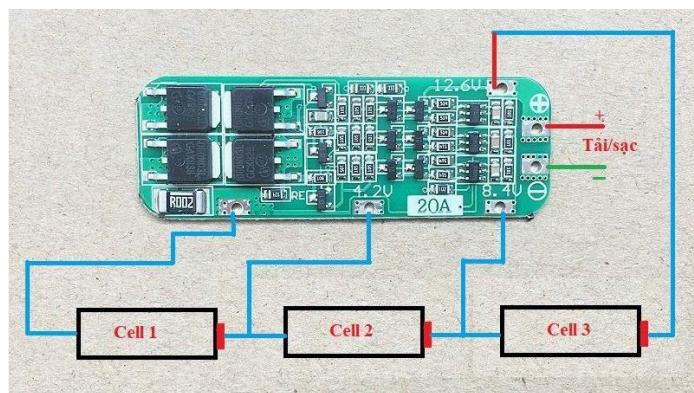
Khi điện áp pin nằm ngoài vùng an toàn (trên 4.2V/cell hoặc dưới 2.5V/cell) hoạt động trở nên không ổn định. Các lớp Lithium Metallic có thể hình thành trên cực dương trong khi cực âm bị oxi hóa mạnh làm giảm tính ổn định, từ đó sản sinh ra khí CO<sub>2</sub> bên trong pin làm áp suất trong pin tăng lên. Thông thường để đảm bảo an toàn, bộ sạc cần phải dừng sạc ngay khi áp suất trong cell pin đạt 200psi. [7]

Tuy nhiên trong một khối pin có nhiều hơn một cell, nếu chỉ đo điện áp hai đầu bộ sạc thì không thể xác định được sự chênh lệch điện áp giữa các cell và khi đó có thể có một cell bị vượt quá ngưỡng mặc dù tổng điện áp của khối pin hiển thị là đúng, hay có thể nói là các cell pin có điện áp không cân bằng với nhau.

Để giải quyết việc mất cân bằng điện áp pin Li-ion, hệ thống quản lý pin cần giám sát dung lượng của mỗi cell. Nếu hệ thống phát hiện có sự mất cân bằng thì cần thực hiện các giải pháp để khôi phục các cell pin về trạng thái cân bằng. Để cân bằng cell

pin, phương pháp cân bằng pin được thực hiện bằng cách gây ra tổn hao trên điện trở. Bộ sạc sẽ cần ngắt sạc khi một cell nào đó đã đầy. Sau đó, cell pin đầy được xả qua điện trở cho đến khi điện áp pin bằng cell thấp hơn. Bộ sạc tiếp tục đóng điện trở lại và quá trình sẽ được lặp lại liên tục cho đến khi tất cả các cell pin đầy.

Dựa vào các yếu tố cần thiết của một mạch sạc pin 3 cell, do khả năng còn hạn chế, em chưa thể thực hiện thiết kế một mạch sạc và cân bằng pin đáp ứng được các yêu cầu về bảo vệ pin toàn diện. Do đó, em đã lựa chọn một module sạc pin 3s để thực hiện sạc và cân bằng điện áp pin, đảm bảo pin có thể hoạt động tốt trong thời gian dài. Sơ đồ kết nối với mạch sạc được thể hiện trong hình 3.27.



Hình 3.27 Mạch sạc pin 3s

Mỗi cell pin được kết nối với hai đầu trên mạch sạc. Để đảm bảo điện áp cho từng cell pin, việc lựa chọn nguồn sạc tốt cũng cần đảm bảo với điện áp sạc là 12.6V. Em lựa chọn một mạch hạ áp 220VAC/12.6VDC có sẵn trên thị trường để thực hiện cấp nguồn cho mạch sạc pin. Để đảm bảo sạc pin hoạt động tốt, việc lựa chọn mạch hạ áp 12.6V/1A là cần thiết.

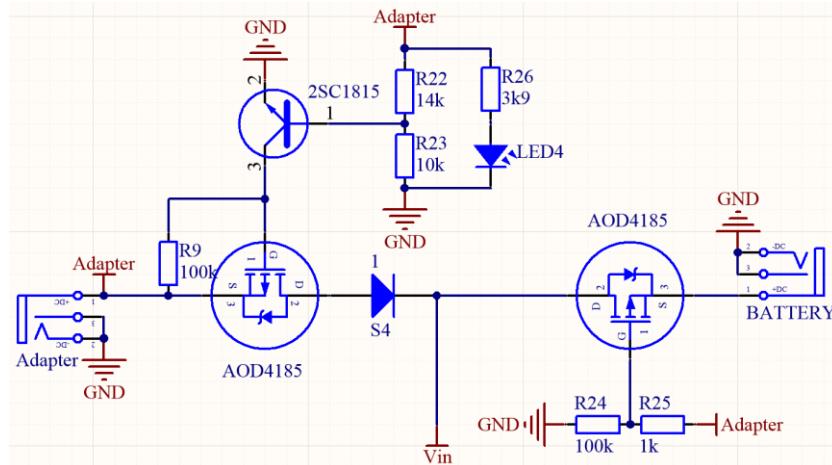


Hình 3.28 Adapter 12.6V 1A

### ➤ Mạch chuyển nguồn

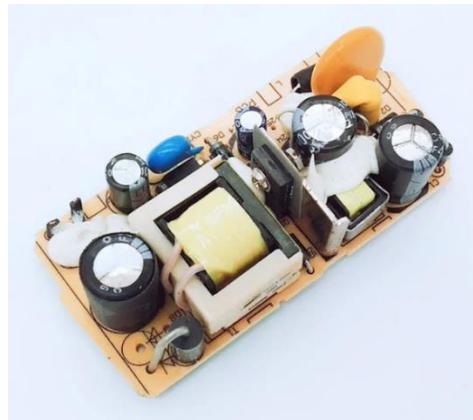
Trong điều kiện thực tế tại trạm quan trắc khí tượng bề mặt, tùy điều kiện địa hình, có thể thực hiện cấp nguồn trực tiếp cho thiết bị đo gió mà không cần đến nguồn pin, điều này là khả thi nếu trạm quan trắc nằm ở gần các khu vực đồng bằng đồng dân cư. Do đó, em đã thiết kế mạch chuyển nguồn để có thể sử dụng cấp nguồn trực tiếp từ mạch

hạ áp AC - DC mà vẫn có thể cắm nguồn pin trên thiết bị đo. Khi ngắt kết nối nguồn điện từ mạch hạ áp AC - DC, thiết bị đo sẽ tự động sử dụng nguồn cung cấp từ khối pin. Khi kết nối với nguồn điện từ mạch hạ áp AC – DC, thiết bị tự động sử dụng nguồn cấp trực tiếp và ngắt nguồn cung cấp từ khối pin, khi đó pin trở thành nguồn cấp dự phòng. Mạch chuyển nguồn có nguyên lý như hình 3.29.



Hình 3.29 Mạch chuyển nguồn giữa adapter và khối pin

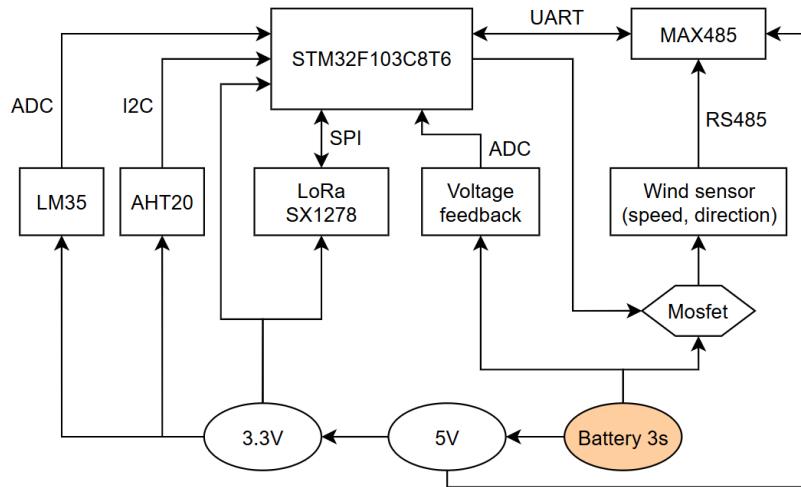
Mạch nguyên lý có hai đầu vào là điện áp pin, điện áp nguồn cấp trực tiếp, sử dụng các mosfet, transistor để đóng/cắt nguồn cấp và có đầu ra  $V_{in}$  được đưa vào mạch ổn áp của thiết bị đo. Để mạch chuyển nguồn có thể hoạt động, cần sử dụng bộ nguồn AC – DC 12V. Với dòng điện đầu vào tối thiểu 230 mA, em lựa chọn bộ nguồn 12VDC/1A có sẵn trên thị trường. Cấu tạo bộ nguồn được thể hiện trong hình 3.30.



Hình 3.30 Bộ nguồn AC - DC 12V 1A

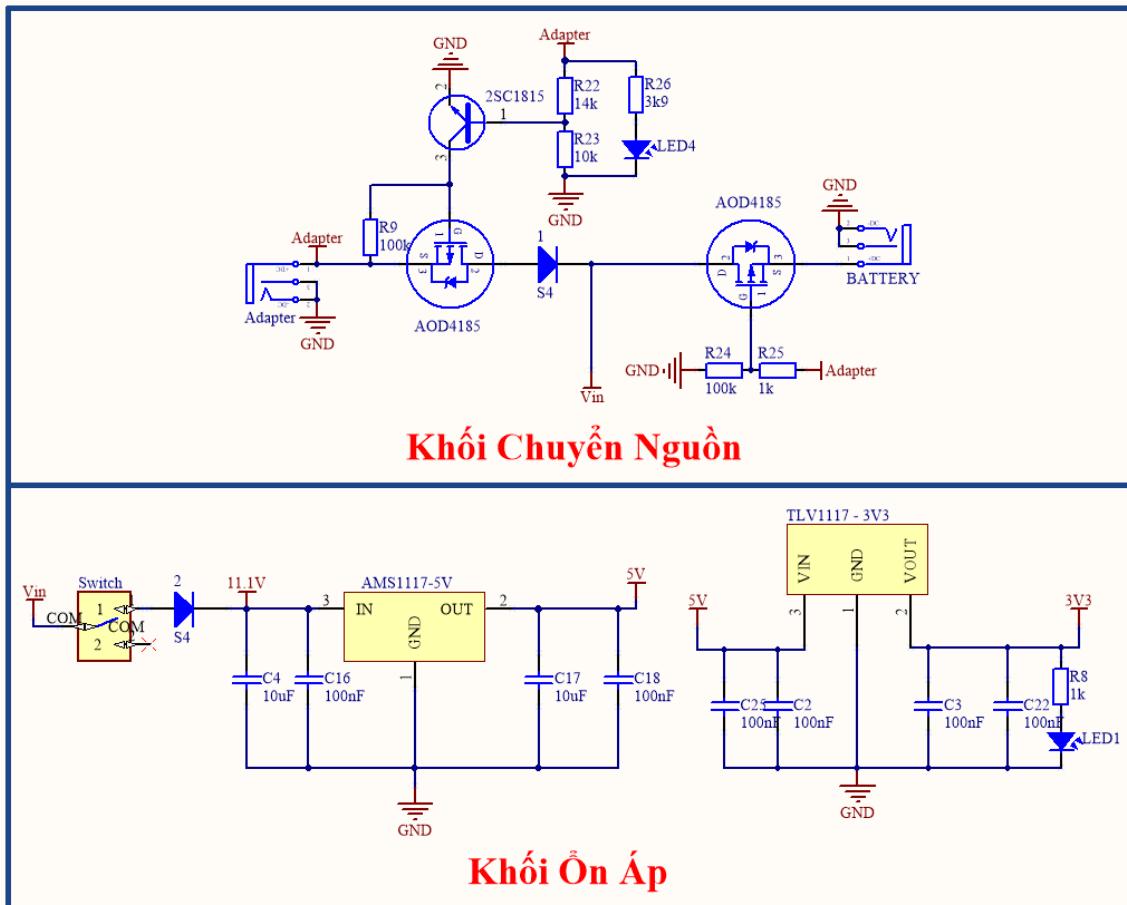
### 3.2.3 Hoàn thiện thiết kế phần cứng thiết bị đo gió

Sau khi tìm hiểu, lựa chọn các thành phần và thiết kế mạch nguyên lý cho từng khối, em đã đưa ra sơ đồ khái chi tiết, thực hiện vẽ mạch in và làm mạch thật. Sơ đồ triển khai chi tiết được thể hiện trên hình 3.31.

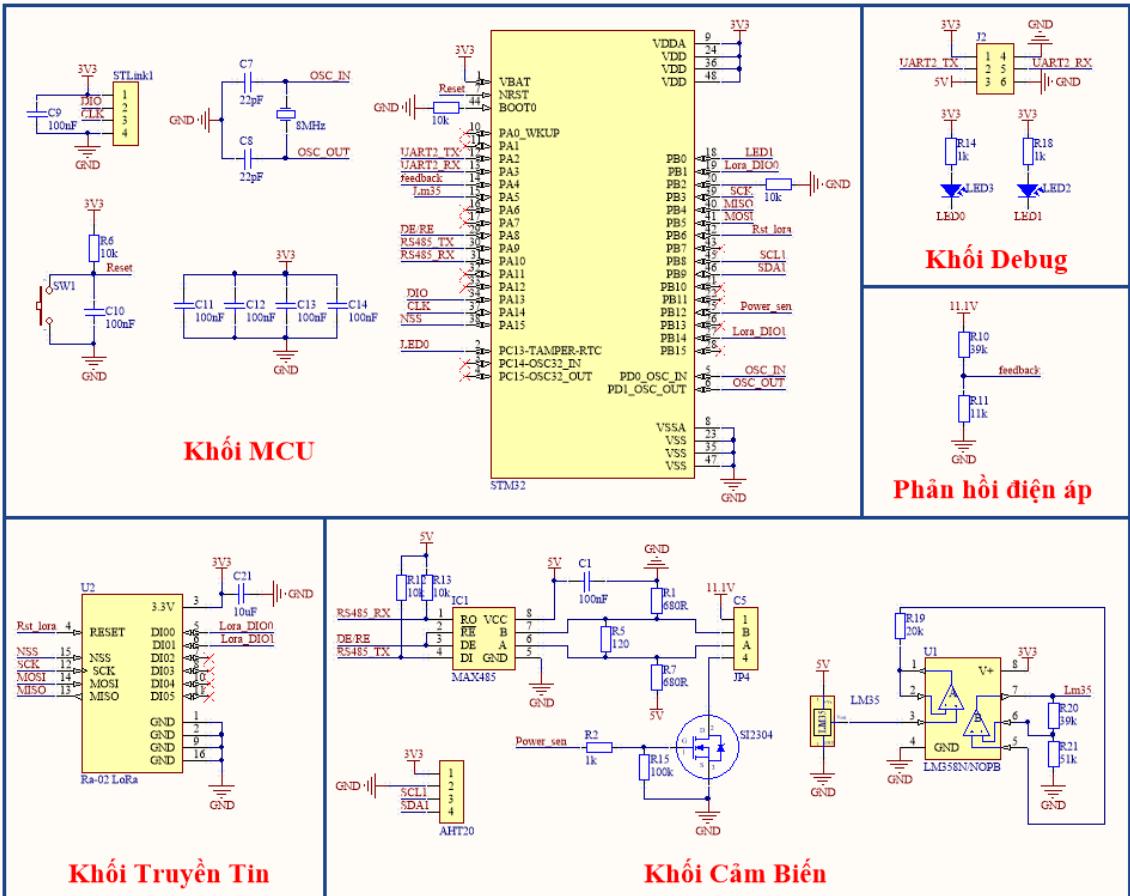


Hình 3.31 Sơ đồ triển khai chi tiết của thiết bị đo gió

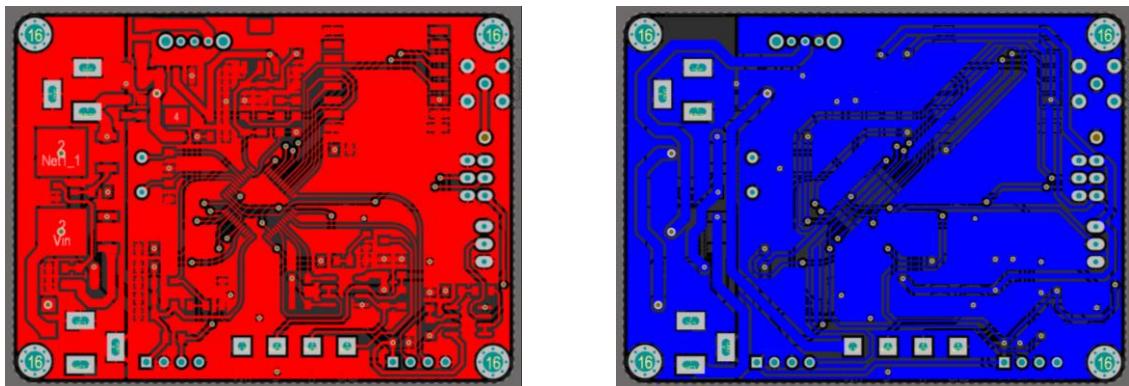
Dựa trên sơ đồ triển khai chi tiết của thiết bị đo gió, mạch nguyên lý được hoàn thiện như hình 3.32 và hình 3.33. Mạch in 3D và sản phẩm mạch in hoàn thiện được thể hiện trên hình 3.34, 3.35 và 3.36.



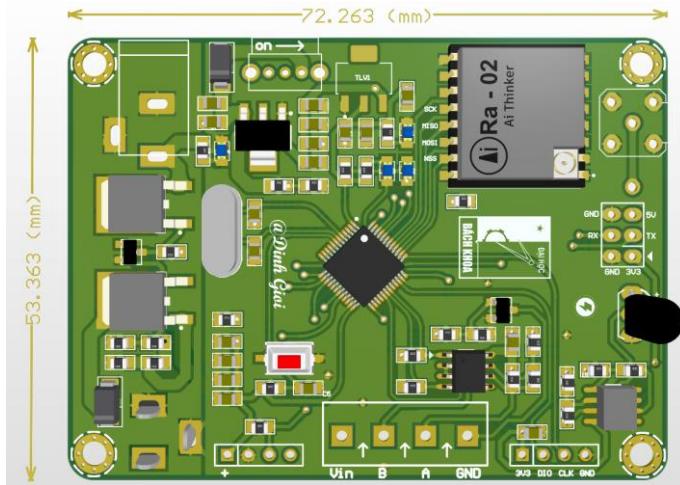
Hình 3.32 Mạch nguyên lý khối nguồn của thiết bị đo gió



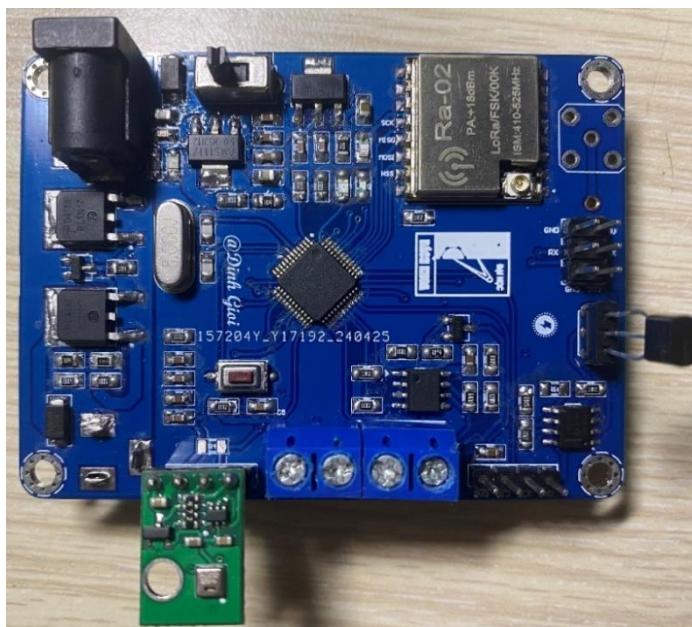
Hình 3.33 Mạch nguyên lý các khối của thiết bị đo gió



Hình 3.34 Top Layer và Bottom Layer của mạch in



Hình 3.35 Mạch in 3D của thiết bị đo



Hình 3.36 Sản phẩm mạch in hoàn thiện



Hình 3.37 Khối pin 3s kèm mạch sạc cân bằng và bảo vệ pin

Với kích thước khối pin đã lựa chọn và kích thước mạch in đã thiết kế, em thực hiện lựa chọn vỏ thiết bị. Sau khi tìm hiểu và tính toán kích thước và dung tích sử dụng, em lựa chọn hộp nhựa ABS kích thước 158x90x60mm như trong hình 3.38.



Hình 3.38 Hộp nhựa ABS

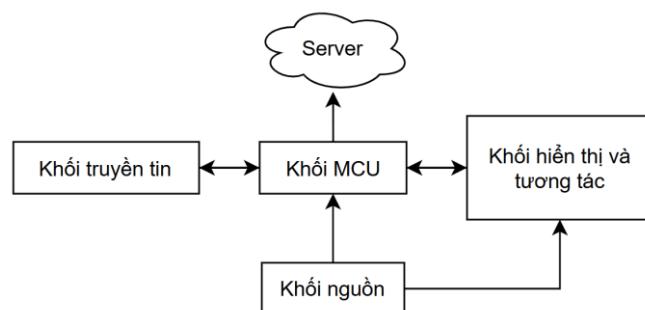
### 3.3 Thiết kế phần cứng gateway

#### 3.3.1 Xây dựng sơ đồ khái niệm thiết bị

Thiết kế thiết bị thu thập dữ liệu (gateway) cần tuân theo các yêu cầu sau:

- Hoạt động ổn định, không xảy ra các vấn đề bất thường.
- Hạn chế tối đa sai sót khi truyền nhận các bản tin.
- Có thể chuyển đổi bản tin nhận được từ thiết bị đo gió và gửi lên server trên máy tính bằng Internet để theo dõi, giám sát.
- Thiết kế hiển thị và tương tác để người dùng theo dõi dữ liệu trực tiếp với thời gian thực.

Việc kết nối và gửi dữ liệu giữa server và gateway bằng Internet có nhiều cách để thực hiện. Tuy nhiên em lựa chọn sử dụng công nghệ truyền tin WiFi để thực hiện truyền dữ liệu lên server bởi WiFi cung cấp kết nối nhanh chóng, tiện lợi, đảm bảo khả năng kết nối ổn định, thuận tiện trong việc truyền dữ liệu và được sử dụng phổ biến trong cuộc sống ngày nay. Sử dụng kết nối không dây để kết nối giữa máy tính và thiết bị giúp tiết kiệm không gian và tăng tính linh hoạt khi sử dụng tại trạm giám sát. Dựa vào các tiêu chí, em đã lập sơ đồ khái cho gateway như trong hình 3.39.



Hình 3.39 Sơ đồ khái của thiết bị thu dữ liệu

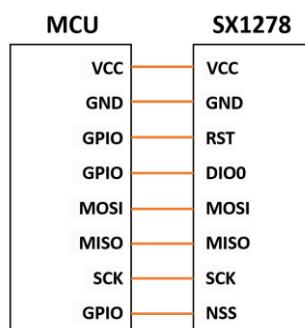
Sơ đồ khối gồm có các khối và chức năng:

- **Khối truyền tin:** thực hiện truyền nhận dữ liệu với thiết bị đo gió.
- **Khối hiển thị và tương tác:** nhận dữ liệu từ khói MCU và hiển thị màn hình hoặc gửi lệnh từ các nút bấm để thay đổi hiển thị trên màn hình.
- **Khối MCU:** xử lý các dữ liệu được gửi đến hoặc truyền đi, chuyển đổi bản tin, hiển thị dữ liệu lên màn hình với thời gian thực, thực hiện gửi dữ liệu lên server để giám sát, nhận lệnh điều khiển từ khói tương tác.
- **Khối nguồn:** cung cấp năng lượng cho toàn bộ các thành phần hoạt động.
- **Server:** Nhận dữ liệu gửi từ gateway qua WiFi, hiển thị các thông số lên máy tính.

### 3.3.2 Lựa chọn kinh kiện và thiết kế các khối của gateway

#### 3.3.2.1. Khối truyền tin

Do khối truyền tin của thiết bị đo gió sử dụng công nghệ truyền tin LoRa nên để gateway có thể nhận dữ liệu đo thì gateway cũng cần sử dụng công nghệ LoRa với các thông số kỹ thuật tương đương. Em lựa chọn sử dụng module LoRa Ra – 02 được sản xuất bởi Ai – Thinker để gateway có thể giao tiếp được với thiết bị đo. Với module LoRa Ra- 02 sử dụng chip SX1278, trong điều kiện thuận lợi ít vật cản, dữ liệu có thể được truyền với khoảng cách lên tới vài km. Do đó việc lựa chọn vị trí đặt thiết bị thu dữ liệu cũng rất quan trọng. Các thông số kỹ thuật và thông tin cụ thể của module LoRa Ra – 02 đã được mô tả chi tiết trong mục 3.2.2.4. Sơ đồ kết nối giao tiếp SPI giữa vi điều khiển và module LoRa được thể hiện trên hình 3.40.



Hình 3.40 Sơ đồ kết nối giữa vi điều khiển và module LoRa

#### 3.3.2.2. Khối hiển thị và tương tác

Việc thiết kế hiển thị tại gateway và các thao tác hỗ trợ người dùng cần đảm bảo giúp quan sát, theo dõi dữ liệu và dễ dàng đưa ra đánh giá. Thiết bị được thiết kế hướng đến sự đơn giản, gọn nhẹ và có thể dễ dàng triển khai ở nhiều vị trí, địa điểm khác nhau. Dựa vào các loại màn hình hiển thị phổ biến hiện nay, em đưa ra một vài so sánh trong bảng 3.9.

Bảng 3.9 So sánh một số loại màn hình hiển thị

Màn hình	LCD1602	OLED	TFT LCD
Kiểu giao tiếp	4bit, 8bit, I2C	I2C	SPI
Nguồn cấp	5V	2.2 – 5.5V	3.3 – 5V
Độ phân giải	16x2 kí tự	128x64 pixels	240 x 320 pixels
Giá thành	2 \$	3.5 \$	5 \$
Màu sắc	Không có	2 – 3 màu	262000 màu

Dựa vào bảng so sánh, với ứng dụng của đèn tài cầm hiển thị ít nhất bốn thông số gồm tốc độ gió, hướng gió, nhiệt độ và độ ẩm không khí. Để hiển thị đầy đủ và rõ ràng các dữ liệu đo, em lựa chọn màn hình TFT LCD loại 2.8 inch do có độ phân giải hiển thị lớn, giá thành không quá khác biệt và khả năng truyền tải dữ liệu nhanh chóng của giao thức SPI.



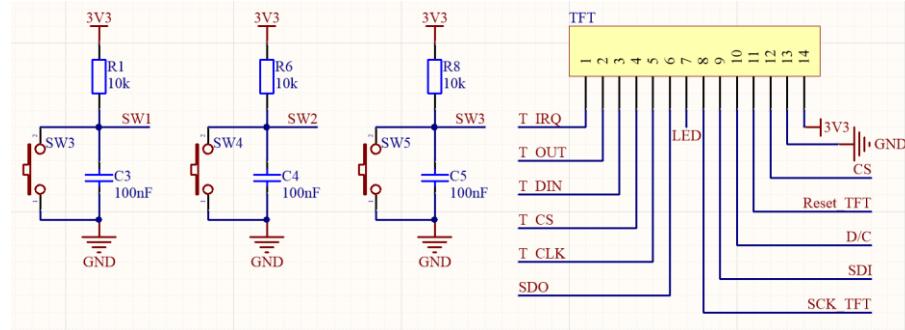
Hình 3.41 Màn hình TFT LCD 2.8"

Màn hình TFT bao gồm một vài thông số kỹ thuật như sau:

- Model: LCD TFT Touch Screen
- Điện áp sử dụng: 3.3~5VDC
- Điện áp giao tiếp: TTL 3.3~5VDC
- IC Driver hiển thị: ST7789 giao tiếp SPI.
- Kích thước màn hình: 2.8 inch
- Màu sắc: 18 bit, lên tới 262000 màu
- Độ phân giải: 240 x 320 pixels
- Tích hợp khe thẻ nhớ SD giao tiếp SPI
- Kích thước toàn màn hình: 86 x 50 mm

Màn hình TFT LCD có chức năng cảm ứng, tuy nhiên do khả năng còn hạn chế, em chưa thể thực hiện chức năng cảm ứng. Vì vậy, em đã thiết kế thêm cơ chế sử dụng ba nút nhấn hỗ trợ người dùng để dễ dàng quan sát các dữ liệu của từng thiết bị đo gió. Ba

nút nhấn gồm một nút bật tắt hiển thị màn hình và hai nút lựa chọn hiển thị dữ liệu của từng thiết bị đo gió. Mạch nguyên lý của khói được mô tả trên hình 3.42.



Hình 3.42 Mạch nguyên lý khói hiển thị và tương tác

### 3.3.2.3. Khối MCU

Sau khi lựa chọn thành phần, thiết kế khói truyền tin và khói hiển thị, khi thực hiện lựa chọn vi điều khiển cho thiết bị thu thập dữ liệu cần dựa trên số lượng ngoại vi sử dụng. Qua phân tích thiết kế, khói truyền tin sử dụng 6 ngoại vi và khói hiển thị, tương tác sử dụng ít nhất 9 ngoại vi. Trong đề tài này, em lựa chọn công nghệ WiFi để truyền dữ liệu từ thiết bị thu thập đến server tại máy tính. Sau khi tìm hiểu các module WiFi và các vi điều khiển đáp ứng đủ số lượng ngoại vi cần thiết, em lựa chọn ESP32-WROOM-32 của hãng Espressif Systems do đây là một bộ vi điều khiển thuộc danh mục vi điều khiển trên chip công suất thấp, chi phí không lớn, hỗ trợ 2 giao tiếp SPI cho màn hình và module LoRa và được tích hợp công nghệ WiFi 802.11, phù hợp để tiến hành thiết kế thiết bị thu thập dữ liệu.



Hình 3.43 ESP32 – WROOM – 32D

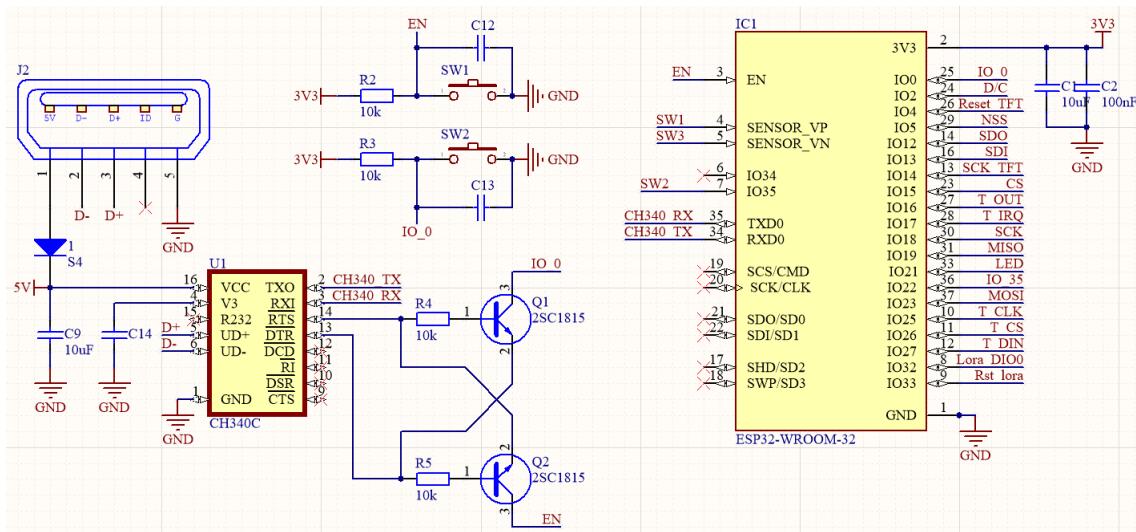
Các thông số kỹ thuật nổi bật của ESP32:

- CPU
  - CPU: Xtensa Dual-Core LX6 microprocessor.
  - Chạy hệ 32 bit
  - Tốc độ xử lý từ 160 MHz đến 240 MHz
  - ROM: 448 Kb
  - Tốc độ xung nhịp từ 40 MHz ÷ 80 MHz.

- RAM: 520 Kb SRAM liền chip. Trong đó 8 Kb RAM RTC tốc độ cao – 8 Kb RAM RTC tốc độ thấp (dùng ở chế độ DeepSleep).
- Giao tiếp không dây:
  - Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/i
  - Bluetooth: v4.2 BR/EDR và BLE
- Các loại giao tiếp:
  - 2 bộ chuyển đổi số sang tương tự (DAC) 8 bit
  - 18 kênh bộ chuyển đổi tương tự sang số (ADC) 12 bit.
  - 2 cổng giao tiếp I<sup>2</sup>C
  - Cổng giao tiếp UART
  - Cổng giao tiếp SPI (1 cổng cho chip FLASH)
  - 2 cổng giao tiếp I<sup>2</sup>S
  - 10 kênh ngõ ra điều khiển chế độ rộng xung (PWM)
  - Ethernet MAC hỗ trợ chuẩn: DMA và IEEE 1588
  - CAN bus 2.0
  - IR (TX/RX)
- Cảm biến tích hợp trên chip ESP32:
  - 1 cảm biến Hall (cảm biến từ trường)
  - 1 cảm biến đo nhiệt độ
  - Cảm biến chạm (điện dung) với 10 đầu vào khác nhau.
- Bảo mật:
  - Hỗ trợ tất cả các tính năng bảo mật chuẩn IEEE 802.11, bao gồm WFA, WPA/WPA2 và WAPI
  - Khởi động an toàn (Secure boot)
  - Mã hóa flash (Flash encryption)
  - 1024-bit OTP
  - Tăng tốc phần cứng mật mã: AES, SHA-2, RSA, mật mã đường cong elliptic (ECC – elliptic curve cryptography), bộ tạo số ngẫu nhiên
- Nguồn điện hoạt động:
  - Điện áp hoạt động: 2.2V ~ 3.6V
  - Nhiệt độ hoạt động: -40°C ~ + 85°C
- Số cổng GPIO: 36
- Ứng dụng:
  - Sử dụng trong các ứng dụng thu thập dữ liệu và điều khiển thiết bị qua WiFi, Bluetooth.

- Sử dụng cho các ứng dụng tiết kiệm năng lượng, điều khiển mạng lưới cảm biến, mã hóa hoặc xử lý tiếng nói, xử lý Analog-Digital trong các ứng dụng phát nhạc, hoặc với các file MP3...

Sơ đồ mạch nguyên lý của khối MCU sử dụng ESP32-WROOM-32 được mô tả trên hình 3.44.



Hình 3.44 Mạch nguyên lý của khối MCU

Tại hình 3.44, mạch nguyên lý của khối MCU gồm có vi điều khiển, nút nhấn EN để thực hiện reset chương trình hoạt động, nút nhấn BOOT được sử dụng để đưa ESP32 vào chế độ bootloader, cho phép nạp firmware mới lên vi điều khiển và mạch nạp chương trình cho vi điều khiển sử dụng IC CH340C. CH340C là một chip chuyển đổi USB sang giao tiếp UART, kết hợp với một cổng microUSB để thực hiện nạp chương trình cho vi điều khiển.

### 3.3.2.4. Khối nguồn

Để lựa chọn thành phần và thiết kế khối nguồn, cần tính toán dòng điện tiêu thụ tối đa của từng thành phần. Dòng điện tiêu thụ của từng thành phần được liệt kê tại bảng 3.10.

Bảng 3.10 Dòng tiêu thụ của từng thành phần trong gateway

STT	Thành phần	Dòng điện tiêu thụ tối đa (mA)
1	SX1278 chế độ truyền	120
	SX1278 chế độ nhận	12
2	Màn hình TFT	80
3	ESP32 – WROOM – 32D	260
4	LED	15
Tổng		487

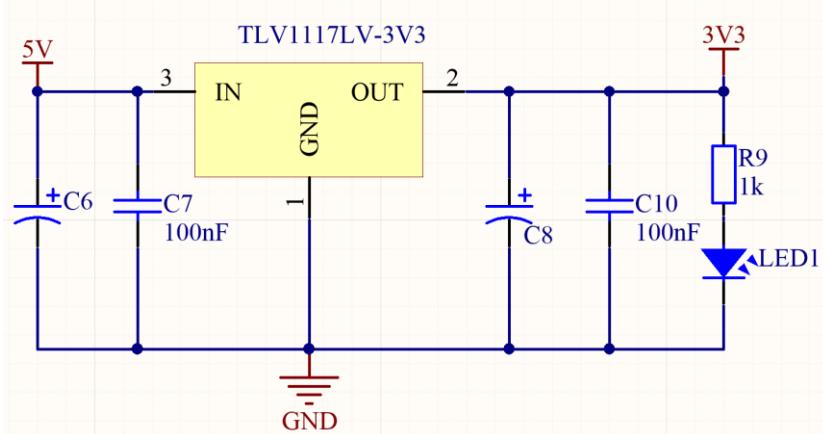
Để thiết bị thu thập dữ liệu có thể hoạt động với hiệu suất tốt nhất, em lựa chọn sử dụng bộ nguồn lấy từ nguồn điện xoay chiều. Bộ nguồn được thiết kế để chuyển đổi từ dòng điện xoay chiều AC sang dòng điện một chiều DC.

Trong phạm vi đồ án này, để thiết bị hoạt động ổn định, do nguồn cấp có ảnh hưởng lớn và khả năng còn hạn chế nên em lựa chọn một mạch biến đổi AC – DC có sẵn trên thị trường. Với dòng điện tiêu thụ tối đa là 487 mA, em lựa chọn mạch biến đổi AC – DC có thông số điện áp ra là 5V/1A. Cấu tạo bộ nguồn được thể hiện trong hình 3.45.



Hình 3.45 Bộ chuyển đổi AC – DC 5V

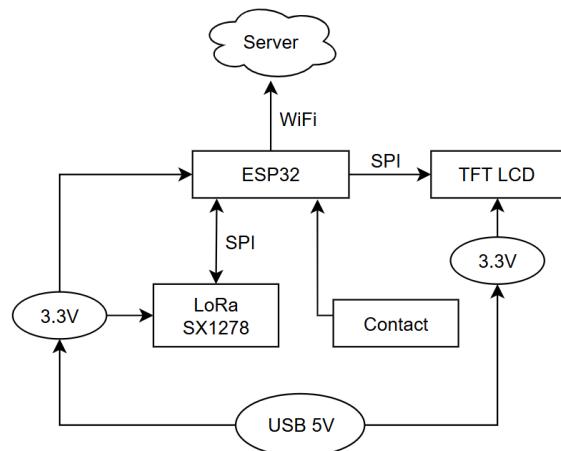
Do vi điều khiển và các phần tử khác hoạt động ở mức điện áp 3.3V, nên em đã thiết kế mạch ổn áp 3.3V sử dụng IC TLV1117LV với điện áp đầu vào là 5V và điện áp đầu ra 3.3V được cấp cho các linh kiện và một LED báo nguồn. Mạch nguyên lý khối nguồn của thiết bị thu thập dữ liệu được thể hiện trong hình 3.46.



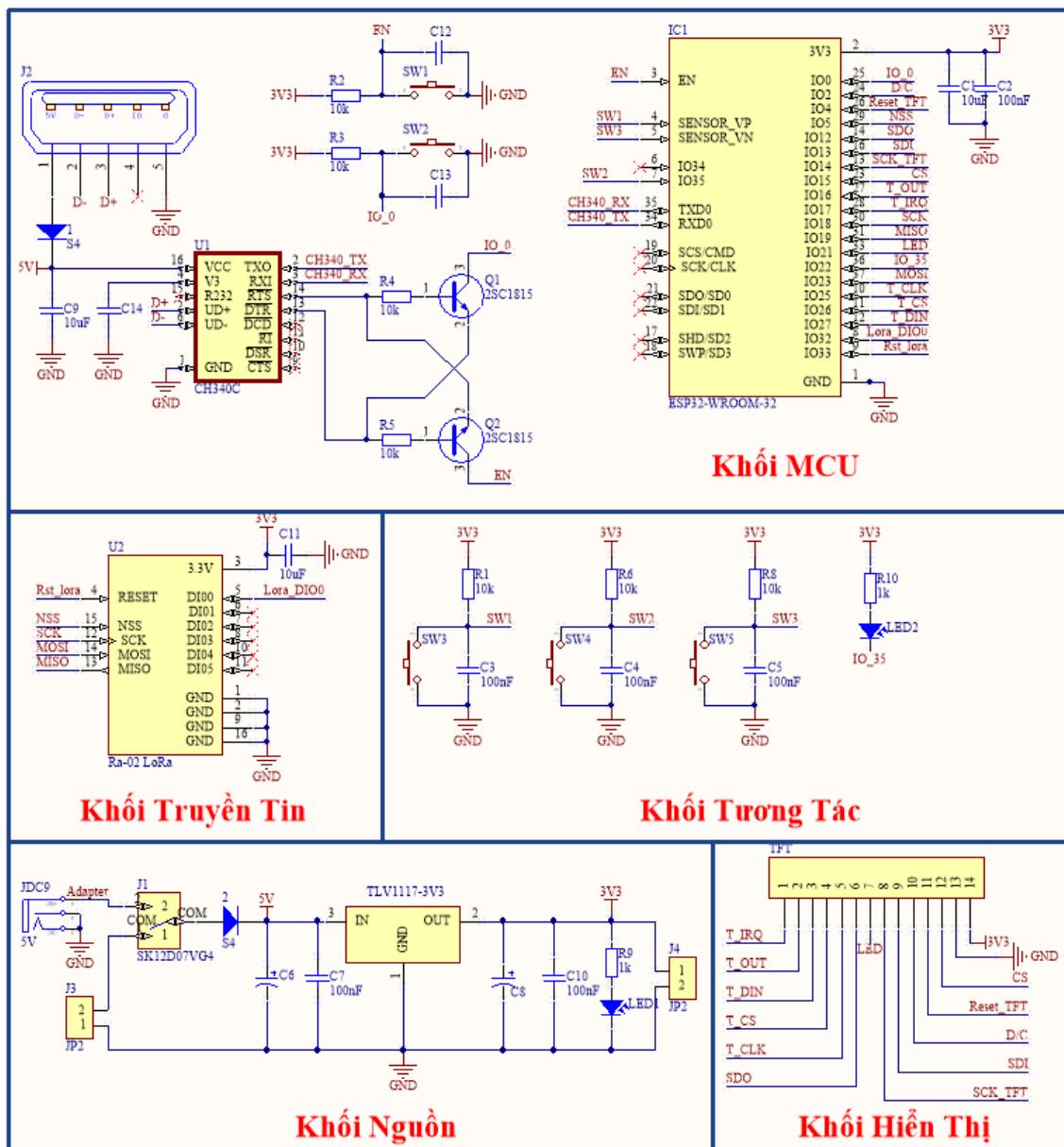
Hình 3.46 Mạch nguyên lý khối nguồn của thiết bị thu dữ liệu

### 3.3.3 Hoàn thiện thiết kế phần cứng gateway

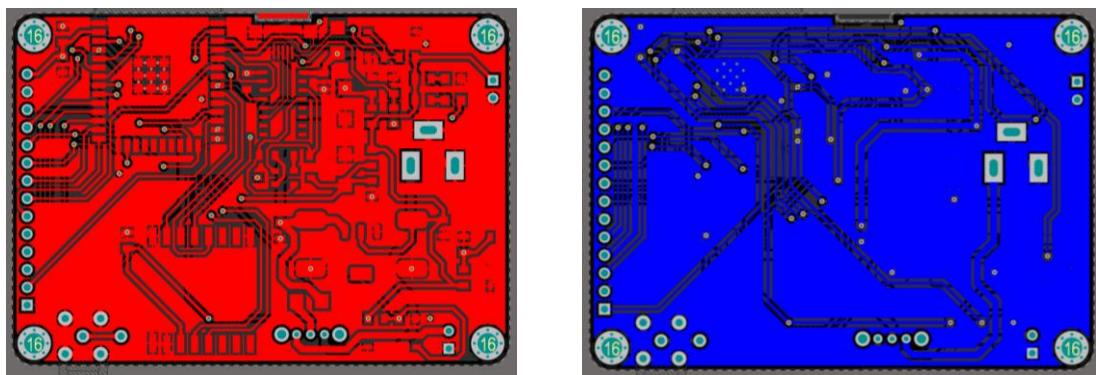
Sau khi lựa chọn thiết kế cho từng khối của gateway, em thực hiện vẽ mạch nguyên lý, mạch in và tạo ra sản phẩm hoàn thiện. Ngoài ra em đã đưa ra sơ đồ triển khai chi tiết cho thiết bị như hình 3.47. Các mạch nguyên lý, mạch in và mạch in thực tế được mô tả trong các hình 3.48, 3.49, 3.50 và 3.51.



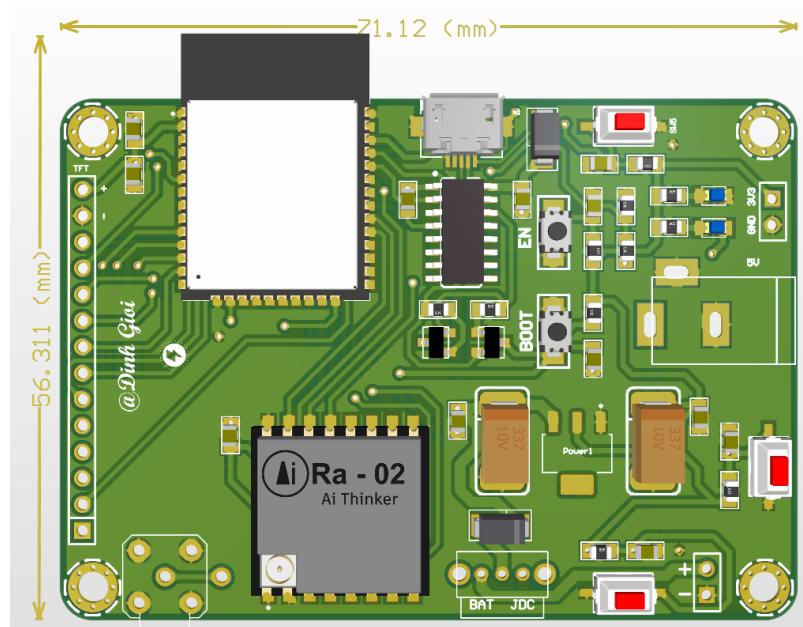
Hình 3.47 Sơ đồ triển khai chi tiết cho gateway



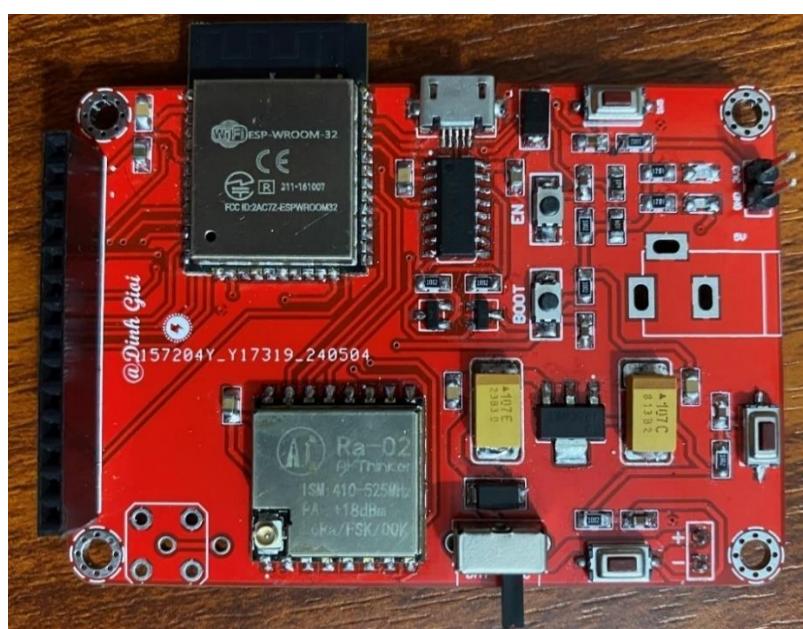
Hình 3.48. Mạch nguyên lý của thiết bị thu thập dữ liệu



Hình 3.49 Top Layer và Bottom Layer của mạch in 2D



Hình 3.50 Mạch in 3D của thiết bị thu thập dữ liệu



Hình 3.51 Sản phẩm mạch in thực tế của thiết bị thu thập dữ liệu

Sau khi hoàn thành mạch in, việc lựa chọn vỏ thiết bị cũng rất quan trọng. Với mong muốn thiết bị có kích thước nhỏ gọn, em lựa chọn hộp nhựa kích thước 90x58x31mm.

### 3.4 Thiết kế phần mềm cho các thiết bị

#### 3.4.1 Triển khai thiết kế hệ thống mạng cảm biến không dây

##### 3.4.1.1. Giới thiệu công cụ lập trình

**STM32CubeMX:** đây là một công cụ phần mềm được sử dụng để cấu hình cho bất kì dòng vi điều khiển STM32 nào. Giao diện người dùng đồ họa dễ sử dụng và có thể sinh code C từ việc cấu hình cho các thiết bị lõi ARM Cortex-M và tạo Linux device tree source cho các thiết bị lõi ARM Cortex-A. Các thao tác cấu hình, cài đặt, chỉnh sửa... đều có thể thực hiện thông qua công cụ này với giao diện đồ họa được thiết kế thân thiện và dễ sử dụng.

**Keil C:** đây là một bộ công cụ phát triển phần mềm (IDE) và trình biên dịch được phát triển bởi công ty Keil, nay là một phần của ARM, thường được sử dụng để phát triển ứng dụng nhúng cho các vi điều khiển dựa trên kiến trúc ARM, bao gồm cả các dòng vi điều khiển phổ biến như ARM Cortex-M, ARM7 và các vi điều khiển khác. Keil C IDE giúp chúng ta có thể viết code, compile, debugs hoặc nạp chương trình xuống vi điều khiển.

**ESP-IDF:** một nền tảng phát triển phần mềm được Espressif Systems phát triển dành cho các vi điều khiển ESP32 và ESP8266. Nó cung cấp các công cụ, thư viện và API để phát triển ứng dụng IoT (Internet of Things) một cách dễ dàng và hiệu quả. Đây là nền tảng chính thức của Espressif để phát triển phần mềm cho các vi điều khiển ESP với nguồn tài liệu đầy đủ và chính xác.

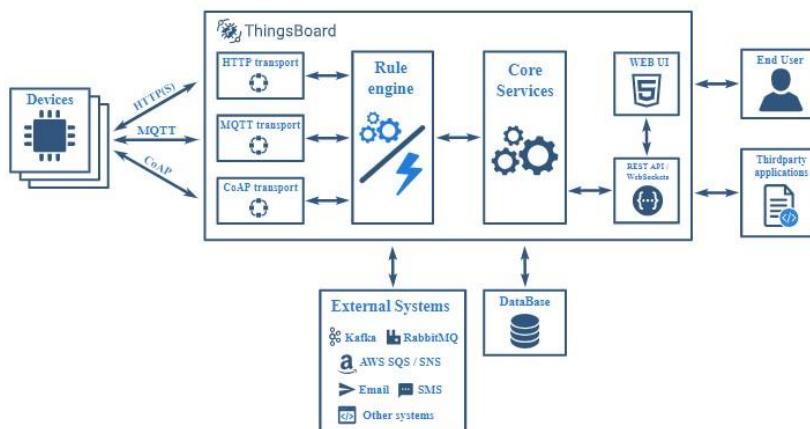
**Visual Studio Code (VS Code):** trình soạn thảo mã nguồn mở gọn nhẹ nhưng có khả năng vận hành trên 3 nền tảng là Windows, Linux và macOS được phát triển bởi Microsoft. Nó hỗ trợ nhiều ngôn ngữ lập trình và đi kèm với nhiều tiện ích mở rộng, giúp cải thiện trải nghiệm lập trình. VS Code tích hợp tính năng IntelliSense, gỡ lỗi, Git, và terminal, giúp lập trình viên làm việc hiệu quả hơn.

**FreeRTOS:** đây là một hệ điều hành thời gian thực mã nguồn mở, được phát triển bởi Real Time Engineers Ltd. FreeRTOS cung cấp một môi trường lập trình cho các ứng dụng nhúng, nơi các tác vụ có thể được lập lịch và thực thi một cách song song và theo thời gian thực.

##### 3.4.1.2. Giới thiệu phần mềm giám sát dữ liệu và giao thức MQTT

Việc xây dựng một server riêng để giám sát các thông số, phân tích, đánh giá là một vấn đề khó khăn về việc quản lý, bảo trì và tính linh hoạt. Do kiến thức và khả năng còn hạn chế để tự thiết kế server riêng, em lựa chọn sử dụng nền tảng Thingsboard để làm giao diện hiển thị dữ liệu.

ThingsBoard là một nền tảng IoT mã nguồn mở, cho phép phát triển, quản lý và mở rộng các dự án IoT. Người dùng có thể sử dụng ThingsBoard để thu thập, giám sát, xử lý, hiển thị trực quan và quản lý thiết bị trong thời gian thực.



Hình 3.52 Thingsboard hỗ trợ đa dạng các giao thức kết nối

So với các nền tảng IoT khác, ThingsBoard có khả năng kết nối thiết bị qua các giao thức IoT tiêu chuẩn công nghiệp như MQTT, CoAP và HTTP. Thingsboard có một số tính năng nổi bật như quản lý thiết bị, giao diện người dùng linh hoạt, tích hợp với các hệ thống khác, bảo mật, quản lý người dùng và phân quyền, ...

Dựa trên tìm hiểu và so sánh các giao thức, em lựa chọn giao thức MQTT để gửi dữ liệu từ gateway lên server. Do MQTT đảm bảo được tính linh hoạt, độ tin cậy, bảo mật, có khả năng mở rộng, đây là một giao thức được sử dụng khá phổ biến nên nguồn tài liệu và các phần mềm hỗ trợ đa dạng, có thể dễ dàng phát triển.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) là một giao thức nhắn tin nhẹ được thiết kế cho các thiết bị IoT để truyền dữ liệu qua mạng không đáng tin cậy hoặc tồn tại băng thông. Hoạt động của MQTT dựa trên mô hình pub/sub (publisher/subscriber), các thiết bị gửi (publish) thông điệp đến một chủ đề nhất định và các thiết bị khác đăng ký (subscribe) vào chủ đề đó để nhận thông điệp. Và một MQTT Broker là thành phần trung tâm trong kiến trúc MQTT, hoạt động như một máy chủ trung gian, nó chịu trách nhiệm quản lý tất cả các thông điệp giữa các thiết bị. MQTT đảm bảo truyền tải dữ liệu hiệu quả, ngay cả trong điều kiện mạng không ổn định.

Tuy nhiên trong phạm vi của đề tài này, em chỉ gửi dữ liệu từ gateway tới Thingsboard nên thiết bị gateway chỉ cần publish thông điệp đến chủ đề cố định trên nền tảng Thingsboard để quản lý và giám sát dữ liệu.

### 3.4.1.3. Các chế độ của module LoRa sử dụng chip SX1278

Các chế độ hoạt động của SX1278 dựa trên datasheet của nhà sản xuất. Các chế độ của SX1278 có thể được cài đặt bằng thanh ghi bao gồm:

- **Sleep:** Chế độ năng lượng thấp, chỉ có thể truy cập SPI và các thanh ghi cầu hình. Lora FIFO không thể truy cập.
- **Standby:** Crystal oscillator và khói Lora baseband đều được bật. Phần RF và PLL đều bị tắt.
- **FSTX:** chế độ tổng hợp tần số cho việc truyền. PLL chọn cho việc truyền được khóa và hoạt động tại tần số truyền. Một phần RF được tắt.
- **FSRX:** chế độ tổng hợp tần số cho việc nhận. PLL chọn cho việc nhận được khóa và hoạt động tại tần số nhận. Một phần RF bị tắt.
- **TX:** khi kích hoạt, cung cấp năng lượng cho tất cả các khói cần thiết cho việc truyền, khuếch đại công suất, truyền gói tin và trở về chế độ Standby.
- **RXCONTINUOUS:** cung cấp năng lượng cho tất cả các khói cần thiết cho việc nhận, xử lý tất cả dữ liệu nhận được cho đến khi có yêu cầu mới từ người dùng để thay đổi chế độ hoạt động.
- **RXSINGLE:** cung cấp năng lượng cho tất cả các khói cần thiết cho việc nhận, duy trì trạng thái này cho đến khi nhận được gói tin hợp lệ và sau đó trở về chế độ Standby.
- **CAD:** Khi ở chế độ CAD (Channel Activity Detection), thiết bị sẽ kiểm tra một kênh cụ thể để phát hiện tín hiệu LoRa preamble.

#### 3.4.1.4. Tính toán và lựa chọn thông số truyền tin

Các lý thuyết và thông số cần lưu ý đã được nêu tại mục 2.2, dựa trên datasheet do nhà sản xuất cung cấp, em sử dụng và lựa chọn các thông số BW, SF, CR để tính toán được thời gian truyền dữ liệu cụ thể do đây là ba thông số ảnh hưởng tới tốc độ truyền và khoảng cách truyền dữ liệu. Để có thể thực hiện truyền tin giao tiếp giữa hai thiết bị sử dụng công nghệ LoRa, chỉ cần cấu hình các thông số như tốc độ truyền, băng thông,... giống nhau.

LoRa hoạt động với tần số 433MHz tại khu vực châu Á. Công thức tính thời gian truyền một symbol  $T_s$  dựa trên SF và BW:

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW}$$

Với thời gian truyền một symbol, tỉ lệ kí tự truyền trong 1 giây  $R_s$  được tính bằng:

$$R_s = \frac{1}{T_s}$$

Thời gian truyền của preamble được tính bằng:

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4.25) \cdot T_s$$

Trong đó:  $n_{preamble}$ : độ dài của preamble được lập trình

$T_s$ : thời gian truyền một symbol

Thời gian truyền payload là:

$$T_{payload} = n_{payload} \cdot T_s$$

Trong đó:  $n_{payload}$ : độ dài của payload

$T_s$ : thời gian truyền một symbol

Thời gian truyền tin (Time on Air) là khoảng thời gian từ khi dữ liệu được gửi từ bộ phát cho đến khi bộ thu nhận được dữ liệu. Thời gian truyền tin  $T_{ToA}$  được tính bằng tổng của thời gian truyền preamble và payload:

$$T_{ToA} = T_{preamble} + T_{payload}$$

Dựa vào các công thức trên và công thức tính tốc độ truyền bit tại mục 2.2.4, việc lựa chọn ba thông số BW, SF, CR có thể tính được các thông tin cần thiết. Dựa trên ứng dụng của đề tài là giám sát dữ liệu tại trạm quan trắc khí tượng bề mặt, yêu cầu về khoảng cách xa là cần thiết. Khoảng cách truyền tin giữa node cảm biến và gateway càng xa, phạm vi thiết lập vị trí cho các thiết bị càng linh động. Để khoảng cách truyền được xa nhất nhưng thời gian truyền tin không quá lớn, em lựa chọn BW = 250KHz, SF = 11, CR = 1. Để tính toán thời gian truyền, khoảng cách truyền tin và độ nhạy thu (cường độ tín hiệu tối thiểu mà bộ thu có thể nhận được), em sử dụng phần mềm hỗ trợ tính toán LoRa Calculator trên trang web của Semtech. Các thông số thiết lập được thể hiện trên hình 3.53, kết quả tính toán các thông số được thể hiện trên hình 3.54 và 3.55.

The image shows the LoRa Calculator interface with four main configuration panels:

- Device:** Set to SX127X and Shared RFIO.
- RF:** Tx Power: 13 dBm, Receiver Mode: Low Power, PA Boost: Off, Ramp Time: 3400 us, Frequency: 433000000 Hz.
- Modem:** Modulation: LoRa, Spreading Factor: 11, Bandwidth: 250 kHz, Coding Rate: 4/5, Low Data Rate Optimizer: OFF.
- Packet:** Preamble Length: 12 Symbols, Header: Enabled, Payload Length: 22 Bytes, CRC: ON.

Hình 3.53 Thiết lập các thông số trên công cụ

### Timing Results

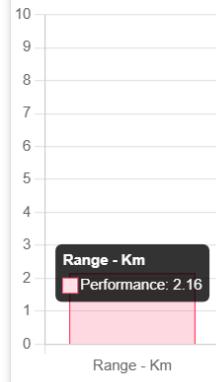
Time on Air: 362.50 ms	Symbol Time: 8.19 ms	Effective Data Rate: 1.0742 kbps
Total Symbol: 44.25 Symbols	Preamble Duration: 98.30 ms	

### RF Performance

Radio Consumption: 5.00 uAh	Link Budget: 141.5 dB	Max Crystal Tolerance: 144.3 ppm
Max Crystal Tolerance: 62500.0 Hz	Receiver Sensitivity: -128.5 dBm	

Hình 3.54 Các thông số đã tính toán

### Performance



Hình 3.55 Khoảng cách truyền tối đa dựa trên tính toán

Với các thông số đã lựa chọn, thời gian truyền tin là 362.5 ms, tốc độ truyền bit đạt 1.07 kbps và độ nhạy thu tối thiểu là -128.5 dBm. Thời gian truyền tin không quá lớn và khoảng cách truyền tin tối đa theo tính toán đạt 2.16 km. Chỉ số preamble có chức năng giúp thiết bị nhận dữ liệu phát hiện ra bản tin đang được gửi tới. Độ dài của preamble cao ứng với độ truyền nhận tốt hơn nên em lựa chọn độ dài cho preamble là 12. Như vậy, các thông số cấu hình của LoRa SX1278 được lựa chọn như sau:

- SF = 11
- BW = 250kHz
- CR = 4/5
- Băng tần = 433MHz
- Công suất phát = 13 dBm
- Độ dài Preamble = 12
- Thời gian truyền tin = 362.5 ms
- Tốc độ truyền = 1.07 kbps

Với thời gian truyền tin một hướng là khoảng 362.5 ms, tức một lần truyền nhận bản tin giữa hai thiết bị vào khoảng 725 ms. Dựa trên thời gian truyền tin và tần suất truyền bản tin có thể tính toán được số lượng thiết bị đo gió tối đa có thể kết nối với thiết

bị thu thập dữ liệu. Giả sử với tốc độ truyền tin là 725ms, tần suất truyền tin là 5 phút/lần, thì số thiết bị đo tối đa có thể kết nối là khoảng 410 thiết bị. Tuy nhiên, trong ứng dụng của trạm quan trắc khí tượng, lượng thiết bị đo gió cần có độ bao phủ lớn trong một khu vực là không quá cần thiết mà chỉ cần thiết lập tại một vài vị trí cụ thể. Vì vậy số lượng thiết bị đo kết nối với gateway sẽ không nhiều. Ngoài ra, có thể chỉnh sửa chu kỳ lấy mẫu của thiết bị để điều chỉnh số lượng thiết bị kết nối tối đa theo mong muốn.

#### 3.4.1.5. Quy định cấu trúc khung bản tin

Trong cấu trúc khung bản tin của LoRa được Semtech đưa ra tại mục 2.2.6, không đề cập đến địa chỉ của các thiết bị đo tham gia vào mạng. Do đó em đã xây dựng các khung bản tin để truyền nhận giữa hai thiết bị. Cấu trúc khung bản tin từ các thiết bị cần thống nhất với nhau. Các thiết bị đo gió hoạt động với 3 chế độ bao gồm chế độ kết nối (Link Mode), chế độ hoạt động bình thường (Normal Mode) và chế độ kết nối lại (Reconnect Mode). Ở Link Mode, thiết bị sẽ gửi bản tin xin gia nhập mạng cho gateway, nếu gateway nhận được sẽ gửi bản tin phản hồi phù hợp, khi đã kết nối, thiết bị đổi sang Normal Mode. Tại Normal Mode, thiết bị gửi bản tin chứa dữ liệu đo theo chu kỳ đặt trước. Khi thiết bị bị ngắt kết nối với gateway, thiết bị ở chế độ Reconnect Mode.

Dựa trên các chế độ hoạt động, có thể chia ra các loại khung bản tin gồm bản tin kết nối, bản tin dữ liệu đo và bản tin phản hồi. Các cấu trúc của bản tin được mô tả trong các hình 3.56, 3.57 và 3.58.

LINK PACKET			
Packet ID 0xBBB	Node ID	Operation Mode	Node Battery

Hình 3.56 Cấu trúc bản tin kết nối

DATA PACKET									
Packet ID 0x4A4A	Node ID	Operation Mode	Node Battery	LM35 Temp	AHT Temp	AHT Humid	Wind Speed	Wind Level	Wind Direction

Hình 3.57 Cấu trúc bản tin dữ liệu đo

RESPONSE PACKET			
Packet ID 0x4444	Node ID	Operation Mode	Node Response

Hình 3.58 Cấu trúc bản tin phản hồi

Mỗi khung bản tin đều có các thông số trạng thái của thiết bị đo để đảm bảo quá trình theo dõi sát sao. Các bản tin gồm nhiều trường dữ liệu, mỗi thông số ứng với mỗi trường sẽ sử dụng 2 bytes. Bản tin kết nối sử dụng để tạo kết nối giữa hai thiết bị, bản

tin dữ liệu sử dụng để truyền dữ liệu trong chế độ Normal mode, bản tin phản hồi được gửi từ gateway tới node nhằm xác định chế độ hoạt động tiếp theo và xác nhận gói tin cũng như trạng thái phản hồi. Mỗi thiết bị khi nhận gói tin cần phân tích để có thể lấy được dữ liệu chính xác.

#### *3.4.1.6. Quy định tránh chéo bản tin*

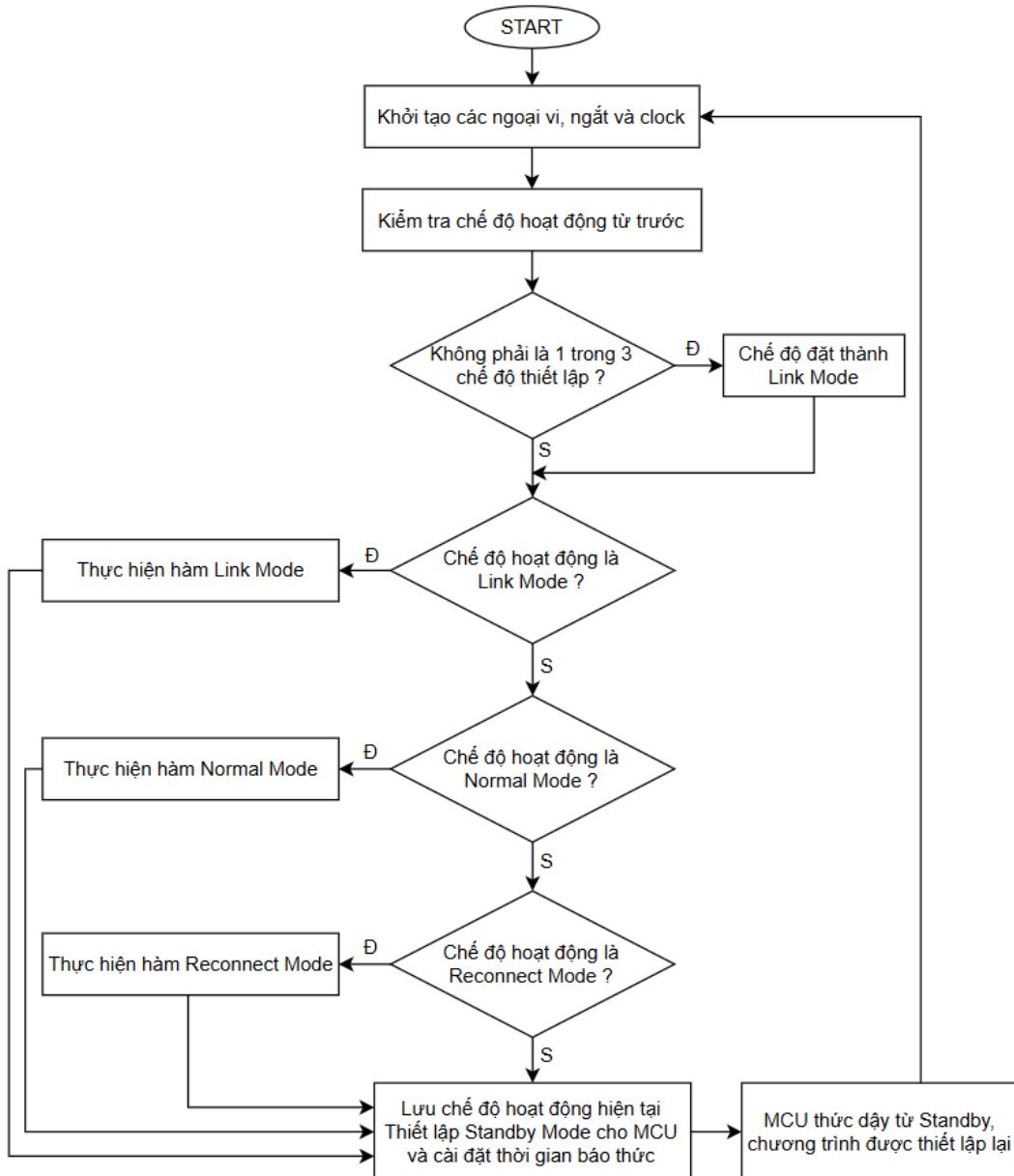
Trong quá trình hoạt động của mạng cảm biến, không thể tránh khỏi việc các bản tin từ các thiết bị đo gió được gửi đồng thời tới gateway. Để giải quyết vấn đề này, cần có một cơ chế hoạt động để xử lý.

Chip SX1278 có bao gồm chế độ CAD (Chanel Activity Detection) là một tính năng cho phép thiết bị kiểm tra xem kênh truyền thông có đang bận hay không trước khi truyền dữ liệu. Chế độ này giúp giảm thiểu nhiễu và tránh xung đột giữa các thiết bị khi gửi dữ liệu trong cùng một tần số. Trước khi thiết bị đo gửi dữ liệu cho gateway, nó sử dụng chế độ CAD để kiểm tra xem kênh nhận có rảnh để nhận bản tin không, nếu không, thiết bị đo sẽ chờ một khoảng thời gian nhất định.

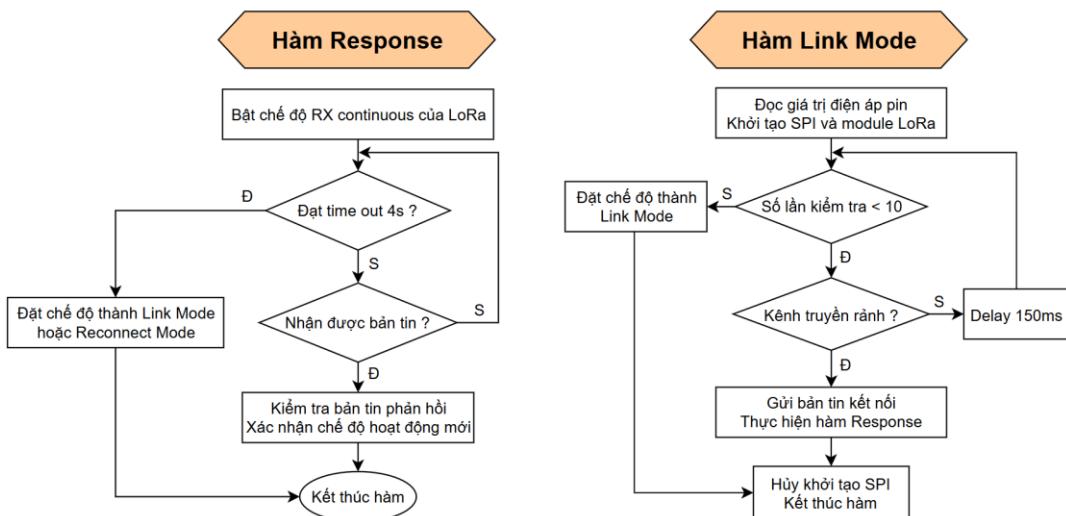
### **3.4.2 Thiết kế chương trình phần mềm cho thiết bị đo gió**

#### *3.4.2.1. Lưu đồ thuật toán của chương trình*

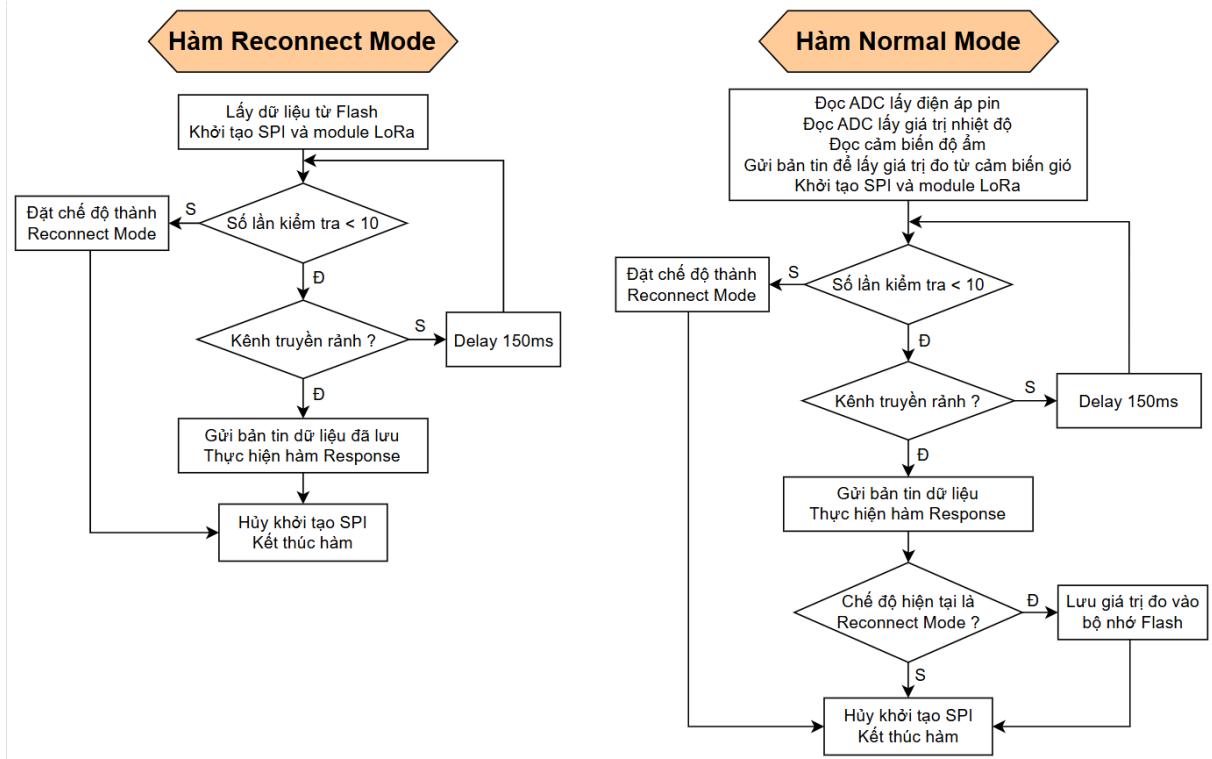
Chương trình phần mềm chính của thiết bị đo gió được thể hiện tổng quát tại hình 3.59. Ngoài ra, các lưu đồ thuật toán của các hàm Response, hàm Link Mode, hàm Normal Mode, hàm Reconnect Mode được thể hiện trên các hình 3.60, 3.61 và 3.62.



Hình 3.59 Lưu đồ thuật toán của chương trình chính



Hình 3.60 Lưu đồ thuật toán hàm Response và Link Mode



Hình 3.61 Lưu đồ thuật toán hàm Reconnect Mode và Normal Mode

Cách hoạt động của từng lưu đồ có thể được mô tả như sau:

- Lưu đồ thuật toán của chương trình chính:** Khi chương trình bắt đầu, thực hiện khởi tạo các ngoại vi sử dụng, cấu hình clock 8MHz để tiết kiệm năng lượng nhất, bật ngắt nhận của UART để lấy dữ liệu cảm biến gió, cấu hình RTC. Sau đó chương trình thực hiện lấy chế độ hoạt động đã lưu tại thanh ghi BKP\_DR (Backup data register), đây là thanh ghi không bị reset bởi hệ thống, nguồn cung cấp hay khi MCU thức dậy từ Standby Mode. Nếu chế độ hoạt động không phải là Link Mode, Normal Mode hay Reconnect Mode thì đặt chế độ hoạt động thành Link Mode. Tiếp theo, nếu chế độ hiện tại là Link Mode, thực hiện hàm Link Mode để kết nối với gateway, nếu chế độ hiện tại là Normal Mode thì thực hiện hàm Normal Mode để gửi dữ liệu đo tới gateway, nếu chế độ hiện tại là Reconnect Mode thì thực hiện hàm Reconnect Mode để gửi dữ liệu đã đo trước đó và thiết lập lại kết nối với gateway. Sau quá trình truyền bản tin, chế độ hoạt động hiện tại được lưu vào thanh ghi BKP\_DR. Vì điều khiển thiết lập thời gian báo thức ứng với chế độ hoạt động hiện tại, nếu là Link Mode, thời gian được đặt là 1 phút, chế độ Normal Mode được đặt là 5 phút và chế độ Reconnect Mode được đặt là 20 giây. Cuối cùng, vi điều khiển cấu hình và đi vào Standby Mode, đây là chế độ tiết kiệm năng lượng nhất của STM32F1. Sau khoảng thời gian đã đặt trước, vi điều khiển thức dậy và thiết lập lại chương trình từ đầu.

- **Hàm Response:** Thực hiện bật chế độ nhận của SX1278, đi vào vòng lặp với time out là 4s, nếu nhận được bản tin, chương trình xử lý bản tin phản hồi và thiết lập lại chế độ hoạt động nếu thay đổi và kết thúc. Nếu quá time out, thay đổi chế độ hoạt động mới là Link Mode nếu chế độ hoạt động hiện tại là Link Mode, chế độ mới là Reconnect Mode nếu chế độ hiện tại là Normal Mode hoặc Reconnect Mode.
- **Hàm Link Mode:** hàm thực hiện kết nối với gateway. Tiến hành đo giá trị điện áp pin, khởi tạo SPI và module LoRa, kiểm tra đường truyền xem có bận không, nếu không sẽ gửi bản tin kết nối tới gateway và thực hiện hàm Response. Nếu có, thiết bị chờ trong một khoảng thời gian, nếu sau 10 lần kiểm tra vẫn chưa truyền được bản tin, đặt chế độ hoạt động thành Link Mode.
- **Hàm Normal Mode:** hàm này được thực hiện khi thiết bị nhận được phản hồi và thay đổi chế độ thành Normal Mode. Trước khi tiến hành lấy giá trị đo từ cảm biến gió, thực hiện cấp nguồn cho cảm biến gió trong 3.5s, lấy giá trị đo từ toàn bộ cảm biến sau đó ngừng cấp nguồn cho cảm biến gió. Tiếp theo, khởi tạo SPI và module LoRa, kiểm tra kênh truyền tương tự hàm Link Mode, truyền bản tin dữ liệu nếu kênh truyền rảnh và nhận phản hồi bằng hàm Response. Chế độ đặt thành Reconnect Mode nếu không thể truyền bản tin. Nếu chế độ là Reconnect Mode, lưu giá trị đã đo vào bộ nhớ Flash.
- **Hàm Reconnect Mode:** hàm này được thực hiện khi thiết bị đo không nhận được phản hồi từ gateway ở chế độ Normal Mode. Chương trình thực hiện lấy dữ liệu đã lưu từ bộ nhớ Flash, kiểm tra kênh truyền, nếu trống thì thiết bị đo gửi bản tin dữ liệu, nhận phản hồi từ gateway bằng hàm Response. Nếu không thể truyền bản tin, chế độ hoạt động đặt thành Reconnect Mode.

#### 3.4.2.2. Thiết kế bản tin dữ liệu cảm biến gió

Để thực hiện lấy giá trị đo từ cảm biến gió, vi điều khiển cần thực hiện giao tiếp UART với bộ chuyển đổi RS485 sử dụng IC MAX485. Dựa trên tài liệu datasheet của cảm biến đo tốc độ và cảm biến hướng gió, để lấy giá trị đo từ cảm biến, cần thiết kế bản tin theo chuẩn RS485. Ở thông số mặc định, cả cảm biến tốc độ và cảm biến hướng gió đều có địa chỉ là 0x01, mã chức năng 0x03, tốc độ truyền 4800. Tuy nhiên, do cả hai cảm biến đều có địa chỉ mặc định là 0x01 nên để sử dụng được hai cảm biến chung một bus dữ liệu, em sử dụng bản tin sửa đổi địa chỉ của thiết bị đo hướng gió, khung bản tin được thể hiện trên hình 3.62.

Địa chỉ gốc	Mã chức năng	Địa chỉ thanh ghi bắt đầu cao	Địa chỉ thanh ghi bắt đầu thấp	Địa chỉ mới cao	Địa chỉ mới thấp	CRC thấp	CRC cao
0x01	0x06	0x07	0xD0	0x00	0x02	0x08	0x86

Hình 3.62 Khung bản tin thay đổi địa chỉ cảm biến

Sau khi sửa đổi địa chỉ của một trong hai cảm biến, để truy vấn dữ liệu cảm biến, cần sử dụng khung bản tin gồm địa chỉ thanh ghi, mã chức năng 0x03, địa chỉ thanh ghi bắt đầu 0x0000, do số dữ liệu cần đọc ở các cảm biến đều là 2 (cảm biến tốc độ gió truy vấn tốc độ và cấp độ gió, cảm biến hướng gió truy vấn hướng gió và góc của hướng gió) nên trường độ dài đều là 0x0002 và cuối cùng là trường CRC được tính toán để kiểm thử và dò lỗi. Khung bản tin truy vấn được thể hiện trên hình 3.63.

Địa chỉ	Mã chức năng	Địa chỉ thanh ghi bắt đầu cao	Địa chỉ thanh ghi bắt đầu thấp	Số thanh ghi cao	Số thanh ghi thấp	CRC thấp	CRC cao
0x01 hoặc 0x02 tùy cảm biến	0x03	0x00	0x00	0x00	0x02	0xC4	0x0B

Hình 3.63 Khung bản tin truy vấn dữ liệu cảm biến

Kết quả truy vấn dữ liệu được thể hiện trên hình 3.64 và 3.65.

Địa chỉ	Mã chức năng	Độ dài dữ liệu	Thanh ghi dữ liệu 0 cao	Thanh ghi dữ liệu 0 thấp	Thanh ghi dữ liệu 1 cao	Thanh ghi dữ liệu 1 thấp	CRC thấp	CRC cao
0x01	0x03	0x04	0x00	0x24	0x00	0x03	0xFA	0x39
			Tốc độ: 3.6 m/s			Cấp độ: 3		

Hình 3.64 Bản tin trả về của cảm biến tốc độ gió

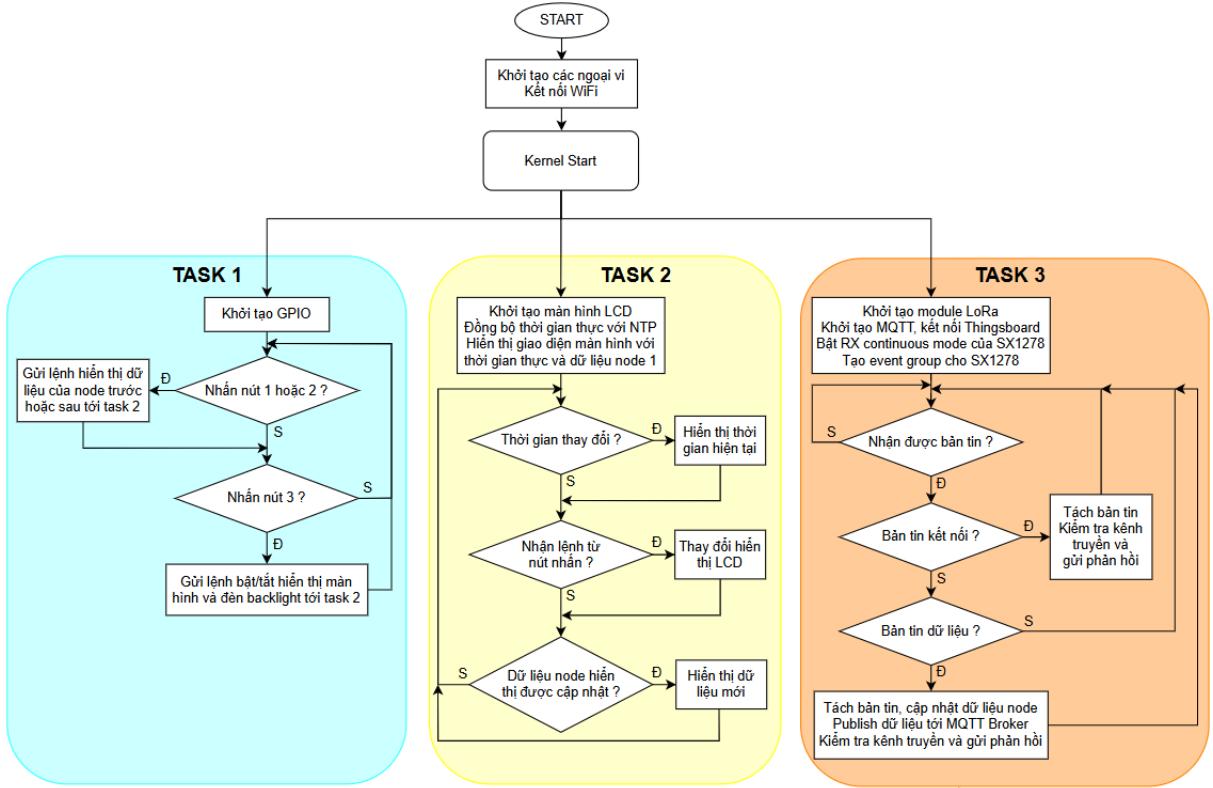
Địa chỉ	Mã chức năng	Độ dài dữ liệu	Hướng gió cao	Hướng gió thấp	Góc hướng gió cao	Góc hướng gió thấp	CRC thấp	CRC cao
0x02	0x03	0x04	0x00	0x02	0x03	0x84	0x2F	0xE6
			Hướng: Đông			Góc hướng gió: 90		

Hình 3.65 Bản tin trả về của cảm biến đo hướng gió

Dựa trên các khung bản tin, có thể phân tích dữ liệu đã truy vấn để lấy được các giá trị đo mong muốn.

### 3.4.3 Thiết kế chương trình phần mềm cho gateway

Chương trình phần mềm của thiết bị gateway được mô tả trong lưu đồ thuật toán tại hình 3.66.



Hình 3.66 Luồng hoạt động của chương trình gateway

Phần mềm được lập trình để hoạt động với hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS. Khi bắt đầu, chương trình thực hiện khởi tạo các ngoại vi cần thiết, tiến hành kết nối WiFi trước khi thực hiện triển khai các task với hệ điều hành FreeRTOS. Chương trình chia làm 3 task đặt là task 1, task 2, task 3. Các task có mức ưu tiên tăng dần theo số thứ tự, task 3 có mức ưu tiên cao nhất và task 1 có mức ưu tiên thấp nhất.

Mô tả hoạt động các task trong lưu đồ thuật toán:

- **Task 1:** task có mức ưu tiên thấp nhất. Task có chức năng xử lý trạng thái của các nút nhấn, với mỗi nút nhấn sẽ gửi một cờ báo trạng thái để các task 2 thực hiện lệnh điều khiển hiển thị của màn hình LCD.
- **Task 2:** task có mức ưu tiên cao hơn task 1. Tại đây, chương trình thực hiện khởi tạo màn hình LCD, lấy thời gian thực cho thiết bị với NTP server (Network Time Protocol server), đây là một giao thức đồng bộ đồng hồ của hệ thống máy tính thông qua mạng dữ liệu với độ chính xác cao. Sau đó thực hiện hiển thị giao diện màn hình LCD với mặc định là dữ liệu của node 1. Sau đó chương trình kiểm tra và thực hiện các thao tác xử lí, thay đổi hiển thị, cập nhật dữ liệu cho màn hình.
- **Task 3:** task có mức ưu tiên cao nhất. Task có nhiệm vụ thực hiện các xử lý truyền nhận bản tin giữa gateway với node cảm biến và gửi dữ liệu đo tới Thingsboard server qua giao thức MQTT. Chương trình thực hiện khởi tạo giao tiếp với LoRa và giao thức MQTT, cấu hình ngắt với chân ngắt ngoài từ module

LoRa. Khi cờ trạng thái ngắt hoạt động, thiết bị gateway nhận được bản tin truyền tới, kiểm tra và phân tích bản tin. Nếu bản tin là bản tin kết nối, thực hiện gửi phản hồi chấp nhận kết nối nếu đó là một thiết bị node cảm biến. Nếu bản tin là bản tin dữ liệu, tiến hành tách bản tin, cập nhật dữ liệu và bật cờ trạng thái thay đổi hiển thị màn hình, publish dữ liệu mới tới Thingsboard để cập nhật hiển thị, gửi phản hồi tới node đã gửi bản tin. Sau đó, chương trình tiếp tục đợi các bản tin tiếp theo và xử lý tương tự.

Quá trình xử lí bản tin dựa trên các khung bản tin đã được đề cập tại mục 3.4.1, các thao tác xử lí và tương tác với nhau của các task được thực hiện qua các cờ báo trạng thái, tạo ra các chức năng của thiết bị thu thập dữ liệu.

### 3.5 Kết luận chương 3

Chương 3 đã thực hiện phân tích vấn đề để đưa ra giải pháp tốt nhất cho hệ thống, các yêu cầu cần thực hiện để tiến hành triển khai chi tiết cho hệ thống, mô tả cụ thể về thiết kế mạch điện cho thiết bị node cảm biến và thiết bị gateway, hoàn thành sản phẩm phần cứng. Ngoài ra, em cũng đã tiến hành thiết kế chương trình phần mềm cho thiết bị node cảm biến và thiết bị gateway, thiết kế chương trình gateway gửi dữ liệu tới Thingsboard server bằng giao thức MQTT.

Chương tiếp theo trình bày kết quả hoàn thiện sản phẩm, xây dựng kịch bản, tiến hành thử nghiệm, đưa ra các đánh giá khi vận hành trong các điều kiện thực tế.

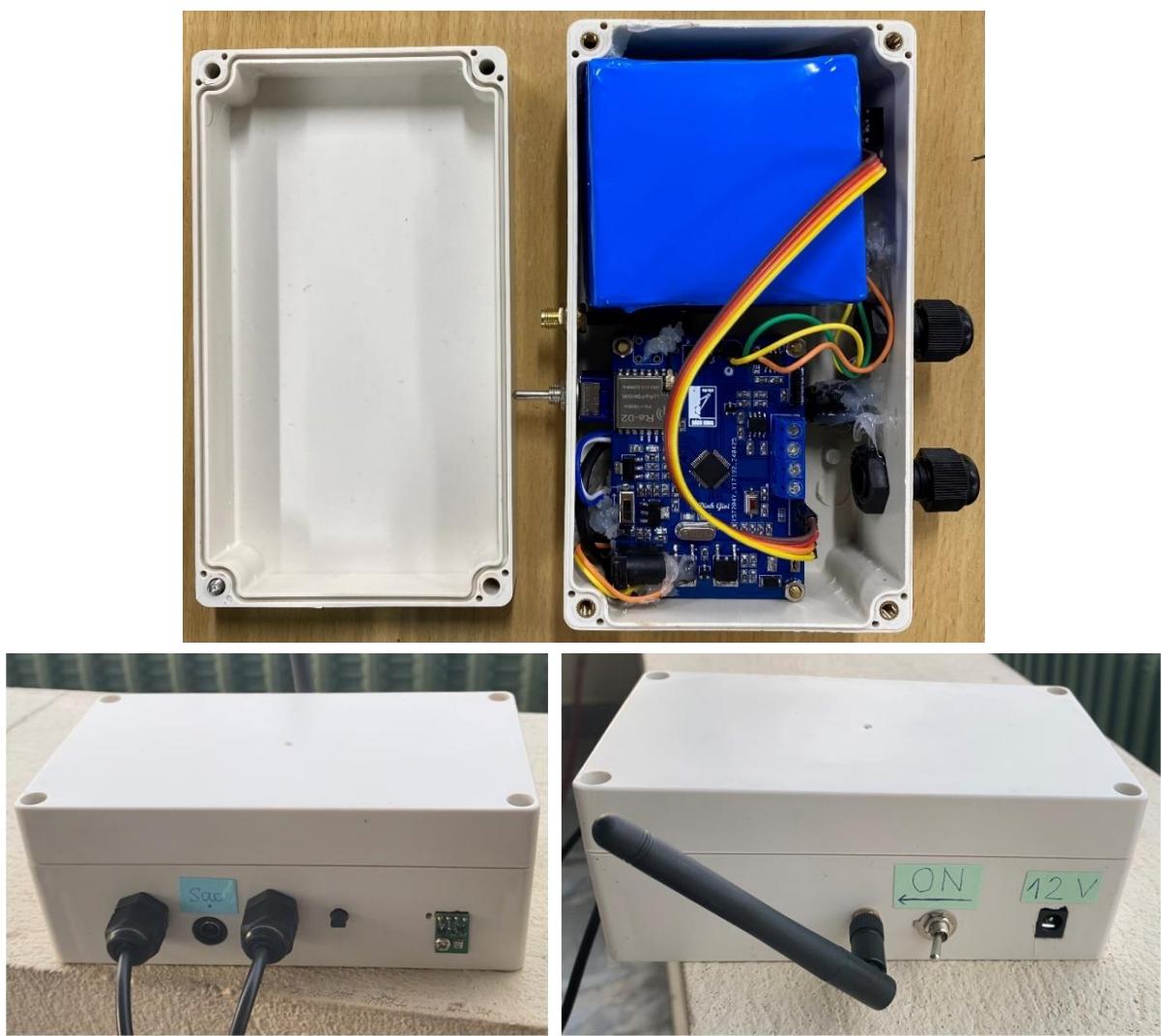
## CHƯƠNG 4. HOÀN THIỆN SẢN PHẨM, THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

### 4.1 Kết quả thiết kế phần cứng

#### 4.1.1 Sản phẩm thiết bị đo gió hoàn thiện

Sản phẩm hoàn thiện của thiết bị đo gió có kích thước vừa phải, thuận tiện cho việc lắp đặt. Các vị trí công tắc, jack cắm nguồn, cổng đầu vào cảm biến được đặt tại các vị trí có thể dễ dàng kết nối, pin và mạch điện được bố trí phù hợp với kích thước hộp lụa chọn. Các cảm biến nhiệt độ và độ ẩm không khí được đặt bên ngoài vỏ thiết bị, tiếp xúc trực tiếp với môi trường bên ngoài.

Tuy khả năng chống nước chưa được tốt, cần có biện pháp che chắn các cổng kết nối adapter ngoài và cổng sạc của pin khi không sử dụng khi lắp đặt thiết bị tại các vị trí ngoài trời. Nhưng do thiết bị đo sử dụng cảm biến gió đầu ra RS485 có thể linh hoạt về chiều dài dây kết nối nên không bắt buộc thiết bị cần lắp đặt ngoài trời như cảm biến gió. Sản phẩm hoàn thiện của node cảm biến được thể hiện tại hình 4.1 và hình 4.2.



Hình 4.1 Thiết bị đo gió hoàn thiện



Hình 4.2 Thiết bị node cảm biến

#### 4.1.2 Thiết bị gateway hoàn thiện

Sản phẩm gateway có kích thước nhỏ gọn, thuận tiện để sắp xếp vị trí. Màn hình hiển thị rõ nét các thông số. Hộp nhựa đảm bảo cố định các thành phần bên trong, các nút bấm và anten được bố trí tại các vị trí hợp lí, có thể đặt nằm hoặc dựng đứng khi sử dụng. Sản phẩm hoàn thiện được thể hiện tại hình 4.3.



Hình 4.3 Thiết bị gateway hoàn chỉnh

### 4.2 Xây dựng kịch bản thử nghiệm

#### 4.2.1 Kiểm tra nguồn cung cấp cho các thành phần và khôi phục nguồn

Để đảm bảo thiết bị hoạt động an toàn, chính xác và bền bỉ, cần tiến hành kiểm tra và đánh giá nguồn cung cấp cho các thiết bị. Quá trình đánh giá này sẽ bao gồm việc đo thông số điện áp của các thành phần liên quan.

Đối với node cảm biến, cần kiểm tra thông số điện áp pin cung cấp, điện áp phản hồi được đưa vào vi điều khiển, điện áp của đường 3.3V và 5V. Ngoài ra, cần thử nghiệm chức năng chuyển nguồn cung cấp từ pin sang adapter khi thiết bị được cấp nguồn bằng adapter 12V và pin trở thành nguồn dự phòng.

Đối với gateway, cần kiểm tra điện áp đầu vào sử dụng từ nguồn USB và điện áp tại các đường 3.3V.

#### 4.2.2 Kịch bản kiểm tra node cảm biến

Với thiết bị đo gió, cần kiểm tra quá trình hoạt động của thiết bị và năng lượng tiêu thụ của thiết bị. Bằng cách thử nghiệm vận hành của thiết bị, có thể đưa ra các nhận xét về mức tiêu hao năng lượng và thời gian hoạt động của thiết bị trong thực tế.

#### 4.2.3 Kịch bản kiểm tra chức năng gateway và dữ liệu hiển thị tại server

Đối với thử nghiệm thiết bị gateway, cần kiểm tra các chức năng theo yêu cầu đã đặt ra. Các tính năng đó bao gồm:

- Giao diện màn hình hiển thị dữ liệu các node
- Thời gian thực hiển thị tại màn hình
- Các thao tác nút bấm thay đổi hiển thị màn hình
- Quá trình kết nối WiFi
- Kết nối và gửi dữ liệu tới Thingsboard với giao thức MQTT

Ngoài ra, cần kiểm tra tính toàn vẹn của dữ liệu hiển thị tại Thingsboard, đảm bảo dữ liệu được hiển thị với thời gian thực, phân biệt các ngưỡng tốc độ gió cũng như cấp độ gió.

#### 4.2.4 Kiểm tra độ chính xác của các cảm biến

Một thiết bị cần được hiệu chỉnh và đảm bảo độ chính xác với các điều kiện môi trường được kiểm soát trước khi tiến hành thực nghiệm thực tế. Để kiểm tra, cần sử dụng các thiết bị hoặc dụng cụ đo đáng tin cậy để đánh giá các thông số.

Sau khi điều chỉnh để hoạt động ổn định, cảm biến được tiến hành thử nghiệm tại môi trường thực tế sát với môi trường quan trắc nhất. Các thông số đều có thể thử nghiệm và cho kết quả kiểm tra nhanh chóng.

Quá trình thử nghiệm gồm các nội dung:

- Tiến hành thử nghiệm tại nơi có độ cao nhất định để đón gió, không có vật cản, lưu lượng gió thổi đều, khu vực dân cư thưa thớt.
- Thiết bị tiến hành đo các thông số và truyền dữ liệu về thiết bị thu thập dữ liệu, hiển thị tại màn hình và server.
- So sánh kết quả thu được với kết quả đo của các thiết bị đo cầm tay trong nhiều phép đo khác nhau.
- Tính toán sai số, đưa ra đánh giá sai số về độ chính xác và tin cậy của thiết bị.

#### 4.2.5 Kịch bản thử nghiệm khoảng cách truyền tin tối đa

Khi thử nghiệm khoảng cách truyền tin, cần vận hành thiết bị trong các môi trường khác nhau. Cần theo dõi thiết bị truyền tin khi di chuyển node cảm biến và gateway ra xa nhau cho tới khi gateway không nhận được bản tin. Em tiến hành thử nghiệm kiểm tra khoảng cách truyền tin trong hai trường hợp tại khu vực đông đúc và khu vực ít vật cản. Node cảm biến được đặt tại vị trí cao từ 10m – 12m, khoảng cách xa nhất sẽ được kiểm tra tại khu vực có ít vật cản, đây cũng là môi trường vận hành sát với môi trường thực tế của trạm quan trắc khí tượng bề mặt.

#### 4.2.6 Kiểm tra hoạt động của hệ thống mạng cảm biến

Kiểm tra vận hành của mạng cũng là một yếu tố quan trọng, cụ thể cần kiểm tra các quá trình sau:

- Quá trình các node kết nối vào mạng
- Quá trình gửi bản tin dữ liệu từ node cảm biến tới gateway

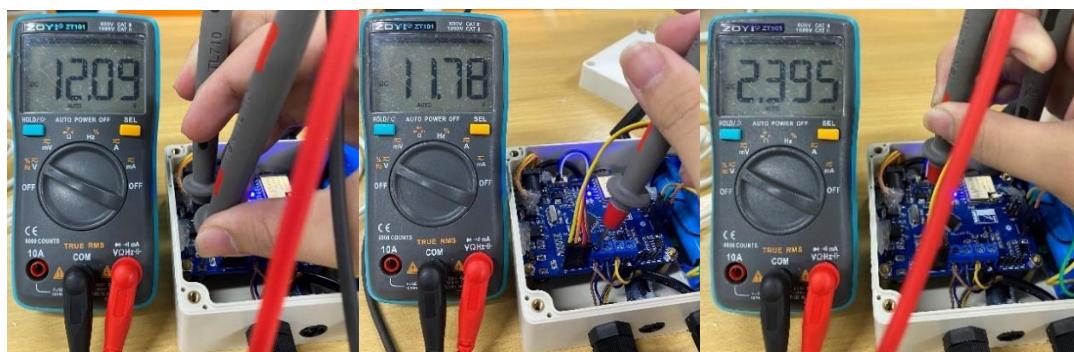
### 4.3 Tiến hành thử nghiệm và kết quả

#### 4.3.1 Kết quả kiểm tra nguồn cung cấp và khôi chuyển nguồn

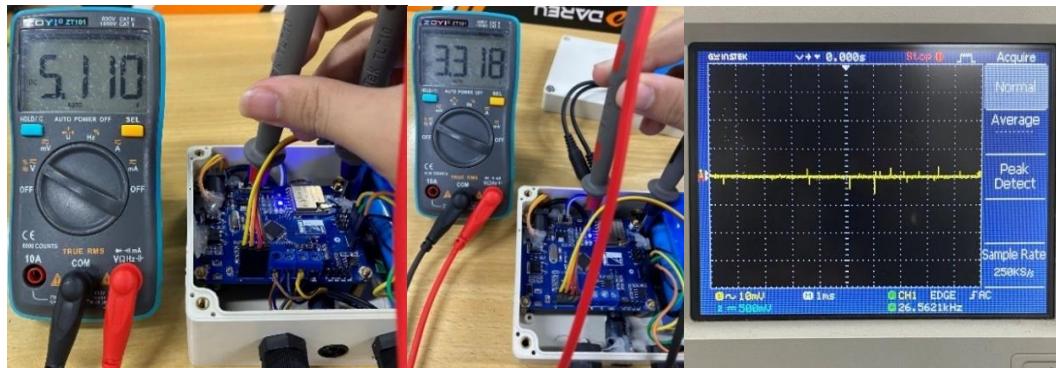
Khi tiến hành kiểm tra nguồn cung cấp, em sử dụng đồng hồ đo đa năng, lựa chọn dải đo và độ phân giải phù hợp để kiểm tra điện áp của các thành phần.

Với thiết bị node cảm biến tại điện áp pin cấp có giá trị 12.09V, thứ tự các điện áp đo được mô tả lần lượt tại hình 4.4 và 4.5:

- Điện áp cấp cho cảm biến gió: 11.78V
- Điện áp phản hồi đưa vào vi điều khiển: 2.395V
- Điện áp đường 5V: 5.11V
- Điện áp đường 3.3V: 3.318V với độ đập mạch điện áp khoảng 0.01V, tương đương 0.3%

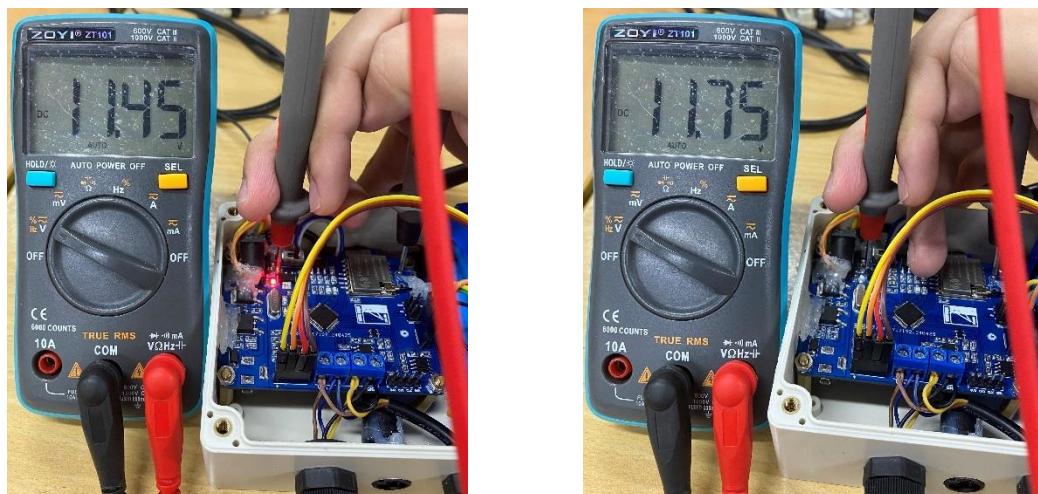


Hình 4.4 Giá trị điện áp pin, cảm biến gió và điện áp phản hồi



Hình 4.5 Giá trị điện áp đường 5V và đường 3.3V tại node cảm biến

Để thử nghiệm chức năng chuyển nguồn, em kiểm tra điện áp cung cấp tại đầu vào khối ổn áp trong trường hợp có cấp nguồn adapter 12V và không có nguồn adapter 12V (sử dụng pin). Quá trình kiểm tra được mô tả tại hình 4.6.



a) Có cấp nguồn adapter

b) Không cấp nguồn adapter

Hình 4.6 Kiểm tra mạch chuyển nguồn

Điện áp đầu vào ổn áp khi cấp nguồn adapter 12V là 11.45 do nguồn cấp đã được đưa qua hai diode schottky được sử dụng để chống dòng ngược, điện áp pin được đưa qua 1 diode.

Đối với gateway, điện áp cấp USB đo được là 5.05V và điện áp đường 3.3V là 3.31V, được thể hiện trong hình 4.7.



Hình 4.7 Các giá trị điện áp đo tại gateway

Như vậy, tất cả các giá trị điện áp đo được đều phù hợp với dải điện áp hoạt động của từng thành phần trong mạch điện. Các điện áp từ nguồn cấp đã đạt yêu cầu như đã lựa chọn, giúp các thiết bị đo có thể hoạt động lâu dài mà vẫn đảm bảo ổn định.

#### 4.3.2 Kết quả kiểm tra node cảm biến

Khi thực hiện thử nghiệm node cảm biến, cần kiểm tra năng lượng tiêu thụ dựa trên các thiết bị sẵn có, đưa ra thời gian hoạt động thực tế với việc sử dụng pin.

Thiết bị được bắt đầu kiểm tra khi đã khởi tạo, gửi bản tin kết nối tới gateway và ở chế độ Normal Mode. Tại đây, chương trình chuẩn bị bản tin dữ liệu, kiểm tra kênh truyền trống, gửi bản tin tới gateway và đi vào Standby mode (chế độ ngủ sâu) tiết kiệm năng lượng. Bằng các tính năng debug và các led trên mạch điện, em tính toán được thời gian hoạt động từ khi node cảm biến thức dậy cho tới khi ngủ sâu là khoảng 5 giây trong trường hợp node nhận được bản tin phản hồi từ gateway ngay lập tức. Nếu không nhận được bản tin phản hồi, khoảng thời gian hoạt động này sẽ lên tới 8.5 giây như tính toán tại bảng 3.8.

Khi kiểm tra tiêu thụ năng lượng, với lượng thời gian hạn chế nên em không thể thử nghiệm trong thời gian dài. Vì vậy, em thực hiện vận hành thiết bị hoạt động liên tục trong 2 ngày và tính toán thời gian hoạt động của thiết bị. Dựa trên độ chênh lệch điện áp, em tính toán thời gian hoạt động thực tế đạt khoảng 14 ngày với dung lượng pin 3000mAh.

#### 4.3.3 Kết quả kiểm tra gateway

Tiếp theo là các kết quả kiểm tra sau khi thử nghiệm các tính năng của gateway. Đầu tiên, khi thiết bị khởi động, nó thực hiện kết nối WiFi, lấy thời gian thực và khởi tạo giao diện màn hình, quá trình diễn ra trong vài giây. Trong quá trình vận hành, nếu mất kết nối WiFi, thiết bị sẽ tự động kết nối lại. Quá trình kết nối WiFi được thể hiện tại hình 4.8 và 4.9.

```

I (910) wifi_init: WiFi IRAM OP enabled
I (910) wifi_init: WiFi RX IRAM OP enabled
I (920) phy_init: phy_version 4771,450c73b,Aug 16 2023,11:03:10
I (990) wifi:mode : sta (08:b6:1f:b8:60:18)
I (990) wifi:enable tsf
I (1000) WIFI STATION: WiFi start connect to AP
I (1010) wifi:new:<6,0>, old:<1,0>, ap:<255,255>, sta:<6,0>, prof:1
I (1010) wifi:state: init -> auth (0)
I (1020) wifi:state: auth -> assoc (0)
I (1030) wifi:state: assoc -> run (10)
I (1040) wifi:connected with Laptop, aid = 10, channel 6, BW20, bssid = 1a:26:49:9e:a2:cd
I (1040) wifi:security: WPA2-PSK, phy: bgn, rssi: -40
I (1050) wifi:pm start, type: 1

I (1050) wifi:AP's beacon interval = 102400 us, DTIM period = 3
I (1060) WIFI STATION: Wifi connected
I (2060) esp_netif_handlers: sta ip: 192.168.137.57, mask: 255.255.255.0, gw: 192.168.137.1
I (2060) WIFI STATION: got ip:192.168.137.57

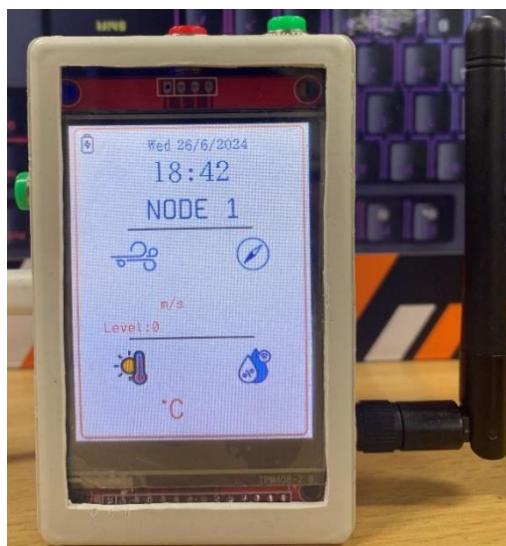
```

Hình 4.8 Gateway kết nối WiFi thành công



Hình 4.9 Giao diện màn hình khi kết nối WiFi và lấy thời gian thực

Giao diện màn hình được hiển thị rõ nét với các thông số điện áp pin, nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió, cấp độ gió và hướng gió của một node cảm biến. Mặc định giao diện hiển thị là thông số của node cảm biến 1, thời gian hiển thị tại màn hình là thời gian thực nếu trước đó WiFi được kết nối thành công. Giao diện màn hình hiển thị cùng thời gian thực được mô tả tại hình 4.10.



Hình 4.10 Giao diện màn hình mặc định ban đầu

Để thay đổi hiển thị dữ liệu của các node cảm biến khác, em sử dụng nút nhấn nhả màu xanh. Khi nhấn nút, dữ liệu của node tiếp theo (node cảm biến 2) sẽ hiển thị. Khi tiếp tục nhấn nút sẽ hiển thị dữ liệu node 3 và lần nhấn tiếp theo sẽ hiển thị dữ liệu node 1 do hiện tại em thực hiện lập trình hiển thị với 3 node cảm biến, số node hiển thị có thể thay đổi tùy vào nhu cầu sử dụng. Tương tự với nút nhấn màu xanh còn lại, nhưng nút nhấn này sẽ hiển thị dữ liệu node cảm biến phía trước. Nút nhấn màu đỏ có tác dụng tắt đèn backlight và tắt hiển thị khi không có nhu cầu theo dõi màn hình. Giao diện hiển thị thông số từng node cảm biến được thể hiện trên hình 4.11.

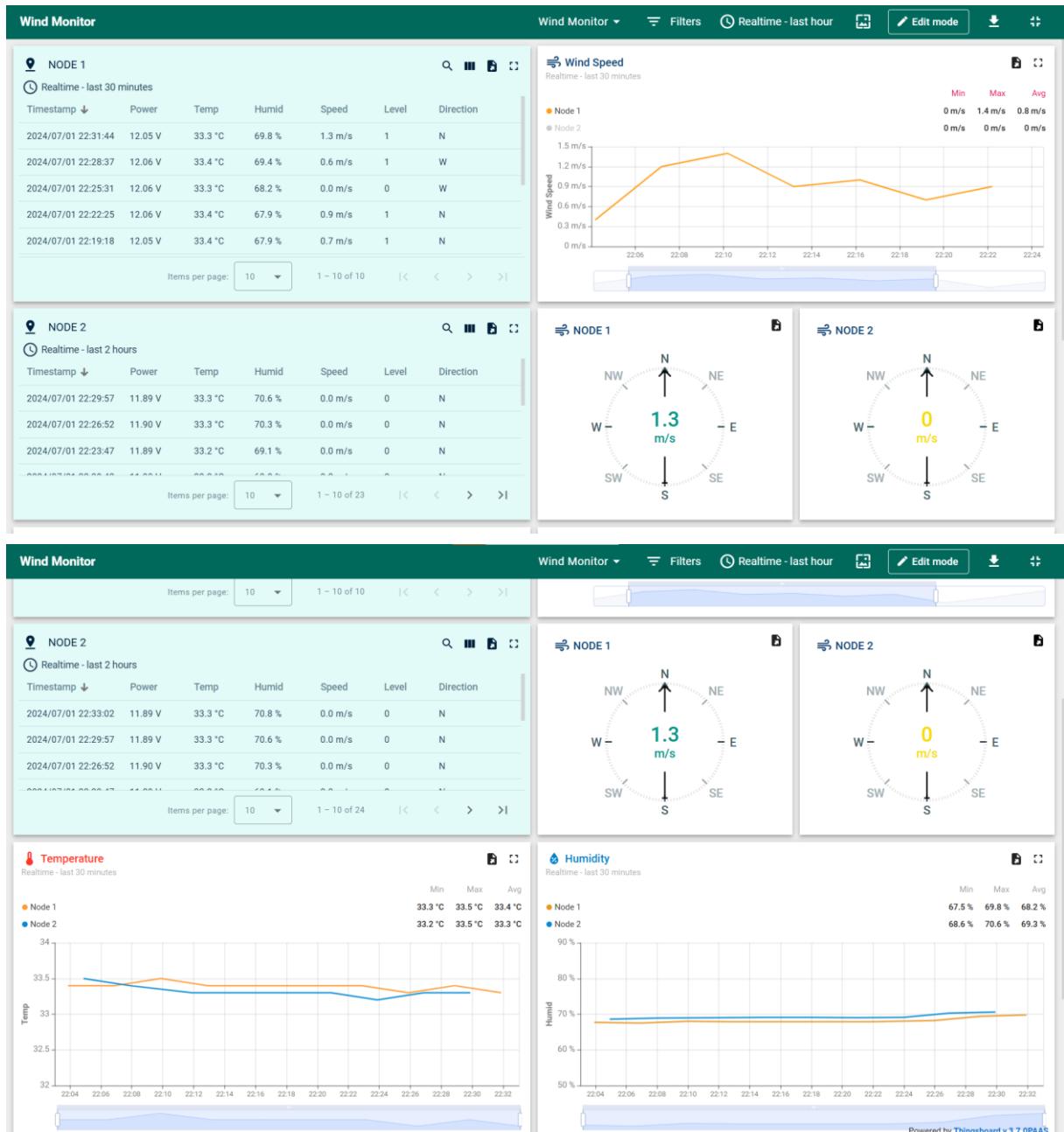


Hình 4.11 Màn hình hiển thị dữ liệu các node cảm biến

Khi thiết bị có kết nối WiFi, chương trình thực hiện kết nối với Thingsboard Server bằng giao thức MQTT, quá trình này diễn ra nhanh chóng và được thể hiện tại hình 4.12. Sau khi kết nối thành công, các bản tin dữ liệu được gateway gửi tới Server theo định dạng .json theo chu kỳ, hiển thị tại giao diện Dashboard của Thingsboard với thời gian thực. Tại widget mô tả hướng gió và tốc độ gió, cấp độ gió ứng với một màu sắc biểu thị của tốc độ gió. Mô tả giao diện server được thể hiện tại hình 4.13.

```
I (3139) wifi:<ba-add>idx:0 (ifx:0, 1a:26:49:9e:a2:cd), tid:0, ssn:7, winSize:64
I (7969) PNGTest: elapsed time[ms]:3730
I (7969) MQTT: MQTT init
I (7969) MQTT: Other event id:7
I (8689) wifi:<ba-add>idx:1 (ifx:0, 1a:26:49:9e:a2:cd), tid:1, ssn:1, winSize:64
I (9309) MQTT: MQTT event connected
I (9909) MQTT: MQTT event subscribed, msg_id=11305
I (10529) MQTT: MQTT event subscribed, msg_id=14373
```

Hình 4.12 Kết nối với Thingsboard bằng MQTT



Hình 4.13 Giao diện hiển thị tại Thingsboard

Hiện tại em thực hiện thử nghiệm với 2 node, tuy nhiên node cảm biến thứ 2 không được kết nối cảm biến đo tốc độ và hướng gió, vì vậy chỉ có các thông số nhiệt độ và độ ẩm được hiển thị. Node cảm biến 1 được hiển thị đầy đủ các thông số đo. Các dữ liệu đều được hiển thị với thời gian thực ngay khi gateway truyền tới. Tại mỗi widget trên giao diện Thingsboard, có thể xuất thông tin dạng excel để phân tích và theo dõi.

Dựa trên các kết quả kiểm tra, có thể thấy rằng gateway đã hoạt động đúng với mô tả chương trình, đạt được các yêu cầu đặt ra với giao diện thuận tiện, dễ sử dụng, thực hiện đầy đủ các thông số lên Thingsboard Server, hỗ trợ trong giám sát và đưa ra các đánh giá phù hợp.

#### 4.3.4 Kết quả kiểm tra độ chính xác các cảm biến

Khi kiểm tra độ chính xác cảm biến, em sử dụng các dụng cụ đo cầm tay để kiểm tra sai số trong môi trường giống với thực tế nhất.

##### ➤ Đánh giá độ chính xác của tốc độ gió và hướng gió

Để hiệu chỉnh cảm biến tốc độ gió, em thực hiện tạo môi trường gió có kiểm soát với tốc độ gió thổi đều bằng quạt điện có thể điều chỉnh tốc độ gió theo ý muốn. Sau đó em sử dụng máy đo tốc độ gió HT-81 để kiểm tra tốc độ gió ở các mức độ gió khác nhau. Một số thông số kỹ thuật của máy đo:

- Độ phân giải:
  - Đo gió: 1 ft/min, 0.01 m/s, 0.1 km/s
  - Đo nhiệt độ: 0.1 °C
- Độ chính xác đo nhiệt độ:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Độ chính xác đo gió:  $\pm (3\% \text{ } 40 \text{ ft/min})$ ,  $\pm (3\% \text{ } 0.20 \text{ m/s})$ ,  $\pm (3\% \text{ } 0.8 \text{ km/h})$
- Khoảng đo nhiệt độ:  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$
- Phạm vi đo:  $196 \sim 4900 \text{ ft/min}$ ,  $1.00 \sim 25.00 \text{ m/s}$ ,  $3.6 \sim 90.0 \text{ km/h}$



Hình 4.14 Máy đo tốc độ gió HT – 81

Kết quả kiểm tra tốc độ gió qua các lần thử nghiệm tại các cấp độ gió khác nhau được mô tả tại bảng 4.1. Mỗi giá trị đo trong bảng 4.1 được lấy bằng giá trị trung bình của 10 mẫu đo liên tiếp tại mức độ gió đó.

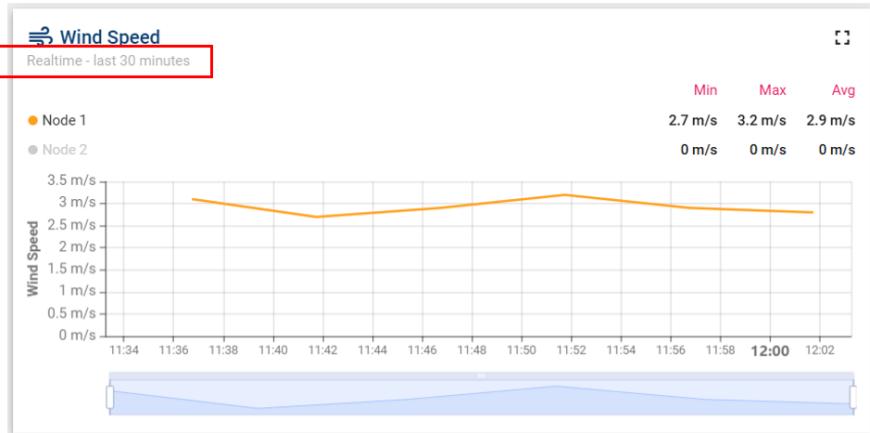
Bảng 4.1 Kết quả kiểm tra độ chính xác tốc độ gió tại các mức độ

Máy đo cầm tay (m/s)	Tốc độ gió của node 1 (m/s)	Sai số node 1 (m/s)
0.95	1.1	0.15
2.18	2	0.18
2.83	2.9	0.07
4.55	4.5	0.05
5.26	4.9	0.36
5.5	5.2	0.3
Sai số trung bình		0.19



Hình 4.15 Thiết bị kiểm tra tốc độ gió

Sai số trung bình của tốc độ gió là khá nhỏ so với dụng cụ đo (chỉ khoảng 0.19), đạt được các yêu cầu đặt ra, giúp đưa ra các nhận xét, đánh giá tốt nhất. Trong thực tế, tốc độ gió thổi có thể không đều hoặc xuất hiện gió giật, do đó cần dựa trên tốc độ trung bình, tốc độ nhỏ nhất và tốc độ lớn nhất trong một khoảng thời gian vừa đủ để đưa ra đánh giá khách quan nhất. Việc tính toán các giá trị này có thể thực hiện với các thao tác điều chỉnh khoảng thời gian trên giao diện Thingsboard thể hiện tại hình 4.16.



Hình 4.16 Chức năng thay đổi khoảng thời gian hiển thị

Đối với kiểm tra hướng gió, em sử dụng cảm biến hướng gió có đầu ra 8 hướng cố định và không có dữ liệu về góc đo chính xác. Vì vậy, để thiết bị hoạt động đúng, cần đặt mũi tên của cảm biến trùng với hướng Bắc. Dựa trên hướng Bắc tại mũi tên của cảm biến, qua các quá trình kiểm tra 8 hướng, dữ liệu được hiển thị đúng với hướng của cảm biến. Cảm biến có sai số nhỏ về góc khoảng  $5^\circ$  do thiết kế của vỏ cảm biến nhưng không đáng kể do cảm biến chỉ đo 8 hướng cố định.

#### ➢ Đánh giá sai số nhiệt độ không khí

Để tiến hành thử nghiệm, em sử dụng nhiệt kế điện tử CK T-1803 để tiến hành kiểm tra nhiệt độ đo. Thiết bị có các thông số cần chú ý như:

- Khoảng cách đo 3-5cm
- Thời gian đo: 1s
- Độ chính xác: 0.2°C
- Dải chế độ đo vật liệu: 0 - 100°C



Hình 4.17 Nhiệt kế hồng ngoại CK T-1803

Quy trình được thực hiện bằng cách thu thập các giá trị đo của node cảm biến và giá trị đo của dụng cụ kiểm tra được đo trực tiếp, với các thời điểm khác nhau trong một ngày. Kết quả kiểm tra được thể hiện tại bảng 4.2 và hình 4.19.

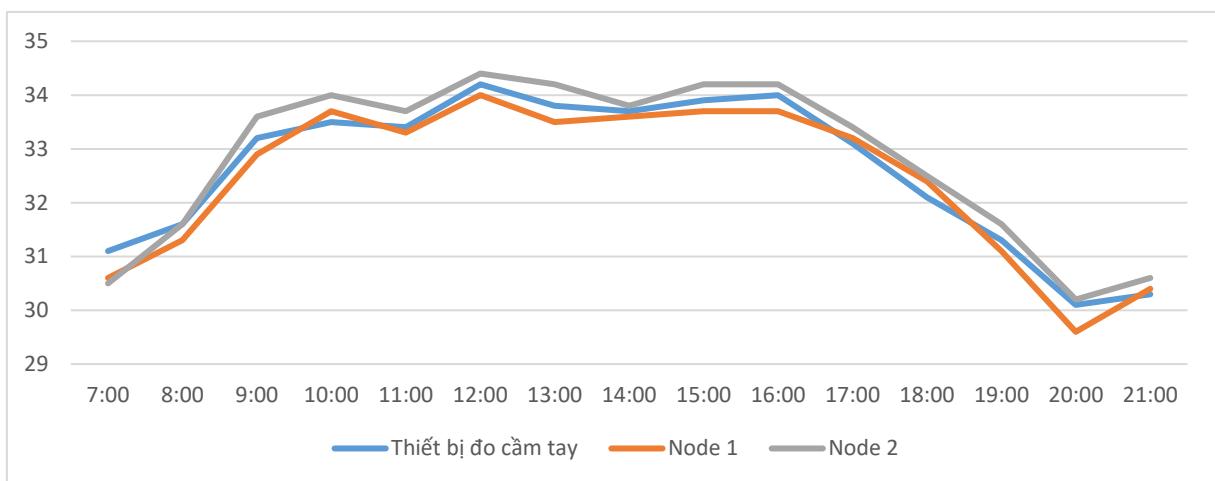


Hình 4.18 Thiết bị kiểm tra nhiệt độ

Bảng 4.2 Kết quả kiểm tra nhiệt độ các node cảm biến

Thời điểm	Thiết bị đo cầm tay	Nhiệt độ node 1	Nhiệt độ node 2	Sai số node 1	Sai số node 2
7:00	31.1	30.6	30.5	0.5	0.6
8:00	31.6	31.3	31.6	0.3	0
9:00	33.2	32.9	33.6	0.3	0.4
10:00	33.5	33.7	34	0.2	0.5
11:00	33.4	33.3	33.7	0.1	0.3
12:00	34.2	34	34.4	0.2	0.2

13:00	33.8	33.5	34.2	0.3	0.4
14:00	33.7	33.6	33.8	0.1	0.1
15:00	33.9	33.7	34.2	0.2	0.3
16:00	34	33.7	34.2	0.3	0.2
17:00	33.1	33.2	33.4	0.1	0.3
18:00	32.1	32.4	32.5	0.3	0.4
19:00	31.3	31.1	31.6	0.2	0.3
20:00	30.1	29.6	30.2	0.5	0.1
21:00	30.3	30.4	30.6	0.1	0.3
Sai số trung bình				0.25	0.29



Hình 4.19 Biểu đồ thể hiện kết quả kiểm tra nhiệt độ

Sai số nhiệt độ của node bằng tổng sai số trung bình và sai số của thiết bị kiểm tra:

- $\Delta T_1 = \Delta T_{tb} + 0.2 = 0.45^\circ\text{C}$
- $\Delta T_2 = \Delta T_{tb} + 0.2 = 0.49^\circ\text{C}$

Qua thử nghiệm có thể thấy sai số nhiệt độ khá nhỏ, độ chính xác nhiệt độ của các node cảm biến đã đạt yêu cầu đặt ra.

#### ➤ Đánh giá sai số độ ẩm không khí

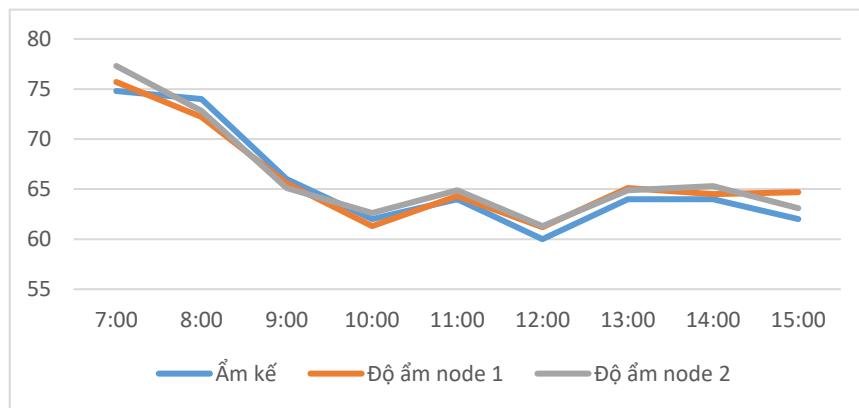
Giống như kiểm tra nhiệt độ, em sử dụng một đồng hồ nhiệt độ/độ ẩm kế để kiểm tra độ chính xác của độ ẩm. Do thời gian có hạn, em chỉ thực hiện kiểm tra độ ẩm trong nửa ngày. Kết quả kiểm tra được thể hiện tại bảng 4.3 và hình 4.21.



Hình 4.20 Thiết bị kiểm tra độ ẩm

Bảng 4.3 Kết quả kiểm tra độ ẩm 2 node cảm biến

Thời điểm	Âm kế	Độ ẩm node 1	Độ ẩm node 2	Sai số node 1	Sai số node 2
7:00	74.8	75.7	77.3	0.9	2.5
8:00	74	72.2	72.8	1.8	1.2
9:00	66	65.6	65.1	0.4	0.9
10:00	62	61.3	62.6	0.7	0.6
11:00	64	64.3	64.9	0.3	0.9
12:00	60	61.2	61.3	1.2	1.3
13:00	64	65.1	64.9	1.1	0.9
14:00	64	64.5	65.3	0.5	1.3
15:00	62	64.7	63.1	2.7	1.1
Sai số trung bình				1.1	1.2



Hình 4.21 Biểu đồ biến đổi biểu diễn kết quả đo độ ẩm

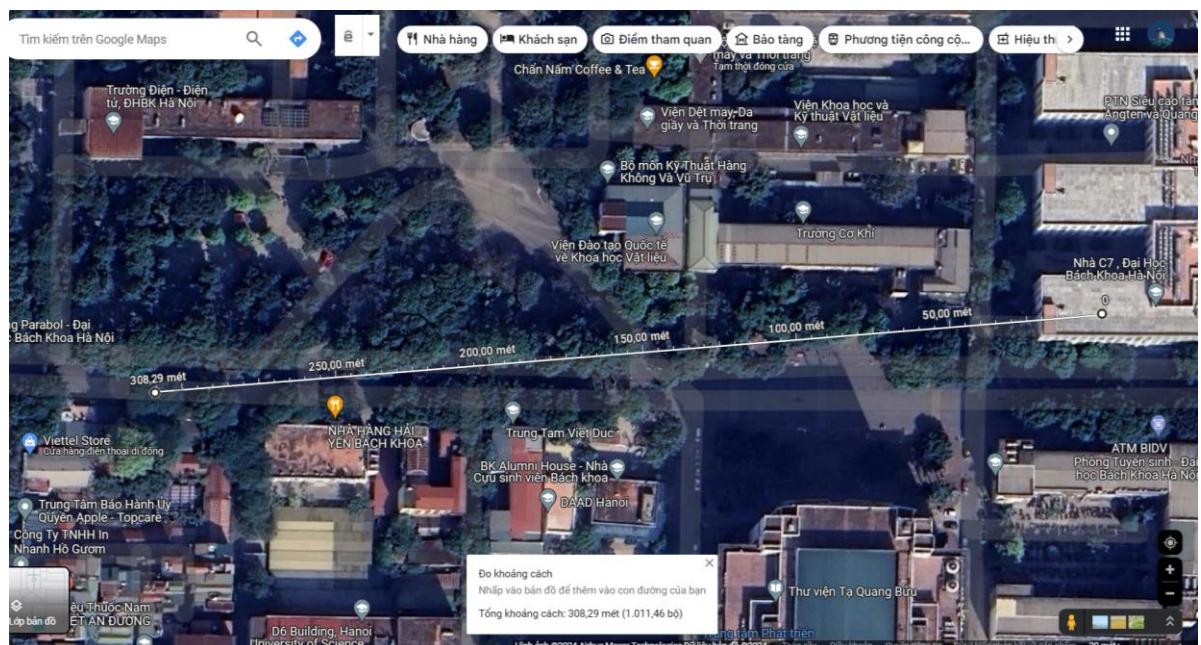
Kết quả kiểm tra độ ẩm tại hai node cảm biến có sai số nhỏ so với dụng cụ đo, đảm bảo yêu cầu đã nêu ra về độ chính xác của độ ẩm.

#### 4.3.5 Kết quả thử nghiệm khoảng cách truyền tin

Theo tính toán khoảng cách truyền tin dựa trên các thông số đã lựa chọn, khoảng cách truyền tối đa mà node cảm biến và gateway có thể kết nối với nhau là 2.16km. Tuy nhiên, với điều kiện hoạt động thực tế, khoảng cách truyền sẽ không giống với tính toán do nhiều yếu tố và sẽ bị giảm đi so với lý thuyết.

Việc thử nghiệm được tiến hành bằng cách đặt một node cảm biến cố định và di chuyển gateway ra xa dần, di chuyển tới các vị trí khác nhau để kiểm tra khoảng cách, bản tin truyền nhận và ghi lại các tọa độ đáng chú ý. Em đã tiến hành thử nghiệm ở các vị trí khác nhau để kiểm tra khoảng cách.

- **Trường hợp 1:** thử nghiệm tại khu vực Đại học Bách Khoa Hà Nội. Kết quả được mô tả tại hình 4.22.

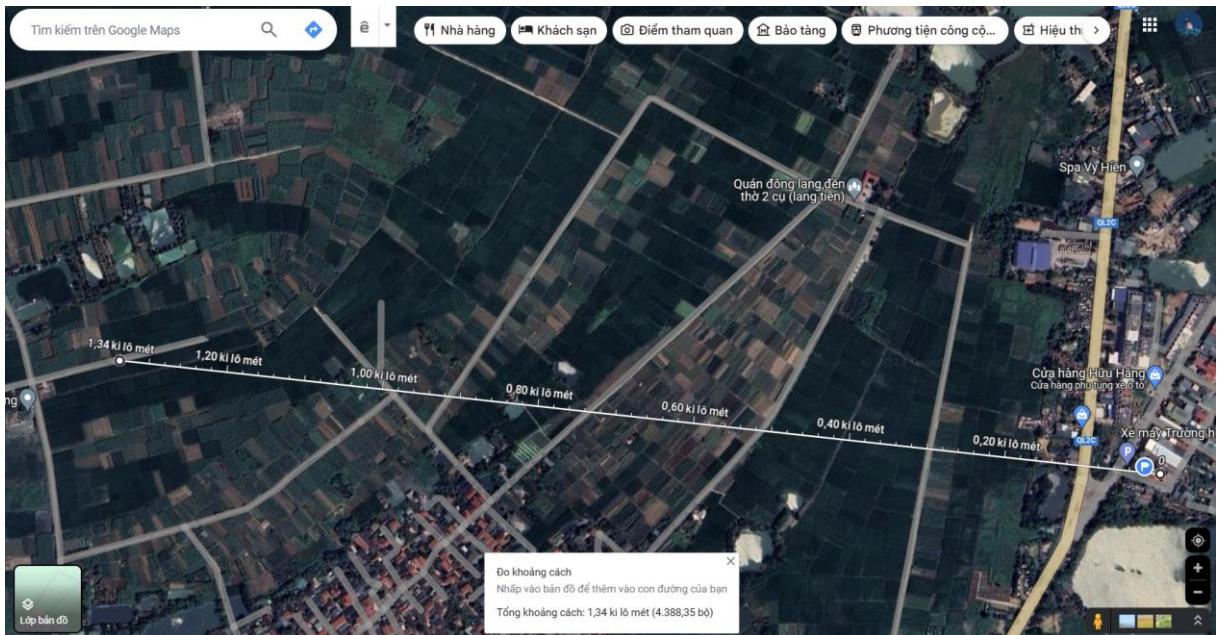


Hình 4.22 Thử nghiệm khoảng cách truyền tại khu vực Đại học Bách Khoa Hà Nội

- **Trường hợp 2:** thử nghiệm tại khu vực ít vật cản, môi trường thử nghiệm giống với môi trường vận hành thiết bị đo gió. Kết quả kiểm tra khoảng cách tối đa được thể hiện tại hình 4.24.



Hình 4.23 Vị trí đặt node cảm biến



Hình 4.24 Thử nghiệm khoảng cách truyền tin tại trường hợp 2

→ Qua quá trình thử nghiệm và kiểm tra khoảng cách truyền, có thể thấy rằng khi truyền tin qua các vật cản như các tòa nhà, khoảng cách truyền sẽ bị giảm đi đáng kể. Với vật cản là cây cối, khoảng cách truyền sẽ xa hơn so với vật cản là các tòa nhà. Kết quả thử nghiệm khoảng cách tối đa tại khu vực khuôn viên Đại học Bách Khoa Hà Nội được ước lượng khoảng 310m và tại khu vực ít vật cản, khoảng cách

truyền tối đa đạt khoảng 1.34 km. Khoảng cách thực tế bị giảm đi so với lý thuyết bởi các ảnh hưởng từ thiết kế, môi trường,...

#### 4.3.6 Kết quả kiểm tra hoạt động của hệ thống mạng cảm biến

Hệ thống mạng hoạt động dựa trên quá trình truyền nhận giữa các thiết bị gateway và node cảm biến. Em thực hiện kiểm tra các quá trình truyền nhận, xử lí bản tin tại gateway.

Khi chương trình bắt đầu, gateway thực hiện kết nối WiFi, khởi tạo các ngoại vi, màn hình, module LoRa và MQTT. Sau đó chương trình vào vòng lặp vô hạn, gateway vào chế độ lắng nghe liên tục để phát hiện bản tin truyền tới từ các node cảm biến. Khi một node cảm biến truyền bản tin kết nối, gateway nhận bản tin, phân tích bản tin, kiểm tra địa chỉ node đã gửi và gửi bản tin phản hồi để xác nhận. Quá trình nhận bản tin và gửi phản hồi khi nhận được bản tin dữ liệu từ node có địa chỉ 0xBAAB tại gateway được thể hiện tại hình 4.25. Tương tự với node cảm biến có địa chỉ 0xBAAC.

```
W (24139) LORA GATEWAY:  
LoRa Received 10 bytes rssi: -36          snr: 11.8  
I (24139) LORA GATEWAY: Receive Link Packet!!  
I (24139) LORA GATEWAY: Node ID: BAAB  
I (24459) LORA GATEWAY: Sent response!  
  
W (28409) LORA GATEWAY:  
LoRa Received 10 bytes rssi: -64          snr: 11.2  
I (28409) LORA GATEWAY: Receive Link Packet!!  
I (28409) LORA GATEWAY: Node ID: BAAC  
I (28729) LORA GATEWAY: Sent response!
```

Hình 4.25 Gateway nhận bản tin kết nối từ các node cảm biến

Khi nhận bản tin, gateway đưa ra tổng số byte của bản tin, chỉ số RSSI (Received Signal Strength Indication) và SNR (Signal-to-Noise Ratio). RSSI là chỉ số đo cường độ tín hiệu nhận được từ nguồn phát, được đo bằng dBm. LoRa hoạt động với giá trị RSSI trong khoảng từ -30 dBm đến -120 dBm với -30 dBm là tín hiệu mạnh và -120 dBm là tín hiệu yếu. SNR là tỉ lệ giữa cường độ tín hiệu và cường độ nhiễu, giá trị SNR càng cao, tín hiệu càng rõ ràng và ít bị nhiễu, được tính bằng dB.

Khi node cảm biến nhận được bản tin phản hồi, chế độ được đổi thành Normal Mode. Ở các chu kỳ tiếp theo, các node gửi bản tin dữ liệu tới gateway, gateway nhận được bản tin và phân tích, lưu các thông số tạm thời để hiển thị màn hình LCD và thực hiện gửi dữ liệu tới Thingsboard ngay lập tức. Các dữ liệu nhận từ các node cảm biến và quá trình gửi dữ liệu tới Thingsboard bằng MQTT được thể hiện trên hình 4.26.

```

W (1876389) LORA GATEWAY:
LoRa Received 22 bytes rssi: -57      snr: 9.8
I (1876389) LORA GATEWAY: Receive Data Packet!
I (1876389) LORA GATEWAY: Node_1 ID: BAAB
I (1876389) LORA GATEWAY: Status: NORMAL MODE!
I (1876399) LORA GATEWAY: Battery: 11.84
I (1876399) LORA GATEWAY: AHT Humidity: 79.7%
I (1876409) LORA GATEWAY: AHT Temperature: 31.9
I (1876409) LORA GATEWAY: LM35: 31.2
I (1876419) LORA GATEWAY: Wind Speed: 0.7
I (1876419) LORA GATEWAY: Wind Level: 1
I (1876429) LORA GATEWAY: Wind Direction: SE
I (1876449) LORA GATEWAY: Sending packet response!
I (1876969) MQTT: MQTT event published, msg_id=63253
I (1877579) MQTT: MQTT event published, msg_id=53460
W (1987129) LORA GATEWAY:
LoRa Received 22 bytes rssi: -60      snr: 14.0
I (1987129) LORA GATEWAY: Receive Data Packet!
I (1987129) LORA GATEWAY: Node_2 ID: BAAC
I (1987129) LORA GATEWAY: Status: NORMAL MODE!
I (1987139) LORA GATEWAY: Battery: 12.00
I (1987139) LORA GATEWAY: AHT Humidity: 78.7%
I (1987149) LORA GATEWAY: AHT Temperature: 32.0
I (1987149) LORA GATEWAY: LM35: 31.7
I (1987159) LORA GATEWAY: Wind Speed: 0.0
I (1987159) LORA GATEWAY: Wind Level: 0
I (1987169) LORA GATEWAY: Wind Direction: N
I (1987199) LORA GATEWAY: Sending packet response!
I (1987579) MQTT: MQTT event published, msg_id=43124
I (1988179) MQTT: MQTT event published, msg_id=51788

```

Hình 4.26 Gateway nhận bản tin dữ liệu từ 2 node và truyền tới Server

Quá trình truyền nhận được lặp lại theo chu kỳ. Node cảm biến 2 với địa chỉ 0xBAAC không được kết nối cảm biến tốc độ và hướng gió, vì vậy các giá trị liên quan tới tốc độ mặc định là 0 và hướng gió mặc định là North.

#### 4.4 Đánh giá kết quả

Các kết quả cụ thể của từng phần thử nghiệm đã được nêu ra tại mục 4.3. Dựa vào các kết quả, em đưa ra các nhận xét và đánh giá chung như sau:

- Các thiết bị có nguồn cung cấp ổn định, phù hợp, có thể hoạt động lâu dài nhưng vẫn đảm bảo an toàn cho thiết bị.
- Thiết bị đo gió hoàn thành truyền và nhận bản tin với gateway từ 5 giây đến 8.5 giây. Chu kỳ gửi dữ liệu là 5 phút ở chế độ Normal Mode.
- Gateway hoạt động ổn định, màn hình hiển thị rõ nét, các nút bấm tương tác dễ dàng sử dụng, hiển thị tại server đầy đủ các dữ liệu, thuận tiện cho phân tích, đánh giá, có thể xuất kết quả dạng excel. Các kết nối không dây ổn định, tự động kết nối lại khi mất kết nối.
- Các thông số đo từ các cảm biến có sai số nhỏ, đạt yêu cầu về các độ chính xác đã đặt ra khi kiểm tra với các thiết bị đo cầm tay.

- Khoảng cách truyền bị giảm đi so với lý thuyết bởi các lý do như vật cản trên đường truyền, công suất phát, nguồn cung cấp, vị trí đặt của các thiết bị, hướng anten. Càng xa phạm vi truyền tin, tỉ lệ lỗi bản tin càng lớn.
- Hệ thống mạng hoạt động ổn định với chu kỳ truyền nhận cố định. Dữ liệu được truyền nhận đầy đủ và chính xác, tỉ lệ lỗi bản tin là khá nhỏ khi thử nghiệm với 2 node cảm biến và nằm trong phạm vi truyền tin.

Bên cạnh đó còn có một số hạn chế như:

- Chưa thể thực hiện thử nghiệm với số lượng lớn thiết bị do gió do điều kiện chưa cho phép.
- Kiểm soát tiêu thụ năng lượng của thiết bị còn chưa tối ưu.
- Thiết bị có độ chính xác chưa cao khi hoạt động trong các môi trường bất ổn định hoặc môi trường khắc nghiệt.

## KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

### 1. Kết luận

Kết thúc quá trình thực hiện đề tài thiết kế hệ thống giám sát gió ứng dụng trong trạm quan trắc khí tượng bề mặt, nhìn chung đã đạt được các kết quả nhất định, hoàn thành các yêu cầu bài toán đặt ra là thiết kế một nền tảng giám sát gió, cung cấp dữ liệu thực tế về điều kiện gió tại các địa điểm khác nhau với đa dạng ứng dụng về cải thiện hiệu suất năng lượng tuabin gió, bảo vệ công trình xây dựng, hỗ trợ các hoạt động hàng hải, dự báo thời tiết cùng một số hoạt động ngoài trời.

Sau quá trình tìm hiểu và phát triển hệ thống, em đã học hỏi được nhiều kiến thức mới và trau dồi các kỹ năng như đọc hiểu tài liệu tiếng Anh, thiết kế sản phẩm mạch, lập trình cho các thiết bị, thử nghiệm hệ thống, trình bày báo cáo. Một số kết quả đạt được có thể nhắc tới như:

- Phân tích, lựa chọn phương án thiết kế hệ thống với cấu trúc mạng hình sao sử dụng công nghệ truyền tin không dây LoRa, phù hợp với ứng dụng của đề tài.
- Lập sơ đồ phù hợp với yêu cầu thiết bị và thiết kế mạch in, hoàn thiện mạch, đóng vỏ bảo vệ cho các thiết bị, thiết kế chương trình phần mềm cho các thiết bị đo và thiết bị thu thập dữ liệu.
- Khoảng cách truyền tin tối đa giữa các thiết bị qua thử nghiệm là 1.34 km, giúp trạm giám sát linh hoạt ở nhiều vị trí khác nhau.
- Thiết bị đo sử dụng pin Li-ion có thể sạc lại, thời gian hoạt động tối đa trong một lần sạc đầy là khoảng 14 ngày. Ngoài ra thiết bị đo được tích hợp chức năng đổi nguồn để sử dụng adapter khi điều kiện cho phép và pin được sử dụng làm nguồn cấp dự phòng.
- Hệ thống giám sát các thông số môi trường liên quan tới gió gồm tốc độ gió, cấp độ gió, hướng gió, nhiệt độ và độ ẩm không khí với độ chính xác nhất định, được cải thiện qua nhiều lần hiệu chỉnh, đủ để đánh giá và nhận xét sự biến đổi.
- Hệ thống được thử nghiệm trong các ngày với các điều kiện khác nhau. Giao diện dễ dàng sử dụng với các thao tác giám sát.
- Hệ thống đã đảm bảo cung cấp các dữ liệu thực tế, giám sát dữ liệu với nền tảng trực tuyến hoặc thiết bị thu thập dữ liệu, dữ liệu tại server có thể xuất ra dạng excel để phân tích, chẩn đoán, thích hợp với ứng dụng tại trạm quan trắc khí tượng.

Tuy nhiên, bên cạnh đó hệ thống còn có một số hạn chế nhất định. Do đó, cần có thêm thời gian để nghiên cứu, phát triển sản phẩm, để hệ thống sớm được đưa vào ứng dụng thực tế.

## 2. Hướng phát triển của đồ án

Trong tương lai, hệ thống giám sát gió sẽ được phát triển theo nhiều hướng đa dạng, tiên tiến hơn trong nhiều ứng dụng. Nhằm nâng cao hiệu quả giám sát và dự báo, cần phát triển các tính năng mới hỗ trợ người dùng, tích hợp công nghệ mới để phù hợp cho các ứng dụng thực tế. Một số yếu tố có thể phát triển như:

- Nghiên cứu, tối ưu hơn năng lượng tiêu thụ của thiết bị đo gió, điều khiển nguồn cung cấp của thiết bị đo từ trạm giám sát để kéo dài thời gian hoạt động khi sử dụng nguồn pin hoặc acquy; tích hợp hệ thống năng lượng mặt trời, giảm sự phụ thuộc vào nguồn điện lưới.
- Phát triển chức năng cảm ứng cho màn hình hiển thị tại thiết bị thu dữ liệu, các tính năng điều khiển tại màn hình và giao diện trực tuyến, thêm hiển thị các thông số như tốc độ gió tối đa, tốc độ gió nhỏ nhất, tốc độ gió trung bình, thay đổi đơn vị hiển thị tại màn hình.
- Xây dựng chức năng lưu trữ dữ liệu đo và có thể truy xuất dữ liệu khi người dùng yêu cầu.
- Phát triển phần mềm để có thể thay đổi ssid và password của WiFi tại các ứng dụng trên smartphone theo ý muốn.
- Phát triển tính năng bảo mật thông tin cho hệ thống trong mạng không dây.
- Áp dụng các thuật toán phân tích dữ liệu và trí tuệ nhân tạo AI để tự động nhận diện các xu hướng và biến động của gió, đưa ra dự báo và cảnh báo sớm, giảm thiểu công sức.

Trên đây là kết luận của báo cáo đồ án tốt nghiệp với nội dung đề tài “**Thiết kế hệ thống giám sát gió phục vụ trạm quan trắc khí tượng bờ biển**” của em. Kết quả đồ án của em khó tránh khỏi những sai sót, vì vậy em rất mong nhận được sự nhận xét, đánh giá từ thầy cô để hoàn thiện sản phẩm, góp phần vào sự phát triển của các hệ thống giám sát tiên tiến trong tương lai.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] CIC, "Nguyên lý hoạt động và các ứng dụng của cảm biến đo gió kiểu dây nhiệt," 01 11 2022. [Online]. Available: <https://www.cic.com.vn/nguyen-ly-hoat-dong-va-cac-ung-dung-cua-cam-bien-do-gio-kieu-day-nhiet-n771.html>
- [2] Explainthatstuff, "Anemometers," 24 01 2024. [Online]. Available: <https://www.explainthatstuff.com/anemometers.html>
- [3] R. Alvaro, O. Mikel and P. Santiago, "Performance Analysis of Present Cup Anemometers," *Journal of Energy Systems*, 11 01 2019.
- [4] TCVN, "TCVN 12635-1:2019," 2019. [Online]. Available: [http://vnmha.gov.vn/upload/files/2020/1-cong-trinh-qt-phan-1-vi-tri-cong-trinh-quan-trac-ktbm-\(done\).pdf](http://vnmha.gov.vn/upload/files/2020/1-cong-trinh-qt-phan-1-vi-tri-cong-trinh-quan-trac-ktbm-(done).pdf)
- [5] "Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quan trắc khí tượng," 27 10 2022. [Online]. Available: <https://luatvietnam.vn/tai-nguyen/thong-tu-14-2022-tt-btnmt-233286-d1.html>
- [6] "VĂN BẢN KỸ THUẬT ĐO LUỒNG VIỆT NAM," 2021. [Online]. Available: <https://tcvn.gov.vn/wp-content/uploads/2017/08/DLVN-345-PTD-do-van-toc-gio-1.pdf>
- [7] KhoaHoc.tv, "Nguyên lý hoạt động và quá trình sạc xả pin lithium ion," [Online]. Available: <https://khoaHoc.tv/nguyen-ly-hoat-dong-vaqua-trinh-sac-xa-pin-lithium-ion-99155>
- [8] AsahiKASEI, "Principle and advantages of optical encoder," [Online]. Available: <https://www.akm.com/global/en/products/rotation-angle-sensor/tutorial/optical-encoder/>
- [9] "QUY ĐỊNH KỸ THUẬT VỀ QUAN TRẮC VÀ CUNG CẤP THÔNG TIN, DỮ LIỆU KHÍ TUỢNG THỦY VĂN ĐÓI VỚI TRẠM KHÍ TUỢNG THỦY VĂN CHUYÊN DÙNG," 2018. [Online]. Available: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Thong-tu-30-2018-TT-BTNMT-ky-thuat-quan-trac-doi-voi-tram-khi-tuong-thuy-van-chuyen-dung-404795.aspx>
- [10] EMBEDDEDTHERE, "RS485 Communication Protocol," 12 2023. [Online]. Available: [https://embeddedthere.com/rs485-communication-protocol/#Industrial\\_Automation](https://embeddedthere.com/rs485-communication-protocol/#Industrial_Automation)
- [11] SEMTECH, "LoRa and LoRaWAN," 12 2019. [Online]. Available: [https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa\\_and\\_LoRaWAN-A\\_Tech\\_Overview-Downloadable.pdf](https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf)

- [12] Thingsboard, [Online]. Available: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/helloworld/>
- [13] "Tổng quan về giao thức Network Time Protocol," VIBLO, 2017. [Online]. Available: <https://viblo.asia/p/tong-quan-ve-giao-thuc-network-time-protocol-ntp-6J3Zg20AKmB>
- [14] Trần Văn Tuấn, Bài giảng Điện Tử Tương Tự, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [15] Datasheet và Reference Manual của các linh kiện, vi điều khiển.
- [16] GWEC, "Wind power total world capacity," [Online]. Available: <https://hotcore.info/act/kareff-062024p.html>