

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



NGUYỄN VĂN LONG

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG
ĐO Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ (PM₁₀, SO_x, NO_x)

LUẬN VĂN THẠC SĨ

Ngành: Công nghệ kỹ thuật Cơ điện tử

Hà Nội – 2018

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

NGUYỄN VĂN LONG

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG
ĐO Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ (PM₁₀, SO_x, NO_x)

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật Cơ điện tử

Chuyên ngành: Kỹ thuật Cơ điện tử

Mã số:

LUẬN VĂN THẠC SĨ

Ngành: Công nghệ kỹ thuật Cơ điện tử

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS Phạm Mạnh Thắng

Hà Nội – 2018

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐO Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ (PM₁₀, SO_x, NO_x)

Nguyễn Văn Long

Khóa QH-2016-I, ngành Công nghệ Kỹ thuật Cơ điện tử

Tóm tắt luận văn thạc sĩ

Ô nhiễm không khí là sự gia tăng quá mức của các chất có hại trong bầu khí quyển. Các chất này có thể là các hạt rắn, các giọt chất lỏng hoặc khí. Nguồn gốc của các chất này có thể là tự nhiên hoặc nhân tạo. Sự gia tăng bất thường này tạo ra những tác động xấu đến con người và hệ sinh thái. Trong bối cảnh hiện nay với sự gia tăng đột biến của các nguồn gây ô nhiễm trong không khí, việc theo dõi, giám sát nồng độ các chất ô nhiễm trong không khí đang trở nên rất cần thiết cho mỗi quốc gia. Trong luận văn này, chúng tôi xây dựng một giải pháp thiết kế thiết bị đo lường chất lượng không khí ứng dụng cho việc theo dõi liên tục nồng độ của các chất ô nhiễm trong không khí. Thiết bị được thiết kế với kích thước nhỏ, tính di động cao, có thể nhanh chóng triển khai lắp đặt để theo dõi chất lượng không khí tại một khu vực mới. Cảm biến sử dụng trên thiết bị được tích hợp từ các modul cảm biến rời rạc có chi phí thấp được bán phổ biến trên thị trường như cảm biến CO, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO_x ... Phần mềm đo đạc, tính toán trên thiết bị cho phép giao tiếp với nhiều dòng cảm biến khác nhau đồng thời có thể tính toán chỉ số chất lượng không khí AQI theo các tiêu chuẩn hiện hành. Việc tìm hiểu một cách tổng quát về các dòng cảm biến đang được sử dụng phổ biến hiện nay cũng được thực hiện, qua đó các loại cảm biến phù hợp được lựa chọn đưa vào thiết bị. Một thiết bị mẫu cũng được xây dựng để chạy thử và đánh giá tính khả thi của giải pháp.

Từ khóa: AQI, cảm biến đo nồng độ khí, cảm biến MQx, cảm biến đo nồng độ khí DNIR, cảm biến đo bụi Laser, cảm biến điện hóa SPEC sensor.

LỜI CAM ĐOAN

Em xin cam đoan đề tài “Nghiên cứu thiết kế hệ thống đo ô nhiễm không khí (PM_{10} , SO_x , NO_x)” được hoàn thành dưới sự hướng dẫn của thầy PGS.TS Phạm Mạnh Thắng. Các nội dung nghiên cứu, kết quả trong đề tài này là trung thực và chưa công bố dưới bất kỳ hình thức nào trước đây.

Hà Nội, ngày tháng năm 2018

Sinh viên thực hiện

LỜI CẢM ƠN

Trải qua một quá trình học tập và làm việc tại trường, em đã trang bị thêm cho mình được nhiều kiến thức quý báu cho cuộc sống và công việc. Luận văn này cũng là kết quả từ sự nỗ lực của bản thân cũng như sự chỉ bảo tận tình từ các thầy cô giáo đã dạy dỗ và hướng dẫn em.

Em xin gửi lời cảm ơn đến thầy PGS.TS Phạm Mạnh Thắng người đã hết lòng giúp đỡ và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho em hoàn thành luận văn này. Xin chân thành bày tỏ lòng biết ơn đến toàn thể quý thầy cô trong khoa khoa Cơ học kỹ thuật & Tự động hóa, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc Gia Hà Nội đã tận tình truyền đạt những kiến thức quý báu cũng như tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất cho em trong suốt quá trình học tập nghiên cứu và cho đến khi thực hiện đề tài luận văn.

Xin chân thành gửi lời cảm ơn đến Trung tâm Quang điện tử - Viện ứng dụng Công Nghệ đã tạo điều kiện hỗ trợ về cả thời gian và công việc để em có điều kiện tốt nhất cho việc hoàn thành luận văn này.

Cuối cùng em xin chân thành cảm ơn đến gia đình, các anh chị và các bạn đồng nghiệp đã hỗ trợ cho em rất nhiều trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện đề tài luận văn thạc sĩ một cách hoàn chỉnh.

Hà Nội, ngày tháng năm 201
Sinh viên thực hiện

Mục lục

MỞ ĐẦU	1
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ AQI.....	4
1.1 Khái niệm.....	4
1.2 Tính toán AQI.....	4
1.2.1 Tính toán AQI sử dụng bảng đối chiếu	4
1.2.2 Tính toán AQI sử dụng các công thức đơn giản	6
1.2.3 Tính toán AQI sử dụng các công thức phức tạp.....	8
1.2.4 Phương pháp tính toán AQI tại Việt Nam.....	10
Chương 2 MỘT SỐ LOẠI CẢM BIẾN ĐO CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ ...	12
2.1 Cảm biến đo bụi	12
2.1.1 Ô nhiễm bụi	12
2.1.2 Phương pháp đo ô nhiễm bụi.....	13
2.2 Cảm biến đo nồng độ khí.....	15
2.2.1 Cảm biến điện hóa.....	16
2.2.2 Cảm biến hạt xúc tác	17
2.2.3 Cảm biến hồng ngoại.....	19
2.2.4 Cảm biến bán dẫn (MOS).....	20
2.3 Lựa chọn cảm biến cho thiết bị đo độ ô nhiễm không khí	21
Chương 3 XÂY DỰNG THIẾT BỊ ĐO NỒNG ĐỘ Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ	23
3.1 Thiết kế phần cứng	23
3.1.1 Tổng quan thiết bị.....	23
3.1.2 Khối xử lý trung tâm	23
3.1.3 Khối thời gian thực.....	24
3.1.4 Mạch giao tiếp với các cảm biến MQx	24
3.1.5 Mạch giao tiếp với cảm biến điện hóa	26
3.1.6 Mạch giao tiếp với các cảm biến có đầu ra I2C	30
3.1.7 Khối giao tiếp với cảm biến	35
3.1.8 Mạch giao tiếp với LCD hiển thị các thông số đo đạc	37
3.2 Lập trình phần mềm.....	40
3.2.1 Đo đạc và tính toán giá trị từ cảm biến MQx.....	40

3.2.2	Đọc và tính toán nồng độ NO_2 từ cảm biến điện hóa.....	48
3.2.3	Đọc và xử lý tín hiệu từ cảm biến có đầu ra I2C.....	50
3.2.4	Tính toán AQI	57
3.2.5	Hiển thị giá trị, cài đặt thông số	59
3.3	Hiệu chỉnh thiết bị.....	60
3.3.1	Các vấn đề cần lưu ý trước khi hiệu chuẩn cảm biến.....	60
3.3.2	Hiểu về các thông số của cảm biến	60
3.3.3	Các bước hiệu chỉnh cảm biến	62
3.3.4	Vận hành thử, đánh giá sản phẩm	64
Chương 4	KẾT LUẬN	66

DANH MỤC CÁC CHỮ KÝ HIỆU VÀ VIẾT TẮT

Ký hiệu, chữ viết tắt	Chữ đầy đủ	Ý nghĩa
AQI	Air quality index	Chỉ số chất lượng không khí
IOT	Internet Of Things	Internet Vạn Vật
AQMS	Air Quality Monitoring System	Hệ thống giám sát chất lượng không khí
TIA	Transimpedance Amplifier	Bộ khuếch đại Transimpedance
NDIR	Nondispersive Infrared	Cảm biến NDIR
IR	Infrared	Hồng ngoại
TSP	Total Suspended Particles	Tổng số hạt lơ lửng
PM	Particulate Matter	Hạt vật chất
ppb	parts per billion	Một phần tỷ.
ppm	parts per million	Một phần triệu
SPM	Suspended Particulate Matter	Hạt vật chất lơ lửng
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbon	Hydrocacbon thơm đa vòng
BAM	Beta Attenuation Monitors	Thiết bị giám sát suy giảm beta
HVS	High-Volume Samplers	Lượng mẫu lớn
LEL	Lower Explosive Limit	Giới hạn nổ dưới
MOS	Metal Oxide Semiconductor	Bán dẫn oxit kim loại
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter	Bộ truyền nhận nối tiếp không đồng bộ
PWM	Pulse-Width Modulation	Điều chế độ rộng xung
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Khí dầu mỏ hóa lỏng
WE	Working Electrode	Điện cực phản ứng
RE	Reference Electrode	Điện cực tham chiếu
CE	Couter Electrode	Điện cực nghịch đảo
LPO	Low Pulse Occupancy	Thời gian xung thấp

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1-1: Tương ứng giữa giá trị thông số và giá trị AQI.....	5
Bảng 1-2: Tiêu chuẩn chất lượng không khí tại Anh	5
Bảng 1-3: Các thông số và giá trị tiêu chuẩn dùng để tính AQI.....	7
Bảng 1-4: Tiêu chuẩn chất lượng không khí của Astralia	7
Bảng 1-5: Các mức AQI đang được áp dụng tại Astralia.....	8
Bảng 1-6: Các mức AQI tại Hoa Kỳ.....	8
Bảng 1-7: Các chỉ số trên và chỉ số dưới dùng để tính AQI.....	9
Bảng 1-8: Tiêu chuẩn không khí của Hoa Kỳ	9
Bảng 3-1: Thông số Kỹ thuật MH-Z19	31
Bảng 3-2: Mô tả đầu vào ra của MH-Z19.....	31
Bảng 3-3: Thông số kỹ thuật màn TFT SPI 240 x 320.....	37
Bảng 3-4: Thông số kỹ thuật cảm biến NO ₂	49
Bảng 3-5: Độ nhiễu chéo của cảm biến với các loại khí khác.....	49
Bảng 3-6: Giá trị giới hạn các thông số cơ bản trong không khí xung quanh.....	57
Bảng 3-7: Giá trị điện trở tải đề xuất của một số cảm biến	61
Bảng 3-8: Nồng độ khí để xác định giá trị R0.....	62

Danh mục hình ảnh

Hình 2-1: Thiết bị giám sát suy giảm beta.....	13
Hình 2-2: Thác va chạm (Cascade impactor).	14
Hình 2-3: Cảm biến đo bụi theo phương pháp tán xạ.....	15
Hình 2-4: Nguyên lý cảm biến điện hóa.....	16
Hình 2-5: Cấu tạo cảm biến điện hóa.....	16
Hình 2-6: Nguyên lý của cảm biến hạt xúc tác.....	18
Hình 2-7: Mạch cầu Wheatstone với hai phần tử C và D.....	18
Hình 2-8: Mối liên hệ giữa nồng độ khí và điện áp đầu ra.....	18
Hình 2-9: Sơ đồ nguyên lý cảm biến DNIR.....	19
Hình 2-10: Nguyên lý làm việc của cảm biến MOS.....	21
Hình 3-1: Sơ đồ khối tổng quan của thiết bị.....	23
Hình 3-2: Sơ đồ cấu tạo modul Arduino Mega 2560.....	24
Hình 3-3: Mạch thời gian thực DS1307.....	24
Hình 3-4: Modul cảm biến MQ7.....	25
Hình 3-5: Sơ đồ nguyên lý mạch kết nối cảm biến MQ7.....	26
Hình 3-6: Cảm biến SPEC 3SP_NO2.....	27
Hình 3-7: Cảm biến điện hóa với 3 chân cơ bản.....	27
Hình 3-8: Sơ đồ mạch cảm biến điện hóa đơn giản.....	28
Hình 3-9: Mạch khuếch đại TIA.....	29
Hình 3-10: Mạch TIA với khối cấp nguồn.....	29
Hình 3-11: Sơ đồ nguyên lý mạch giao tiếp với cảm biến điện hóa.....	30
Hình 3-12: Cảm biến CO ₂ MH-Z19.....	31
Hình 3-13: Cảm biến đo bụi SDS011.....	32
Hình 3-14: Bên trong một cảm biến đo bụi nhiễu xạ Laser.....	33
Hình 3-15: Dữ liệu thô từ cảm biến theo điện áp.....	33
Hình 3-16: Cảm biến đọc giá trị LPO.....	34
Hình 3-17: Mối liên hệ giữa LPO và kích thước hạt.....	34
Hình 3-18: Sơ đồ nguyên lý khối kết nối với cảm biến.....	36
Hình 3-19: Mạch in modul giao tiếp với cảm biến.....	36
Hình 3-20: Mạch giao tiếp với cảm biến.....	37
Hình 3-21: Kết nối màn TFT LCD với Arduino thông qua trở phân áp.....	39
Hình 3-22: Mạch in TFT LCD Shield.....	39
Hình 3-23: Mạch giao tiếp với LCD.....	39
Hình 3-24: Sơ đồ nguyên lý cảm biến MQx.....	40
Hình 3-25: Sơ đồ kết nối cảm biến MQx.....	41
Hình 3-26: Đường cong đặc tính của cảm biến MQ7.....	42
Hình 3-27: Công cụ WebPlotDigitizer.....	43
Hình 3-28: Đồ thị đường đặc trưng của MQ7 với thang đo tuyến tính.....	44
Hình 3-29: Biến thiên điện áp đầu ra V_{RL} với nồng độ CO.....	45

Hình 3-30: Sơ đồ thuật toán chương trình đọc giá trị cảm biến MQ7.....	46
Hình 3-31: Mạch cảm biến điện hóa đơn giản.....	48
Hình 3-32: Mạch Rs và RL.....	61
Hình 3-33: Sản phẩm trong quá trình chạy thử	64
Hình 3-34: Màn hình thiết bị khi hiệu chỉnh điện áp cho cảm biến MQ.....	65
Hình 3-35: Màn hình thiết bị khi hiệu chỉnh cảm biến MQ	65

MỞ ĐẦU

Lý do chọn đề tài

Ô nhiễm môi trường không khí và những tác động của nó đến sức khỏe con người đang là một mối lo ngại lớn ở các nước đang phát triển như Việt Nam. Tại những thành phố lớn như Hà Nội, Thành phố Hồ Chí Minh và những thành phố công nghiệp của nước ta mức độ ô nhiễm những năm gần đây đã có lúc lên đến ngưỡng báo động. Số ca mắc các bệnh liên quan đến ô nhiễm không khí như các bệnh về đường hô hấp, tai mũi họng ngày càng nhiều. Tuy nhiên việc theo dõi, giám sát chất lượng không khí chưa thực sự đáp ứng được với tình hình hiện nay, do sự thiếu hụt về số lượng các hệ thống quan trắc và sự xuống cấp về chất lượng của các hệ thống này.

Chi phí là một rào cản rất lớn trong việc mở rộng giám sát chất lượng không khí, giá cho một trạm giám sát chất lượng không khí chuyên dụng có thể lên đến hàng chục nghìn đô la. Các trạm quan trắc thường được sử dụng trong thời gian dài, có thể là cả thập kỷ, hầu hết đây là các trạm quan trắc lớn, và rất khó để di chuyển đến một vị trí khác. Điều này gây khó khăn cho việc thu thập dữ liệu không khí ở quy mô lớn. Chỉ với một số lượng nhỏ các trạm giám sát chất lượng không khí được lắp đặt thì lượng dữ liệu thu thập được sẽ bị giới hạn.

Sự xuất hiện của các cảm biến chi phí thấp hơn, kết hợp với “Internet of Thing” (IoT), có thể cho phép chúng ta thay đổi cách theo dõi chất lượng không khí. Với giải pháp này chúng ta có thể bổ sung thêm các trạm cảm biến phụ xen kẽ giữa các hệ thống AQMS (Air Quality Monitoring System) lớn hơn, tăng độ tin cậy của dữ liệu và cải thiện độ chính xác của các mô hình nội suy. Đây là các trạm giám sát nhỏ, bán cố định hoặc di động, dễ cài đặt và có thể sẵn sàng để bắt đầu thu thập dữ liệu chất lượng không khí một cách nhanh chóng.

Với định hướng đó, luận văn “*Nghiên cứu thiết kế hệ thống đo ô nhiễm không khí (PM_{10} , SO_x , NO_x)*” đặt ra mục tiêu thiết kế một thiết bị có thể đo được nồng độ của các chất ô nhiễm phổ biến trong không khí, sử dụng các công nghệ cảm biến mới có kích thước nhỏ gọn, với chi phí chế tạo, lắp đặt và vận hành thấp. Kết quả đo đạc từ thiết bị có thể được sử dụng để tính toán cũng như đánh giá chất lượng không khí từ đó có thể đưa ra các khuyến cáo cho người dân.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu:

- Lý thuyết về AQI, phương pháp tính toán AQI
- Các dòng cảm biến đo nồng độ các chất ô nhiễm như cảm biến quang học, cảm biến điện hóa, cảm biến bán dẫn...
- Bo mạch Arduino, trình biên dịch Arduino IDE

Phạm vi nghiên cứu:

- Các cảm biến đo nồng độ PM_{10} , NO_x , SO_x bao gồm: cảm biến dòng MQ_x , cảm biến điện hóa, cảm biến đo bụi bằng phương pháp tán xạ Laser, cảm biến đo nồng độ khí bằng phương pháp NDIR
- Bo mạch Arduino Mega2560, TFT LCD
- Phương pháp tính AQI của tổng cục môi trường

Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết:

- Tìm hiểu tài liệu về các hệ thống quan trắc hiện có, và các phương pháp đo nồng độ các chất ô nhiễm đang được sử dụng trên các hệ thống này thông qua sách, báo và tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất.
- Tìm hiểu thông tin về các dòng cảm biến mới dùng để đo các chất ô nhiễm thông qua sách, báo, các diễn đàn và các tạp chí.
- Tìm hiểu về phương pháp thiết kế các thiết bị trên nền tảng IOT thông qua sách, báo, website và các diễn đàn lựa chọn giải pháp phù hợp thiết kế thiết bị.

Thiết kế và chế tạo thiết bị mẫu, vận hành thử và tối ưu kết quả.

Ý nghĩa thực tiễn và khoa học của đề tài

Với mục tiêu thiết kế, chế tạo một thiết bị đo nồng độ các chất ô nhiễm trong không khí, đề tài đã xây dựng một giải pháp thiết kế, chế tạo các thiết bị quan trắc chất lượng không khí có kích thước nhỏ với giá thành hợp lý đồng thời đánh giá tính khả thi và khả năng ứng dụng của các thiết bị này. Giải pháp này có thể được sử dụng phát triển mạng lưới các hệ thống quan trắc khí quyển trên nền IOT cải thiện tình trạng thiếu hụt các hệ quan trắc khí quyển hiện nay ở nước ta.

Đề tài cũng góp phần hệ thống hóa lại kiến thức về các dòng cảm biến được sử dụng để đo nồng độ các chất ô nhiễm trong khí quyển, làm rõ hơn về phương pháp vận hành cũng như ưu điểm, nhược điểm của các loại cảm biến này. Trên cơ sở đó sẽ giúp mọi người có thể dễ dàng lựa chọn các cảm biến phù hợp cho các dự án tương tự.

Cấu trúc luận văn

Nội dung luận văn tập trung vào việc tìm hiểu cả phương pháp tính toán AQI đang được sử dụng trên thế giới và tại Việt Nam. Tìm hiểu về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và cách sử dụng của các dòng cảm biến đo nồng độ các chất ô nhiễm trong không khí đang được sử dụng phổ biến hiện nay. Trên cơ sở đó thiết kế, chế tạo một thiết bị đo nồng độ các chất ô nhiễm trong không khí như PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x , SO_x để tính toán chỉ số chất lượng không khí AQI theo phương pháp tính toán được áp dụng tại Việt Nam. Các cảm biến sử dụng cho thiết bị được lựa chọn trên cơ sở tối ưu về mặt chi phí, kích

thước và mức độ phù hợp với các khí mục tiêu. Thiết bị được thiết kế nhằm mục đích khảo sát, đánh giá mức độ đáp ứng của các thiết bị quan trắc kích thước nhỏ, cũng như khả năng ứng dụng của các công nghệ cảm biến mới trong việc quan trắc chất lượng không khí.

Bố cục luận văn gồm 4 chương với các nội dung sau:

- Chương 1: Tổng quan về AQI
- Chương 2: Một số loại cảm biến đo chất lượng không khí
- Chương 3: Xây dựng thiết bị đo nồng độ ô nhiễm không khí
- Chương 4: Kết luận

Chương 1 TỔNG QUAN VỀ AQI

1.1 Khái niệm

Chỉ số chất lượng không khí (viết tắt là AQI) là chỉ số được tính toán từ các thông số quan trắc các chất ô nhiễm trong không khí, nhằm cho biết tình trạng chất lượng không khí và mức độ ảnh hưởng đến sức khỏe con người. AQI tập trung vào các vấn đề sức khỏe mà chúng ta có thể gặp phải trong vài giờ hoặc vài ngày sau khi hít phải khí ô nhiễm. Thông thường AQI được tính toán với các yếu tố: NO_2 , SO_2 , O_3 , CO , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$

1.2 Tính toán AQI

AQI được tính toán theo từng thành phần chất ô nhiễm trong không khí. Mỗi thông số sẽ xác định được một giá trị AQI cụ thể, giá trị AQI cuối cùng là giá trị lớn nhất trong các giá trị AQI của mỗi thông số (ở đây không dùng phương pháp tính giá trị trung bình vì chỉ cần có một thông số vượt quá ngưỡng cho phép là có thể kết luận môi trường đã bị ô nhiễm và có ảnh hưởng đến sức khỏe của cộng đồng).

Hiện nay trên thế giới rất nhiều quốc gia đã xây dựng phương pháp tính toán và công bố AQI. Phương pháp tính toán AQI khá đa dạng, tuy nhiên các phương pháp đều được tính toán dựa trên nồng độ các khí gây ô nhiễm như: O_3 , CO , NO_2 , nồng độ bụi: TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ được lấy trung bình trong khoảng 1 giờ và 8 giờ hoặc 1 giờ – 24 giờ.

Có thể chia các phương pháp tính toán AQI thành 3 nhóm cơ bản sau:

- Sử dụng các bảng thông số đối chiếu (Anh, Pháp, Canada)
- Sử dụng các công thức tính toán đơn giản (Australia, Thành phố Hồ Chí Minh)
- Sử dụng các công thức tính toán phức tạp (Mỹ, Braxin, Hồng Kông, Hàn Quốc, Thái Lan, Bồ Đào Nha)

1.2.1 Tính toán AQI sử dụng bảng đối chiếu

Chỉ số chất lượng không khí đang được áp dụng tại Anh hiện nay có thang từ 1 đến 10. Để xác định giá trị của chỉ số này ta không cần một công thức toán học liên hệ giữa giá trị thông số ô nhiễm và giá trị AQI, ta chỉ cần có 1 bảng so sánh, khi giá trị thông số nằm trong một khoảng nào đó thì ta có chỉ số AQI tương ứng.

Các mức AQI đang được áp dụng hiện nay

Thấp 1 - 3			Trung bình 4 - 6			Cao 7 - 9			Rất cao 10

Ý nghĩa	AQI	Ảnh hưởng đến sức khỏe
Thấp	1, 2, 3	Không có tác động đối với cả những đối tượng nhạy cảm

Trung bình	4, 5, 6	Ảnh hưởng nhẹ, có thể nhận thấy ở nhóm nhạy cảm, không cần các biện pháp can thiệp
Cao	7, 8, 9	Ảnh hưởng đáng kể đến sức khỏe, có thể nhận thấy rõ ở nhóm nhạy cảm. Cần có các biện pháp phòng chống như hạn chế đi ra ngoài.
Rất cao	10	Ảnh hưởng mạnh đến nhóm nhạy cảm, chất lượng không khí có dấu hiệu ô nhiễm nặng.

Bảng 1-1: Tương ứng giữa giá trị thông số và giá trị AQI

Các mức AQI	AQI	O ₃		NO ₂		SO ₂		CO		PM ₁₀	
		Trung bình 8 giờ hoặc 1 giờ		8 giờ		15 phút		8 giờ		24 giờ	
		$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$	ppb	$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$	ppb	$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$	ppb	$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$	ppm	$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$	$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$
Thấp	1	0-33	0-16	0-95	0-49	0-88	0-32	0-3.8	0.0-3.2	0-21	0-19
	2	34-65	17-32	96-190	50-99	89-176	33-66	3.9-7.6	3.3-6.6	22-42	20-40
	3	66-99	33-49	191-286	100-149	177-265	67-99	7.7-11.5	6.7-9.9	43-64	41-62
Trung bình	4	100-125	50-62	287-381	150-199	266-354	100-132	11.6-13.4	10.0-11.5	65-74	63-72
	5	126-153	63-76	382-477	200-249	355-442	133-166	13.5-15.4	11.6-13.2	75-86	73-84
	6	154-179	77-89	478-572	250-299	443-531	167-199	15.5-17.3	13.3-14.9	87-96	85-94
Cao	7	180-239	90-119	573-635	300-332	532-708	200-266	17.4-19.2	15.0-16.5	97-107	95-105
	8	240-299	120-149	636-700	333-366	709-886	267-332	19.3-21.2	16.6-18.2	108-118	106-116
	9	300-359	150-179	701-763	367-399	887-1063	333-399	21.3-23.1	18.3-19.9	119-129	117-127
Rất cao	10	>360	>180	>764	>400	>1064	>400	>23.2	>20	>130	>128

Bảng 1-2: Tiêu chuẩn chất lượng không khí tại Anh

Thông số	Tiêu chuẩn		Áp dụng từ
	Nồng độ	Loại trung bình	
Benzene			
Toàn bộ lãnh thổ	16.25 μgm^{-3}	năm	31-12-03

England và Wales	5.00 μgm^{-3}	năm	31-12-10
Scotland và N.Ireland	3.25 μgm^{-3}	năm	31-12-10
1,3-Butadiene	2.25 μgm^{-3}	năm	31-12-03
CO			
England, Wales và N. Ireland	10.0 μgm^{-3}	8 giờ	31-12-03
Scotland	10.0 μgm^{-3}	8 giờ	31-12-03
Pb	0.5 μgm^{-3}	năm	31-12-04
	0.25 μgm^{-3}	năm	31-12-08
NO ₂	200 μgm^{-3} không quá 18 lần/năm	1 giờ	31-12-05
	40 μgm^{-3}	năm	31-12-05
PM₁₀			
Toàn lãnh thổ	50 μgm^{-3} , không quá 35 lần/năm	24 giờ	31-12-04
	40 μgm^{-3}	năm	31-12-04
Scotland	50 μgm^{-3} , không quá 7 lần/năm	24 giờ	31-12-10
	18 μgm^{-3}	năm	31-12-10
PM_{2.5} (Mục tiêu năm 2020 là 25 μgm^{-3})			
Toàn lãnh thổ	Cắt giảm 15% so với mức trần tại đô thị	năm	2010 - 2020
Scotland	12 μgm^{-3}	năm	2010
SO ₂	350 μgm^{-3} , không quá 24 lần/năm	1 giờ	31-12-04
	125 μgm^{-3} , không quá 3 lần/năm	24 giờ	31-12-04
	266 μgm^{-3} không quá 35 lần/năm	15 phút	31-12-05
PAH	0.25 ngm^{-3}	năm	31-12-10
O ₃	100 μgm^{-3} không quá 10 lần/năm	8 giờ hoặc 1 giờ	31-12-05

1.2.2 Tính toán AQI sử dụng các công thức đơn giản

- Tính toán từng AQI thành phần theo ngày và theo giờ áp dụng công thức

$$AQI_i^h = \frac{C_i^h}{S_i^h} \times 100 \quad (1.1)$$

C_i^h : Nồng độ của chất i

S_i^h : Tiêu chuẩn cho phép của chất i

- So sánh AQI max của tất cả các thông số trong trạm, giá trị AQI nào lớn nhất sẽ là chỉ số chất lượng không khí của trạm quan trắc tương ứng trong ngày.
- AQI theo từng loại sẽ có giá trị bằng trung bình cộng các giá trị AQI của các trạm thuộc cùng 1 loại.

Bảng 1-3: Các thông số và giá trị tiêu chuẩn dùng để tính AQI

Thông số	Tiêu chuẩn	Loại trung bình
O ₃	100ppb	1 giờ
NO ₂	120ppb	1 giờ
SO ₂	200ppb	1 giờ
CO	9ppm	8 giờ
PM ₁₀	50 µg/m ³	24 giờ
PM _{2.5}	25 µg/m ³	24 giờ
Tầm nhìn (B _{sp})	2.35 10 ⁻⁴ m ⁻¹	1 giờ

(B_{sp} = hệ số tán xạ ánh sáng do các hạt. Giá trị B_{sp} càng thấp, mật độ của các hạt lơ lửng càng thấp và tầm nhìn càng tốt. Tiêu chuẩn tầm nhìn OEH của NSW là 2.1 10⁻⁴ m⁻¹ tương ứng với tầm nhìn khoảng 9 km.)

Bảng 1-4: Tiêu chuẩn chất lượng không khí của Australia

Thông số	Loại trung bình	Nồng độ tối đa cho phép
CO	8 giờ	9.0 ppm
NO ₂	1 giờ	0.12 ppm
	Năm	0.03 ppm
O ₃	1 giờ	0.10 ppm
	4 giờ	0.08 ppm
SO ₂	1 giờ	0.20 ppm
	24 giờ	0.08 ppm
	Năm	0.02 ppm
Pb	Năm	0.50 µg/m ³
PM ₁₀	24 giờ	50 µg/m ³

Bảng 1-5: Các mức AQI đang được áp dụng tại Astralia

Ý nghĩa về chất lượng không khí	AQI
Rất tốt	0–33
Tốt	34–66
Trung bình	67–99
Kém	100–149
Rất kém	Lớn hơn 150

1.2.3 Tính toán AQI sử dụng các công thức phức tạp

AQI được tính toán từ các thông số CO, O₃, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} với thang đo từ 0 – 500. Cụ thể các mức AQI và ý nghĩa của các mức được cho trong bảng sau:

Bảng 1-6: Các mức AQI tại Hoa Kỳ

Khoảng giá trị AQI	Cảnh báo cho cộng đồng về chất lượng môi trường
0 - 50	Tốt
51 - 100	Trung bình
101 - 150	Ảnh hưởng xấu đến nhóm nhạy cảm
151 - 200	Ảnh hưởng xấu đến sức khỏe
201 - 300	Ảnh hưởng rất xấu đến sức khỏe
301 - 500	Nguy hiểm

Chỉ số chất lượng không khí từng thông số được tính toán theo công thức như sau:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1.2)$$

I_p : Chỉ số chất lượng không khí của thông số p

C_p : Nồng độ của chất ô nhiễm p

BP_{Hi} : Chỉ số trên của C_p

BP_{Lo} : Chỉ số dưới của C_p

I_{Hi} : Chỉ số AQI ứng với nồng độ BP_{Hi} I_{Lo} : Chỉ số AQI ứng với nồng độ BP_{Lo}

Bảng 1-7: Các chỉ số trên và chỉ số dưới dùng để tính AQI

Các mức trên và dưới							AQI	Ý nghĩa
O ₃ (ppm) 8 giờ	O ₃ (ppm) 1 giờ	PM ₁₀ (µg/m ³) 24 giờ	PM _{2.5} (µg/m ³) 24 giờ	CO (ppm) 8 giờ	SO ₂ (ppm) 24 giờ	NO ₂ (ppm) 24 giờ		
0.000 - 0.059		0 - 54	0.0 - 15.4	0.0 - 4.4	0.000 - 0.034		0 - 50	Tốt
0.060 - 0.075		55 - 154	15.5 - 40.4	4.5 - 9.4	0.035 - 0.144		51 - 100	Trung bình
0.076 - 0.095	0.125 - 0.164	155 - 254	40.5 - 65.4	9.5 - 12.4	0.145 - 0.224		101 - 150	Ảnh hưởng đến nhóm nhạy cảm
0.096 - 0.115	0.165 - 0.204	255 - 354	65.5 - 150.4	12.5 - 15.4	0.225 - 0.304		151 - 200	Tác động xấu đến sức khỏe
0.116 - 0.374 (0.155 - 0.404)	0.205 - 0.404	355 - 424	150.5 - 250.4	15.5 - 30.4	0.305 - 0.604	0.65 - 1.24	201 - 300	Tác động rất xấu đến sức khỏe
	0.405 - 0.504	425 - 504	250.5 - 350.4	30.5 - 40.4	0.605 - 0.804	1.25 - 1.64	301 - 400	Nguy hiểm
	0.505 - 0.604	505 - 604	350.5 - 500.4	40.5 - 50.4	0.805 - 1.004	1.65 - 2.04	401 - 500	Rất nguy hiểm

Để xây dựng được bảng các giá trị chỉ số trên và dưới như trên phải căn cứ vào tiêu chuẩn quốc gia về giới hạn nồng độ các chất ô nhiễm trong môi trường không khí.

Bảng dưới trình bày tiêu chuẩn về không khí xung quanh của Hoa Kỳ.

Bảng 1-8: Tiêu chuẩn không khí của Hoa Kỳ

Chất ô nhiễm	Loại tiêu chuẩn	Tiêu chuẩn
CO	Trung bình 8 giờ	9 ppm (10 mg/m ³)
	Trung bình 1 giờ	35 ppm (40 mg/m ³)
Pb	Trung bình quý	1.5 µg/m ³
NO ₂	Trung bình năm	0.053 ppm (100 µg/m ³)
O ₃	Trung bình một giờ cao nhất	0.12 ppm (235 µg/m ³)
	4 lần trung bình 8 giờ cao nhất trong ngày	0.08 ppm (157 µg/m ³)
PM ₁₀	Trung bình năm	50 µg/m ³

	Trung bình 24 giờ	150 µg/m ³
PM-2,5	Trung bình năm	15 µg/m ³
	Trung bình 24 giờ	65 µg/m ³
SO ₂	Trung bình năm	0.03 ppm (80 µg/m ³)
	Trung bình 24 giờ	0.14 ppm (365 µg/m ³)

1.2.4 Phương pháp tính toán AQI tại Việt Nam

Tại Việt Nam phương pháp tính toán AQI do Tổng cục môi trường ban hành được phát triển dựa theo phương pháp thứ 2: sử dụng các công thức đơn giản. Đồng thời việc tính toán AQI phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- AQI được tính toán riêng cho số liệu của từng trạm quan trắc không khí tự động cố định liên tục đối với môi trường không khí xung quanh;
- AQI được tính toán cho từng thông số quan trắc. Mỗi thông số sẽ xác định được một giá trị AQI cụ thể. Giá trị AQI cuối cùng là giá trị lớn nhất trong các giá trị AQI của mỗi thông số;
- Thang đo giá trị AQI được chia thành các khoảng nhất định. Khi giá trị AQI nằm trong một khoảng nào đó, thì thông điệp cảnh báo cho cộng đồng ứng với khoảng giá trị đó sẽ được đưa ra.

Các thông số thường được sử dụng là các thông số trong **QCVN 05:2009/BTNMT** bao gồm: SO₂, CO, NO_x, O₃, PM₁₀, TSP. Số liệu quan trắc được đưa vào tính toán đã qua xử lý, đảm bảo đã loại bỏ các giá trị sai lệch, đạt yêu cầu đối với quy trình quy phạm về đảm bảo kiểm soát chất lượng số liệu.

Quy trình tính toán AQI bao gồm:

- Tính toán giá trị AQI theo giờ theo công thức

$$AQI_x^h = \frac{TS_x}{QC_x} \times 100 \quad (1.3)$$

TS_x: Giá trị quan trắc trung bình mỗi giờ của chất X

QC_x: Giá trị quy chuẩn trung bình giờ của chất X

Lưu ý: Đối với thông số PM₁₀: do không có quy chuẩn trung bình 1 giờ, vì vậy lấy quy chuẩn của TSP trung bình 1 giờ thay thế cho PM₁₀

Giá trị AQI theo giờ là giá trị lớn nhất của các thông số trong cùng một thời gian

$$AQI_x^h = \max AQI_x^h \quad (1.4)$$

- Tính toán giá trị AQI theo ngày: Tính toán giá trị AQI theo ngày của mỗi thông số theo công thức sau:

$$AQI_x^{24h} = \frac{TS_x}{QC_x} \times 100 \quad (1.5)$$

TS_x: Giá trị quan trắc trung bình 24 giờ của chất X

QC_x: Giá trị quy chuẩn trung bình 24 giờ của chất X

Giá trị AQI được làm tròn thành số nguyên

Giá trị AQI theo ngày của từng thông số được xác định là giá trị lớn nhất trong số các giá trị AQI theo giờ của thông số đó trong 01 ngày và giá trị AQI trung bình 24 giờ của thông số đó.

$$AQI_x^d = \max(AQI_x^{24h}, AQI_x^h) \quad (1.6)$$

Trong đó AQI_{dx} là giá trị AQI ngày của thông số X

Giá trị AQI theo ngày là giá trị AQI lớn nhất của các thông số được lấy theo ngày của trạm quan trắc đó.

$$AQI_x^d = \max AQI_x^d \quad (1.7)$$

- So sánh AQI đã được tính toán với bảng
- Công bố thông tin về AQI cho cộng đồng

Khoảng giá trị AQI	Chất lượng không khí	Ảnh hưởng sức khỏe	Màu
0 – 50	Tốt	Không ảnh hưởng đến sức khỏe	Xanh
51 – 100	Trung bình	Nhóm nhạy cảm nên hạn chế thời gian ở bên ngoài	Vàng
101 – 200	Kém	Nhóm nhạy cảm cần hạn chế thời gian ở bên ngoài	Da cam
201 – 300	Xấu	Nhóm nhạy cảm tránh ra ngoài. Những người khác hạn chế ở bên ngoài	Đỏ
Trên 300	Nguy hại	Mọi người nên ở trong nhà	Nâu

Chương 2 MỘT SỐ LOẠI CẢM BIẾN ĐO CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ

2.1 Cảm biến đo bụi

2.1.1 Ô nhiễm bụi

Các hạt aerosol khí quyển còn được gọi là hạt bụi trong khí quyển, hạt vật chất (PM), hoặc vật chất hạt lơ lửng (SPM) là chất rắn hoặc chất lỏng cực nhỏ lơ lửng trong bầu khí quyển của Trái Đất. Thuật ngữ aerosol thường đề cập đến hỗn hợp hạt / không khí, trái ngược với các hạt vật chất đơn lẻ. Nguồn của các hạt vật chất có thể là tự nhiên hoặc do con người gây ra. Chúng có tác động đến khí hậu và lượng mưa ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người.

Kích thước của các hạt có liên quan trực tiếp đến nguy cơ tiềm ẩn của chúng đối với sức khỏe. Các hạt có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng $10\mu\text{m}$ được các tổ chức môi trường lo ngại vì chúng là những hạt có thể đi qua mũi, cổ họng và đi vào phổi. Khi hít vào, những hạt này có thể ảnh hưởng đến tim và phổi và gây ra những ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe.

Bụi có thể phân thành bốn loại dựa trên kích thước hạt:

- PM_{10} : là các hạt mịn, rất mịn và siêu mịn có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng $10\mu\text{m}$. Nguồn phát thải PM_{10} có thể là bụi đường, khói từ các nhà máy công nghiệp...
- $\text{PM}_{2.5}$: là các hạt mịn có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng $2.5\mu\text{m}$ được tìm thấy trong khói và sương mù. Nguồn phát thải $\text{PM}_{2.5}$ có thể là khói từ các vụ cháy rừng, khí thải từ các nhà máy điện, các ngành công nghiệp và ô tô, khí thải từ động cơ diesel của các phương tiện giao thông.
- PM_1 : là các hạt rất mịn (nguy hiểm nhất đối với sức khỏe) có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng $1\mu\text{m}$. Chúng hầu như bị loại bỏ bởi khói không khí khi có mưa. Tuy nhiên chúng vẫn có thời gian tích lũy khá dài trong khí quyển.
- $\text{PM}_{0.1}$: các hạt siêu mịn có đường kính nhỏ hơn $0.1\mu\text{m}$, còn được gọi là "hạt nano". Thời gian cư trú của hạt này trong khí quyển rất ngắn, dao động từ vài phút đến vài giờ.

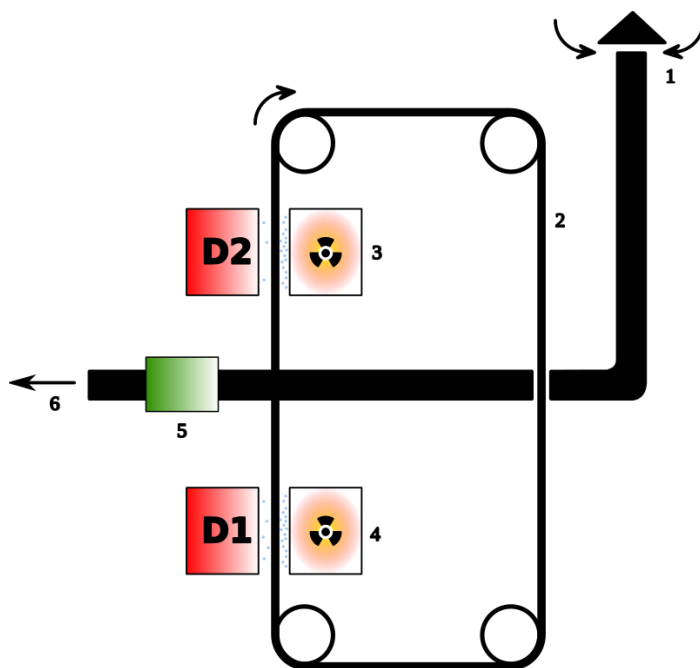
$\text{PM}_{2.5}$ và PM_1 có thể đi sâu vào phần sâu nhất (phế nang) của phổi, nơi trao đổi khí xảy ra giữa không khí và máu. Đây là những hạt nguy hiểm nhất vì phần phế nang của phổi không có phương tiện hiệu quả để loại bỏ chúng và nếu các hạt tan trong nước, chúng có thể đi vào máu trong vòng vài phút. Nếu chúng không hòa tan trong nước, chúng vẫn tồn tại trong phổi phế nang trong một thời gian dài. Các nguyên tố hòa tan có thể là PAHs (hydrocacbon thơm đa vòng) hoặc dư lượng của benzen được phân loại là chất gây ung thư.

2.1.2 Phương pháp đo ô nhiễm bụi

2.1.2.1 Thiết bị giám sát suy giảm beta

Phương pháp phổ biến hiện nay để đo nồng độ các hạt PM_{10} và $PM_{2.5}$ trong khí quyển là sử dụng **Thiết bị giám sát suy giảm beta** (*Beta Attenuation Monitors*), hay còn gọi là **BAM**. Đây là thiết bị chuyên dụng, và cũng là thiết bị chính thức duy nhất được sử dụng để theo dõi chất lượng không khí ở Trung Quốc, Mỹ và hầu hết các nước thế giới.

Nguyên tắc làm việc BAM khá đơn giản: Nó đo lường sự giảm số lượng hạt beta (electron) truyền qua một lớp bụi mỏng (PM). Khi độ dày của lớp PM tăng lên, số lượng các hạt beta có thể đi qua càng thấp.



Hình 2-1: Thiết bị giám sát suy giảm beta

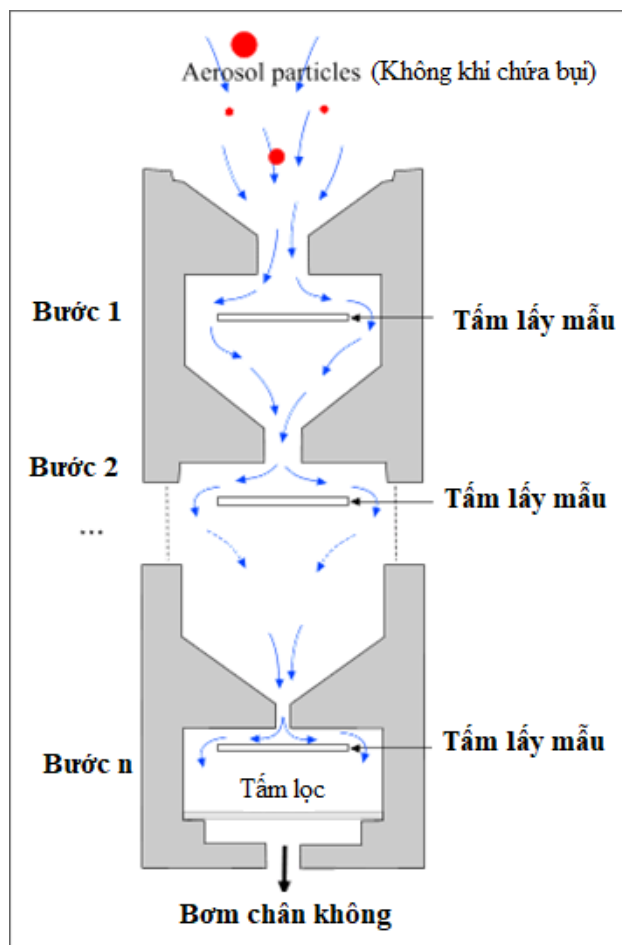
Ký hiệu: 1 - Đầu vào không khí; 2 – Bảng lấy mẫu; Nguồn bức xạ beta 3 và 4 ; D1 và D2 – Đầu dò bức xạ beta; 5 - Máy bơm không khí; 6 - Khí thải.

2.1.2.2 Thác va chạm (Cascade impactor).

Một phương pháp đo bụi khác cũng được sử dụng khá phổ biến là **Thác va chạm** (*Cascade impactor*). Thiết bị hoạt động dựa trên quán tính để tách các hạt bụi ra khỏi dòng khí. Dòng khí chứa bụi được bơm qua một thiết bị với nhiều tầng lọc và các vòi phun có kích thước khác nhau tương ứng với mỗi tầng. Khi không khí được tăng tốc thông qua nhiều vòi phun hẹp, các hạt nhỏ vẫn còn trong dòng chảy, trong khi các hạt lớn có quán tính đủ lớn sẽ bị giữ lại trên đĩa thu thập mẫu tương ứng.

Tổng nồng độ khối lượng của các hạt được đo bằng cách sử dụng một lớp lọc phủ Teflon và một cân điện tử độ nhạy cao để đo khối lượng của bộ lọc. Đối với mục đích quan trắc, yêu cầu tần số lấy mẫu cao (1-10 s), trong khi các điểm lấy mẫu hàng loạt sử

dụng lượng mẫu lớn (high-volume samplers HVS) được chứa và bảo vệ trong bình lấy mẫu trong một thời gian dài để tính toán nồng độ trung bình và thực hiện phân tích thành phần hóa học.

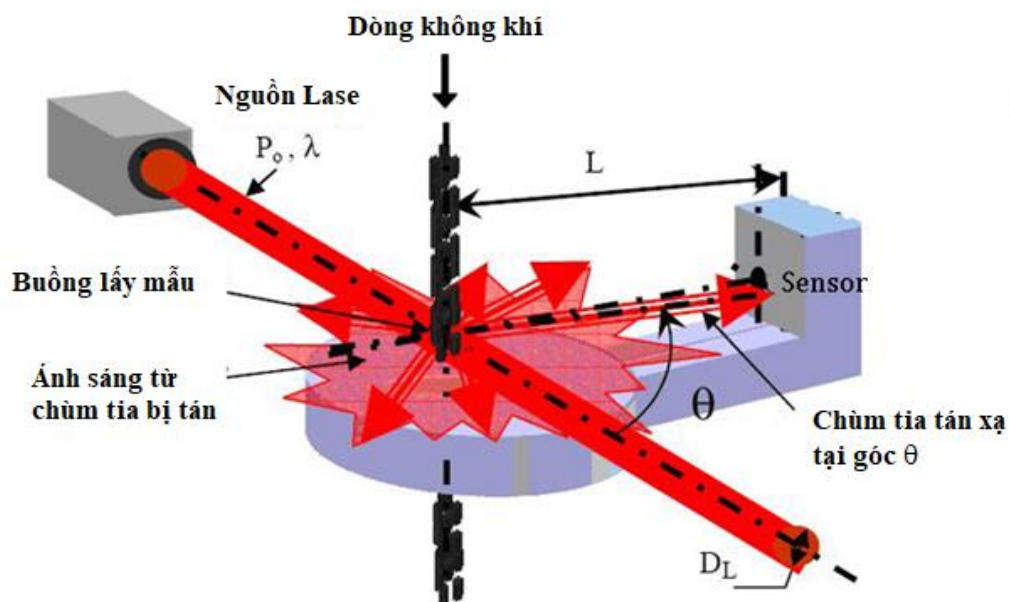


Hình 2-2: Thác va chạm (Cascade impactor).

2.1.2.3 Cảm biến đo bụi sử dụng công nghệ nhiễu xạ laser

Một phương pháp nữa được sử dụng trong các thiết bị giám sát chất lượng không khí giá rẻ là cảm biến đo bụi sử dụng công nghệ nhiễu xạ laser (tán xạ ánh sáng). Nguyên tắc của phương pháp này như sau: khi một chùm laser đi qua không khí không chứa bụi, ánh sáng từ chùm tia không bị tán xạ. Khi trong không khí có bụi ánh sáng từ chùm tia sẽ bị tán xạ ra xung quanh. Ánh sáng tán xạ được thu nhận bởi đầu thu và chuyển thành tín hiệu điện và các tín hiệu này sẽ được khuếch đại và xử lý. Số lượng và đường kính của các hạt có thể thu được bằng cách phân tích tín hiệu bởi vì dạng sóng tín hiệu có quan hệ nhất định với đường kính hạt.

Cảm biến đo bụi như vậy sử dụng nguồn phát quang hồng ngoại gần (diode laser). Đầu thu là một diod quang kiểu thác với bộ khuếch đại. Nguồn phát hồng ngoại được sử dụng trong trường hợp này để tránh nhiễu với ánh sáng ban ngày vào buồng.



Hình 2-3: Cảm biến đo bụi theo phương pháp tán xạ

Mật độ bụi phụ thuộc chủ yếu vào lưu lượng không khí. Nguồn laser, cảm biến và ống kính chuẩn trực được đặt ở vị trí bên trên để ngăn chặn sự lắng đọng của bụi lên bề mặt khi dòng khí không lưu thông qua buồng đo. (Bên trong buồng lấy mẫu có một nhiệt điện trở đặt trước cảm biến được sử dụng để sưởi ấm dòng khí tạo ra một dòng chảy liên tục qua cảm biến).

Góc tối ưu giữa nguồn Laser và cảm biến được tối ưu từ kết quả thực nghiệm. Mỗi hạt đi qua chùm tia laser khuếch tán một phần của chùm tia này tới cảm biến và lưu lượng không khí là không đổi, độ rộng xung của tín hiệu từ cảm biến được sử dụng để phân loại các hạt theo kích thước. Số lượng trung bình các hạt được thu thập và hiển thị với chu kỳ khoảng 30s.

Các hạt có kích thước lớn hơn $10\mu\text{m}$ mặc dù có hiện diện trong không khí nhưng không gây hại tới sức khỏe nên được bỏ qua.

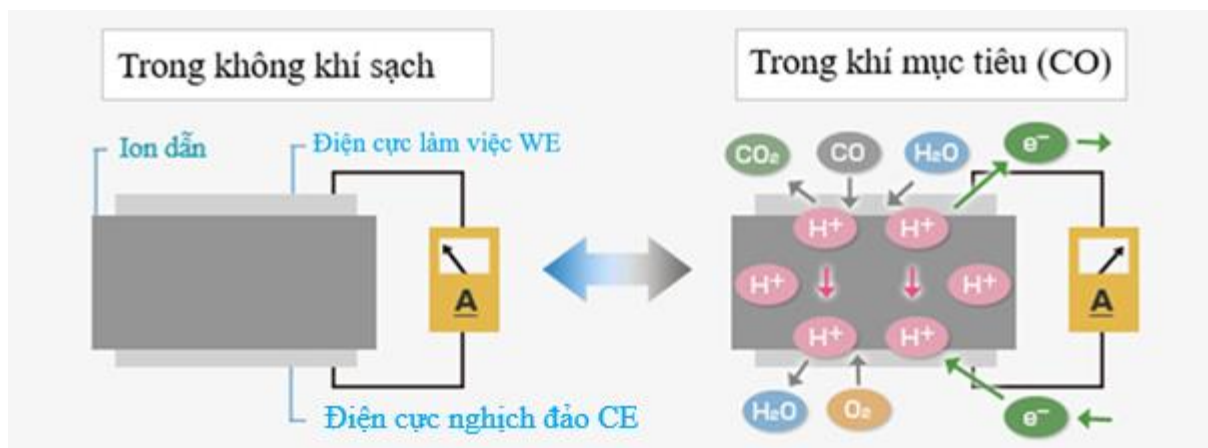
2.2 Cảm biến đo nồng độ khí

Một trong những thách thức đầu tiên khi xây dựng một thiết bị giám sát chất lượng không khí là xác định loại cảm biến khí nào chúng ta cần. Công nghệ cảm biến có những hạn chế của chúng vì thế một dòng cảm biến không thể phù hợp với tất cả các loại khí cần đo hoặc mục đích của ứng dụng. Vì thế cần phải nắm được các thuộc tính của các loại công nghệ cảm biến khác nhau được sử dụng để phát hiện khí, từ đó có thể lựa chọn được loại cảm biến phù hợp với mục đích ứng dụng. Việc lựa chọn loại cảm biến thích hợp để theo dõi khí liên quan đến việc đánh giá nhiều yếu tố như: loại khí cần đo, chi phí, bố trí cảm biến, điều kiện môi trường (nhiệt độ / độ ẩm), hàm lượng oxy, mức tiêu thụ điện và mức độ nhiễu chéo.

Trong phần này chúng ta sẽ đi tìm hiểu về cấu tạo, nguyên lý hoạt động, ưu điểm và nhược điểm của một số dòng cảm biến đo nồng độ khí thông dụng, trên cơ sở đó đánh giá và lựa chọn loại cảm biến phù hợp với mục đích ứng dụng của sản phẩm.

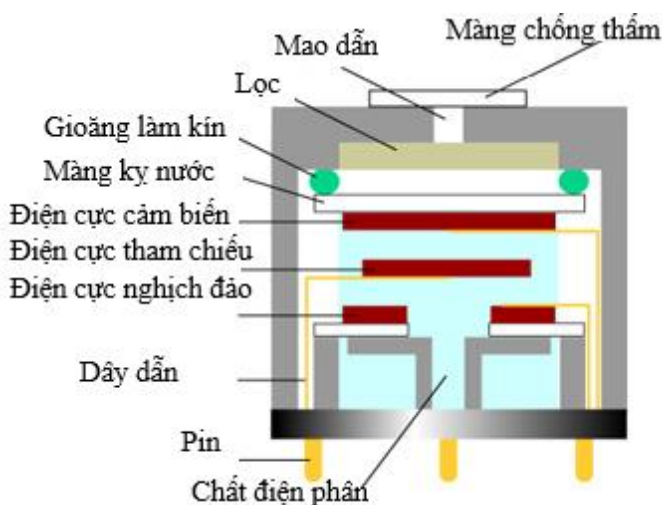
2.2.1 Cảm biến điện hóa

Các cảm biến điện hóa thường được sử dụng để phát hiện và đo nồng độ các loại khí độc hại ở mức ppm và khí ôxy ở mức phần trăm thể tích (% vol).



Hình 2-4: Nguyên lý cảm biến điện hóa

Cảm biến điện hóa hoạt động bằng cách phản ứng với chất phân tích và tạo ra tín hiệu điện. Hầu hết các cảm biến khí điện hóa là các cảm biến Amperometric (là phương pháp phát hiện các ion trong một dung dịch dựa trên dòng điện hoặc sự thay đổi dòng điện), tạo ra một dòng điện tỷ lệ tuyến tính với nồng độ khí. Nguyên tắc đằng sau cảm biến amperometric là đo lường mối quan hệ giữa cường độ dòng điện và điện áp (U/I) trong một tế bào điện hóa ở trạng thái không cân bằng. Dòng điện liên quan đến tỷ lệ của quá trình điện phân tại điện cực phản ứng (điện cực làm việc WE) có điện thế thường được giữ không đổi bằng một điện cực khác (còn gọi là điện cực tham chiếu RE).



Hình 2-5: Cấu tạo cảm biến điện hóa

Khí được đo tại điện cực WE (cũng gọi là điện cực cảm biến SE). Đây thường là một loại xúc tác kim loại được lựa chọn để tối ưu hóa phản ứng với khí mục tiêu. Khí được đo đi qua hàng rào khuếch tán mao dẫn và phản ứng với điện cực. Dòng các electron phát sinh từ phản ứng điện hóa đến hoặc đi từ điện cực WE qua một mạch điện bên ngoài tỷ lệ với lượng khí phản ứng tương ứng trên điện cực. Dòng điện trên điện cực WE là tín hiệu đầu ra của cảm biến. Mối quan hệ giữa dòng trên điện cực WE và nồng độ khí là tuyến tính.

Điện cực nghịch đảo CE hoạt động như một nửa thứ hai của tế bào điện hóa, cho phép các điện tử đi vào hoặc ra khỏi chất điện phân với số lượng bằng nhau và ngược hướng với các điện tử tham gia phản ứng trên điện cực WE.

Ngoài hai điện cực trên một điện cực thứ ba được bổ sung thêm, được gọi là điện cực tham chiếu RE, để cải thiện độ ổn định tỷ số tín hiệu trên nhiễu và thời gian đáp ứng của thiết kế 2 điện cực bằng cách cung cấp điện thế ổn định trong chất điện phân và nó thường được bảo vệ khi tiếp xúc với mẫu khí ga. Đảm bảo cho không có dòng điện nào được phép chạy qua điện cực tham chiếu.

Ưu điểm: Cảm biến điện hóa có thể được sử dụng trong một dải nhiệt độ rộng (-20° đến $+50^{\circ}$ C là phổ biến). Đây là dòng cảm biến có kích thước nhỏ gọn, có tuổi thọ dài (1-3 năm), đòi hỏi ít năng lượng và đáp ứng tốt. Một số cảm biến ngoại lệ, chẳng hạn như hydrogen fluoride (HF), chỉ có thể hoạt động từ 12-18 tháng.

Nhược điểm: Mặc dù các cảm biến được thiết kế cụ thể cho mỗi loại khí, tuy nhiên một số dòng có hiện tượng nhiễu chéo với sự hiện diện các loại khí khác.

Hiệu chuẩn: Để đảm bảo cho sự ổn định và độ chính xác của cảm biến điện hóa cần hiệu chuẩn định kỳ cảm biến với khí mục tiêu đã biết nồng độ, thường có sẵn trong các chai dùng một lần.

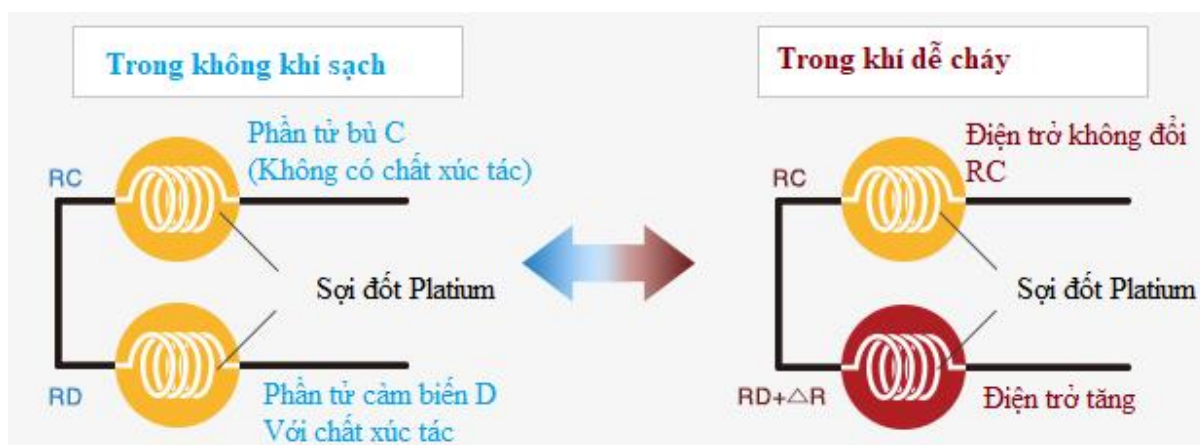
Nhìn chung, các cảm biến điện hóa cung cấp hiệu suất rất tốt cho cả máy dò khí di động và cố định trong việc giám sát thường xuyên các loại khí độc và nồng độ oxy.

2.2.2 Cảm biến hạt xúc tác

Cảm biến xúc tác đại diện cho một số lượng lớn các thiết bị phát hiện khí được sản xuất ngày nay. Cảm biến xúc tác cũng được gọi là cảm biến hạt xúc tác, là công nghệ phổ biến nhất được sử dụng để phát hiện và đo khí và hơi dễ cháy, chẳng hạn như metan, từ 0-100% LEL (*Lower Explosive Limit*: giới hạn nổ dưới). Cùng một loại cảm biến đó có thể được cấu hình để phát hiện khí metan trên với nồng độ từ 0–5% thể tích. Công nghệ cảm biến hạt xúc tác cũng được sử dụng để phát hiện các loại khí dễ cháy như Hydrocarbon và là công nghệ này cũng đã được chứng minh là có thể đo lường nồng độ của Hydro.

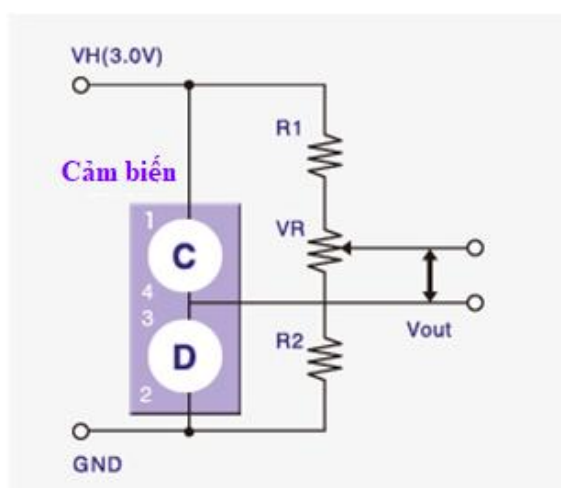
Đây là dòng cảm biến đáng tin cậy được sử dụng trong cả hệ thống phát hiện khí di động và cố định để đo lường khí dễ cháy.

Cảm biến khí kiểu xúc tác bao gồm hai phần tử: một phần tử detector (D) có chứa chất xúc tác và nhạy cảm với các khí dễ cháy, và một phần tử bù (C) là trơ. Khí dễ cháy sẽ chỉ cháy trên nguyên tố detector, gây ra sự gia tăng nhiệt độ và kết quả là làm thay đổi điện trở của cảm biến. Khí dễ cháy sẽ không cháy trên phần tử bù - nhiệt độ và điện trở của nó vẫn không thay đổi (Hình 2-6).



Hình 2-6: Nguyên lý của cảm biến hạt xúc tác

Một mạch cầu Wheatstone được hình thành với cả hai phần tử C và D, một biến trở (VR) được sử dụng để điều chỉnh để duy trì trạng thái cân bằng của mạch cầu trong không khí sạch. Khi có khí dễ cháy, chỉ có điện trở của phần tử detector sẽ tăng lên, gây ra sự mất cân bằng trong mạch cầu, do đó tạo ra tín hiệu điện áp đầu ra (V_{out}). Giá trị điện áp đầu ra tỷ lệ thuận với nồng độ của khí dễ cháy. Nồng độ khí có thể được xác định bằng cách đo điện áp đầu ra.



Hình 2-7: Mạch cầu Wheatstone với hai phần tử C và D



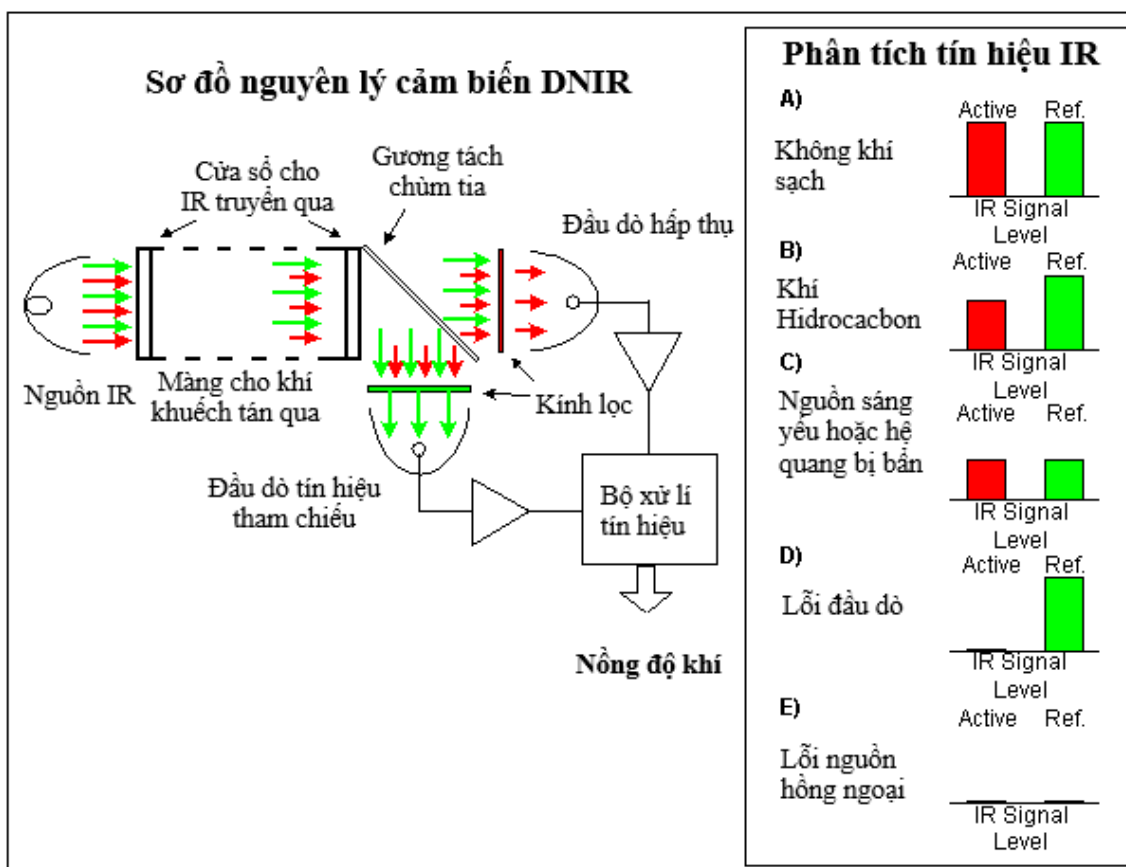
Hình 2-8: Mối liên hệ giữa nồng độ khí và điện áp đầu ra

Ưu điểm: Cảm biến hạt xúc tác nói chung là cực kỳ đáng tin cậy. Chúng ít nhạy cảm với các hiệu ứng nhiệt độ và độ ẩm, với độ lặp lại và độ ổn định cao. Tuổi thọ loại cảm biến này là từ 3 đến 5 năm.

Nhược điểm: Đối với các ứng dụng giám sát khí dễ cháy trong môi trường có nồng độ oxy dưới 10% thể tích hoặc có mức độ ô nhiễm cao cảm biến hạt xúc tác sẽ bị ngộ độc, trong điều kiện này loại cảm biến nên được khuyến cáo sử dụng là cảm biến hồng ngoại. Tuy nhiên, việc bị ngộ độc hay ức chế đối với cảm biến chỉ xảy ra với một số khí nhất định, các chất này có thể làm giảm độ nhạy của nó hoặc làm hỏng khả năng phục hồi của lớp xúc tác bên ngoài. Một số chất gây ngộ độc và gây ức chế phổ biến đối với dòng cảm biến này là chì, silic, photpho và lưu huỳnh. Ngoài ra, các cảm biến xúc tác có mức tiêu thụ năng lượng cao, gây ra hạn chế khi tích hợp vào các máy dò cầm tay.

2.2.3 Cảm biến hồng ngoại

Cảm biến hồng ngoại không phân tán (NDIR), thường được gọi đơn giản là cảm biến hồng ngoại (IR) hoạt động trong một phạm vi nhiệt độ rộng, điều kiện độ ẩm cao và cả trong môi trường khí trơ. Đây là dòng cảm biến được sử dụng khá phổ biến trong các hệ thống quan trắc hiện nay để đo nồng độ của các khí dễ cháy.



Hình 2-9: Sơ đồ nguyên lý cảm biến DNIR

Cảm biến hồng ngoại (IR) phát hiện khí dựa trên sự hấp thụ năng lượng của các phân tử hydrocarbon. Các phân tử bao gồm các nguyên tử được giữ lại với nhau bằng

các liên kết có thể dao động (giãn, uốn cong hoặc xoay) theo ba chiều. Khi một liên kết hóa học hấp thụ bức xạ hồng ngoại, liên kết tiếp tục dao động ở cùng tần số nhưng với biên độ lớn hơn sau khi truyền năng lượng. Để hấp thụ năng lượng hồng ngoại (tức là, để năng lượng dao động được chuyển vào phân tử), tần số phải phù hợp với tần số của dao động.

Khi bức xạ hồng ngoại đi qua buồng cảm biến chứa khí, chỉ những bước sóng phù hợp với các chế độ dao động của liên kết hóa học trong các phân tử khí được hấp thụ. Phần còn lại của ánh sáng được truyền qua buồng mà không bị cản trở. Lượng ánh sáng được hấp thụ bởi các phân tử trong buồng cảm biến được đo đạc bởi đầu dò quang. Dải bước sóng thường được sử dụng để đo khí dễ cháy gần $3,33\mu\text{m}$ (micromet) hoặc $3,4\mu\text{m}$. Bộ lọc giới hạn dải bước sóng được sử dụng để đo lường. Đầu dò hoạt động đo lường ánh sáng hồng ngoại hấp thụ ở dải bước sóng này. Một đầu dò tham chiếu đo lường ánh sáng ở bước sóng khác mà không có độ hấp thụ.

Nồng độ của khí cần đo được tính toán dựa trên cường độ tín hiệu thu được từ cảm biến theo định luật Bia-Lambert. Theo định luật này, cường độ của tín hiệu tỷ lệ thuận với cường độ của chùm tia hồng ngoại; đặc tính hấp thụ riêng của các phân tử khí trong buồng cảm biến quang học; khoảng cách ánh sáng truyền qua buồng cảm biến (chiều dài đường quang); và nồng độ thực tế của khí được đo.

Ngoài việc được sử dụng phát hiện khí dễ cháy cảm biến hồng ngoại DNIR cũng được thiết kế để phát hiện Carbon Dioxide (CO_2) với nồng độ từ 0–5% thể tích.

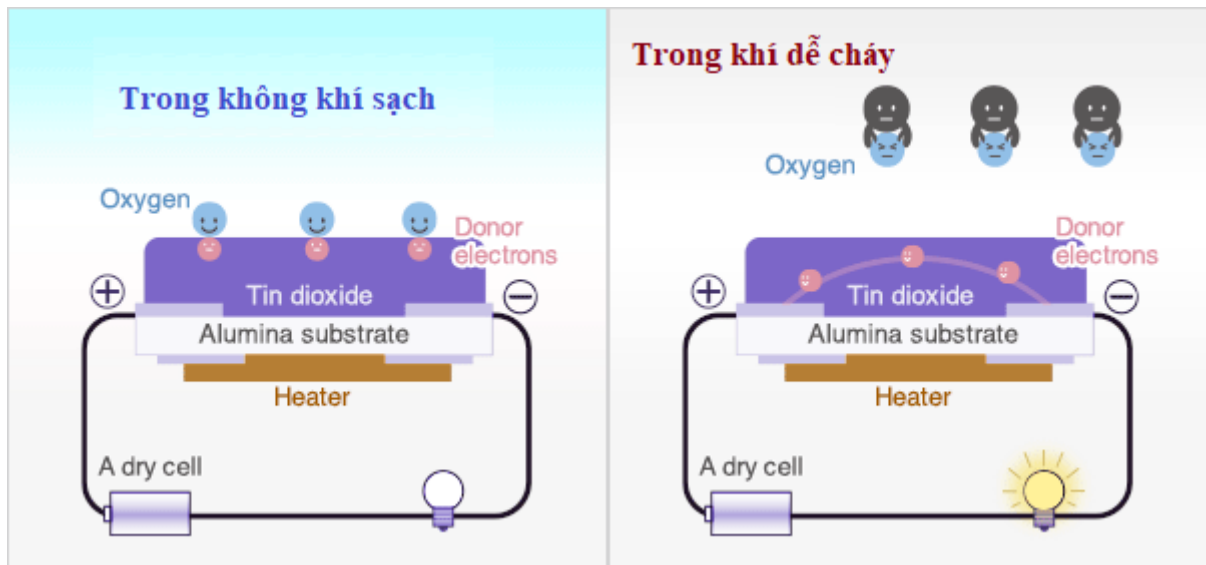
Ưu điểm: Có thể phát hiện khí trong môi trường khí trơ (ít hoặc không có oxy). Loại cảm biến này có thể được thiết kế để đo một loại khí mục tiêu cụ thể. Mỗi loại khí khác nhau sử dụng một nguồn sáng có bước sóng khác nhau tương ứng với từng loại khí. Có thể phát hiện khí ở nồng độ rất thấp. Chi phí vận hành bảo trì thấp và không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố gây ức chế hoặc ngộ độc như cảm biến xúc tác.

Nhược điểm: Loại cảm biến này không phát hiện và đo đạc được nồng độ của các khí mà phân tử của nó không hấp thụ photon ở dải bước sóng cận hồng ngoại như Hydro, Acetylene.

2.2.4 Cảm biến bán dẫn (MOS)

Cảm biến bán dẫn phát hiện khí bằng phản ứng hóa học diễn ra khi khí tiếp xúc trực tiếp với cảm biến. SnO_2 là vật liệu phổ biến nhất được sử dụng trong cảm biến bán dẫn, và điện trở trong cảm biến bị giảm khi tiếp xúc với khí được theo dõi. Trở kháng của SnO_2 thường khoảng $50\text{ k}\Omega$ trong không khí nhưng có thể giảm xuống còn khoảng $3,5\text{ k}\Omega$ khi có sự hiện diện của 1% mêtan. Sự thay đổi trở kháng này được sử dụng để tính toán nồng độ khí. Cảm biến bán dẫn thường được sử dụng để phát hiện hydro, oxy, hơi rượu và các khí độc hại như carbon monoxide. Một trong những ứng dụng phổ biến nhất cho cảm biến bán dẫn là cảm biến carbon monoxide. Cảm biến loại này cũng được

sử dụng trong máy đo nồng độ cồn trong hơi thở. Vì cảm biến này phải tiếp xúc với khí để phát hiện ra nó, nên các cảm biến bán dẫn có phạm vi hoạt động nhỏ hơn so với cảm biến hồng ngoại hoặc máy dò siêu âm.



Hình 2-10: Nguyên lý làm việc của cảm biến MOS

Ưu điểm: Có khả năng hoạt động tốt ở môi trường có độ ẩm thấp. Có thể phát hiện được nhiều loại khí, bao gồm cả khí dễ cháy. Giá của loại cảm biến này rẻ hơn rất nhiều so với các dòng cảm biến khác.

Nhược điểm: Đầu ra của các cảm biến MOS thay đổi lôgarit với nồng độ khí. Điều này giới hạn độ chính xác của cảm biến và phạm vi đo tổng thể của cảm biến. Những thay đổi về nồng độ oxy, độ ẩm và nhiệt độ cũng ảnh hưởng đến hiệu suất của cảm biến. Mặc dù cảm biến MOS có chi phí tương đối thấp, nhưng độ ổn định và độ lặp lại của cảm biến kém. Tiêu thụ điện năng cao do sự gia nhiệt của nguyên tố, hạn chế việc sử dụng cảm biến này trong các thiết bị di động. Cảm biến MOS thường được sử dụng trong các hệ thống phát hiện khí cố định có chi phí thấp, có mạch điều khiển điện tử.

2.3 Lựa chọn cảm biến cho thiết bị đo độ ô nhiễm không khí

Đề tài đặt ra mục tiêu thiết kế và chế tạo một thiết bị đo độ ô nhiễm không khí theo tiêu chuẩn của Việt Nam. Các giá trị cần phải đo đạc và tính toán trên thiết bị là nồng độ của các chất ô nhiễm sau: SO_2 , CO , NO_x , O_3 , PM_{10} , TSP.

Qua việc khảo sát, tìm hiểu cách sử dụng các loại cảm biến đo độ ô nhiễm không khí. Đánh giá khả năng ứng dụng của từng loại cảm biến, mức độ đáp ứng cũng như giá thành của từng loại cảm biến. Các cảm biến sau được lựa chọn thử nghiệm trên thiết bị bao gồm:

- Cảm biến đo bụi PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ **Nova SDS011**: Đây là cảm biến đo bụi theo phương pháp tán xạ hồng ngoại có thể đo được nồng độ của bụi PM_{10} và $\text{PM}_{2.5}$ với một độ chính xác tương đối và giá thành rẻ. Kết quả đo đạc từ cảm biến

cũng có thể cải thiện thông qua việc xử lý bằng phần mềm và một quy trình vận hành, bảo dưỡng cảm biến hợp lý.

- Cảm biến đo nồng độ CO **MQ7**: Đây là cảm biến đo nồng độ CO được sử dụng rất phổ biến hiện nay trên các thiết bị phát hiện CO giá rẻ. Ưu điểm của cảm biến này là độ nhạy cao, thời gian đáp ứng nhanh, dải đo rộng, tuổi thọ cao, và mạch vận hành đơn giản. Tuy nhiên việc ứng dụng cảm biến này vào một thiết bị quan trắc đòi hỏi việc thiết kế phần cứng, quá trình đo đạc và tính toán cũng như quá trình hiệu chuẩn cảm biến khá phức tạp. Một vấn đề nữa là kết quả đo của cảm biến bị ảnh hưởng khá nhiều bởi hiện tượng nhiễu chéo với các chất khác và cả với sự có mặt của độ ẩm, Oxy không khí ... vì vậy nên môi trường sử dụng của cảm biến này cũng bị hạn chế. Việc cảm biến bán dẫn được lựa chọn ứng dụng trên thiết bị nhằm đánh giá lại hiệu năng của cảm biến đồng thời tìm phương pháp tăng cường độ chính xác cho cảm biến để tận dụng tối đa ưu thế của dòng cảm biến này.
- Cảm biến đo nồng độ SO₂ **ME3-SO2**: Đây là một cảm biến đo nồng độ khí thuộc dòng cảm biến điện hóa. Đây là dòng cảm biến có độ chính xác cao, có thể phát hiện khí ở nồng độ rất thấp và mỗi cảm biến được thiết kế tối ưu cho từng khí mục tiêu cụ thể. Tuy nhiên giá của dòng cảm biến này khá cao.
- Cảm biến đo nồng độ NO₂ **SPEC 3SP_NO2**: Tương tự với cảm biến SO₂ đây cũng là một cảm biến thuộc dòng cảm biến điện hóa, tuy nhiên thiết kế của cảm biến được thu nhỏ để có thể tối ưu cho các thiết bị đo đạc di động. Dòng cảm biến này có mức tiêu thụ năng lượng rất thấp, hoạt động ở mức điện áp 3.3V và có tuổi thọ rất cao có thể lên tới 10 năm.
- Cảm biến đo nồng độ CO₂ **MH Z19B**: Đây là một cảm biến khí hồng ngoại phổ biến, có thước nhỏ, sử dụng nguyên lý hồng ngoại không phân tán (NDIR) để phát hiện sự tồn tại của CO₂ trong không khí, có độ chọn lọc cao, không phụ thuộc nồng độ oxy và tuổi thọ cao. Bên trong cảm biến có tích hợp bù nhiệt độ; với hai dạng tín hiệu đầu ra UART và đầu ra PWM.

Đề tài sẽ đi xây dựng phần cứng, phần mềm để có thể kết nối với các cảm biến và đọc được giá trị từ chúng phục vụ cho việc tính toán giá trị AQI. Xây dựng quy trình vận hành và hiệu chỉnh cho từng cảm biến. Đồng thời tìm kiếm và thử nghiệm các phương pháp nhằm tối ưu kết quả đo đạc của các cảm biến, qua đó đánh giá độ tin cậy cũng như mức độ phù hợp của từng cảm biến cho việc đối với việc theo dõi chất lượng không khí này.

Chương 3 XÂY DỰNG THIẾT BỊ ĐO NỒNG ĐỘ Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ

3.1 Thiết kế phần cứng

3.1.1 Tổng quan thiết bị

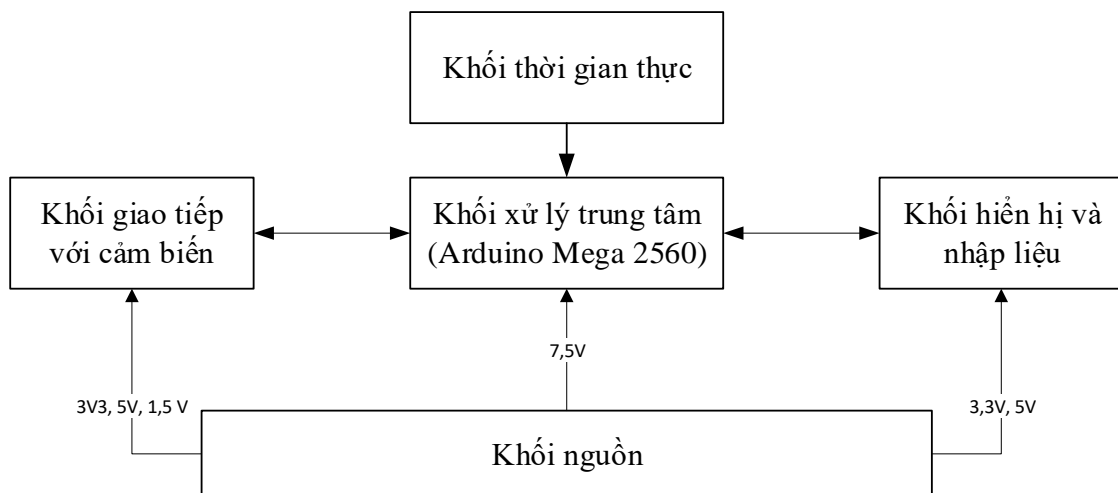
Thiết bị được thiết kế bao gồm 5 khối chính: Khối xử lý trung tâm, Khối thời gian thực, khối giao tiếp với cảm biến khí, khối hiển thị và khối cấp nguồn.

Khối xử lý trung tâm đảm nhận vai trò đọc kết quả từ các cảm biến, tính toán và đưa ra kết quả về nồng độ các chất ô nhiễm.

Khối thời gian thực cung cấp giá trị thời gian thực cho quá trình cập nhật và lưu trữ kết quả đo đạc, tính toán.

Khối giao tiếp với cảm biến bao gồm các mạch kết nối với các loại cảm biến đo khí khác nhau như cảm biến bán dẫn, cảm biến điện hóa, modul cảm biến có đầu ra PWM, modul cảm biến có đầu ra I2C...

Khối hiển thị đảm nhận vai trò hiển thị các kết quả tính toán và làm đầu vào nhập liệu thông số cho thiết bị. Khối nguồn tạo ra các mức điện áp khác nhau cấp cho các khối chức năng khác.



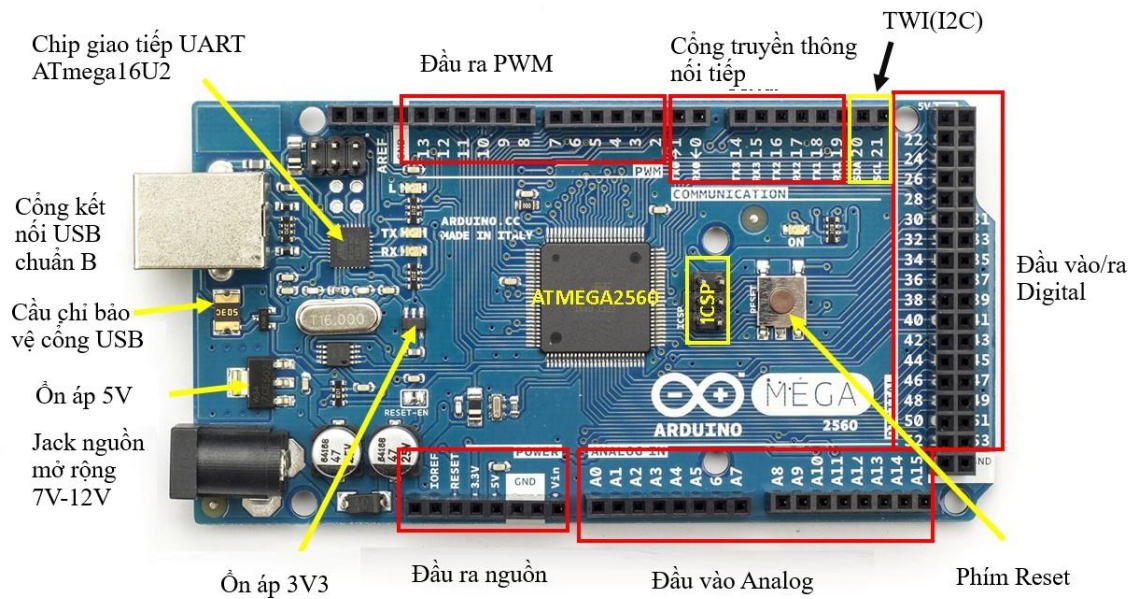
Hình 3-1: Sơ đồ khối tổng quan của thiết bị

3.1.2 Khối xử lý trung tâm

Thiết bị sử dụng bộ xử lý là bo mạch Arduino Mega2560 với vi điều khiển là chip Atmega 2560. Bo mạch được thiết kế với số lượng các đầu vào ra như sau: 5 Chân GND, 3 chân 5V, 1 chân 3.3v, 1 nút reset, 16 chân analog, 4 chân UART, 54 Chân digital trong đó có 15 chân chúng ta có thể sử dụng như PWM, 6 Chân lập trình ISP

Arduino mega 2560 sử dụng ATmega16U2 lập trình như là một công cụ chuyển đổi tín hiệu từ USB phục vụ cho việc giao tiếp với modul cũng như nạp chương trình.

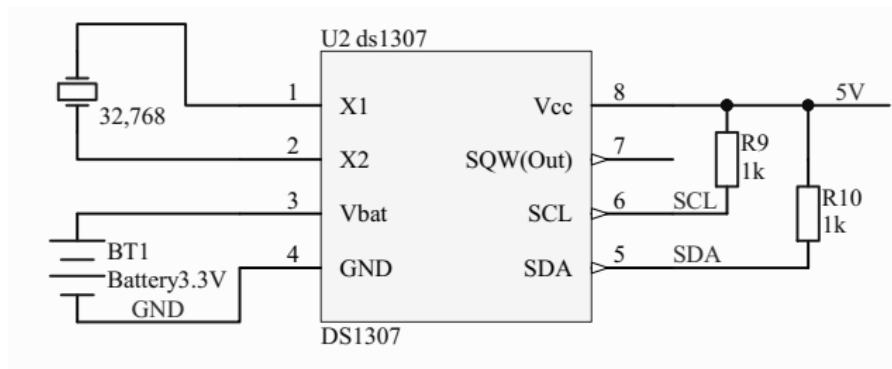
Việc lập trình cho bo mạch này được thực hiện trên trình biên dịch Arduino IDE với các thư viện hỗ trợ được xây dựng sẵn.



Hình 3-2: Sơ đồ cấu tạo modul Arduino Mega 2560

3.1.3 Khối thời gian thực

Khối thời gian thực có vai trò cung cấp giá trị thời gian thực cho các dữ liệu quan trắc. Khối này sử dụng IC thời gian thực DS 1307, được cấp nguồn bằng pin 3.3V để mạch có thể hoạt động khi không có nguồn nuôi từ khối xử lý trung tâm.



Hình 3-3: Mạch thời gian thực DS1307

3.1.4 Mạch giao tiếp với các cảm biến MQx

Trong thiết bị cảm biến MQ7 được sử dụng để đo nồng độ khí CO. Hầu hết các cảm biến của dòng MQ thường hoạt động với điện áp làm việc ở 5V, và có mức tiêu thụ thấp hơn 1 watt (nghĩa là dòng tiêu thụ nhỏ hơn 200 mA); chủ yếu dùng cho việc làm nóng sợi đốt. Đối với một số cảm biến MQ, sợi đốt hoạt động ở điện áp khoảng 2V, đây là mức điện áp thấp và không điển hình, chúng ta có thể thu được bằng cách sử dụng kỹ thuật PWM từ nguồn 5V. Trên thực tế, nguồn cấp cho sợi đốt sẽ được cấp theo dạng

xung, thông qua một mạch điều biến PWM. Về lý thuyết, chúng ta sẽ có thể tạo ra nguồn 2V bằng các xung 5V với chu kỳ 40%.

Các cảm biến của dòng MQ chủ yếu được sử dụng trong môi trường kín và không quá lạnh hoặc quá nóng, nhiệt độ của sợi đốt được giữ khá ổn định biến bởi trở của nó (tăng khi nhiệt độ tăng lên và ngược lại) nhưng không ổn định và cũng không được kiểm soát bởi bất kỳ mạch điện tử nào, do đó nếu môi trường quá lạnh hoặc quá nóng, thì kết quả phép đo thu được sẽ bị thay đổi.

Mỗi dòng cảm biến của một dòng có thể phản ứng với nhiều hơn một loại khí, nhưng thường chỉ có một hoặc hai khí có hiệu ứng rõ rệt nhất, ứng với mỗi giá trị trở kháng cụ thể, nó được thể hiện bởi các đồ thị độ nhạy của cảm biến.

Để có được giá trị đo đáng tin cậy, các cảm biến cần có một thời gian sấy sơ bộ trước khi tiến hành đọc kết quả: thời gian của nó phụ thuộc vào từng cảm biến. Thời gian sấy sơ bộ, là thời gian phải vượt qua trước khi cấp nguồn, được chỉ định trong bảng dữ liệu cho mỗi cảm biến: thường kéo dài vài giờ.

Các cảm biến của dòng MQ có sáu chân, bao gồm hai chân A, hai chân B và hai chân H. Hai chân H được sử dụng để cấp nguồn cho sợi đốt (đó là đầu của phân tử gia nhiệt) và chúng nên được kết nối với một nguồn nuôi riêng biệt. Các chân A, B được lắp lại để thuận tiện cho việc kết nối cũng như gia công mạch in khi sử dụng nó trong các mạch cầu điện trở.



Hình 3-4: Modul cảm biến MQ7

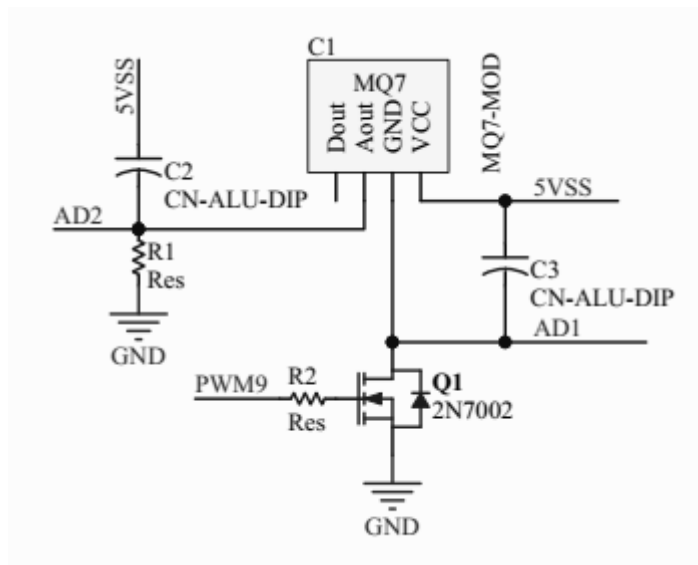
Với cảm biến MQ-7, để có được phép đo chính xác cảm biến phải được gia nhiệt theo các chu kỳ nhiệt độ cao và thấp. Trong giai đoạn nhiệt độ thấp, CO được hấp thụ trên phân tử cảm biến, tạo ra dữ liệu có ý nghĩa. Trong giai đoạn nhiệt độ cao, CO và các hợp chất khác hấp thụ trên bề mặt sẽ được làm bay hơi khỏi bề mặt cảm biến, làm sạch nó cho phép đo tiếp theo. Do đó, một chu kỳ đọc dữ liệu từ cảm biến sẽ trải qua hai giai đoạn sau:

- Cấp nguồn 5V cho sợi đốt trong thời gian 60s để làm sạch cảm biến
- Cấp nguồn 1.4V cho sợi đốt trong 90 giây và tiến hành đọc kết quả nồng độ CO.

Do dòng tiêu thụ của sợi đốt cảm biến là 150mA lớn hơn so với dòng cấp từ Arduino là 40mA nên nguồn nuôi cho cảm biến được lấy từ một nguồn riêng biệt. Điện áp 1.4V cho quá trình đọc kết quả có thể được tạo ra bằng một số cách sau:

- Điều biến độ rộng xung thông qua một bóng bán dẫn NPN hoặc qua mosfet, phương pháp này cho phép thay đổi mức điện áp thông qua phần mềm.
- Sử dụng một IC ổn áp tạo mức điện áp 1.4V sau đó chuyển đổi giữa các mức điện áp của các quá trình thông qua một cách ly quang được điều khiển từ 1 chân Digital. Phương pháp này đơn giản hơn cho quá trình xử lý nhưng giá trị điện áp phụ thuộc vào cấu hình phần cứng, muốn thay đổi mức điện áp phải điều chỉnh trên phần cứng.

Sản phẩm của đề tài lựa chọn phương pháp thứ nhất, sử dụng mạch điều khiển điện áp qua Mosfet để có thể dễ dàng thay đổi giá trị điện áp thông qua phần mềm với các loại cảm biến khác nhau.

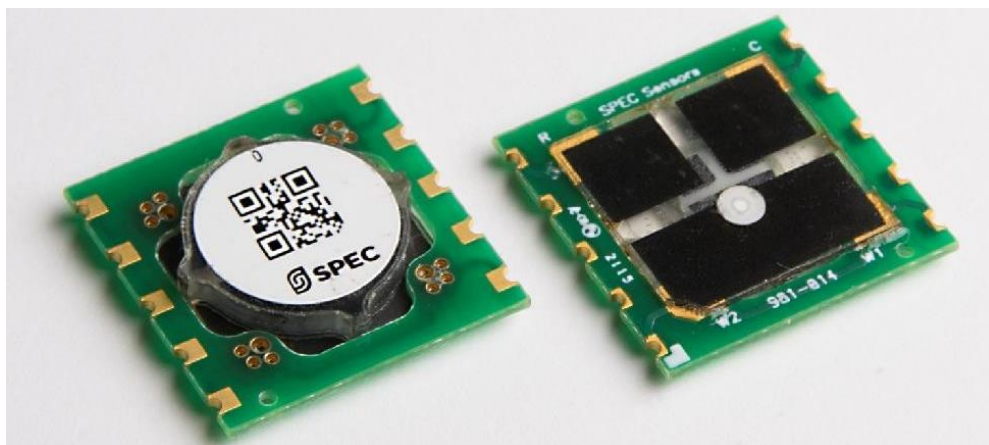


Hình 3-5: Sơ đồ nguyên lý mạch kết nối cảm biến MQ7

3.1.5 Mạch giao tiếp với cảm biến điện hóa

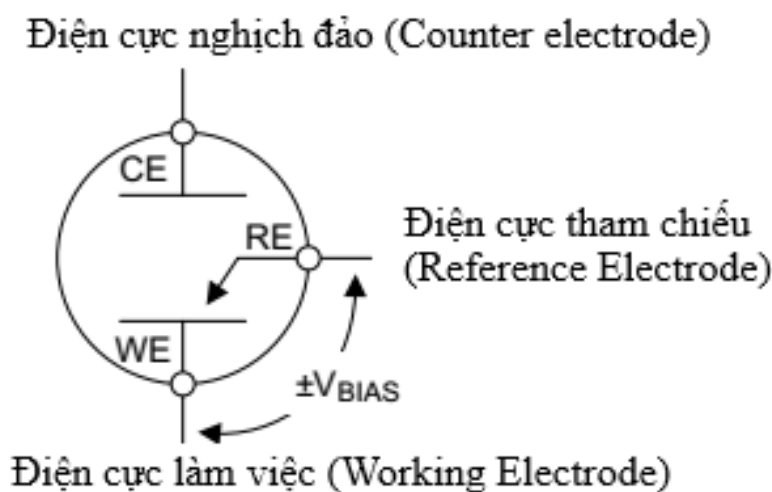
3.1.5.1 Nguyên lý mạch giao tiếp với cảm biến điện hóa

Cũng như các cảm biến điện hóa khác, cảm biến SPEC 3SP_NO₂ được thiết kế với với hai điện cực tiếp xúc với chất chất điện phân WE, CE, và một điện cực tham chiếu RE. Chân WE được nối với chân 1 và chân 10 trên cảm biến, chân RE nối với chân 5 và chân CE nối với chân 6.



Hình 3-6: Cảm biến SPEC 3SP_NO2

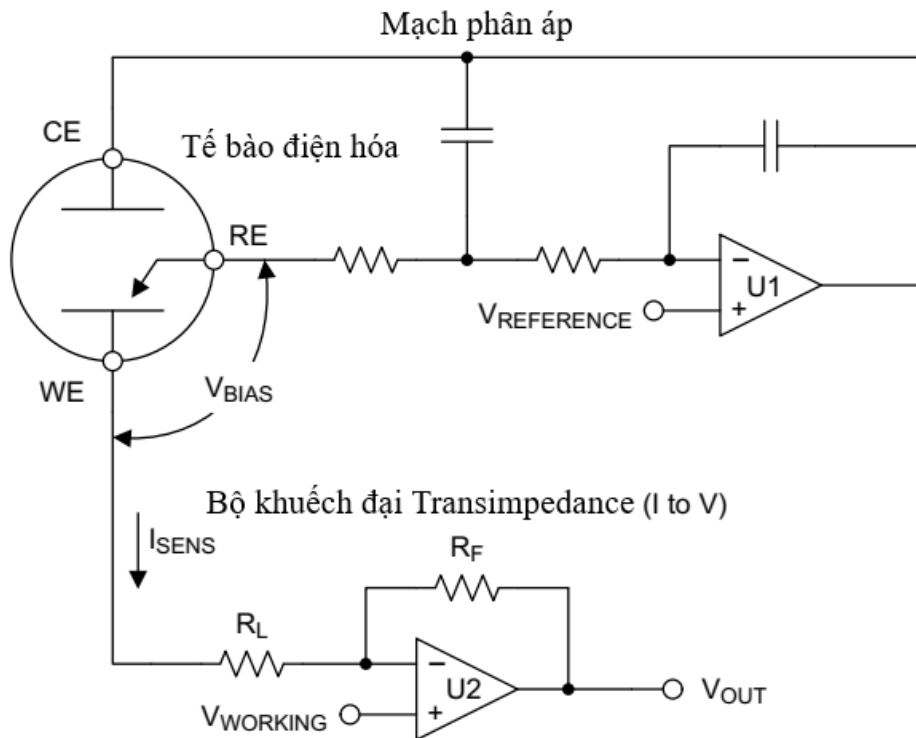
Để cảm biến hoạt động chính xác WE phải được giữ ở một mức điện thế không đổi đối với RE. Hiệu số điện thế giữa WE và RE được gọi là điện áp phân cực của cảm biến. Với phần lớn các cảm biến, điện áp phân cực là 0V ($V_{RE}=V_{WE}$). Tuy nhiên, một số cảm biến có thể yêu cầu độ chênh áp giữa RE và WE trong khoảng 300mV đến 1V. Giá trị này phải được cung cấp khi thiết kế mạch khuếch đại. Cần chú ý tới cực tính của dòng sinh ra bởi cảm biến, tùy vào loại cảm biến điện hóa, dòng sinh ra có thể dương hoặc âm. Với cảm biến SPEC giá trị điện áp phân cực được khuyến nghị là -25mV.



Hình 3-7: Cảm biến điện hóa với 3 chân cơ bản

Mạch cảm biến điện hóa ba cực cơ bản bao gồm hai phần chính (Hình 3-8):

- Mạch phân áp có phản hồi để duy trì chính xác độ chênh áp trên hai điện cực WE và RE
- Bộ khuếch đại transimpedance (TIA) để chuyển đổi dòng điện từ cảm biến thành điện áp



Hình 3-8: Sơ đồ mạch cảm biến điện hóa đơn giản

3.1.5.2 Tính toán mạch phân áp

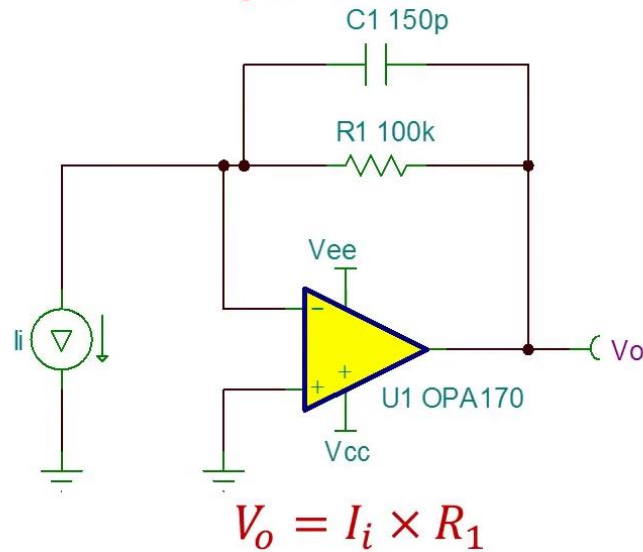
Mạch phân áp tạo thành một vòng lặp phản hồi với U1. Vòng lặp duy trì chính xác mức chênh lệch điện thế tại RE, bằng cách điều chỉnh điện áp trên CE để duy trì sự cân bằng.

Điện áp để duy trì RE được đặt tại đầu vào không đảo của U1 là giá trị $V_{\text{REFERENCE}}$ được thể hiện trên Hình 3-8. Thông qua giá trị phản hồi, đầu ra của bộ khuếch đại U1 liên tục điều chỉnh điện thế tại CE để duy trì độ chênh lệch chính xác tại RE.

Đảm bảo rằng dao động điện áp tại chân CE nằm trong phạm vi điều chỉnh của đầu ra U1. Tùy thuộc vào loại cảm biến, chênh lệch điện áp giữa CE và WE có thể dao động trong khoảng $\pm 50\text{mV}$ đến $\pm 1\text{V}$. Độ chênh lệch điện áp giữa CE và WE nhỏ khi dòng ở cảm biến thấp và tăng khi dòng cảm biến tăng. Nếu điện áp $V_{\text{REFERENCE}}$ được đặt quá thấp, đầu ra của bộ khuếch đại có thể chạm ngưỡng trước khi dòng cảm biến đạt đến giá trị tối đa, giá trị chênh lệch không được duy trì làm cho kết quả đọc về không chính xác hoặc cũng có thể làm hỏng cảm biến.

Tụ phản hồi đặt hằng số thời gian cho mạch phân áp phải là tụ có độ rò thấp giống như tụ poly. Giá trị phổ biến của loại tụ này là 100nF đến $1\mu\text{F}$. Không sử dụng tụ gốm khi dòng dự tính thấp hơn 1nA , vì hiệu ứng áp điện của tụ gốm có thể sinh ra điện áp khi chịu ứng suất, không sử dụng tụ hóa vì nó có độ rò rỉ cao.

3.1.5.3 Tính toán mạch khuếch đại TIA



Hình 3-9: Mạch khuếch đại TIA

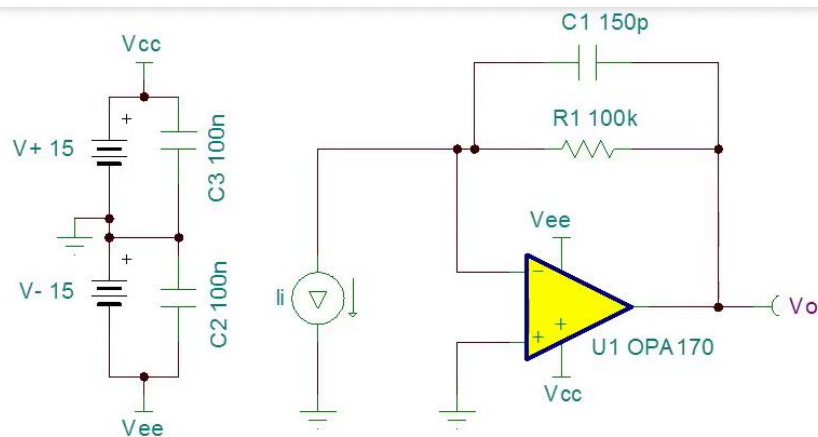
Mạch khuếch đại TIA là mạch chuyển đổi giá trị dòng điện thành điện áp, với mỗi giá trị dòng I_i sẽ cho một giá trị điện áp đầu ra tương ứng theo công thức

$$V_o = I_i \times R_1 \quad (3.1)$$

Với mạch cảm biến điện hóa, giá trị dòng của cảm biến được chuyển đổi thành giá trị điện áp đầu ra theo công thức sau

$$V_{TIA} = V_{WORKING} + (-I_{SENS} \times R_F) \quad (3.2)$$

Một mạch khuếch đại TIA đầy đủ bao gồm cả phần cấp nguồn và các tụ lọc nhiễu, tùy vào loại khuếch đại thuật toán mà nguồn cấp có thể là nguồn đối xứng hoặc nguồn đơn.



Hình 3-10: Mạch TIA với khối cấp nguồn

Với một mạch TIA cơ bản, chúng ta cần tính toán các giá trị của các linh kiện R_1 , C_1 để có được giá trị đầu ra mong muốn. Các giá trị sử dụng để tính toán thông số của các linh kiện được liệt kê trong bảng sau.

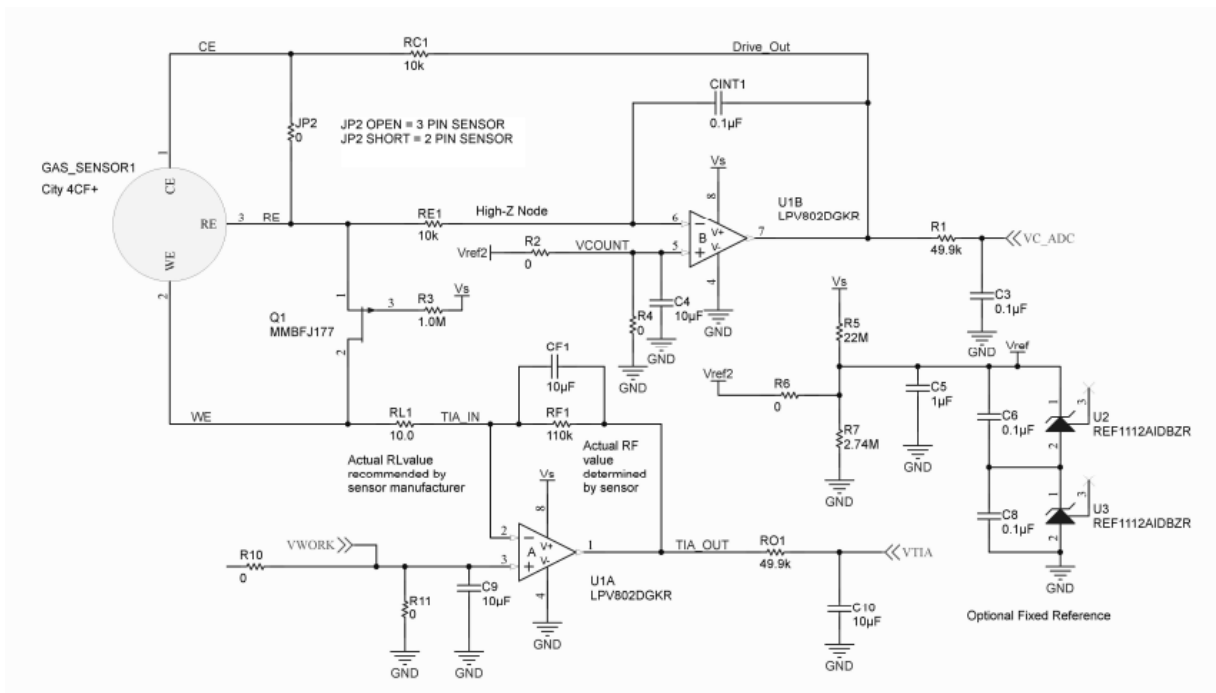
Input		Output		Bandwidth	Supply	
I_{iMin}	I_{iMax}	V_{oMin}	V_{oMax}	f_p	V_{cc}	V_{ee}
0A	50mA	0V	5V	10kHz	15V	-15V

Giá trị của các linh kiện được tính toán theo các công thức sau:

$$R_1 = \frac{V_{oMax} \times V_{oMin}}{I_{iMax} - I_{iMin}} (\Omega) \quad (3.3)$$

$$C_1 \leq \frac{1}{2 \times \pi \times R_1 \times f_p} (F) \quad (3.4)$$

$$GWB > \frac{C_i + C_1}{2 \times \pi \times R_1 \times C_1^2} (Hz) \quad (3.5)$$



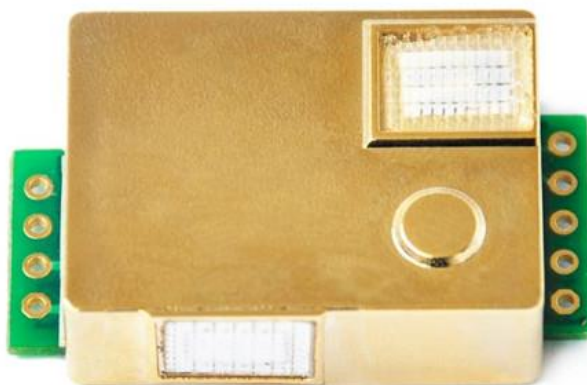
Hình 3-11: Sơ đồ nguyên lý mạch giao tiếp với cảm biến điện hóa

3.1.6 Mạch giao tiếp với các cảm biến có đầu ra I2C

3.1.6.1 Cảm biến đo nồng độ CO₂ MH-Z19B

Cảm biến MH-Z19 được sản xuất bởi Winsen Lt., Trung Quốc cảm biến sử dụng nguyên lý hồng ngoại không phân tán (NDIR) để phát hiện sự tồn tại của CO₂ trong không khí. Một số tính năng nổi bật theo nhà sản xuất là: độ nhạy tốt, không phụ thuộc nồng độ oxy, tuổi thọ cao, tích hợp bù nhiệt độ, sử dụng giao tiếp nối tiếp UART và đầu ra điều chế độ rộng xung (PWM).

Mô-đun này thường được sử dụng trong các thiết bị như: hệ thống HVAC trong trường học, tòa nhà văn phòng, nhà kính, giám sát chất lượng không khí trong nhà, thiết bị gia dụng thông minh...



Hình 3-12: Cảm biến CO₂ MH-Z19

Bảng 3-1: Thông số Kỹ thuật MH-Z19

Khí mục tiêu	Carbon Dioxide CO ₂
Điện áp hoạt động	3,6 đến 5,5 Vdc
Dòng hoạt động	trung bình <18mA
Điện áp	3,3 Vdc
Định dạng tín hiệu đầu ra	UART hoặc PWM
Thời gian làm nóng sơ bộ	3 phút
Thời gian đáp ứng	<60 giây
Độ chính xác	± (50 ppm + 5% giá trị đọc)
Phạm vi đo	0 đến 5000 ppm
Nhiệt độ hoạt động	0 đến + 50 ° C
Kích thước	33mm × 20mm × 9mm (L × W × H)

Bảng 3-2: Mô tả đầu vào ra của MH-Z19

Chân	Định nghĩa
Vin	Vin
GND	GND
Vo	Đầu ra Analog (0.4~2V hoặc 0~2.5V)
PWM	PWM
HD	Hiệu chỉnh Zero (Mức thấp kéo dài hơn 7S là có hiệu quả)
RX	UART (RXD)

TX	UART(TXD)
----	-----------

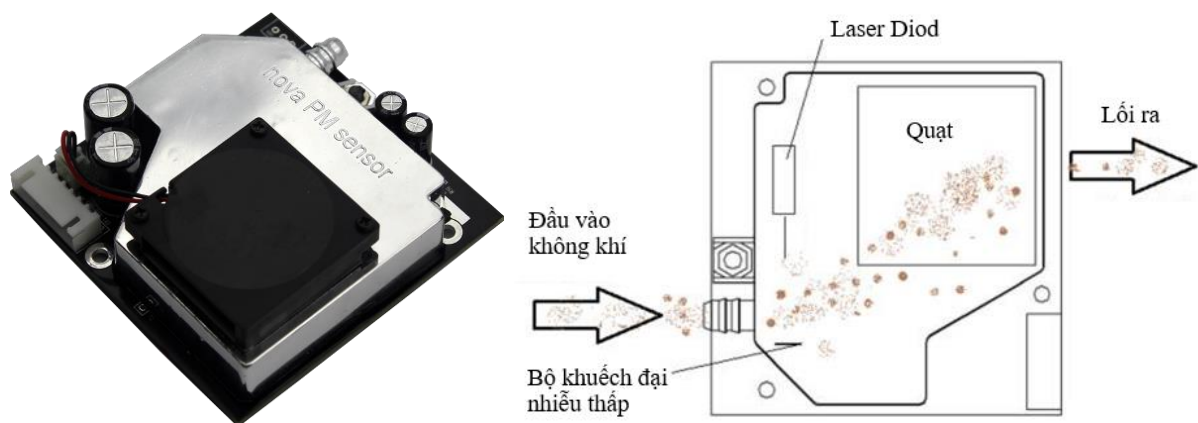
Trong thiết kế này MH-Z19 được kết nối với Arduino thông qua cả hai đường PWM và UART để khảo sát và so sánh giá trị trả về trên hai kênh. Sơ đồ kết nối như sau:

- Vcc của MH-Z19 được kết nối với 5V của Arduino, GND được kết nối với GND của Arduino
- Sử dụng PWM để đọc dữ liệu (giá trị PPM CO₂ là 0-2000ppm): MH-Z19 PWM được kết nối với Arduino D10 (tùy chọn)
- Sử dụng UART để đọc dữ liệu (giá trị PPM CO₂ là 0-5000ppm): RX của MH-Z19 được kết nối với D3 của Arduino (tùy chọn); TX của MH-Z19 được kết nối với D2 của Arduino (tùy chọn)

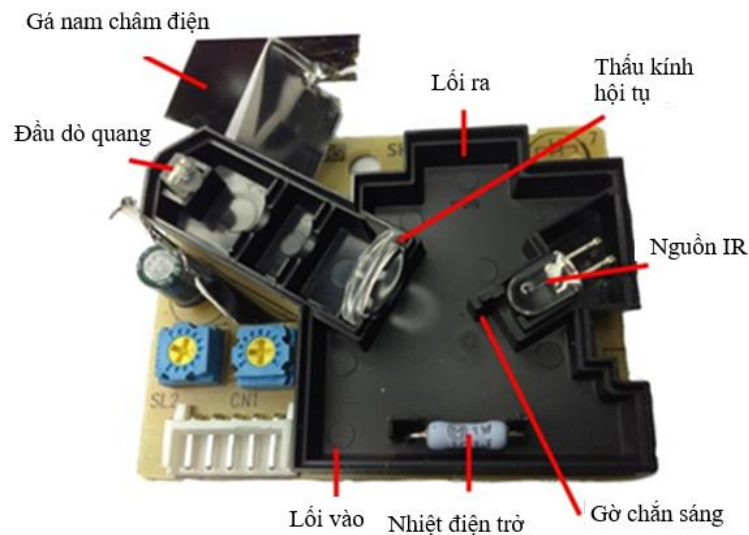
3.1.6.2 Cảm biến đo bụi Nova SDS011

Cảm biến SDS011 là cảm đo nồng độ bụi sử dụng công nghệ nhiễu xạ laser được phát triển gần đây bởi inovafit, một công ty con từ trường đại học Tế Nam (Sơn Đông).

Đây có thể coi là cảm biến đo bụi có độ chính xác cao trong các dòng cảm biến đo bụi kích thước nhỏ. Trong khi các cảm biến khác có xu hướng tập trung vào thu hẹp kích thước cảm biến, SDS011 lựa chọn giải pháp cân bằng giữa hiệu năng và kích thước trang bị thêm một quạt hút để tạo dòng khí đối lưu cho cảm biến, khác với các dòng cảm biến tương tự khác như Shinyei PPD24NS (một cảm biến từ Nhật Bản) sử dụng nhiệt điện trở để tạo dòng đối lưu tự nhiên.

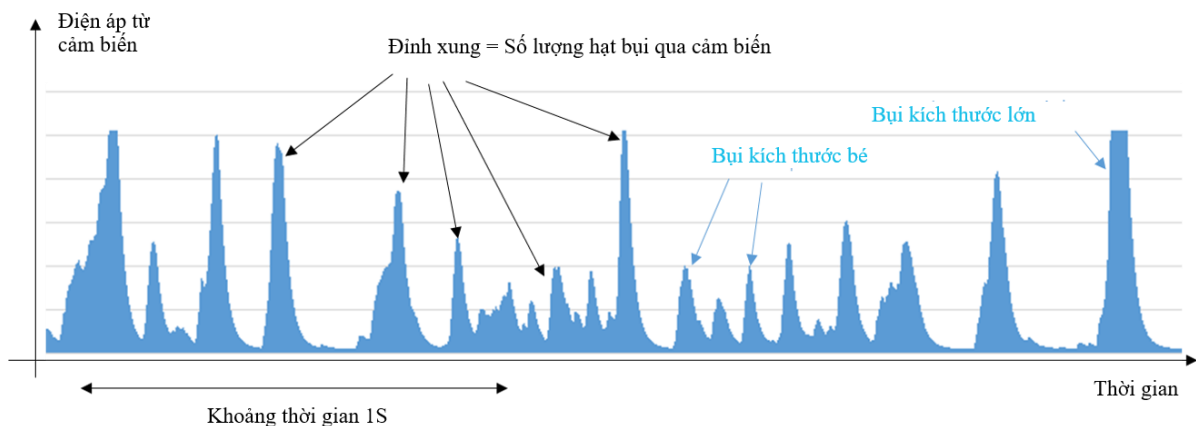


Hình 3-13: Cảm biến đo bụi SDS011

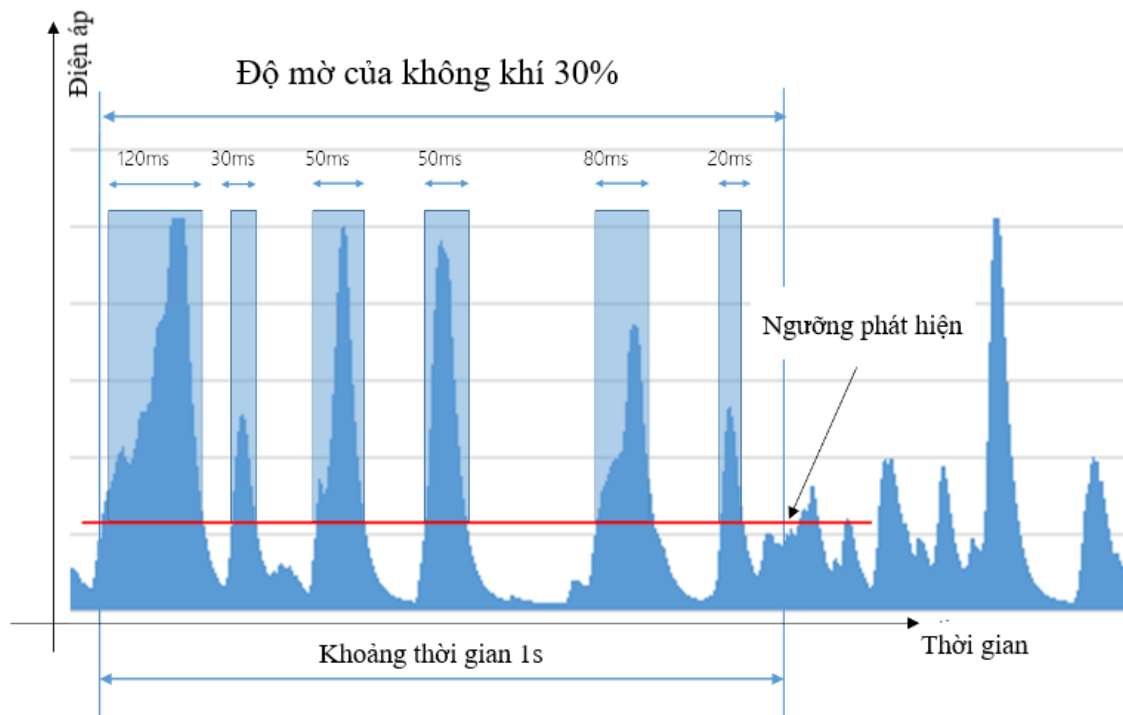


Hình 3-14: Bên trong một cảm biến đo bụi nhiều xa Laser

Bộ cảm biến đếm số lượng các hạt bụi dựa trên thời gian các hạt bụi đi qua cảm biến. Biểu đồ dưới đây mô tả cách cảm biến "tính toán" chất lượng không khí: Đầu tiên, cảm biến áp dụng một dải lọc để loại bỏ các hạt rất nhỏ hoặc nhiều, được biểu diễn bằng đường màu đỏ. Sau đó, nó đếm tổng thời gian của bất kỳ hạt nào được nhìn thấy độc lập với cường độ (hoặc kích thước hạt). Lượng thời gian này, còn được gọi là "Low Pulse Occupancy" (LPO: *Thời gian xung thấp*), có thể được coi là "độ mờ" của không khí lưu thông qua cảm biến. Để đo LPO cho các kích thước hạt khác nhau, cảm biến cung cấp đầu vào biến cho phép điều chỉnh bộ lọc băng thông.

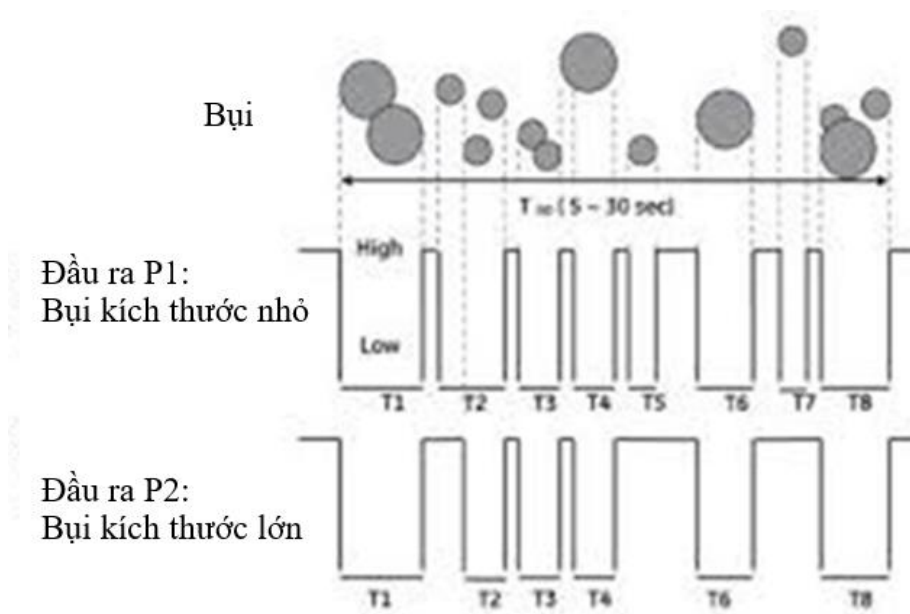


Hình 3-15: Dữ liệu thô từ cảm biến theo điện áp



Hình 3-16: Cảm biến đọc giá trị LPO

Với nguyên lý hoạt động như vậy, cảm biến có thể xác định được nồng độ bụi trong không khí và kích thước của bụi thông qua việc phân tích tín hiệu phản hồi từ đầu dò quang. Việc đếm số lượng hạt được thực hiện thông qua các bộ lọc tín hiệu bộ lọc thông thấp và bộ lọc thông cao tương ứng với đó là hai đầu ra P1 và đầu ra P2.



Hình 3-17: Mối liên hệ giữa LPO và kích thước hạt

Kết quả về nồng độ bụi được tính toán bởi bộ xử lý 8 bit tích hợp trên cảm biến. Dữ liệu ra được đóng gói dạng 8bit gửi qua cổng I2C hoặc dạng Digital qua cổng PWM.

Chân	Định nghĩa
Chân 1	Không kết nối
Chân 2	Đầu ra PWM cho PM2.5: 0-999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Chân 3	5V
Chân 4	Đầu ra PWM cho PM10: 0-999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Chân 5	GND
Chân 6	RX UART (TTL) 3.3V
Chân 7	TX UART (TTL) 3.3V

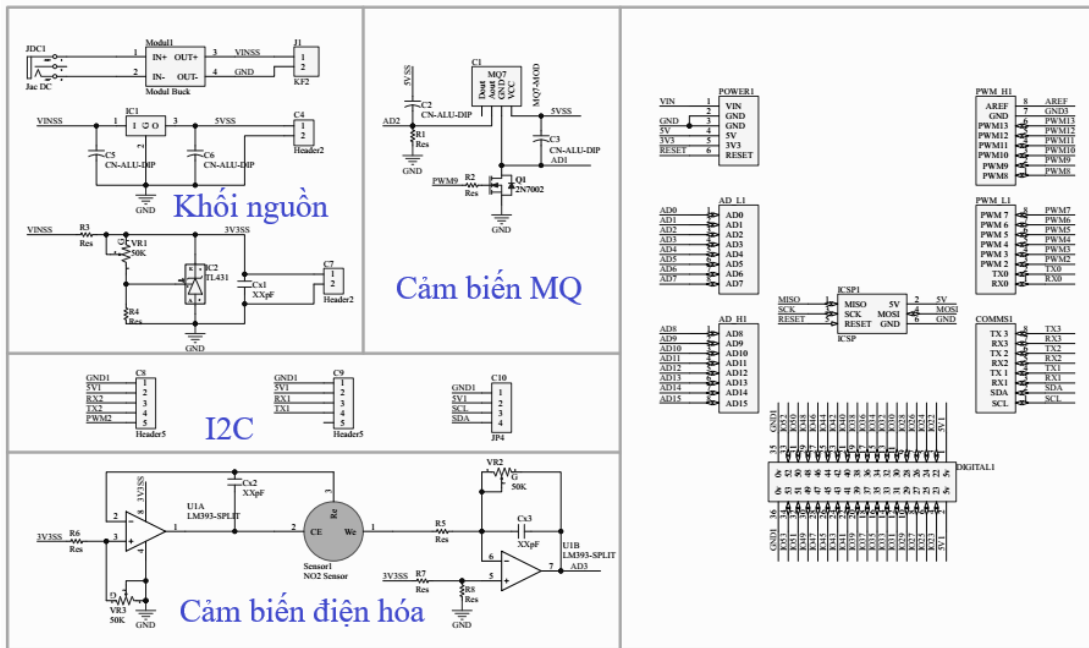
Cảm biến có 2 đầu ra PWM tương ứng với các giá trị PM2.5 tại chân 2, PM10 tại chân 4, 1 đầu ra UART tại chân 6 và 7. Thiết bị sử dụng một kết nối UART để đọc giá trị từ cảm biến với sơ đồ kết nối như sau:

- 5V của SDS011 kết nối với 5V của Arduino, GND được kết nối với GND của Arduino
- Sử dụng UART để đọc dữ liệu (giá trị PM 10 và PM2.5): chân R của SDS011 được kết nối với D14 của Arduino (tùy chọn); T của SDS011 được kết nối với D15 của Arduino (UART 3)

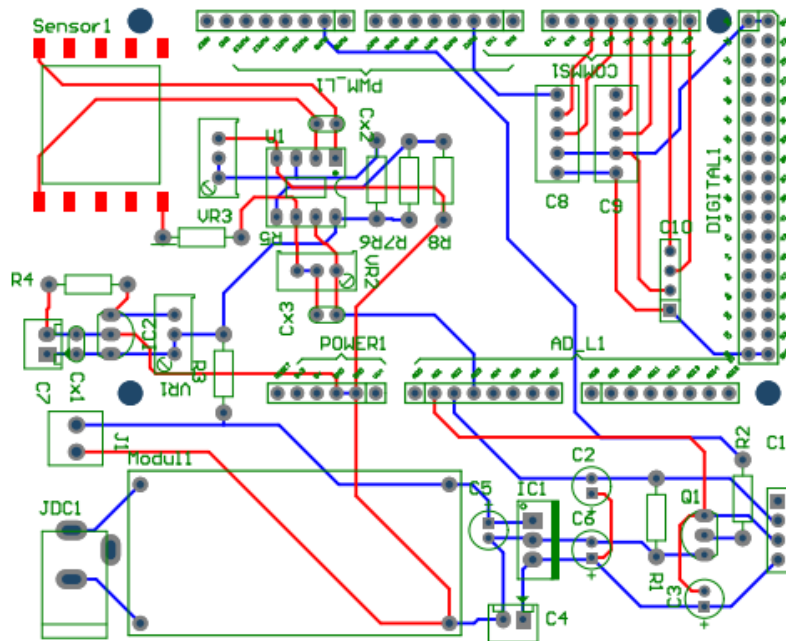
3.1.7 Khối giao tiếp với cảm biến

Khối giao tiếp cảm biến được thiết kế dưới dạng Arduino Shield, là bo mạch mở rộng tính năng và các cổng kết nối cho Arduino. Trên Shield được thiết kế với các tính năng sau:

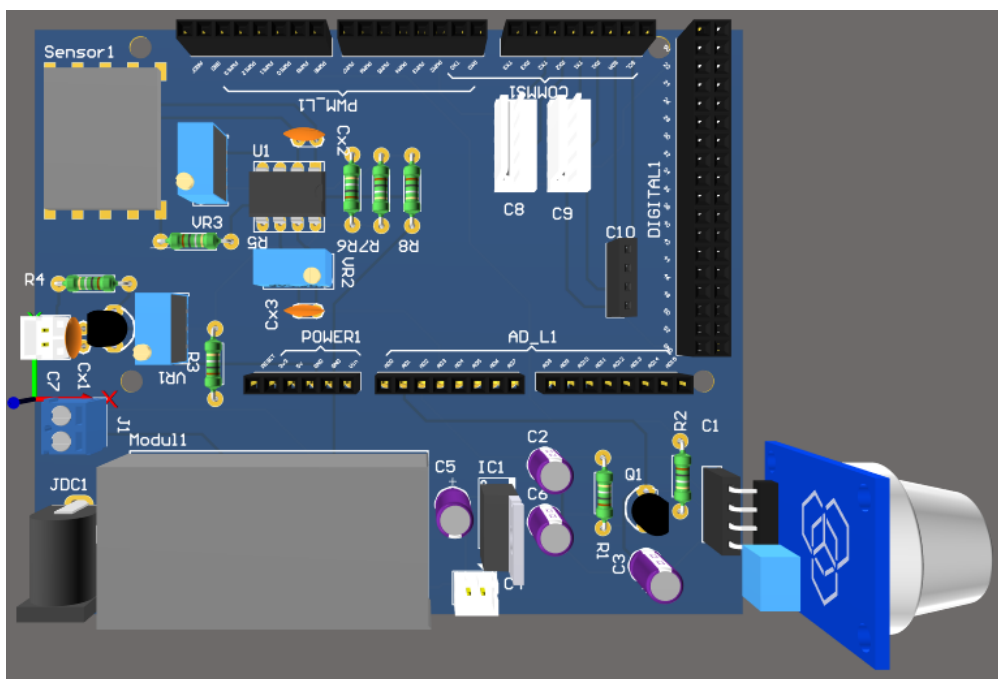
- Mạch giao tiếp với cảm biến điện hóa sử dụng OPAMP LM358 kết nối về bo mạch Arduino thông qua chân ADC
- Mạch giao tiếp với cảm biến bán dẫn có thể điều chỉnh điện áp trên sợi đốt của cảm biến thông qua tín hiệu PWM. Đầu ra của mạch kết nối vào chân ADC của Arduino
- Các connector để kết nối với các cảm biến có giao tiếp I2C, cảm biến có đầu ra PWM
- Khối nguồn sử dụng IC LM2596 để ổn áp đầu vào tạo điện áp nuôi cho Arduino, IC TL431 để tạo điện áp 3.3V, 2.5V cho các cảm biến sử dụng mức điện áp thấp, IC LM7805 để tạo điện áp 5V cho các cảm biến thông dụng khác.
- Ngoài ra trên bo mạch còn tích hợp thêm Modul thời gian thực sử dụng IC DS1307 để tạo thời gian ham chiều cho các giá trị quan trắc.



Hình 3-18: Sơ đồ nguyên lý khối kết nối với cảm biến



Hình 3-19: Mạch in modul giao tiếp với cảm biến



Hình 3-20: Mạch giao tiếp với cảm biến

3.1.8 Mạch giao tiếp với LCD hiển thị các thông số đo đạc

Thiết bị sử dụng màn hình TFT SPI 240 x 320 để nhập liệu và hiển thị. Đây là màn hình hiển thị chất lượng cao với bộ điều khiển ILI9341 tích hợp bảng điều khiển cảm ứng điện trở sử dụng bộ điều khiển XPT2046 rất hữu ích cho các thiết bị yêu cầu đầu vào và đầu ra thông tin trên màn hình với chi phí kết nối tối thiểu. Giao diện SPI nối tiếp sẽ cho phép kết nối dễ dàng màn hình với bộ điều khiển Arduino, Raspberry Pi cũng như một số lượng lớn các vi điều khiển kết hợp giao diện được sử dụng rộng rãi này. Màn hình cũng có giao diện SD để sử dụng Thẻ SD làm thiết bị lưu trữ dung lượng cao để lưu trữ các byte đồ họa cũng như để lưu trữ tất cả các loại dữ liệu.

Màn hình có thể được cung cấp cả từ 5V (có một bộ điều chỉnh điện áp trên bảng mạch) và từ 3.3V (đối với 3.3V cần phải nối tắt J1)

Thông số kỹ thuật của màn hình

Bảng 3-3: Thông số kỹ thuật màn TFT SPI 240 x 320

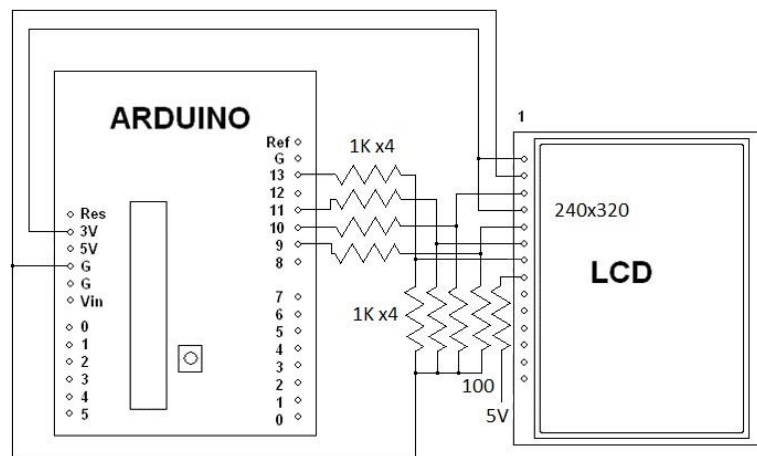
Loại	Màn hình cảm ứng TFT LCD
Kích thước	2,8 "
Loại màn hình cảm ứng	Điện trở
Loại giao diện	SPI nối tiếp
Mức logic điện áp	3.3V
Kích thước màn hình	59 x 48,96 mm
Kích thước bảng mạch	85x48 mm

Bố trí pixel	RGB theo chiều dọc
Bộ điều khiển hiển thị	ILI9341
Đèn nền	Đèn LED trắng
Góc nhìn	70 độ
Độ sâu màu	262K / 65K
Độ phân giải	240 * 320
Nguồn điện	3.3V (bộ điều chỉnh điện áp trên bo mạch được lắp đặt trong 5V đến 3.3V)
Mức logic	3.3V (tương thích 5V)
Hiển thị dòng điều khiển	4

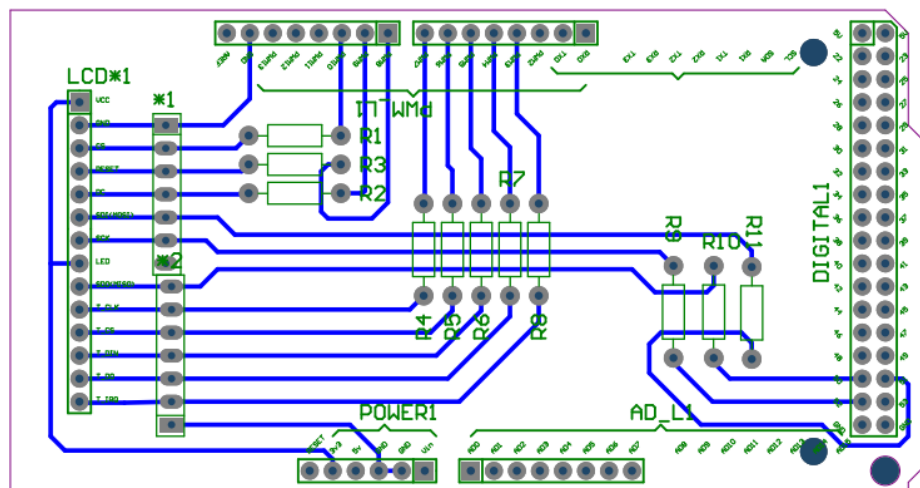
Màn hình được kết nối với Arduino thông qua giao tiếp SPI, kết nối này dễ hơn so với chế độ 8 bit vì có ít dây nối hơn. Trong thiết kế nối này sử dụng SPI cứng để đảm bảo tốc độ kết nối do độ phân giải màn hình khá lớn. Với Arduino Mega 2560 thứ tự kết nối các chân như sau:

LCD Pin	Arduino Pin
1 Vcc	3.3 V
2 Gnd	Gnd
3 CS	D10
4 RESET	D8 (Có thể kết nối với chân 3V3)
5 D/C	D9 (Chân này có thể thay đổi)
6 SDI (MOSI)	D51
7 SCK	D52
8 LED	3.3V
9 SDO (MISO)	D50

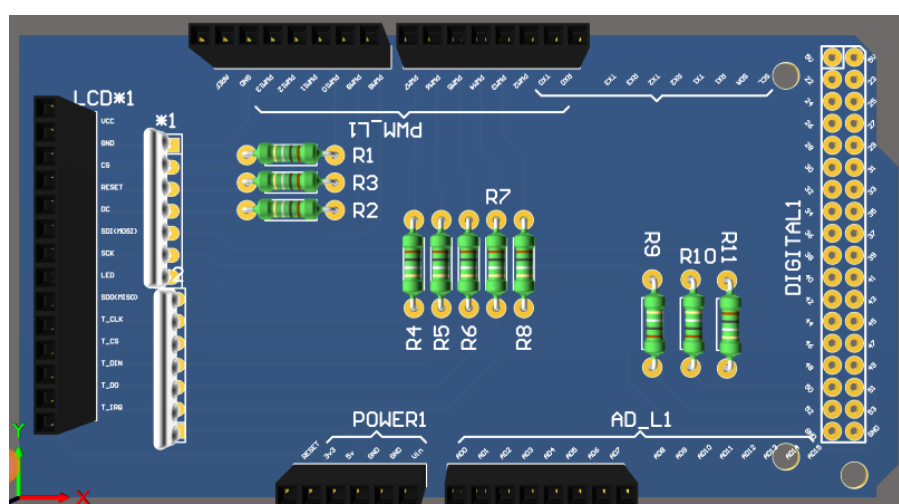
Do màn TFT tối ưu với mức tín hiệu 3.3V nhưng trên Arduino chỉ có mức tín hiệu 5V từ các chân Digital nên kết nối tín hiệu giữa các chân phải thông qua các mạch phân áp.



Hình 3-21: Kết nối màn TFT LCD với Arduino thông qua trở phân áp



Hình 3-22: Mạch in TFT LCD Shield

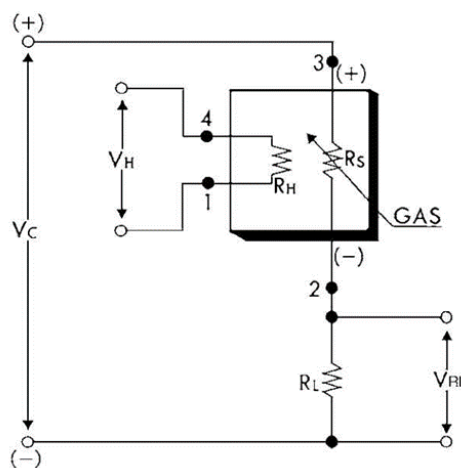


Hình 3-23: Mạch giao tiếp với LCD

3.2 Lập trình phần mềm

3.2.1 Đo đạc và tính toán giá trị từ cảm biến MQx

Cảm biến MQ thuộc dòng cảm biến bán dẫn, phần tử cảm biến là một Oxit có trở kháng có thể thay đổi với các khí khác nhau ở các nồng độ khác nhau. Thông thường cảm biến được mắc nối tiếp với một biến trở R_L để thay đổi độ nhạy.



Hình 3-24: Sơ đồ nguyên lý cảm biến MQx

Trong quá trình đo, cảm biến khí được đốt nóng bằng sợi đốt R_H với điện áp V_H , khi các khí cần đo tiếp xúc với cảm biến nó sẽ làm thay đổi giá trị điện trở của cảm biến R_S dẫn tới sự thay đổi của điện áp trên cảm biến. Giá trị điện áp V_{RL} được đọc bởi vi điều khiển và được dùng để tính toán ra nồng độ của khí. Cảm biến có độ nhạy khác nhau với các loại khí khác nhau và được thể hiện trên đường cong đặc tính của từng loại cảm biến.

Việc quy đổi giá trị điện áp từ cảm biến ra nồng độ khí cần đo được tính toán thông qua đồ thị đường cong đặc tính này với các giá trị R_0 và R_S tương ứng với mỗi cảm biến.

- R_S Là điện trở của cảm biến khi tiếp xúc với khí cần đo
- R_0 Là giá trị điện trở của cảm biến tại một nồng độ đã biết của khí cần đo mà không có sự hiện diện của các loại khí khác trong không khí sạch.

Cảm biến	R_0
CO	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) tại 100 ppm CO
NO ₂	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong không khí sạch
CH ₄	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong 5000ppm Metan
Khí hóa lỏng	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong 1800ppm iso Butan
TGS2600 (khí gây ô nhiễm)	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong không khí sạch
TGS2602 (Khí gây ô nhiễm)	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong không khí sạch

Dung môi bay hơi	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong 300ppm ethanol
VOC	R_0 : Điện trở cảm biến (R_S) trong khí hỗn hợp

3.2.1.1 Tính toán giá trị R_s , R_0

Trên modul cảm biến MQx, phần tử cảm biến được mắc nối tiếp với một trở tải R_L , giá trị của R_L được lựa chọn tối ưu cho từng cảm biến, với cảm biến MQ7 giá trị R_L được khuyến cáo là 10K. Giá trị được đo về trên modul cảm biến chính là giá trị ADC của V_{RL}

Do R_L mắc nối tiếp với cảm biến:

$$V_s = V_{ref} - V_{RL} \quad (3.6)$$

Trong đó: V_s : là điện áp trên phần tử cảm biến

V_{ref} : là điện áp nuôi cảm biến

V_{RL} : là điện áp trên trở tải

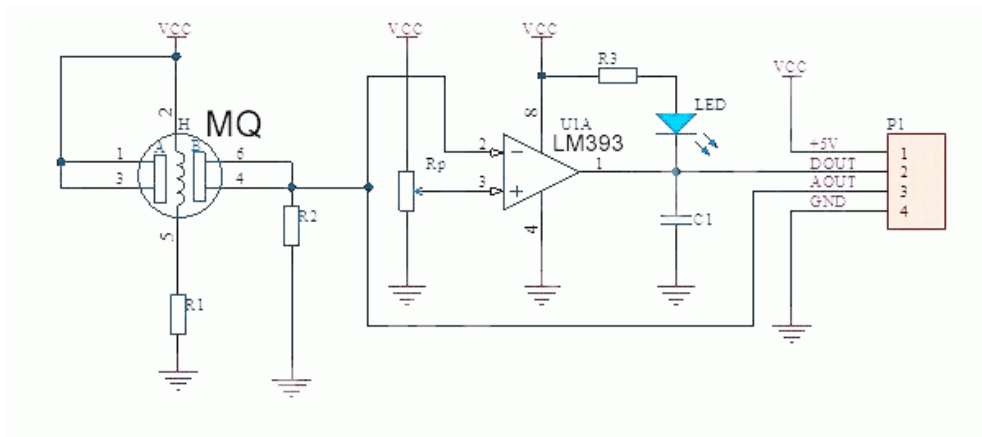
Theo định luật ôm ta có:

$$\frac{V_s}{R_s} = \frac{V_{RL}}{R_L} \quad (3.7)$$

Từ đó ta có thể tính được R_s theo công thức sau:

$$R_s = \frac{R_L \times V_s}{V_{RL}} = \frac{R_L \times (V_{ref} - V_{RL})}{V_{RL}} \quad (3.8)$$

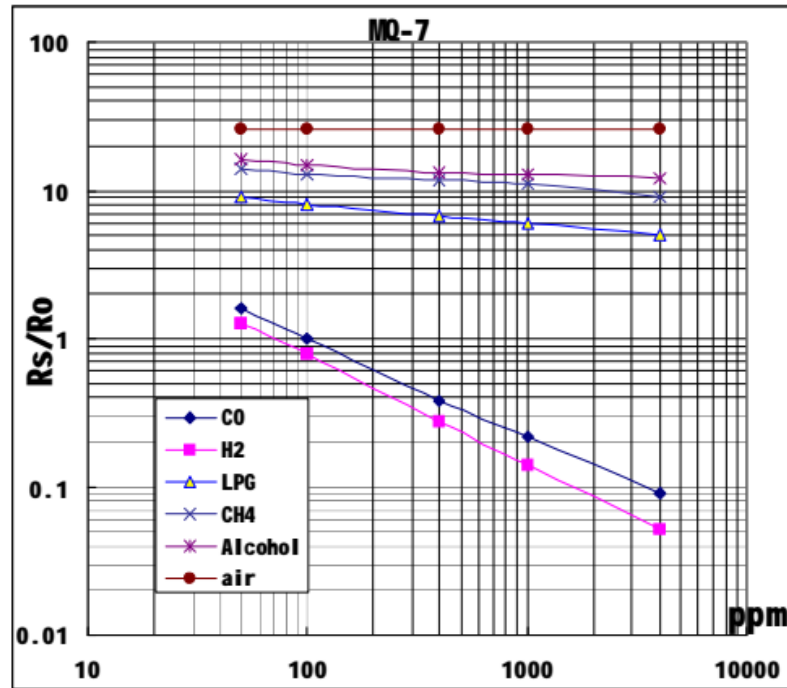
Giá trị R_0 được tính toán tương tự tại một nồng độ cho trước của khí cần đo (nồng độ để hiệu chuẩn cảm biến) trong môi trường không khí sạch, không có sự hiện diện của các loại khí khác.



Hình 3-25: Sơ đồ kết nối cảm biến MQx

Giá trị R_0 là giá trị R_s được đo tại một nồng độ đã biết của khí cần đo mà không có sự hiện diện của các loại khí khác.

3.2.1.2 Tính nồng độ của khí



Hình 3-26: Đường cong đặc tính của cảm biến MQ7

Đồ thị này được đo đạc trong điều kiện: Nhiệt độ: 20°C, Độ ẩm: 65%, Nồng độ O2 21%, Giá trị $RL=10k\Omega$, R_0 : điện trở của cảm biến tại 100ppm CO trong không khí sạch

Nồng độ của khí được tính dựa theo R_s và R_0 theo công thức sau

$$C = X_0 \times \left(\frac{R_s/R_0}{Y_0} \right)^m \quad (3.9)$$

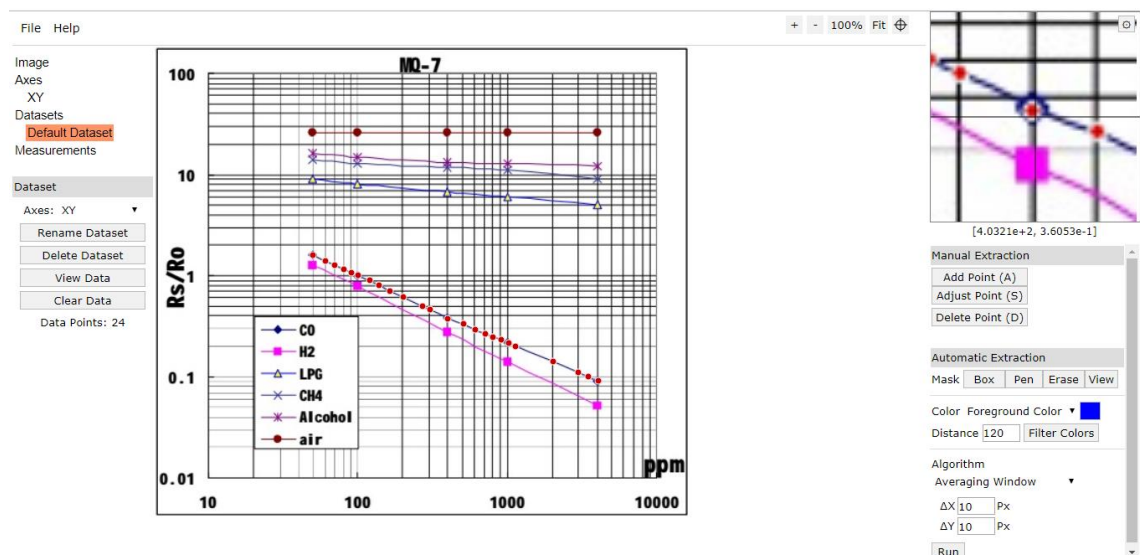
Trong đó m là độ dốc của đường cong đặc trưng được tính toán theo công thức

$$m = \frac{\log y_2 - \log y_1}{\log x_2 - \log x_1} \quad (3.10)$$

Trong đó $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ là hai điểm bất kì được lựa chọn trên một phần của đường đặc trưng, nên cần lựa chọn các giá trị của $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ từ các phần tương ứng.

X_0 và Y_0 là nồng độ khí C_0 và giá trị R_s/R_0 tại một điểm được chọn trên đường đặc trưng

Sử dụng công cụ “WebPlotDigitizer” ta có được tọa độ của một số điểm trên đường cong đặc trưng của cảm biến MQ7 với khí CO như sau:



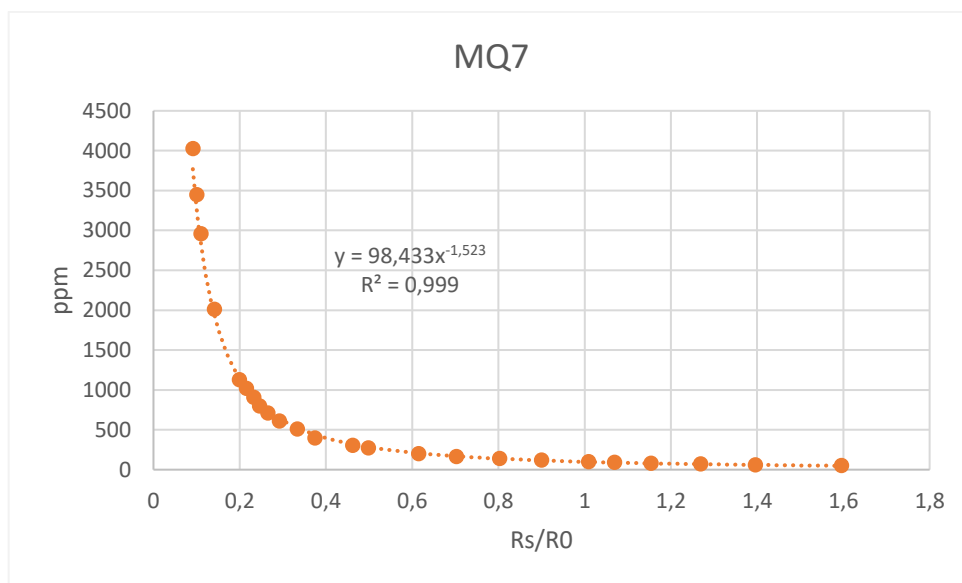
Hình 3-27: Công cụ WebPlotDigitizer

Điểm	ppm	Rs/R0	log(ppm)	log(Rs/R0)
1	50,280628	1,5955064	1,7014007	0,2028986
2	60,97034	1,3961354	1,7851186	0,1449275
3	70,228484	1,2691696	1,8465133	0,1035197
4	80,892448	1,1537502	1,907908	0,0621118
5	90,81154	1,0690192	1,958141	0,0289855
6	100,64659	1,0095801	2,0027991	0,0041408
7	120,48749	0,9004329	2,080942	-0,0455487
8	138,77943	0,8030857	2,1423251	-0,0952381
9	164,00981	0,7027339	2,2148698	-0,1532091
10	201,45327	0,6149218	2,3041743	-0,2111801
11	270,73146	0,4985659	2,4325387	-0,3022774
12	303,92875	0,4619514	2,4827718	-0,3354037
13	398,07324	0,3745407	2,599963	-0,426501
14	508,20489	0,3340485	2,7060388	-0,4761905
15	608,37333	0,2923065	2,7841702	-0,5341615
16	709,82524	0,2657239	2,8511514	-0,5755694
17	796,86454	0,2462092	2,9013845	-0,6086957
18	906,18261	0,2325196	2,9572157	-0,6335404
19	1017,2994	0,2154435	3,0074488	-0,6666667
20	1127,4447	0,1996214	3,0520953	-0,699793
21	2010,4057	0,1416246	3,3032837	-0,8488613
22	2956,1816	0,1105295	3,4707311	-0,9565217
23	3449,1524	0,1004779	3,5377124	-0,9979296
24	4024,3307	0,0913403	3,6046937	-1,0393375

Với hai điểm P1 (50.280628, 1.5955064), P24 (4024.3307, 0.0913403) ta có được $m = -1.53$, $X_0 = 50.28$, $Y_0 = 1.6$

$$C = 50,28 \times \left(\frac{R_s/R_0}{1,6} \right)^{-1.53} = 102,86 \times (R_s/R_0)^{-1.53} \quad (3.11)$$

Bằng một phương pháp khác, sử dụng công cụ vẽ đồ thị trên Excel ta thu được đồ thị đường cong đặc trưng khi vẽ trên hệ trục tọa độ với tỉ lệ tuyến tính và xoay trục x với y. Bằng cách sử dụng công cụ Add Trend Line của Excel ta thu được phương trình xấp xỉ của đường cong: $y = 98,433x^{-1,523}$ với $R^2 = 0.999$. Phương trình này tương đương với phương trình tìm được theo phương pháp trên.



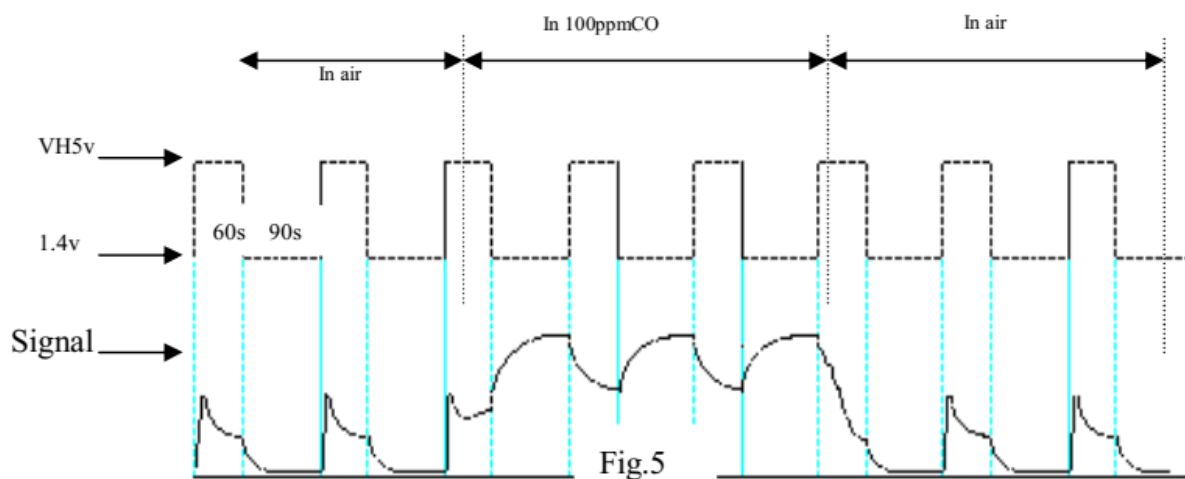
Hình 3-28: Đồ thị đường đặc trưng với khí CO của cảm biến MQ7 với thang đo tuyến tính

Với cụ thể cảm biến MQ7 các thông số kỹ thuật được nhà sản xuất đưa ra như sau:

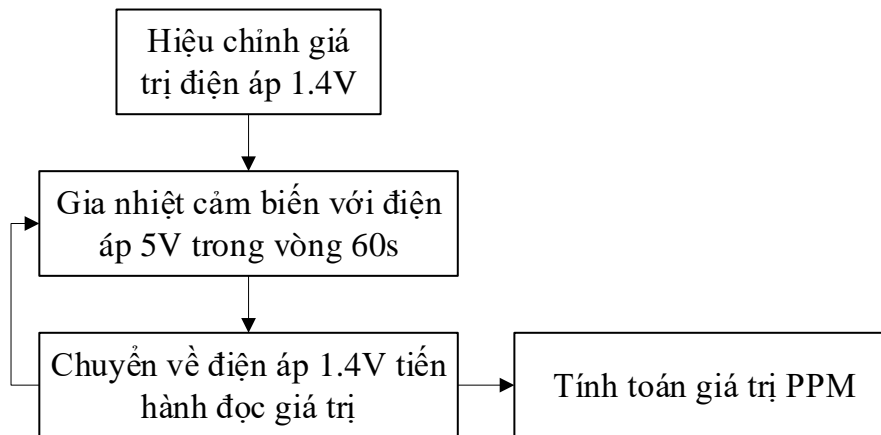
Ký hiệu	Tên thông số	Giá trị	Lưu ý
Vc	Điện áp nguồn	5V±0.1	Ac hoặc Dc
VH (H)	Điện áp gia nhiệt (cao)	5V±0.1	Ac hoặc Dc
VH (L)	Điện áp gia nhiệt (thấp)	1.4V±0.1	Ac hoặc Dc
RL	Điện trở tải	Có thể điều chỉnh	
RH	Điện trở sợi đốt	33Ω±5%	Nhiệt độ phòng
TH (H)	Thời gian gia nhiệt (cao)	60±1 giây	
TH (L)	Thời gian gia nhiệt (thấp)	90±1 giây	
PH	Công suất sợi đốt	Khoảng 350mW	

Ký hiệu	Tên thông số	Giá trị	Lưu ý
T _{ao}	Nhiệt độ sử dụng	-20°C-50°C	
T _{as}	Nhiệt độ lưu trữ	-20°C-50°C	Nên sử dụng đúng phạm vi
RH	Độ ẩm tương đối	Ít hơn 95%RH	
O ₂	Nồng độ Oxy	21%(điều kiện tĩnh) Nồng độ Oxy có thể ảnh hưởng tới độ nhạy cảm biến	Nồng độ tối thiểu là 2%

Ký hiệu	Tên thông số	Giá trị	Lưu ý
R _s	Điện trở cảm biến	2-20k	Trong 100ppm CO
α (300/100ppm)	Độ dốc tỉ lệ nồng độ	Ít hơn 0.5	R _s (300ppm)/R _s (100ppm)
Điều kiện làm việc chuẩn	Nhiệt độ -20°C±2°C Độ ẩm tương đối 65%±5% RL:10KΩ±5%		
	V _c :5V±0.1V, V _H :5V±0.1V, V _H :1.4V±0.1V		
Thời gian làm nóng sơ bộ	Không ít hơn 48h	Dải phát hiện: 20ppm-2000ppm CO	



Hình 3-29: Biến thiên điện áp đầu ra V_{RL} với nồng độ CO



Hình 3-30: Sơ đồ thuật toán chương trình đọc giá trị cảm biến MQ7

Chương trình đọc dữ liệu từ cảm biến

- Hiệu chỉnh giá trị điện áp

```

void pwm_adjust()
{
    float previous_v = 5.0; //giá trị khởi tạo điện áp ban đầu
    float raw2v = 5.0 / 1024.0; //Hệ số chuyển đổi ADC
    //Đọc giá trị điện áp với các giá trị độ rộng tương ứng
    for(int w = 0; w < 250; w++)
    {
        setTimer2PWM(0, w);
        float avg_v = 0;
        for(int x = 0; x < 100; x++) //Đọc giá trị phản hồi trong khoảng 100ms
        {
            avg_v += analogRead(A1);
            delay(time_scale);
        }
        avg_v *= 0.01;
        avg_v *= raw2v;
        if(avg_v < 3.6 && previous_v > 3.6) //Khoảng điều chỉnh tối ưu
        {
            float dnew = 3.6 - avg_v; // tính độ lệch điện áp hiện tại
            float dprev = previous_v - 3.6; // tính độ lệch điện áp trước
            if(dnew < dprev) // Đưa ra kết quả độ rộng xung
            {
                opt_voltage = avg_v;
                opt_width = w;
                return;
            }
        }
        else //đưa ra giá trị trước đó
        {
            opt_voltage = previous_v;
            opt_width = w-1;
            return;
        }
    }
    previous_v = avg_v;
}
  
```

- Cấu hình cảm biến

```
//Định nghĩa chân Analog được sử dụng kết nối với cảm biến
#define MQ_PIN (0)
//Định nghĩa giá trị điện trở tải trên modul cảm biến
#define RL_VALUE (1000) //Giá trị trở tải RL theo  $\Omega$ 
//Định nghĩa giá trị RO_CLEAN_AIR_FACTOR=(Sensor resistance in clean air)/RO,
//giá trị này được lấy từ bảng thông số
#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR (25.823)
```

- Hiệu chỉnh cảm biến

```
/*
Lưu ý: Hàm này giả định rằng cảm biến ở trong không khí sạch. Nó sử dụng hàm
MQResistanceCalculation để tính toán điện trở cảm biến trong không khí sạch
và sau đó chia nó với RO_CLEAN_AIR_FACTOR. Với MQ7 giá trị
RO_CLEAN_AIR_FACTOR là 25.823
*/
```

```
void MQCalibration()
{
    tft.fillScreen(ILI9341_BLACK);
    tft.setTextSize(3);
    tft.setTextColor(ILI9341_GREEN, ILI9341_BLACK);
    tft.setCursor(20, 30);
    tft.print("Calibration MQ7");
    tft.setCursor(20, 60);
    tft.print("R0: ");
    float val;
    val = read_RS_mq7();
    R0=val/RO_CLEAN_AIR_FACTOR;
    tft.setTextColor(ILI9341_RED, ILI9341_BLACK);
    tft.setCursor(120, 60);
    tft.print(R0);
    delay(500);
}
```

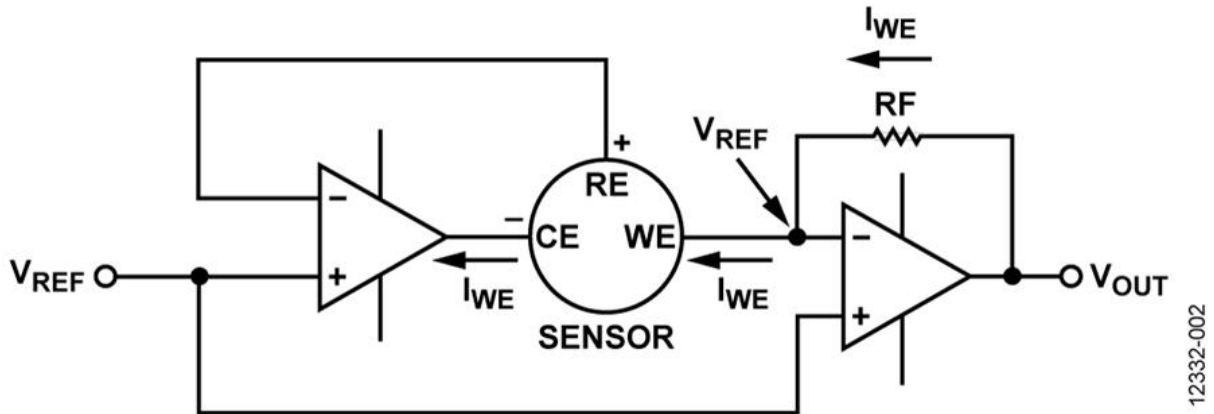
- Đọc giá trị Rs từ cảm biến

```
/*
Đầu ra: giá trị Rs của cảm biến
Chú ý: hàm này sử dụng hàm MQResistanceCalculation để tính giá trị Rs của cảm
biến. Giá trị Rs thay đổi tương ứng với sự thay đổi nồng độ khí, thời gian
lấy mẫu và khoảng thời gian giữa các lần lấy mẫu có thể thay đổi được.
*/
float read_RS_mq7(){
    float raw=0;
    float RS=0;
    for(int i=0; i<100;i++){
        raw += analogRead(MQ7);
        delay(8);
    }
    raw*=0.01;
    RS=RL*(1023 - raw)/(raw);
    return RS;
}
```

Tính toán giá trị ppm

```
/*
Đầu vào:  Giá trị RS
Đầu ra:  giá trị ppm của khí mục tiêu
Chú ý:  Bằng cách sử dụng một điểm trên đồ thị và độ dốc. Ta có thể tính được
giá trị x (giá trị Log(ppm)) thông qua tỉ số Rs/R0.
*/
void calculatorPPM(float RS){
    COppm = 98.43*pow((RS/R0), -1.523);
}
```

3.2.2 Đọc và tính toán nồng độ NO₂ từ cảm biến điện hóa



Hình 3-31: Mạch cảm biến điện hóa đơn giản

Để đo đạc, tính toán giá trị từ cảm biến NO₂ cần xác định các giá trị sau:

- Độ nhạy của cảm biến thường được cho dưới dạng dòng điện trên mỗi đơn vị nồng độ nA/ppm
- Điện áp tham chiếu mức không của cảm biến V_{ZERO}
- Đầu ra tối đa của bộ khuếch đại TIA
- Điện áp tối thiểu của pin V_{BMIN} để xác định cận dưới dải dao động trên chân CE

Đầu tiên là thiết lập điện áp tham chiếu cho hệ thống. Hai giá trị được yêu cầu để xác định điện áp tham chiếu là dải dao động điện áp tối thiểu cần thiết cho chân CE và điện áp tối thiểu của pin. Với mức dao động 200mV, để có được điện áp tham chiếu 2.5V thì điện áp pin tối thiểu là 2.7V

Độ chênh điện áp trên chân WE và CE thay đổi khi nồng độ khí tăng, tuy nhiên thông số kỹ thuật của cảm biến không chỉ ra điều này mà giá trị này phải được tìm thông qua thực nghiệm. Với cảm biến của SPEC Sensor giá trị chênh áp tại 20ppm vào khoảng 100mV.

Có sự đánh đổi giữa cận trên dao động trên chân CE và dải đầu ra bởi vì đầu ra của TIA là tổng tín hiệu của điện áp tham chiếu và điện áp đầu ra. Vì thế 300mV được sử dụng làm giá trị điện áp tối thiểu V_{ZERO}, các giá trị được tính toán theo các công thức sau:

$$V_{ZERO} = V_{REFERENCE} = V_{COUNTER} = 300 \text{ mV} \quad (3.12)$$

$$I_{SENSE_ppm} = 40 \text{ nA} \quad (3.13)$$

$$ppm_{MAX} = 20 \text{ ppm} \quad (3.14)$$

Dòng tối đa của cảm biến được tính theo công thức

$$I_{MAX} = I_{SENSE_ppm} \times ppm_{MAX} = 40 \text{ nA} \times 20 = 800 \text{ nA} \quad (3.15)$$

Dải dao động đầu ra trên điện áp tham chiếu được tính theo công thức

$$V_{SWING} = V_{OUTMAX} - V_{ZERO} = 2.5 - 0.3 = 2.2 \text{ V} \quad (3.16)$$

Điện trở của mạch khuếch đại R_F được tính toán từ giá trị cực đại của biến thiên đầu ra và dòng tối đa của cảm biến theo công thức

$$R_F = \frac{V_{SWING}}{I_{MAX}} = \frac{2.2}{800 \text{ n}} = 2.750 \text{ k}\Omega \quad (3.17)$$

Sử dụng điện trở có giá trị 3M đáp ứng được dải đầu ra của mạch

Lúc đó độ nhạy của mạch cảm biến tho điện áp được tính theo công thức

$$V_{SENSE_ppm} = R_F \times I_{SENSE} = 3 \text{ M} \times 40 \text{ nA} = 12 \text{ mV/ppm} \quad (3.18)$$

Bảng 3-4: Thông số kỹ thuật cảm biến NO_2

Phạm vi đo lường	0 - 20 ppm
Độ phân giải	< 20 ppb (Phụ thuộc vào thiết bị đo)
Độ lặp lại	< +/- 3 % trên mỗi lần đọc
Thời gian đáp ứng T90	< 300 (điển hình là 200)
Độ nhạy với mức chênh áp -200 mV	-40 ± 15 nA/ppm
Tuổi thọ dự kiến	> 5 năm (10 năm 23+/-3C; 40+/-10% RH)
Nhiệt độ hoạt động	-40 - 50 C (nên để ở -20 - 40 C)
Độ ẩm hoạt động – không gây ngưng tụ	0 - 100% RH (khuyến cáo ở 15 - 95%)
Công suất tiêu thụ	10 to 50 uW (phụ thuộc vào mạch và nồng độ NO_2)

Bảng 3-5: Độ nhiễu chéo của cảm biến với các loại khí khác

Khí/Hơi	Nồng độ	Đáp ứng điển hình PPM NO_2
Methane	500 ppm	< 0.1
Ammonia	100 ppm	< 0.1
Nitrogen Dioxide	10 ppm	10

Hydrogen Sulfide	25 ppm	-5.8
Carbon Monoxide	400 ppm	< 0.1
Ozone	5 ppm	5
Sulfur Dioxide	20 ppm	< 0.1
Nitric Oxide (NO)	50 ppm	0.2
Chlorine	10 ppm	< 0.1
n-Heptane	500 ppm	< 0.1

Chương trình đọc dữ liệu từ cảm biến

- Cấu hình cảm biến

```
const int analogInPin = A4; // Đầu vào Analog cho cảm biến
const int resValue = 100000; // Giá trị điện trở phản hồi TIA
const float Vref = 1.1; //Giá trị điện áp tham chiếu
const float Sf = 40; // độ nhạy cảm biến nA/ppm.
const int extraBit = 256; Số lượng mẫu thu thập
```

- Đọc giá trị và tính PPM

```
sensorValue = 0;
for (int i = 0; i < extraBit; i++) {
    sensorValue = analogRead(analogInPin) + sensorValue;
    delay(3); //
}Serial.print("PPM = ");
Serial.print( ((float) sensorValue / extraBit / 1024 * Vref / resValue *
1000000000) / Sf);
```

3.2.3 Đọc và xử lý tín hiệu từ cảm biến có đầu ra I2C

3.2.3.1 Cảm biến đo bụi SDS011

Giao thức UART

- Tốc độ : 9600, Bit dữ liệu : 8
- Bit chẵn lẻ : Không
- Bit dừng : 1
- Chu kỳ truyền : 1s

Số byte	Tên	Nội dung
0	Tiêu đề tin	AA
1	Commander No.	C0

2	DATA 1	Byte thấp PM2.5
3	DATA 2	Byte cao PM2.5
4	DATA 3	Byte thấp PM10
5	DATA 4	Byte cao PM10
6	DATA 5	ID byte 1
7	DATA 6	ID byte 2
8	Check-sum	Check-sum
9	Đuôi tin	AB

Check-sum: $\text{Check-sum} = \text{DATA1} + \text{DATA2} + \dots + \text{DATA6}$

Giá trị PM2.5: $\text{PM2.5 } (\mu\text{g} / \text{m}^3) = ((\text{byte cao PM2.5} * 256) + \text{byte thấp PM2.5}) / 10$

Giá trị PM10: $\text{PM10 } (\mu\text{g} / \text{m}^3) = ((\text{byte cao PM10} * 256) + \text{byte thấp PM10}) / 10$

Đầu ra PWM

Khoảng giá trị PM2.5	0-999 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
Khoảng giá trị PM10	0-999 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
Chu kỳ	1004ms \pm 1%
Thời gian đầu ra mức cao ở đầu toàn bộ chu kỳ	2ms
Thời gian giữa của chu kỳ	1000ms \pm 1%
Thời gian đầu ra mức thấp ở cuối chu kỳ	2ms

Chương trình đọc dữ liệu từ cảm biến

Cấu hình gói tin nhận

```
static const byte SLEEP_CMD[19] = {
  0xAA, // head
  0xB4, // command id
  0x06, // data byte 1
  0x01, // data byte 2 (set mode)
  0x00, // data byte 3 (sleep)
  0x00, // data byte 4
  0x00, // data byte 5
  0x00, // data byte 6
  0x00, // data byte 7
  0x00, // data byte 8
  0x00, // data byte 9
  0x00, // data byte 10
  0x00, // data byte 11
  0x00, // data byte 12
  0x00, // data byte 13
  0xFF, // data byte 14 (device id byte 1)
  0xFF, // data byte 15 (device id byte 2)
  0x05, // checksum
  0xAB, // tail
};
```

Đọc dữ liệu từ SDS011

```
int SDS011::read(float *p25, float *p10) {
    byte buffer;
    int value;
    int len = 0;
    int pm10_serial = 0;
    int pm25_serial = 0;
    int checksum_is;
    int checksum_ok = 0;
    int error = 1;
    while ((sds_data->available() > 0) && (sds_data->available() >= (10-len)))
    {
        buffer = sds_data->read();
        value = int(buffer);
        switch (len) {
            case (0): if (value != 170) { len = -1; }; break;
            case (1): if (value != 192) { len = -1; }; break;
            case (2): pm25_serial = value; checksum_is = value; break;
            case (3): pm25_serial += (value << 8); checksum_is += value;
break;
            case (4): pm10_serial = value; checksum_is += value; break;
            case (5): pm10_serial += (value << 8); checksum_is += value;
break;
            case (6): checksum_is += value; break;
            case (7): checksum_is += value; break;
            case (8): if (value == (checksum_is % 256)) { checksum_ok = 1;
} else { len = -1; }; break;
            case (9): if (value != 171) { len = -1; }; break;
        }
        len++;
        if (len == 10 && checksum_ok == 1) {
            *p10 = (float)pm10_serial/10.0;
            *p25 = (float)pm25_serial/10.0;
            len = 0; checksum_ok = 0; pm10_serial = 0.0; pm25_serial =
0.0; checksum_is = 0;
            error = 0;
        }
        yield();
    }
    return error;
}
```

Trạng thái ngủ

```
void SDS011::sleep() {
    for (uint8_t i = 0; i < 19; i++) {
        sds_data->write(SLEEP_CMD[i]);
    }
    sds_data->flush();
    while (sds_data->available() > 0) {
        sds_data->read();
    }
}
```

Đánh thức

```
void SDS011::wakeup() {
    sds_data->write(0x01);
    sds_data->flush();
}
```

Khởi tạo kết nối

```
void SDS011::begin(uint8_t pin_rx, uint8_t pin_tx) {
    _pin_rx = pin_rx;
    _pin_tx = pin_tx;

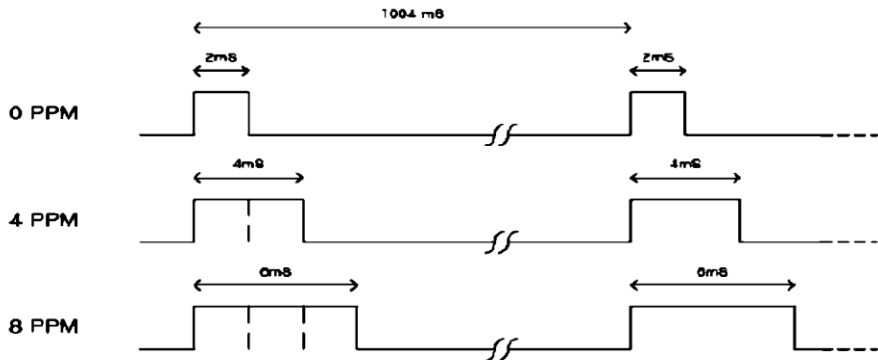
    SoftwareSerial *softSerial = new SoftwareSerial(_pin_rx, _pin_tx);

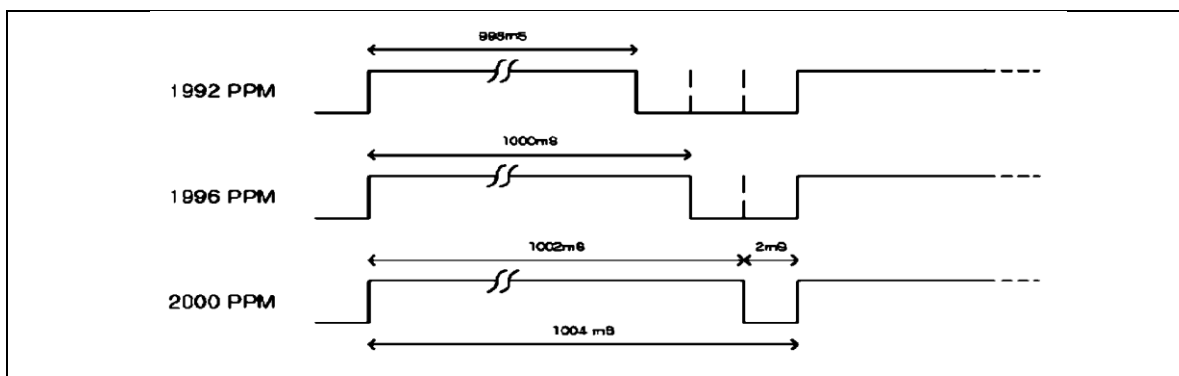
    //Initialize the 'Wire' class for I2C-bus communication.
    softSerial->begin(9600);

    sds_data = softSerial;
}
```

3.2.3.2 Cảm biến đo nồng độ CO₂

Đầu ra PWM

Đầu ra PWM	
Khoảng giá trị nồng độ CO ₂	0~2000ppm
Chu kỳ	1004ms±5%
Thời gian đầu ra mức cao ở đầu toàn bộ chu kỳ	2ms(Giá trị lý thuyết)
Thời gian giữa của chu kỳ	1000ms±5%
Thời gian đầu ra mức thấp ở cuối chu kỳ	2ms(Giá trị lý thuyết)
Nồng độ CO ₂ : $C_{ppm} = 2000 \times (T_H - 2ms)/(T_H + T_L - 4ms)$	
<p>C_{ppm}: nồng độ CO₂ ứng với chu kỳ PWM</p> <p>TH: thời gian đầu ra mức cao trong mỗi chu kỳ</p> <p>TL: thời gian đầu ra mức thấp trong mỗi chu kỳ</p>	
	



Đầu ra I2C

Cài đặt chung

Tốc độ truyền	9600
Số Bit dữ liệu	8
Bit dừng:	1
Chẵn lẻ (bit kiểm tra):	0(NO)

Câu lệnh	
0x86	Đọc nồng độ CO ₂
0x87	Hiệu chỉnh điểm 0 (ZERO)
0x88	Hiệu chỉnh Span point (SPAN)
0x79	ON/OFF hiệu chỉnh tự động
0x99	Thiết lập dải đo

Giao thức

0x86- Đọc nồng độ CO ₂								
Yêu cầu								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Start Byte	Sensor #	Command	-	-	-	-	-	Checksum
0xFF	0x01	0x86	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x79
Phản hồi								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Start Byte	Sensor #	Concentratio n (High Byte)	Concentratio n (Low Byte)	-	-	-	-	Checksum
0xFF	0x86	HIGH	LOW	-	-	-	-	Checksum
Nồng độ CO ₂ = HIGH * 256 + LOW								

0x87- Hiệu chỉnh điểm 0								
Yêu cầu								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Start Byte	Sensor #	Command	-	-	-	-	-	Checksum
0xFF	0x01	0x87	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	
Không có phản hồi Chú ý : giá trị điểm không là 400PPM, Chắc chắn rằng cảm biến đã làm việc ở 400PPM trong hơn 20 phút								

0x88- Hiệu chỉnh Span Point								
Yêu cầu								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Start Byte	Sensor #	Command	Span (High Byte)	Span (low Byte)	-	-	-	Checksum
0xFF	0x01	0x88	HIGH	LOW	0x00	0x00	0x00	Checksum
Không có phản hồi VD: SPAN là 2000ppm, $HIGH = 2000 / 256$; $LOW = 2000 \% 256$ Chú ý: Hiệu chỉnh điểm 0 trước khi hiệu chỉnh Span Point Chắc chắn rằng cảm biến đã làm việc trong nồng độ khí hiệu chỉnh hơn 20 phút, nên sử dụng 2000ppm cho span, tối thiểu là 1000ppm								

0x79- Bật tắt hiệu chỉnh tự động (ABC)								
Yêu cầu								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Start Byte	Sensor #	Command	-	-	-	-	-	Checksum
0xFF	0x01	0x79	0xA0/0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	Checksum
Không có phản hồi Chú ý : Byte3 = 0xA0,ABC bật; Byte3 = 0x00, ABC tắt Các cảm biến được bật ABC trước khi xuất xưởng nếu không có yêu cầu từ khách hàng								

0x99- Thiết lập dải đo								
Yêu cầu								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8

Start Byte	Sensor #	Command	Detect range (high Byte)	Detect range (low Byte)	-	-	-	Checksum
0xFF	0x01	0x99	HIGH	LOW	0x00	0x00	0x00	Checksum
Không có phản hồi								
Chú ý: Dải đo có thể là 2000ppm hoặc 5000ppm. HIGH = dải đo/256, LOW = dải đo%256.								

Checksum								
Checksum = (NOT (Byte1+Byte2+Byte3+Byte4+Byte5+Byte6+Byte7))+1								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Start Byte	Sensor #	Command	-	-	-	-	-	Checksum
0xFF	0x01	0x86	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	Checksum
Tính toán Checksum: 1、0x01 + 0x86 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 = 0x87 2、NOT : 0xFF - 0x87 = 0x78								

Chương trình đọc dữ liệu từ cảm biến

Đọc giá trị qua PWM

```
void PWM_ISR() {
    long tt = millis();
    int val = digitalRead(pwmPin);

    if (val == HIGH) {
        if (val != prevVal) {
            h = tt;
            t1 = h - 1;
            prevVal = val;
        }
    } else {
        if (val != prevVal) {
            l = tt;
            th = l - h;
            prevVal = val;
            ppm = 2000 * (th - 2) / (th + t1 - 4);
        }
    }
}
```

Đọc giá trị qua I2C

```
SoftwareSerial mySerial(A0, A1); // RX, TX
byte cmd[9] = {0xFF, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79};
unsigned char response[9];
unsigned long th, tl, ppm, ppm2, ppm3 = 0;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    mySerial.begin(9600);
    pinMode(pwmPin, INPUT);
}
void loop() {
    mySerial.write(cmd, 9);
    mySerial.readBytes(response, 9);
    unsigned int responseHigh = (unsigned int) response[2];
    unsigned int responseLow = (unsigned int) response[3];
    ppm = (256*responseHigh)+responseLow;
    //CO2 via pwm
    do {
        th = pulseIn(pwmPin, HIGH, 1004000) / 1000;
        tl = 1004 - th;
        ppm2 = 2000 * (th-2)/(th+tl-4);
        ppm3 = 5000 * (th-2)/(th+tl-4);
    } while (th == 0);
}
```

3.2.4 Tính toán AQI

Bảng tiêu chuẩn chất lượng sử dụng cho việc tính toán AQI theo *QCVN 05:2013/BTNMT*

Bảng 3-6: Giá trị giới hạn các thông số cơ bản trong không khí xung quanh

Đơn vị: Microgam trên mét khối ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

TT	Thông số	Trung bình 1 giờ	Trung bình 3 giờ	Trung bình 24	Trung bình năm
1	SO ₂	350	-	125	50
2	CO	30000	10000	-	-
3	NO ₂	200	-	100	40
4	O ₃	200	120	80	-
5	Bụi lơ lửng (TSP)	300	-	200	100
6	Bụi PM ₁₀	-	-	150	50
7	Bụi PM _{2.5}			50	25
8	Pb	-	-	1,5	0,5
Ghi chú: Dấu (-) là không quy định					

Khai báo giá trị quy chuẩn

```
// Khai báo các chân kết nối với LCD
const int STD_AQI_H[8] = {350,30000, 200, 200, 300, 0,0,0};
const int STD_AQI_D[8] = {125,0, 100, 80, 200, 150,50,1.5};
const int STD_AQI_Y[8] = {50,0, 40, 0, 100, 50,25,0.5};
```

Do các giá trị chuẩn tính theo đơn vị $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nên ta sử dụng công thức sau để chuyển đổi giữa ppm và $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$$\text{Concentration (mg/m3)} = 0.0409 \times \text{concentration (ppm)} \times \text{molecular weight}$$

$$\text{Concentration (ppm)} = 24.45 \times \text{concentration (mg/m3)} \div \text{molecular weight}$$

Với tần suất lấy mẫu là 30 lần/phút, ta sử dụng các mảng để lưu trữ kết quả tính toán trong từng phút, từng giờ và dung bộ định thời để cập nhật các giá trị vào mảng.

```
//Khai báo các mảng lưu trữ
Int AQI_X_M [30] =0;
Int AQI_X_H [60] =0;
Int AQI_X_D [24] =0;
Int AQI_X_D [365] =0;
//Khai báo các biến đếm
Int s=0; m=0, h=0, d=0;
```

Một bộ ngắt timer với chu kì 1s được sử dụng để cập nhật các giá trị đo đạc, khi xảy ra ngắt giá trị của các biến đếm thay đổi theo trình tự sau

```
Timer(){
    s++;
    If(s%2==0) {
        Read_sensor_value;
        AQI_X_M [s/2]=Calculator_AQI_sensor_value;
    }
    If(s==59){
        s=0;
        AQI_X_H [m]=Average(AQI_X_M[ ]);
        m++;
    }
    If(m==59){
        m=0;
        AQI_X_D [m]=Average(AQI_X_M[ ]);
        h++;
    }
}
```

3.2.5 *Hiển thị giá trị, cài đặt thông số*

Cấu hình TFT LCD

```
// Khai báo các chân kết nối với LCD
#define TFT_DC 9
#define TFT_CS 10
#define TFT_MOSI 51
#define TFT_CLK 52
#define TFT_RST 8
#define TFT_MISO 50
// Use hardware SPI (on Uno, #13, #12, #11) and the above for CS/DC
//Adafruit_ILI9341 tft = Adafruit_ILI9341(TFT_CS, TFT_DC);
// If using the breakout, change pins as desired
Adafruit_ILI9341 tft = Adafruit_ILI9341(TFT_CS, TFT_DC, TFT_MOSI, TFT_CLK,
TFT_RST, TFT_MISO);
```

Vẽ giao diện hiển thị các thông số

```
tft.begin();
tft.setRotation(1);
tft.fillRect(ILI9341_BLACK);
delay(100);
tft.setTextColor(ILI9341_RED);
tft.setTextSize(3);
tft.drawRect(1, 1, 99, 79, ILI9341_RED);
tft.setCursor(2, 4);
tft.print("Nong do CO");
tft.drawRect(1, 80, 99, 79, ILI9341_RED);
tft.setCursor(2, 83);
tft.print("Nong do NO2");
tft.drawRect(1, 160, 99, 79, ILI9341_RED);
tft.setCursor(2, 163);
tft.print("Nong do SO2");
tft.drawRect(100, 1, 99, 79, ILI9341_YELLOW);
tft.setCursor(102, 4);
tft.print("PM 10");
tft.drawRect(100, 80, 99, 79, ILI9341_YELLOW);
tft.setCursor(102, 83);
tft.print("PM 2.5");

tft.drawRect(100, 160, 99, 79, ILI9341_YELLOW);
tft.setCursor(102, 163);
tft.print("AQI");
tft.drawRect(200, 1, 99, 79, ILI9341_GREEN);
tft.drawRect(200, 80, 99, 79, ILI9341_GREEN);
tft.drawRect(200, 160, 99, 79, ILI9341_GREEN);
```

Hiển thị giá trị tính toán lên LCD

```
tft.setCursor(x, y);
tft.setTextColor(ILI9341_RED, ILI9341_BLACK);    tft.setTextSize(3);
tft.print(VAL);
```

3.3 Hiệu chỉnh thiết bị

3.3.1 Các vấn đề cần lưu ý trước khi hiệu chuẩn cảm biến

Trước khi hiệu chuẩn các cảm biến khí cần phải lưu ý các điểm sau

- Do độ chính xác và độ lặp lại thấp của các cảm biến khí, mỗi cảm biến phải được hiệu chuẩn với các thông số hiệu chuẩn riêng của cảm biến đó
- Hiệu chuẩn các cảm biến khí cải thiện trạng thái của cảm biến nhưng nó không đảm bảo độ nhạy chính xác cao
- Quá trình hiệu chuẩn phải được thực hiện trong phòng thí nghiệm bằng chuyên viên và thiết bị chuyên dụng
- Tuổi thọ của các cảm biến khí là khoảng một tháng. Sau giai đoạn này, các cảm biến khí phải được thay thế và hiệu chuẩn
- Thời gian ổn định của các cảm biến là khoảng 10-20 phút, và việc sử dụng phần mềm lọc là rất khuyến khích

3.3.2 Hiểu về các thông số của cảm biến

Tất cả các cảm biến phải được cấu hình đúng với thông số trước khi thực hiện quá trình đo.

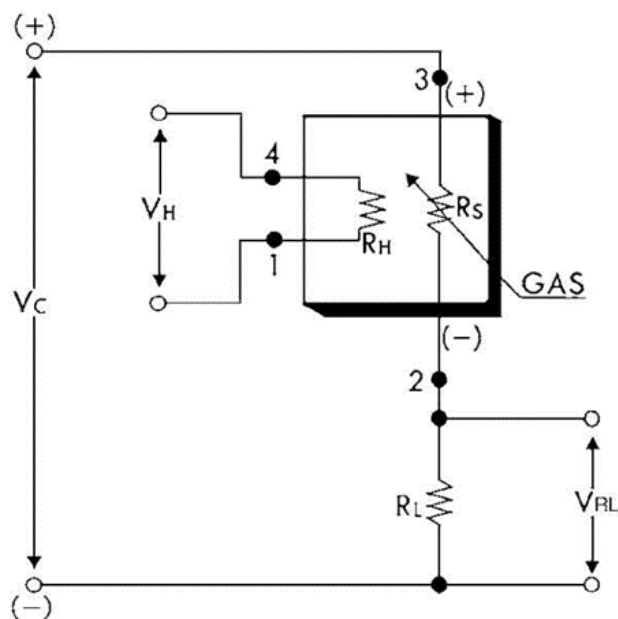
3.3.2.1 Độ lợi của cảm biến

Độ lợi của cảm biến có thể được cấu hình bằng phần mềm. Thông số này có thể được cấu hình từ 1 đến 100. Theo nguyên tắc chung, độ lợi sẽ được cố định ở 1 trong hầu hết mọi ứng dụng, chỉ trong các tình huống rất cụ thể, chẳng hạn như hoạt động trong giới hạn phạm vi cảm biến, sẽ cần một giá trị khác.

3.3.2.2 Điện trở tải RL và điện trở cảm biến Rs

Cảm biến khí với điện trở tải RL

Các cảm biến CO, NO₂, NH₃, CH₄, LPG, khí gây ô nhiễm (TGS2600, TGS2602), các hơi dung môi, O₃, VOC sử dụng cùng một mạch nguyên lý tương tự nhau dựa trên bộ chia điện áp. Bộ chia điện áp này gồm hai điện trở. Một trong hai điện trở này là điện trở cảm biến (Rs), và điện trở còn lại là điện trở tải RL. Điện trở Rs thay đổi theo nồng độ của khí và điện trở còn lại RL có thể cấu đặt bằng chiết áp trên mạch cảm biến. Giá trị RL thay đổi tùy theo từng cảm biến và giá trị, trong tài liệu kỹ thuật có thể thấy giá trị đề nghị cho từng cảm biến.



Hình 3-32: Mạch R_s và R_L

Giá trị V_{out} (V_{RL}) được đo về từ chân AD và được sử dụng để tính giá trị R_s theo công thức

$$R_s = \frac{V_C \times R_L}{V_{out}} - R_L \quad (3.19)$$

Trong đó V_C là điện áp nuôi cảm biến

R_L là điện trở tải của cảm biến

Bảng 3-7: Giá trị điện trở tải đề xuất của một số cảm biến

Sensor	RL
CO	Minimum 10KOhm to 100K
NO2	20 KOhm typical to 100K
NH3	Minimum 8 KOhm to 100K
CH4	Minimum 0.45kΩ to 100K
Liquefied Petroleum Gas	Minimum 0.45kΩ to 100K
TGS2600	Minimum 0.45kΩ to 100K
TGS2602	Minimum 0.45kΩ to 100K
Solvent Vapors	Minimum 0.45kΩ to 100K
O3	20 KOhm typical typical to 100K
VOC	20 KOhm typical to 100K

Cảm biến không có trở tải

Cảm biến CO₂, O₂, không cần điện trở tải và quá trình đo, quá trình hiệu chuẩn cảm biến cũng khác.

Với cảm biến CO₂, giá trị trả về là giá trị điện áp và giá trị này được sử dụng để tính toán nồng độ khí, vì vậy chỉ cần cấu hình giá trị độ lợi và giá trị độ lợi trong hầu hết các trường hợp được cố định tại 1.

Cảm biến O₂ cung cấp một đầu ra điện áp tỷ lệ thuận với nồng độ O₂ trong khí quyển.

Giá trị điện áp này có thể được sử dụng trực tiếp để tính nồng độ oxy.

3.3.2.3 Giá trị điện trở R_0

R_0 là giá trị điện trở của cảm biến tại một nồng độ khí xác định đã biết mà không có sự hiện diện của các loại khí khác hoặc trong không khí sạch. Giá trị này phải được đo đạc và lưu trữ để tính nồng độ của khí. Bảng sau thể hiện các giá trị nồng độ của các loại khí để xác định R_0

Bảng 3-8: Nồng độ khí để xác định giá trị R_0

Sensor	RO
CO	RO = Sensor resistance (RS) in 100 ppm of CO
NO ₂	RO = Sensor resistance (RS) in fresh air
CH ₄	RO = Sensor resistance (RS) in 5000ppm of methane
LPG	RO = Sensor resistance (RS) in 1800ppm of iso-butane
TGS2600	RO = Sensor resistance (RS) in fresh air
TGS2602	RO = Sensor resistance (RS) in fresh air
Solvent Vapors	RO = Sensor resistance (RS) in 300ppm of ethanol
VOC	RO = Sensor resistance (RS) in synthetic air

3.3.3 Các bước hiệu chỉnh cảm biến

Quá trình hiệu chỉnh có thể áp dụng cho tất cả các cảm biến ngoại trừ cảm biến CO₂ và O₂. Cảm biến O₂ có phản ứng tuyến tính và không cần hiệu chuẩn. Cảm biến CO₂ sử dụng điện áp thay vì điện trở để hiệu chuẩn. Quá trình hiệu chuẩn bao gồm các bước sau

- Cấu hình cảm biến (khai báo các giá trị độ lợi, giá trị RL, ...)

- Tính toán giá trị R_0 tại một nồng độ biết trước (cần kiểm soát giá trị nhiệt độ và độ ẩm để có được kết quả chính xác)
- Sau khi thu được điện trở R_0 , cần thiết để thu thêm một số giá trị để tạo ra xấp xỉ phản ứng của các cảm biến. Ít nhất là cần thiết 2 điểm, nhưng đối với một hiệu chuẩn chính xác, chúng tôi đề nghị 3 hoặc 4 điểm hiệu chuẩn, cách nhau mười lần, nhưng không cần thiết. Ví dụ: 30, 300 và 3000 ppm
- Tính giá trị R_s/R_0 tại mỗi điểm được đo
- Các giá tính toán được đưa vào hàm xấp xỉ loga để tính giá trị nồng độ khí.

Hiệu chỉnh cảm biến MQ

```

/***** MQCalibration
Đầu vào:  mq_pin - Chân analog kết nối với cảm biến
Output:  Giá trị  $R_0$  của cảm biến
Chú ý:  Để hiệu chỉnh cảm biến, đặt cảm biến trong môi trường không khí sạch,
hàm sẽ đo đạc và tính toán giá trị  $R_0$  của cảm biến trong không khí sạch.
*/
float MQCalibration(int mq_pin, double ppm, double r1_value, float *pcurve )
{
    int i;
    float val=0;

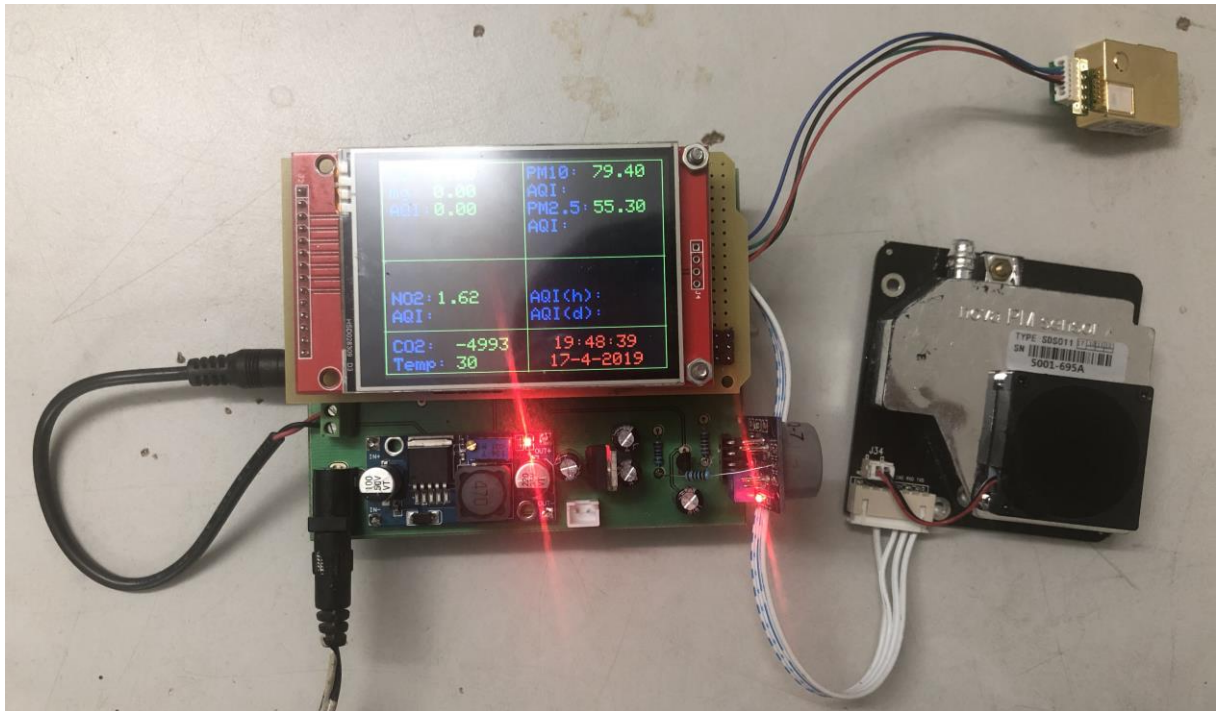
    for (i=0;i<CALIBRATION_SAMPLE_TIMES;i++) {           //take multiple
samples
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin),r1_value);
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val/CALIBRATION_SAMPLE_TIMES;                   //calculate the
average value
    //Ro =  $R_s * \sqrt{a/ppm, b} = R_s * \exp( \ln(a/ppm) / b )$ 

    return  (long)val*exp((log(pcurve[0]/ppm)/pcurve[1]));
}

```

3.3.4 Vận hành thử, đánh giá sản phẩm

Sau khi thiết kế và chế tạo, sản phẩm được đưa vào vận hành thử với các chức năng cơ bản như: đo nồng độ các khí mục tiêu với các mức thay đổi khác nhau, hiệu chỉnh cảm biến, tính toán giá trị AQI của khí mục tiêu.



Hình 3-33: Sản phẩm trong quá trình chạy thử

Kết quả đạt được như sau:

- Thiết bị đã hoạt động theo đúng các tính năng thiết kế, đã đo được nồng độ của các khí mục tiêu với các điều kiện giả lập.
- Với cảm biến MQ chức năng điều chỉnh điện áp sợi đốt hoạt động ổn định, giá trị đo được từ cảm biến thay đổi tuyến tính với nồng độ khí bên ngoài.
- Với cảm biến đo bụi và cảm biến CO₂, nguồn nuôi của modul đảm bảo đủ cung cấp cho các modul này hoạt động. Giá trị đọc về trên cổng UART ổn định, các thay đổi được đáp ứng khi có sự thay đổi của môi trường ngoài.

Tuy nhiên các kết quả đo đạc từ thiết bị chưa được so sánh với thiết bị chuẩn. Modul cảm biến điện hóa hoạt động chưa thực sự ổn định, chưa xây dựng được phương trình tính toán chuẩn cho modul này.



Hình 3-34: Màn hình thiết bị khi hiệu chỉnh điện áp cho cảm biến MQ



Hình 3-35: Màn hình thiết bị khi hiệu chỉnh cảm biến MQ

Để kiểm tra đáp ứng của cảm biến MQ7, một môi trường có nồng độ CO cao được tạo ra bằng cách đốt cháy một vật trong môi trường thiếu khí, sau đó cho cảm biến vào và để đo nồng độ CO.

Chương 4 KẾT LUẬN

Với mục tiêu đặt ra của đề tài luận văn, quá trình tìm hiểu thiết kế, chế tạo và đánh giá đã cho thấy được tính khả thi của mô hình thiết bị quan trắc nhỏ sử dụng cho việc làm các trạm quan trắc nhỏ xem kẻ giữa các hệ thống quan trắc lớn tăng độ tin cậy của dữ liệu và cải thiện độ chính xác của các mô hình nội suy.

Đề tài đã đạt được các mục tiêu sau:

- Hệ thống lại kiến thức về các dòng cảm biến đang được sử dụng phổ biến hiện nay để đo nồng độ các chất ô nhiễm trong không khí.
- Thiết kế và chế tạo được một thiết bị mẫu với phần mềm đo đặc tính toán các giá trị nồng độ khí, giá trị AQI theo tiêu chuẩn hiện hành. Thiết bị đã được chạy thử thành công, đáp ứng được các tính năng theo thiết kế.
- Tìm hiểu các phương pháp xây dựng công thức tính toán nồng độ khí từ các giá trị thô đo được từ cảm biến cho các cảm biến có đầu ra tương tự.
- Xây dựng quy trình hiệu chỉnh cho một số dòng cảm biến thông dụng.

Các nội dung chưa đạt được

- Tính năng của phần mềm chưa cho phép thay đổi các giá trị cài đặt trên thiết bị.
- Các giá trị đo chưa được đối chứng với thiết bị chuẩn.
- Chưa hoàn thiện được khối giao tiếp với cảm biến điện hóa.

Hướng phát triển

- Hoàn thiện thiết kế sản phẩm, và các tính năng của phần mềm.
- Bổ sung thêm thư viện tính toán cho các cảm biến, đơn giản hóa cách thay thế, ghép nối các cảm biến vào thiết bị.
- Hoàn thiện quy trình hiệu chỉnh cảm biến.
- Đánh giá độ tin cậy của dữ liệu thu được từ thiết bị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. **Trung tâm quan trắc môi trường , Tổng cục môi trường .** *Phương pháp tính toán chỉ số chất lượng không khí.* Hà Nội : 2011.

Tiếng Anh

1. **Sabillaa, Shoffi Izza, Sarnoa, Riyanarto và Siswantorob, Joko.** *Estimating Gas Concentration using Artificial Neural Network for Electronic Nose.* Bali : 4th Information Systems International Conference 2017, 2017.
2. **Navreetinder, Kaur, Mahajan, Rita và Deepak, Bagai.** *Air Quality Monitoring System based on Arduino Microcontroller.* Chandigarh : International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology- Vol. 5, 2016.
3. **Orozco, Luis.** *Designing a Low-Power Toxic Gas Detector.* không biết chủ biên : www.analog.com/, 2012.
4. **Nayak, Riteeka, và những tác giả khác.** *IoT Based Air Pollution Monitoring System.* không biết chủ biên : Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) - Vol-3, Issue-4, 2017.
5. **Instruments, Texas.** *Micropower Electrochemical Gas Sensor Amplifier Reference Design.* 2017.
6. **Boguski, Terrie K.** *Understanding Units of Measurement.* 2006.
7. **Arduino-CO-Monitor-Using-MQ-7-Sensor.** *instructables.com.* [Trực tuyến] <https://www.instructables.com/id/Arduino-CO-Monitor-Using-MQ-7-Sensor/>.
8. **Electronic Circuits for Use in Electrochemical Gas Sensors.** *azosensors.com.* [Trực tuyến] 10 March 2015. <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=583>.
9. **Detect-co-with-mq-7-sensor-module.** *areresearch.net.* [Trực tuyến] 10 March 2017. <http://www.areresearch.net/2017/03/detect-co-with-mq-7-sensor-module.html>.
10. **principle/electrochemical-type.** *figaro.co.jp.* [Trực tuyến] <https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/electrochemical-type.html>.
11. **principle/catalytic-type.** *figaro.co.jp/*. [Trực tuyến] <https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/catalytic-type.html>.