



Thiết kế và xây dựng hệ thống lọc khí trong nhà bằng thực vật dựa trên nền tảng vạn vật kết nối (IoT)

Nguyễn Hồng Hạnh¹, Nguyễn Anh Tú², Lê Hữu Chung²

¹ Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

² Lớp DCĐĐT12.10.1, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

*Email: hanh.nh@eaut.edu.vn

Tóm tắt

Ô nhiễm không khí được xác định là mối đe dọa môi trường nghiêm trọng đối với sự phát triển bền vững ở các quốc gia. Trong đó, chất lượng môi trường trong nhà được điều chỉnh bởi chất lượng không khí ngoài trời và các nguồn vật liệu, hóa chất, thậm chí cả các hoạt động trong nhà. Những mối đe dọa tiềm ẩn tồn tại ngay trong không gian sống như các chất formaldehyde, benzen, bụi mịn (PM2.5), VOCs... gây tác động tiêu cực đến sức khỏe và đòi hỏi sự chú ý đặc biệt của cộng đồng. Bài báo trình bày giải pháp cải thiện chất lượng không khí trong nhà theo hướng tiếp cận sinh học để lọc khí và xử lý bụi mịn kết hợp công nghệ ion âm, màng lọc. Tính năng tự động hóa việc chăm sóc cây trồng và kiểm soát thông số môi trường giúp tối ưu hóa hiệu quả lọc khí. Hệ thống này tích hợp khả năng theo dõi nồng độ khí thải, cho phép người dùng có thể giám sát chất lượng không khí trong nhà và điều chỉnh hệ thống theo nhu cầu. Việc điều khiển thông qua điện thoại hoặc trình duyệt web cũng tạo sự tiện lợi cho người dùng. Ngoài ra, việc sử dụng năng lượng mặt trời để vận hành hệ thống giúp giảm thiểu tác động đến môi trường và tăng tính bền vững của giải pháp.

Từ khóa: Công nghệ IoT, không khí, lọc khí, năng lượng mặt trời, ô nhiễm

Abstract

Air pollution has been identified as a serious environmental threat to sustainable development in many countries. Indoor environmental quality is influenced by outdoor air quality as well as materials, chemicals, and even human activities within enclosed spaces. Potential hazards such as formaldehyde, benzene, fine particulate matter (PM2.5), and volatile organic compounds (VOCs) exist within living environments, negatively affecting human health and requiring special attention from the community. This paper presents a solution for improving indoor air quality using a biological approach for air purification and fine dust removal, combined with negative ion technology and filtration systems. Automated plant care and environmental parameter control help optimize air purification efficiency. The system integrates the capability to monitor pollutant concentrations, enabling users to track indoor air quality and adjust the system according to their needs. Control via mobile devices or web browsers also enhances user convenience. In addition, the use of solar energy to operate the system minimizes environmental impact and increases the sustainability of the solution.

Keywords: IoT technology, air quality, air purification, solar energy, pollution

1. Mở đầu

Ô nhiễm không khí trong nhà (ÔNKKTN) đang nổi lên như một vấn đề sức khỏe cộng đồng toàn cầu, gây ra những tác động tiêu cực đáng kể đến sức khỏe con người và năng suất



lao động. Trong bối cảnh cuộc sống hiện đại, khi thời gian con người dành trong các tòa nhà, đặc biệt là tại các đô thị, ngày càng gia tăng, đặc biệt kể từ đại dịch COVID-19 với ước tính 80-90% thời gian được dành cho việc làm việc và sinh hoạt trong không gian kín [1], chất lượng không khí trong nhà trở thành yếu tố quyết định đến sức khỏe và hạnh phúc của chúng ta. Môi trường trong nhà có thể trở thành nguồn phơi nhiễm lớn nhất đối với các chất ô nhiễm, đặc biệt là đối với các nhóm dân số dễ bị tổn thương như trẻ em, người cao tuổi và những người có bệnh nền. Việc tiếp xúc lâu dài với các chất ô nhiễm trong nhà có thể dẫn đến Hội chứng Nhà kín (Sick Building Syndrome - SBS), biểu hiện qua các triệu chứng đa dạng như đau đầu, kích ứng mắt và đường hô hấp, chóng mặt, buồn nôn, mệt mỏi, buồn ngủ và thiếu kiên nhẫn [2]. Nghiêm trọng hơn, ÔNKKTN còn liên quan mật thiết đến sự phát triển của các bệnh không lây nhiễm nguy hiểm, bao gồm đột quỵ, bệnh tim, thiếu máu và bệnh phổi tắc nghẽn mãn tính (COPD). Đáng chú ý, theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), khoảng 6% tổng số ca tử vong do ung thư phổi có thể là do phơi nhiễm với các chất gây ung thư có nguồn gốc từ ÔNKKTN [3], nhấn mạnh sự cần thiết cấp bách của việc giải quyết vấn đề này một cách toàn diện.

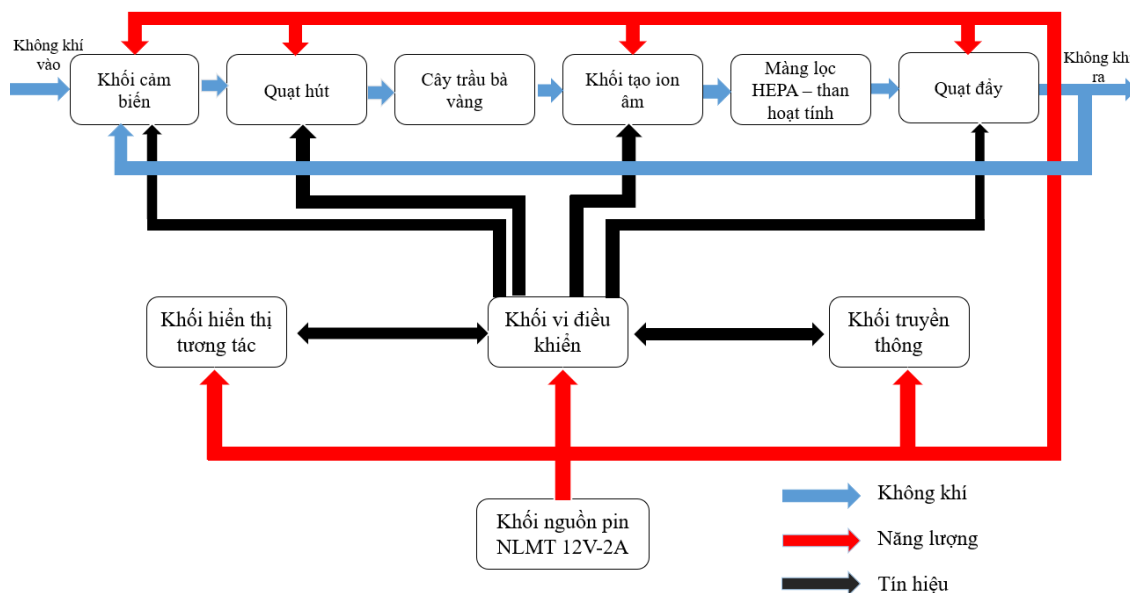
Ô nhiễm không khí trong nhà, một vấn đề tiềm ẩn nhiều rủi ro cho sức khỏe, đang diễn ra âm thầm với sự góp mặt của hàng trăm chất ô nhiễm khác nhau, phát sinh từ cả nguồn bên ngoài lẫn các hoạt động thường nhật như nấu nướng, sưởi ấm, hút thuốc và vật liệu nội thất. Bên cạnh đó, các tác nhân sinh học như phấn hoa và nấm bệnh cũng đóng vai trò quan trọng trong việc làm giảm chất lượng không khí. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng hydrocacbon thơm đa vòng (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - PAH), hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (Volatile organic compounds - VOCs), kim loại nặng, các khí SO₂, NO₂, CO, O₃, và đặc biệt là bụi mịn PM_{2.5} và PM₁₀ là những tác nhân chính gây ra các vấn đề sức khỏe liên quan đến ô nhiễm không khí. Do đó, trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng tại Việt Nam, việc tìm kiếm và áp dụng các giải pháp hiệu quả để giảm thiểu ô nhiễm và cải thiện chất lượng không khí trong nhà là vô cùng cần thiết và cấp bách.

Bài viết này đề xuất một giải pháp tiếp cận sinh học, tập trung vào việc loại bỏ khí Formaldehyde và xử lý bụi mịn, đồng thời tích hợp các công nghệ hỗ trợ như ion âm, màng lọc HEPA (High efficiency particulate air) và than hoạt tính để tối ưu hóa hiệu quả xử lý. Giải pháp này hướng đến một phương pháp thân thiện với môi trường, có chi phí hợp lý, dễ dàng thiết kế và triển khai, hứa hẹn khả năng ứng dụng rộng rãi trong các tòa nhà đô thị, góp phần cải thiện chất lượng cuộc sống cho người dân.

2. Mô tả hệ thống

Nghiên cứu này trình bày một hệ thống IoT lọc khí trong nhà tích hợp phương pháp sinh học - vật lý, vận hành với cơ chế ưu tiên linh hoạt dựa trên các thông số môi trường. Hệ thống ưu tiên xử lý ô nhiễm (PM2.5, Formaldehyde) vượt ngưỡng bằng cách hút khí, lọc qua cây trầu bà vàng (*Epipremnum aureum*) kết hợp máy tạo ion âm, phun sương rửa lá và màng lọc HEPA - than hoạt tính, ngay cả khi điều kiện sinh trưởng của cây chưa tối ưu. Ngược lại, nếu môi trường cây trồng nằm ngoài ngưỡng an toàn, hệ thống ưu tiên điều chỉnh nhiệt độ, độ ẩm và ánh sáng, đảm bảo sự phát triển ổn định của cây trước khi quay lại xử lý không khí.

Hệ thống giám sát môi trường liên tục cập nhật dữ liệu trực tuyến về nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ bụi PM2.5 và Formaldehyde, cùng trạng thái hoạt động của thiết bị. Điều này cho phép người dùng theo dõi, điều khiển từ xa hiệu quả, tối ưu hóa giám sát và phản ứng nhanh chóng với các thay đổi. Chức năng cảnh báo sớm giúp chủ động bảo vệ sức khỏe trước nguy cơ ô nhiễm.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống lọc khí bằng thực vật

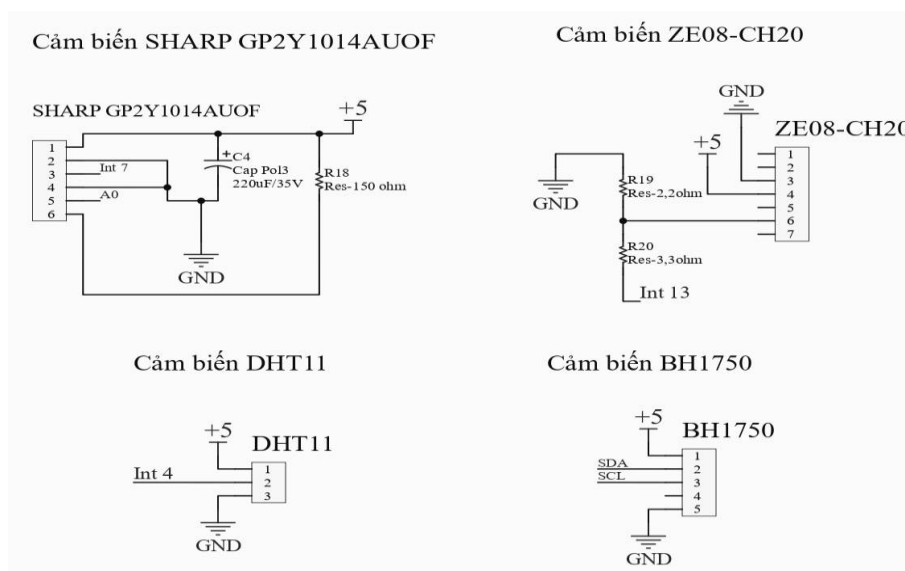
Khối đo thông số môi trường thực hiện 2 nhóm chức năng. Một là, đo các tham số môi trường bên ngoài để lấy cơ sở thực hiện kích hoạt hệ thống xử lý không khí đằng sau, bao gồm 2 cảm biến (cảm biến bụi quang học Sharp GP2Y1014AU0F và cảm biến phát hiện khí Formaldehyde ZE08-CH2O). Hai là, đo tham số môi trường bên trong mô hình để kiểm soát điều kiện nuôi trồng tối ưu cho cây sinh trưởng bao gồm 2 cảm biến (Cảm biến nhiệt độ, độ ẩm DHT11 và cảm biến cường độ sáng BH1750)

Cảm biến bụi quang học Sharp GP2Y1014AU0F sử dụng nguyên lý tán xạ ánh sáng hồng ngoại để phát hiện các hạt bụi, đặc biệt là PM2.5 trong không khí. Cấu trúc bên trong bao gồm diode phát hồng ngoại và transistor quang bố trí chéo nhau, tạo ra tín hiệu điện áp tương ứng với nồng độ bụi. Tín hiệu này có thể được đọc bởi vi điều khiển như Arduino để phân tích và đánh giá chất lượng không khí. Cảm biến này cũng có khả năng phát hiện khói, ví dụ như khói thuốc lá.

Cảm biến ZE08-CH20 là module phát hiện khí Formaldehyde sử dụng nguyên lý điện hóa, đảm bảo độ chọn lọc và ổn định cao. Giao tiếp với Arduino qua UART (Serial), cảm biến tích hợp bù nhiệt độ và cung cấp cả đầu ra kỹ thuật số lẫn tương tự. Dữ liệu thu thập được truyền qua giao thức Serial để Arduino xử lý và hiển thị. Thời gian khởi động từ 1-3 phút sau khi cấp nguồn để đảm bảo cảm biến ổn định trước khi thu thập dữ liệu.

Cảm biến DHT11 là module tích hợp cảm biến nhiệt độ NTC và cảm biến độ ẩm AM2301, cùng vi điều khiển 8-bit, cho phép đo nhiệt độ và độ ẩm môi trường. Sau khi thu thập, dữ liệu được chuyển đổi thành tín hiệu kỹ thuật số và truyền qua giao thức 1-wire, chỉ sử dụng một chân DATA duy nhất để gửi cả thông tin nhiệt độ và độ ẩm đến vi điều khiển, dưới dạng chuỗi bit.

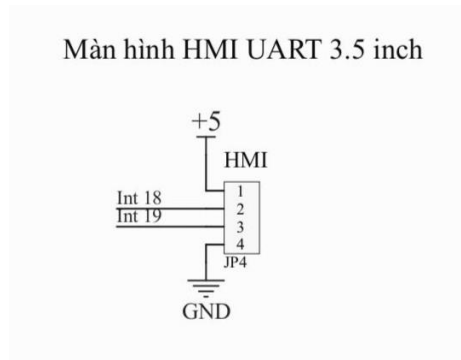
BH1750 là IC cảm biến số 16 bit, sử dụng giao thức I2C, đo cường độ ánh sáng môi trường xung quanh. Hoạt động dựa trên nguyên lý quang điện, BH1750 chuyển đổi tín hiệu quang học thành tín hiệu điện tử, cung cấp thông tin chính xác về mức độ ánh sáng xung quanh.



Hình 2. Khôi đo thông số môi trường

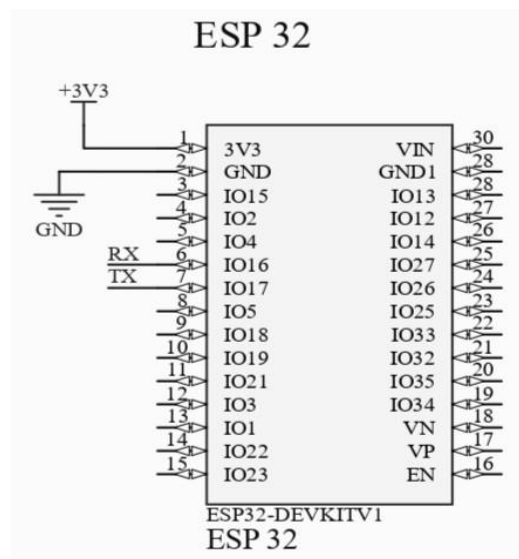
3.1.2. Khối truyền thông không dây và hiển thị

Khối hiển thị: Màn hình cảm ứng UART HMI LCD 3.5 inch cung cấp giao diện trực quan để theo dõi thông số, thao tác và giám sát hoạt động hệ thống. Khả năng này còn hỗ trợ tùy chỉnh và cài đặt linh hoạt.



Hình 3. Khối hiển thị HMI UART

Khối kết truyền thông không dây Wifi: Việc tích hợp ESP32 đóng vai trò then chốt trong việc trang bị khả năng kết nối Wi-Fi cho Arduino Mega 2560, vốn không có giao tiếp mạng trực tiếp. ESP32 hoạt động như một cầu nối, truyền dữ liệu hai chiều giữa Arduino Mega và website thông qua giao tiếp UART (TX, RX) sử dụng các chân GPIO16/GPIO17 trên ESP32 và các cổng Serial trên Arduino Mega. Dữ liệu được mã hóa thành bit nhị phân và truyền nhận, sau đó được giải mã để thực hiện các hành động tương ứng.



Hình 4. Khối truyền thông không dây ESP 32

3.1.3 Khối xử lý không khí

Cây trầu bà vàng trồng thủy sinh: có khả năng loại bỏ các hạt PM2.5, PM10, VOC và Formaldehyde (khi kết hợp than hoạt tính) vì có khả năng làm giảm đáng kể các chất gây ô nhiễm không khí trong nhà thông qua cơ chế cố định các phân tử này vào con đường chuyển hóa trong cơ thể thực vật nhờ quá trình hấp thụ thông qua bề mặt bên ngoài lá cây hoặc hệ rễ. [4] [5]. Quy trình trồng cây thủy sinh tương đối đơn giản, chỉ cần đặt cành cây vào bình, đảm bảo nước ngập rễ nhưng không chạm lá, và cố định bằng sỏi. Chăm sóc định kỳ bằng cách thay nước mỗi tuần hoặc 10 ngày, đặt cây ở nơi có ánh sáng gián tiếp, và bổ sung phân bón thủy sinh khi cần thiết. Thường xuyên kiểm tra rễ, cắt tỉa lá úa để duy trì sức khỏe cây. Loại cây này, với phiến lá rộng, dễ chăm sóc và thích hợp với môi trường máy lạnh, ít ánh sáng.

Máy tạo ion âm MF-FA7000: Máy phát ion âm này hoạt động bằng cách phát ra các ion âm liên kết với bụi và chất ô nhiễm trong không khí, khiến chúng nặng hơn và dễ dàng lắng



đọng lại trên bề mặt lá cây hoặc bị giữ lại bởi bộ lọc. Thiết bị hỗ trợ điện áp từ 12V đến 220VAC, tần số 50Hz, với nồng độ Ozone dưới 0,05 PPM và nồng độ ion âm đạt trên 70 triệu ion/cm³.

Máy bơm và giàn phun sương: Hệ thống bơm chuyên dụng được tích hợp để cung cấp nước áp lực cao đến các đầu phun sương trên nóc, tạo ra lớp sương mịn giúp loại bỏ hiệu quả bụi bẩn và cặn bám trên lá cây cũng như bề mặt bên trong mô hình sau quá trình xử lý bằng máy khử ion âm.

Quạt thông gió có gắn màng lọc khí HEPA– than hoạt tính: Quạt thông gió 12V DC, kết hợp màng lọc HEPA và than hoạt tính, đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện chất lượng không khí. Quạt giúp lưu thông không khí và hút các hạt bụi, khí độc, trong khi màng lọc giúp loại bỏ 99,97% các hạt ô nhiễm, bao gồm bụi mịn PM2.5 và vi khuẩn. Lớp than hoạt tính tăng cường khả năng khử mùi, loại bỏ các chất gây dị ứng như Formaldehyde và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs).

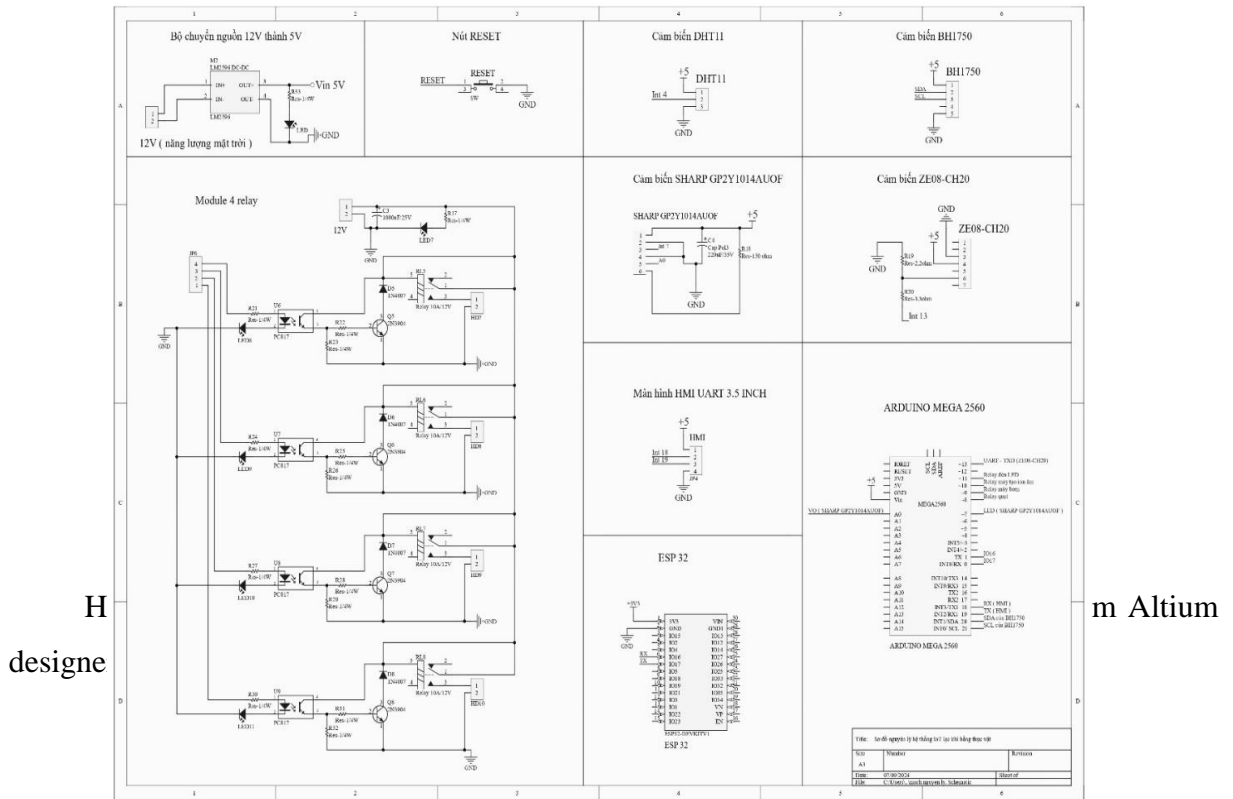
Đèn LED: cung cấp ánh sáng xanh cần thiết cho quá trình quang hợp của cây trồng, đồng thời góp phần gia tăng nhiệt độ trong môi trường mô hình khi thời tiết lạnh, giúp duy trì điều kiện sinh trưởng tối ưu cho cây trồng.

3.1.4 Khối nguồn pin năng lượng mặt trời

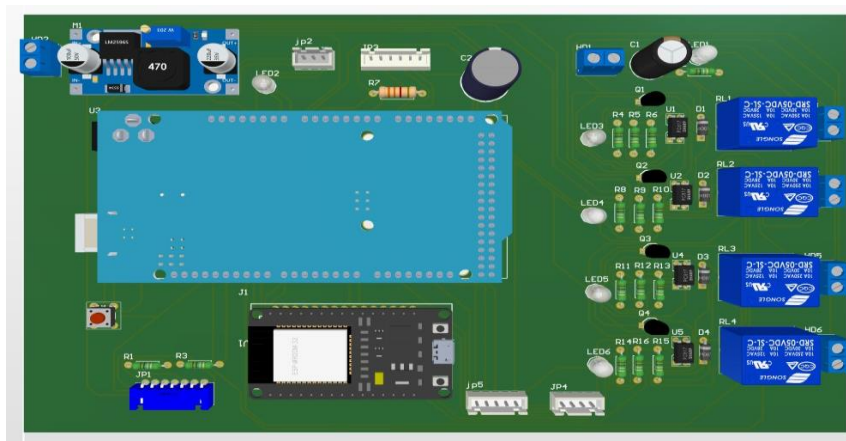
Tám pin mặt trời, sử dụng hiệu ứng quang điện để chuyển đổi năng lượng ánh sáng thành điện năng, cung cấp điện 20W/12V. Năng lượng này được điều khiển bởi bộ điều khiển sạc năng lượng mặt trời 30A/12V/24V auto, đóng vai trò trung gian giữa pin và ắc quy. Bộ điều khiển này tối ưu hóa quá trình sạc, bảo vệ ắc quy thông qua quy trình sạc PWM (Pulse Width Modulation) thông minh, và tự động ngắt mạch khi ắc quy đầy, giúp kéo dài tuổi thọ của cả pin mặt trời và ắc quy.

3.1.5 Sơ đồ tổng thể hệ thống xử lý không khí

Hình 5 thể hiện sơ đồ nguyên lý toàn hệ thống xử lý không khí trong nhà bằng thực vật ứng dụng IoT.



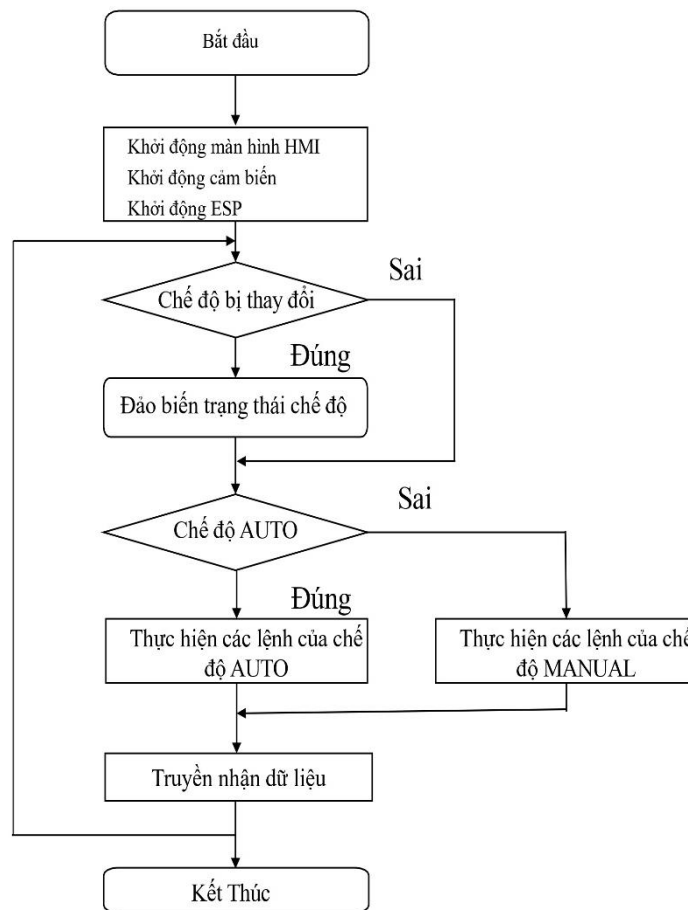
Hình 5. Sơ đồ nguyên lý hệ thống lọc khí



Hình 6. Mạch PCB điều khiển trung tâm

Mạch đưa vào hoạt động ổn định, đảm bảo các chức năng như truyền nhận dữ liệu không khí từ các cảm biến gửi về, cập nhật giá trị và trạng thái của các cảm biến gửi lên Web sever và màn HMI một cách nhanh chóng, đảm bảo đóng cắt các relay để thực hiện các cơ cấu chấp hành ổn định. Các connector giúp kết nối giữa board mạch và cảm biến một cách chắc chắn tránh các sự cố về truyền nhận dữ liệu bị trễ gây ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của hệ thống.

3.2 Lập trình chức năng



Hình 7. Lưu đồ thuật toán chương trình chính

Chương trình bắt đầu và khởi động HMI bằng việc khởi tạo các biến và kiểm tra trạng thái chế độ hoạt động, mặc định sẽ chạy chế độ AUTO. Nút tùy chọn SETTING cho phép người dùng lựa chọn thay đổi chế độ hoạt động (MANUAL hay AUTO). Arduino liên tục kiểm tra trạng thái từ Node MCU (nhận dữ liệu từ web) để cập nhật chế độ hoạt động của phần cứng tương ứng, đồng thời đồng bộ dữ liệu trạng thái từ web server và ứng dụng Blynk, đảm bảo tính nhất quán thông tin giữa phần cứng và giao diện người dùng. Dữ liệu trạng thái được lưu trữ trên web server. Các thao tác trên thiết bị có thể thực hiện trực tiếp trên màn hình HMI hoặc gián tiếp qua web hoặc app Blynk.

Chế độ AUTO: cho phép người dùng tùy chỉnh trước ngưỡng giới hạn các thông số môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng, bụi PM2.5, Formaldehyde) và thiết lập hệ thống hoạt động dựa trên việc so sánh giữa giá trị thực tế và giá trị ngưỡng đặt trước này.

Chế độ MANUAL: chế độ điều khiển thủ công 4 thiết bị (máy bơm, quạt thông gió, đèn LED, máy khử ion), không quan tâm tới các thông số môi trường. Mỗi thiết bị sẽ có nút bật tắt riêng và hiển thị trạng thái.

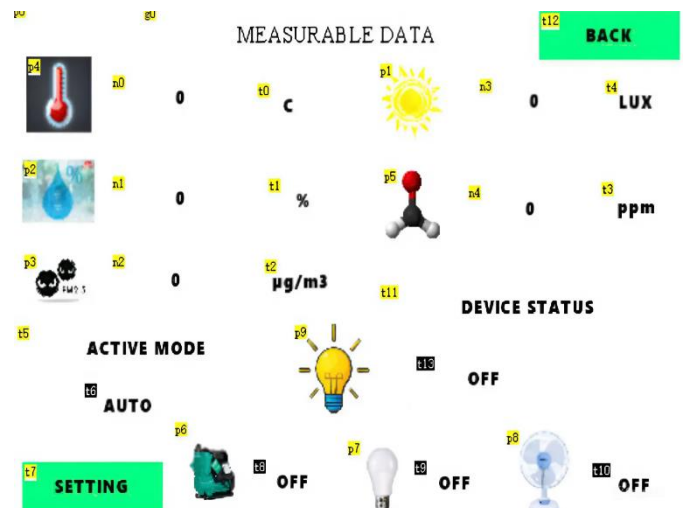
3.3. Thiết kế giao diện điều khiển

3.3.1. Giao diện HMI

Giao diện HMI được thiết kế trên phần mềm Nextion. Khi khởi động, hệ thống sẽ hiển thị màn hình chờ bao gồm các thông tin cơ bản về tên đề tài, người thực hiện đề tài. Màn hình chính sẽ hiển thị các thông số cảm biến, trạng thái bật mở của thiết bị và chế độ hoạt động của hệ thống.



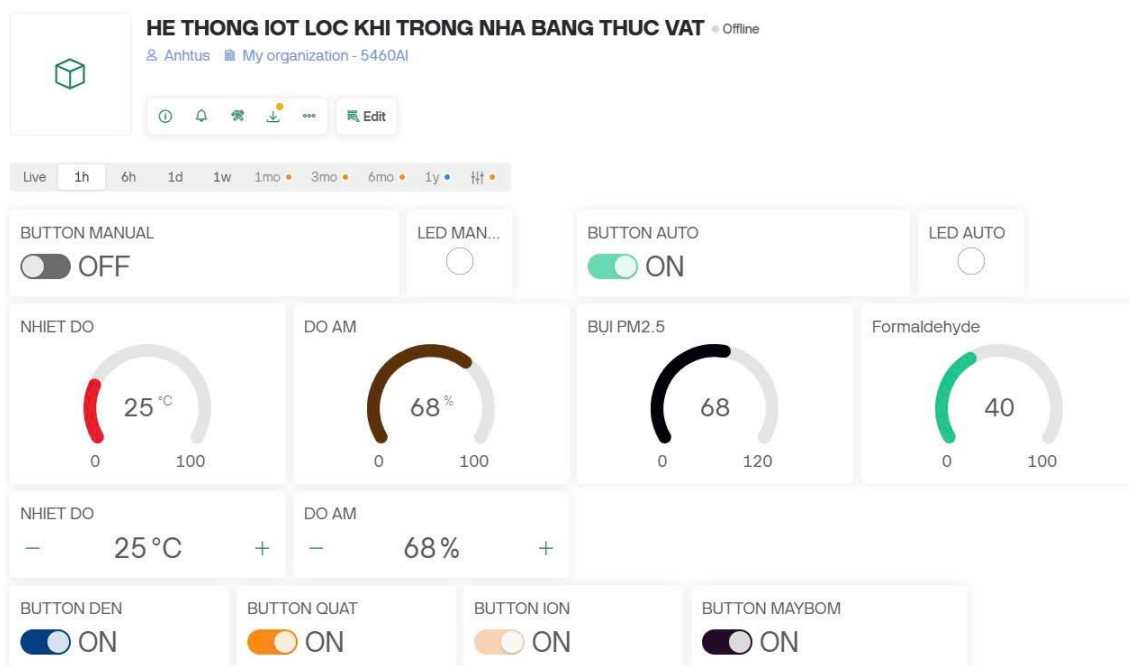
Hình 8. Giao diện màn hình chờ HMI



Hình 9. Giao diện màn hình chính HMI

3.3.2. Giao diện Web và App Blynk

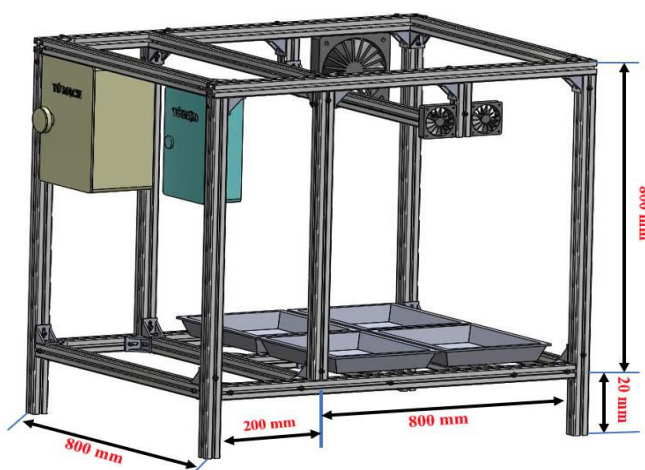
Blynk cung cấp nền tảng IoT trực quan thông qua trang web Blynk.io và ứng dụng di động, cho phép người dùng dễ dàng tạo, quản lý dự án, và theo dõi dữ liệu từ thiết bị. Với Dashboard, người dùng có thể cấu hình thiết bị và tùy chỉnh để điều khiển ESP32 hoặc hiển thị thông tin. API và Webhooks hỗ trợ tích hợp mở rộng, trong khi các hàm Blynk.begin(), Blynk.run(), và Blynk.virtualWrite() cho phép giao tiếp liền mạch giữa ESP32 và nền tảng Blynk. Trạng thái các thiết bị và thông số môi trường được đồng bộ hóa tương tự như trên màn hình HMI giúp người dùng có thể theo dõi và thao tác từ xa.



Hình 10. Giao diện web Blynk

3.4. Thiết kế khung vỏ

Khung và vỏ mô hình có kích thước tổng thể 100 cm × 80 cm × 100 cm. Khu vực xử lý không khí được bọc PVC trong suốt, cho phép quan sát trực tiếp các thành phần bên trong như cây trà bà vàng, các cảm biến, máy tạo ion âm MF-FA7000, đèn LED, hệ thống vòi phun và quạt thông gió. Khu vực bên ngoài, bao gồm tủ nguồn, tủ điều khiển mạch điện, máy bơm và bình chứa nước, được cách ly khỏi khối xử lý bụi để đảm bảo an toàn điện.



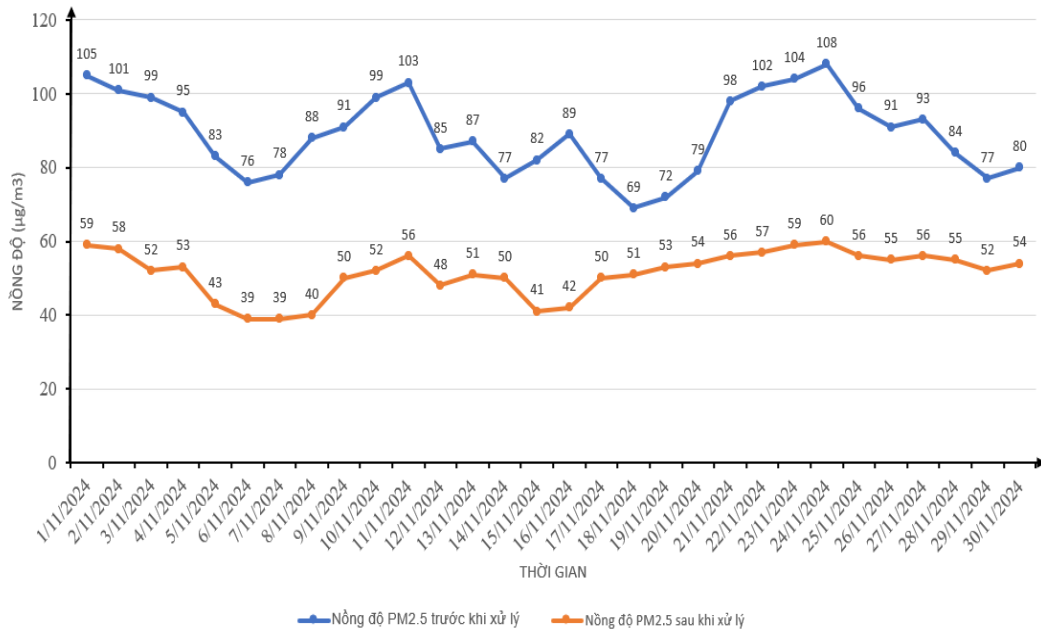
Hình 11. Kích thước khung mô hình dạng 3D



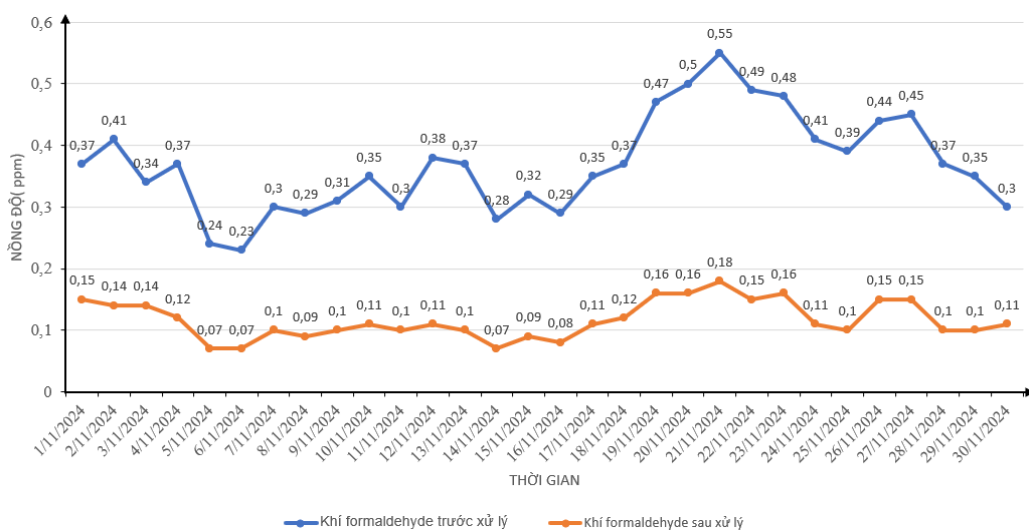
Hình 12. Hình ảnh mô hình thực tế

4. Kết quả triển khai thử nghiệm

Nhằm đánh giá mức độ ô nhiễm không khí trong nhà, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm tại một không gian một văn phòng làm việc khép kín với kích thước khoảng $8,2\text{ m} \times 4,5\text{ m} \times 3,6\text{ m}$; đo và thu thập số liệu đo lường ô nhiễm trước và sau khi sử dụng thiết bị lọc khí bụi trong khoảng thời gian từ ngày 01/11/2024 đến hết ngày 30/11/2024; mô hình được đặt cố định ở độ cao 80 cm so với mặt đất.



Hình 13. Đồ thị biểu diễn nồng độ bụi PM2.5 trước và sau khi xử lý bụi



Hình 14. Đồ thị biểu diễn nồng độ khí Formaldehyde trước và sau khi xử lý khí



Đối chiếu với TCVN 13521:2020 Nhà ở và nhà công cộng - Các thông số chất lượng không khí trong nhà [6], QCVN 05:2003/BTNMT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí [7] và QCVN 06:2009/BTNMT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về một số chất độc hại trong không khí xung quanh [8], kết quả đo thực nghiệm chất lượng không khí tại không gian văn phòng khép kín cho thấy nồng độ bụi PM2.5 và khí Formaldehyde trước khi tiến hành xử lý lọc khí bụi, tại thời điểm ngày đầu tiên khảo sát (1/11/2024) có giá trị nồng độ bụi PM2.5 là 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (hình 13) và nồng độ khí Formaldehyde là 0,37 ppm (hình 14) đều thuộc vào nhóm nhạy cảm vượt quá giới hạn cho phép, gây ảnh hưởng lớn đến sức khỏe của người làm việc trong văn phòng. Kết quả đo cùng ngày sau khi sử dụng hệ thống lọc khí cho thấy chất lượng không khí trong văn phòng đã được cải thiện tương đối rõ ràng, các chỉ số AQI (Air Quality Index) đã giảm xuống với nồng độ bụi PM2.5 là 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ và khí Formaldehyde là 0,15 ppm. Kết quả đánh giá hiệu quả lọc bụi của mô hình trong thời gian thực nghiệm 1 tháng được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng đánh giá hiệu quả lọc bụi của mô hình

Địa điểm nghiên cứu	Vị trí đặt	Loại bụi/ khí	Số trung bình (Mean)	Độ lệch chuẩn (Sd)	Số trung vị (Median)	Giá trị tối thiểu (Min)	Giá trị tối đa (Max)
Tại phòng trọ	80cm	PM2.5	51,17	6,06	52,50	39,0	60,00
		Formaldehyde	0,10	0,03	0,11	0,07	0,18

Việc vận hành mô hình cho thấy hiệu quả trong việc giảm thiểu bụi trong nhà, đặc biệt là bụi PM2.5 và Formaldehyde. Mặc dù chưa loại bỏ hoàn toàn, nồng độ các chất này đã đạt ngưỡng cho phép theo tiêu chuẩn TCVN. Kết quả này, dù khiêm tốn so với các sản phẩm lọc khí công nghệ cao trên thị trường, nhưng là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu và phát triển tiếp theo xu hướng sinh học.

Hiệu quả lọc bụi của hệ thống chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố như nồng độ bụi biến đổi theo mùa (đặc biệt trong điều kiện mùa đông khô hanh), không gian văn phòng hạn chế thông gió và mật độ người/thiết bị cao, dẫn đến gia tăng nồng độ PM2.5. Tuy nhiên, mô hình lọc khí bụi kết hợp giữa cây xanh, quạt hút, màng lọc HEPA - than hoạt tính và máy tạo ion âm đã chứng minh khả năng lọc tốt. Vị trí lắp đặt cũng đóng vai trò quan trọng, với hiệu suất tối ưu ở độ cao 80cm, nhờ mật độ bụi giảm và hỗ trợ từ luồng thông gió tự nhiên.



5. Trao đổi và kết luận

Hệ thống lọc khí trong nhà tích hợp thực vật, bộ tạo ion âm và màng lọc than hoạt tính kích thước 100 cm × 80 cm × 100 cm đã chứng minh hiệu quả làm sạch không khí. Việc sử dụng năng lượng mặt trời giúp giảm đáng kể chi phí điện năng. Mô hình này không chỉ đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật mà còn mang lại giá trị thẩm mỹ và phong thủy cho không gian sống.

Nghiên cứu này có tiềm năng đóng góp vào việc tạo ra môi trường sống trong lành và an toàn hơn, đồng thời thúc đẩy sử dụng các giải pháp thân thiện với môi trường. Nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục triển khai nghiên cứu để đánh giá hiệu quả thực tế của hệ thống trong các điều kiện khác nhau và đáp ứng được việc thương mại hóa sản phẩm.

Tài liệu tham khảo

[1] González-Martín, J.; Kraakman, N.J.R.; Pérez, C.; Lebrero, R.; Muñoz, R. A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control (2021), *Chemosphere*, Vol. 262, pp.128376.

[2] Anshula Tayal, S. K. Kabra, Indoor Air Pollution- Not the Lesser Evil!, *Indian Journal of Pediatrics*, Vol. 90, Is. 9, pp. 849-850.

[3] World Health Organization. Household Air Pollution and Health. Available online: <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/household-air-pollution-and-health> (accessed on 28 August 2022).

[4] Izdihar Zahirah Ibrahim, Wen Tong Chong, Sumiani Yusoff, Chin-Tsan Wang, Xianbo Xiang, Wan Khairul Muzammil, Evaluation of common indoor air pollutant reduction by a botanical indoor air biofilter system (2019), *Indoor and Built Environment*, Vol. 30, Is. 1, pp. 7-21

[5] Ahu Aydogan, Lupita D. Montoya, Formaldehyde removal by common indoor plant species and various growing media (2011), *Atmospheric Environment*, Vol. 45, Is. 16, pp. 2675-2682.

[6] TCVN 13521:2022 Nhà ở và nhà công cộng - Các thông số chất lượng không khí trong nhà, Bộ Khoa học và Công nghệ

[7] QCVN 05: 2023 Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về Chất lượng không khí

[8] QCVN 06: 2009/BTNMT. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về Một số chất độc hại trong không khí xung quanh