THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO HỆ THỐNG PHÁT HIỆN – XỬ LÝ KHÍ ETHYLENE TRONG VẬN CHUYỂN CHUỐI VIỆT NAM.

DESIGN AND FABRICATION OF AN ETHYLENE DETECTION – TREATMENT SYSTEM FOR VIETNAMESE BANANA TRANSPORTATION.

SVTH: Nguyễn Tiến Long, Lê Văn Anh Dũng, Huỳnh Ngọc Trai, Hà Đức Thiện

Lớp 24DTVM2 Khoa Điện – Điện tử., Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

GVHD: ThS. Trần Duy Chung

Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

Tóm tắt - Sản phẩm "Hệ thống phát hiện và xử lý khí ethylene trong vận chuyển chuối". Hệ thống sử dụng STM32F103C8T6, ESP32 DevKit và cảm biến MQ-138 để giám sát gián tiếp nồng độ ethylene thông qua VOC. Cơ chế xử lý khí dựa trên quang xúc tác TiO_2 nano pha anatase kết hợp đèn UV và quạt thông gió. Kết quả cho thấy hệ thống phản ánh được sự biến thiên VOC theo giai đoạn chín và có xu hướng giảm khi kích hoạt xử lý. Mô hình có chi phí thấp và tiềm năng ứng dụng trong bảo quản nông sản.

Từ khóa - Ethylene, MQ-138, STM32, ESP32, TiO_2, Relay, IoT, Chuối, VOC.

Abstract - The product "Ethylene Detection and Treatment System for Banana Transportation" is designed to monitor and reduce the effects of ethylene during storage and transportation. The system uses an STM32F103C8T6 microcontroller, an ESP32 DevKit module, and an MQ-138 gas sensor to indirectly monitor ethylene concentration through VOC signals. The gas treatment mechanism is based on photocatalysis using TiO_2 nano anatase material combined with a UV lamp and a ventilation fan. Experimental results show that the system can reflect VOC variations corresponding to banana ripening stages and tends to reduce measured values when the treatment mode is activated. The model is low-cost and has potential applications in agricultural preservation.

Key words - Ethylene, MQ-138, STM32, ESP32, TiO_2, Relay, IoT, Finger banana, VOC.

1. Đặt vấn đề

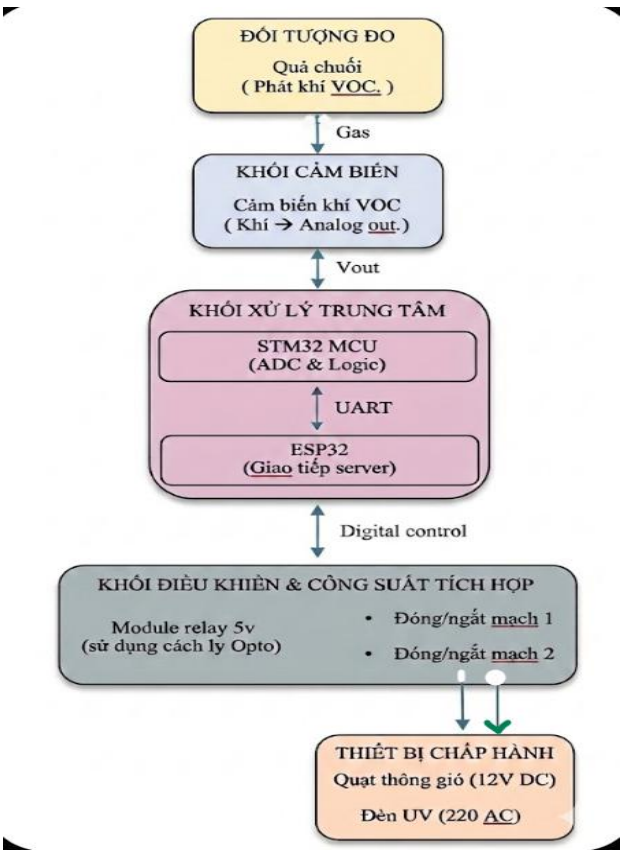
Khí ethylene (C_2H_4) là nguyên nhân chính thúc đẩy quá trình chín nhanh của chuối trong quá trình bảo quản và vận chuyển, đặc biệt trong môi trường container kín. Sự tích tụ ethylene có thể làm giảm chất lượng và giá trị thương mại của sản phẩm.

Hiện nay, các giải pháp kiểm soát ethylene như gói hấp phụ, vật liệu lọc hoặc hệ thống điều khiển khí đã được áp dụng, tuy nhiên thường có chi phí cao hoặc khó triển khai trong điều kiện thực tế tại Việt Nam. Đồng thời, việc giám sát nồng độ khí theo thời gian thực và điều khiển tự động vẫn còn hạn chế ở các mô hình chi phí thấp.

Xuất phát từ thực tế đó, nhóm nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo hệ thống phát hiện và xử lý khí ethylene trong vận chuyển chuối già. Hệ thống sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6, module ESP32 DevKit và cảm biến MQ-138 để giám sát gián tiếp ethylene thông qua VOC. Bên cạnh đó, cơ chế xử lý khí được thực hiện bằng quang xúc tác TiO_2 nano pha anatase kết hợp đèn UV và quạt thông gió nhằm giảm nồng độ khí trong môi trường thí nghiệm.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Hệ thống phần cứng



Hình 1: *Mô hình tổng thể của hệ thống*

Nguyên lý hoạt động của hệ thống:

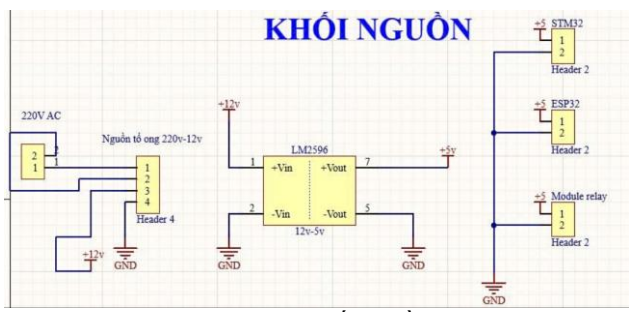
Nguyên lý đo gián tiếp VOC: Cảm biến MQ-138 đo tổng nồng độ VOC trong không khí dựa trên nguyên lý thay đổi điện trở nhạy khí khi tiếp xúc với các hợp chất hữu cơ. Do ethylene (C_2H_4) là một khí VOC được sinh ra trong quá trình chín của chuối, giá trị ADC đọc từ cảm biến phản ánh gián tiếp sự thay đổi nồng độ ethylene theo các giai đoạn chín. Cần lưu ý rằng MQ138 không có tính chọn lọc cao với ethylene – giá trị đo có thể bị ảnh hưởng bởi độ ẩm, CO_2 và các VOC khác từ môi trường. Đây là hạn chế kỹ thuật quan trọng của hệ thống hiện tại.

Chế độ giám sát thụ động: Ở trạng thái bình thường, STM32 liên tục đọc tín hiệu ADC từ MQ-138 mỗi 5 giây. Dữ liệu được truyền sang ESP32 qua UART (115200 baud), đẩy lên broker MQTT và hiển thị trên dashboard IoT. Đèn UV và quạt không hoạt động để tiết kiệm điện. Ngưỡng kích hoạt xử lý được cài đặt theo giá trị ADC tương ứng với giai đoạn chuối bắt đầu chín mạnh.

Chế độ xử lý chủ động: Khi giá trị VOC (ADC) vượt ngưỡng định trước, STM32 ra lệnh relay kích hoạt đèn UV trước, sau đó quạt được bật để tăng hiệu quả tuần hoàn khí trong buồng xử lý. Hệ thống tự động tắt chế độ xử lý khi giá trị ADC giảm xuống dưới ngưỡng an toàn và duy trì ổn định qua 5 lần đọc liên tiếp, tránh hiện tượng bật/tắt relay liên tục.

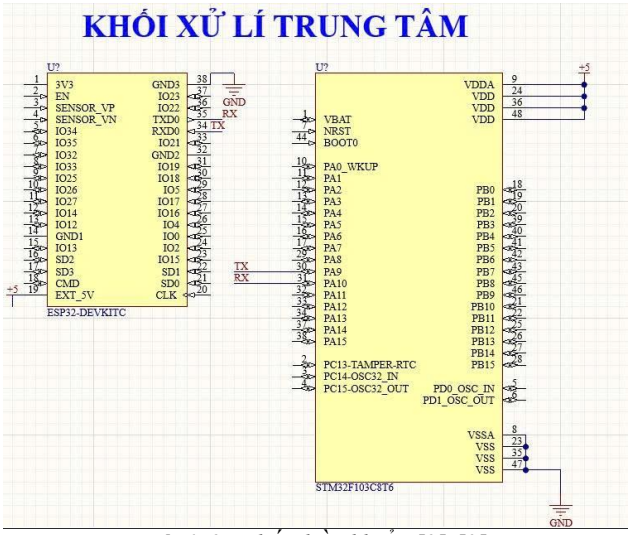
Nguyên lý hoạt động từng khối trong sơ đồ khối:

+ **Khối nguồn**: Sử dụng module LM2596 để hạ áp từ 12V DC xuống 5V DC để cấp cho khối xử lí trung trung tâm, khối cảm biến, khối công suất và khối điều khiển hoạt động.



Hình 2: *Khối nguồn*

+ **Khối xử lí trung tâm**: Sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6 (Blue Pill) đóng vai trò xử lý trung tâm của hệ thống. STM32 tiếp nhận tín hiệu analog từ cảm biến MQ-138 qua ADC 12-bit, thực hiện thuật toán lọc nhiễu và tính toán nồng độ ppm. Dựa trên kết quả đo được, STM32 đưa ra quyết định điều khiển khối công suất và khối điều khiển hoạt động. Module ESP32 kết nối với STM32 qua giao tiếp UART để nhận dữ liệu nồng độ ethylene và trạng thái hệ thống. ESP32 tích hợp Wi-Fi và Bluetooth, đảm nhận việc truyền dữ liệu lên nền tảng giám sát.



Hình 3: *Khối điều khiển [2],[3]*

+ **Khối cảm biến MQ-138**: Sử dụng cảm biến MQ-138 để đo nồng độ khí ethylene sinh ra trong quá trình bảo quản sau đó truyền tín hiệu về khối vi điều khiển.



Hình 5: *Cảm biến khí MQ-138 [5]*

Sử dụng cảm biến MQ-138 là loại cảm biến điện hóa bán dẫn nhạy cảm với các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC), đặc biệt là ethylene và các aldehyde. Cảm biến hoạt động dựa trên nguyên lý thay đổi điện trở của vật liệu nhạy khí SnO_2 khi tiếp xúc với C_2H_4. Dải đo của MQ-138 phù hợp với nhu cầu phát hiện ethylene trong phạm vi 0–200 ppm, đáp ứng yêu cầu theo dõi nồng độ khí trong container vận chuyển chuối. Cảm biến được hiệu chuẩn theo đường cong đặc tính Rs/Ro để cho kết quả chính xác ở dải nồng độ thấp (0,1–10 ppm).

+ ***Khối xử lý quang xúc tác TiO_2 nano:*** Đây là thành phần cốt lõi của cơ chế xử lý ethylene. Vật liệu TiO_2 nano pha anatase được phủ lên tấm lưới inox đặt trong buồng phản ứng. Khi đèn UV (bước sóng 365 nm) chiếu vào bề mặt TiO_2, các photon UV kích thích electron từ vùng hóa trị nhảy lên vùng dẫn, tạo ra cặp electron – lỗ trống (e^-/h^+). Lỗ trống h^+ phản ứng với phân tử H_2O hấp phụ trên bề mặt xúc tác tạo ra gốc hydroxyl OH•. Gốc OH• có tính oxy hóa mạnh (thế oxy hóa +2,80 V), tấn công và phân hủy phân tử ethylene theo phản ứng:

$$C_2H_4 + OH\bullet \rightarrow CO_2 + H_2O$$

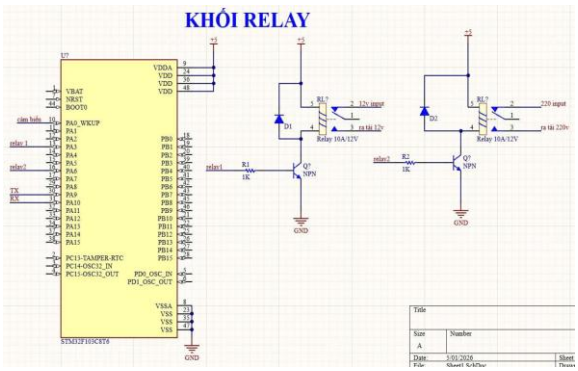
Sản phẩm cuối cùng là CO_2 và H_2O hoàn toàn vô hại, không để lại dư lượng hóa chất. Việc sử dụng TiO_2 pha

anatase được lựa chọn do pha này có hoạt tính quang xúc tác cao hơn pha rutile nhờ cấu trúc tinh thể bề mặt tạo ra nhiều vị trí hoạt động hơn.



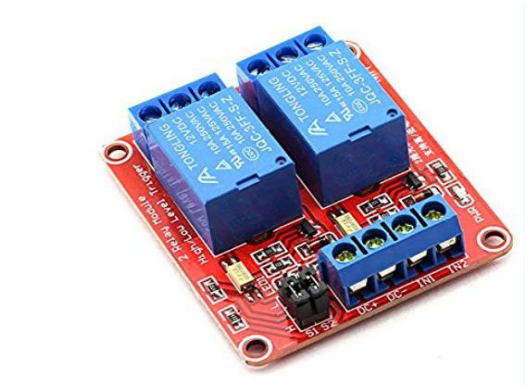
Hình 6: *Buồng phản ứng TiO_2 nano và đèn UV*

+ **Khối relay**: nhận tín hiệu điều khiển từ khối vi điều khiển để đóng mở relay Các mạch điện sử dụng trong thiết bị



Hình 7: *Khối Relay 5V*

Module relay 2 kênh 5V nhận tín hiệu điều khiển từ STM32 để đóng/ngắt nguồn điện cho đèn UV và quạt tuần hoàn không khí. Khi STM32 phát hiện nồng độ C_2H_4 vượt ngưỡng, relay kênh 1 đóng kích hoạt đèn UV chiếu lên TiO_2; relay kênh 2 bật quạt đẩy không khí qua buồng xúc tác để tăng hiệu suất xử lý. Khi nồng độ trở về mức an toàn, STM32 tự động ngắt relay, tiết kiệm năng lượng.



Hình 8: *Module Relay 5V [4]*

- Nguồn: 5V DC
- Số kênh: 2 (điều khiển độc lập)
- Dòng kích: ~70–90 mA/kênh
- Tiếp điểm tối đa: 250V AC – 10A hoặc 30V DC – 10A
- Chân điều khiển: VCC, GND, IN1, IN2
- Kích mức LOW (0V) → relay đóng
- Mức HIGH → relay ngắt
- Chân tải: COM – NO – NC

2.2. Sản phẩm đã được hoàn thiện



Hình 9: *Sản phẩm được hoàn thiện*

Hệ thống sau khi hoàn thiện được tích hợp trong một hộp điện kín, chống bụi, phù hợp gắn lên xe tải hoặc container vận chuyển chuối. Cảm biến MQ-138 được đặt ở vị trí trung tâm khoang hàng để đảm bảo đọc nồng độ khí đại diện. Buồng xúc tác TiO_2-UV được lắp đặt trên đường lưu thông không khí của hệ thống thông gió nội bộ.

Quá trình vận hành thực tế: Hệ thống tự động khởi động khi bật nguồn, cảm biến MQ-138 liên tục lấy mẫu mỗi 5 giây. Dữ liệu được xử lý bởi STM32 và hiển thị trực tiếp trên nền tảng giám sát. Khi nồng độ C_2H_4 đo được vượt ngưỡng cài đặt, hệ thống tự động bật đèn UV chiếu vào tấm TiO_2 nano và kích hoạt quạt tuần hoàn, đồng thời ESP32 gửi cảnh báo đến ứng dụng điện thoại của người quản lý. Khi nồng độ trở về dưới an toàn trong 5 lần đọc liên tiếp, hệ thống tự ngắt đèn UV và quạt. Toàn bộ lịch sử dữ liệu được lưu trên server IoT.

3. Kết luận

Hệ thống tự động phát hiện và xử lý khí ethylene trong vận chuyển chuối đã được thiết kế, chế tạo và kiểm nghiệm thành công. Hệ thống tích hợp hài hòa giữa phần cứng điện tử (STM32, ESP32, MQ-138) và vật liệu quang xúc tác

(TiO_2 nano anatase, đèn UV), tạo ra một giải pháp hoàn chỉnh, tự động và thân thiện với môi trường cho bài toán bảo quản chuối trong vận chuyển. Sản phẩm có kích thước gọn nhẹ, dễ lắp đặt trên các phương tiện vận chuyển hiện có, chi phí sản xuất thấp và không sử dụng hóa chất độc hại. Phương pháp xử lý bằng gốc OH• từ TiO_2 nano anatase dưới tia UV không để lại dư lượng, đảm bảo an toàn thực phẩm theo tiêu chuẩn vệ sinh nông sản. Hướng phát triển tiếp theo của đề tài bao gồm tích hợp thêm cảm biến nhiệt độ – độ ẩm, học máy để dự đoán tốc độ chín và mở rộng ứng dụng sang các loại nông sản climacteric khác như xoài, đu đủ và cà chua.

Tài liệu tham khảo

[1] A. Fujishima, X. Zhang, D. A. Tryk, "TiO_2 photocatalysis and related surface phenomena," Surface Science Reports, vol. 63, no. 12, pp. 515–582, 2008.

[2] “Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," 2022. [Online]. Available: https://www.espressif.com

[3] STMicroelectronics, "STM32F103C8 Reference Manual," RM0008, 2021. [Online]. Available: https://www.st.com

[4] TS0010D DATASHEET.pdf. https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/5773/TS0010D%20DATASHEET.pdf

[5] WINSEN, "MQ-138 Gas Sensor Datasheet," 2020. [Online]. Available: https://www.winsen-sensor.com