

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO SHIELD MỞ RỘNG ĐA CHỨC NĂNG CHO BO MẠCH ĐIỀU KHIỂN TRONG ỨNG DỤNG ROBOT GIÁO DỤC

Ngô Văn Tiến Đạt, Lê Văn Thái, Võ Hoàng Bách,
Tôn Thất Toàn, Nguyễn Đức Nhật Quang*

Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: ndnquang@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/5/2025; ngày hoàn thành phần biện: 30/6/2025; ngày duyệt đăng: 30/6/2025

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là thiết kế và chế tạo một bo mạch mở rộng (shield) đa chức năng dành cho nền tảng Arduino Uno nhằm hỗ trợ giảng dạy và nghiên cứu trong lĩnh vực robot giáo dục. Shield là các mô-đun được gắn trực tiếp lên Arduino, giúp mở rộng khả năng kết nối và xử lý phần cứng. Bo mạch được đề xuất tích hợp ba nhóm chức năng chính gồm: điều khiển động cơ, bộ chuyển đổi hạ áp (buck converter), và hệ thống chân kết nối mở rộng được bố trí sẵn để thuận tiện kết nối nhanh với các cảm biến phổ biến. Quá trình thực hiện bao gồm thiết kế mạch nguyên lý, thiết kế mạch in (PCB), chế tạo, lắp ráp và kiểm thử thực nghiệm. Kết quả cho thấy bo mạch hoạt động ổn định, có khả năng ứng dụng hiệu quả trong giảng dạy STEM và phát triển các dự án nhúng sử dụng Arduino.

Từ khóa: Arduino Uno, Arduino Shields, STEM, mạch điều khiển động cơ.

1. MỞ ĐẦU

Trong xu hướng giáo dục STEM, robot giáo dục được xem là công cụ hiệu quả giúp học sinh, sinh viên tiếp cận công nghệ, phát triển tư duy sáng tạo và kỹ năng giải quyết vấn đề. Các nền tảng vi điều khiển mở, đặc biệt là Arduino Uno [1][2], đã được sử dụng rộng rãi trong các dự án học tập và nghiên cứu nhờ đặc tính dễ tiếp cận, chi phí thấp và cộng đồng hỗ trợ lớn. Tuy nhiên, nền tảng này vẫn tồn tại những hạn chế như số lượng chân I/O ít, khả năng cấp nguồn hạn chế và khó khăn khi tích hợp nhiều module cùng lúc, làm giảm tính linh hoạt và hiệu quả triển khai thiết kế hệ thống. Do đó, việc phát triển một giải pháp mở rộng linh hoạt để hỗ trợ hiệu quả cho công tác giảng dạy và nghiên cứu trong lĩnh vực robot giáo dục là thực sự cần thiết.

Nghiên cứu này đề xuất một shield mở rộng đa chức năng cho Arduino Uno, tích hợp các khối điều khiển động cơ, bộ hạ áp nguồn và hệ thống chân kết nối ngoại vi. Giải pháp nhằm cung cấp nền tảng phần cứng gọn nhẹ, ổn định và dễ sử dụng, hỗ trợ hiệu quả cho giảng dạy, nghiên cứu và phát triển các ứng dụng robot trong môi trường giáo dục.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế mạch nguyên lý

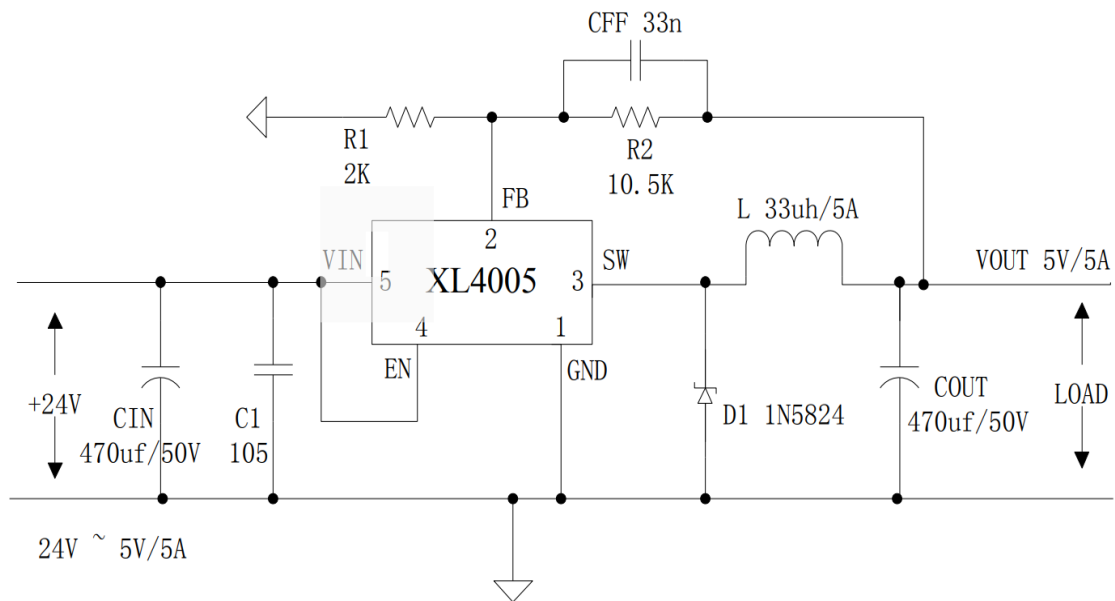
Hệ thống shield mở rộng đa chức năng cho Arduino được xây dựng dựa trên ba khối chính: khối nguồn, khối điều khiển động cơ và khối mở rộng chân kết nối. Sơ đồ khối tổng thể của hệ thống được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối của shield mở rộng đa chức năng cho Arduino.

2.1.1. Khối nguồn

Khối nguồn có nhiệm vụ chuyển đổi và cung cấp điện áp ổn định cho toàn bộ hệ thống. Điện áp đầu vào từ 5–24 V được hạ áp xuống 5 V thông qua IC XL4005, một buck converter hiệu suất cao với dòng tải tối đa 5 A [4]. Sơ đồ ứng dụng điển hình của XL4005 được trình bày ở Hình 2.



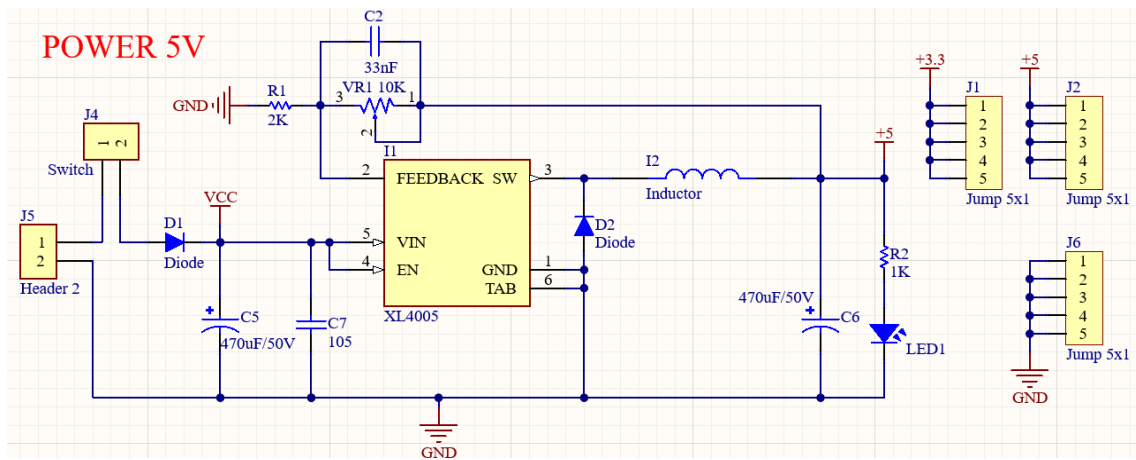
Hình 2. Mạch ứng dụng điển hình của XL4005 24V~5V/5A.

Điện áp đầu ra của XL4005 được xác định theo công thức:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (1)$$

Trong đó, $V_{ref}=1.25\text{ V}$ là điện áp tham chiếu nội, R_1 và R_2 là bộ chia điện trở hồi tiếp. Trong thiết kế, một biến trở $10\text{ k}\Omega$ được sử dụng tại vị trí R_1 để tinh chỉnh chính xác mức điện áp mong muốn.

Ngoài cấu hình cơ bản, mạch được bổ sung diode D1 chống ngược cực, công tắc cơ để bật/tắt nguồn đầu vào và LED báo nguồn hỗ trợ giám sát trạng thái hoạt động như trên Hình 3. Đồng thời, các hàng chân 5 V, 3.3 V và GND được bố trí nhằm cung cấp nguồn phụ cho các cảm biến hoặc mô-đun ngoại vi.

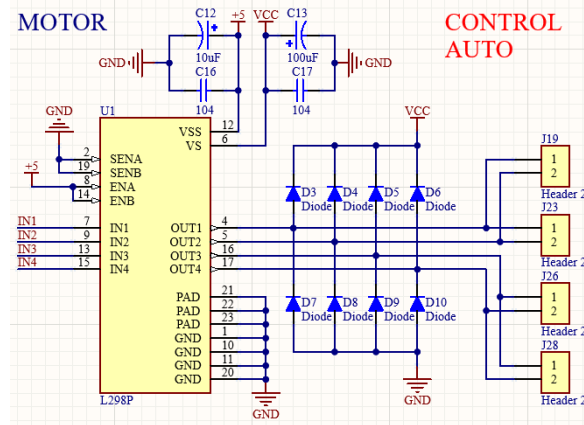


Hình 3. Khối nguồn 5 V (POWER) của shield.

Thiết kế này vừa đảm bảo khả năng cung cấp nguồn ổn định, vừa tăng tính an toàn, linh hoạt và thuận tiện trong các ứng dụng thực tế.

2.1.2. Khối điều khiển động cơ

Hình 4 trình bày khối điều khiển động cơ sử dụng IC cầu H L298P [3], khối này cho phép điều khiển đồng thời hai động cơ DC độc lập hoặc một động cơ bước. Đây là giải pháp thông dụng trong các ứng dụng robot giáo dục nhờ khả năng cung cấp dòng tải cao và hỗ trợ điều khiển hai chiều.



Hình 4. Mạch điều khiển động cơ sử dụng IC L298P.

Để giảm số lượng chân điều khiển chiếm dụng từ Arduino, hai chân ENA và ENB của IC được nối trực tiếp với nguồn dương, luôn kích hoạt sẵn hai kênh điều khiển. Nhờ đó, chỉ cần sử dụng bốn chân tín hiệu (IN1–IN4) để vừa điều khiển chiều quay, vừa điều chỉnh tốc độ động cơ thông qua xung PWM.

Ngoài ra, mạch được bổ sung các diode hồi tiếp (flyback diodes) nhằm bảo vệ IC khỏi xung điện áp ngược sinh ra khi động cơ dừng đột ngột hoặc đảo chiều. Thiết kế này giúp nâng cao độ bền và độ tin cậy của toàn bộ hệ thống.

2.1.3. Khối mở rộng chân kết nối được thiết lập sẵn

Khối mở rộng chân kết nối được thiết kế nhằm hỗ trợ người dùng dễ dàng tích hợp các thiết bị ngoại vi phổ biến trong các dự án Arduino. Các chân giao tiếp được bố trí theo chuẩn SPI, UART và I2C, cho phép sử dụng linh hoạt các mô-đun như bộ điều khiển PS2, Bluetooth HC-05, hoặc các thiết bị ngoại vi tương thích khác [9].

Ngoài ra, shield còn tích hợp sẵn các jumper cho ba servo, ba cảm biến siêu âm HC-SR04 và một cảm biến dò line hồng ngoại dạng thanh 5 LED. Tại các chân nguồn của jumper đều được bổ sung tụ lọc, giúp ổn định điện áp và giảm nhiễu trong quá trình hoạt động.

Bên cạnh các chân kết nối cố định, một số header cắm tự do cũng được bổ sung, tạo điều kiện cho người dùng linh hoạt mở rộng và tích hợp thêm mô-đun tùy theo nhu cầu thực tế. Thiết kế này giúp giảm thời gian lắp ráp, hạn chế sai sót trong đấu nối và tăng tính tiện lợi trong học tập, nghiên cứu.

Bảng 1. Các giao tiếp và cổng mở rộng tích hợp trên shield

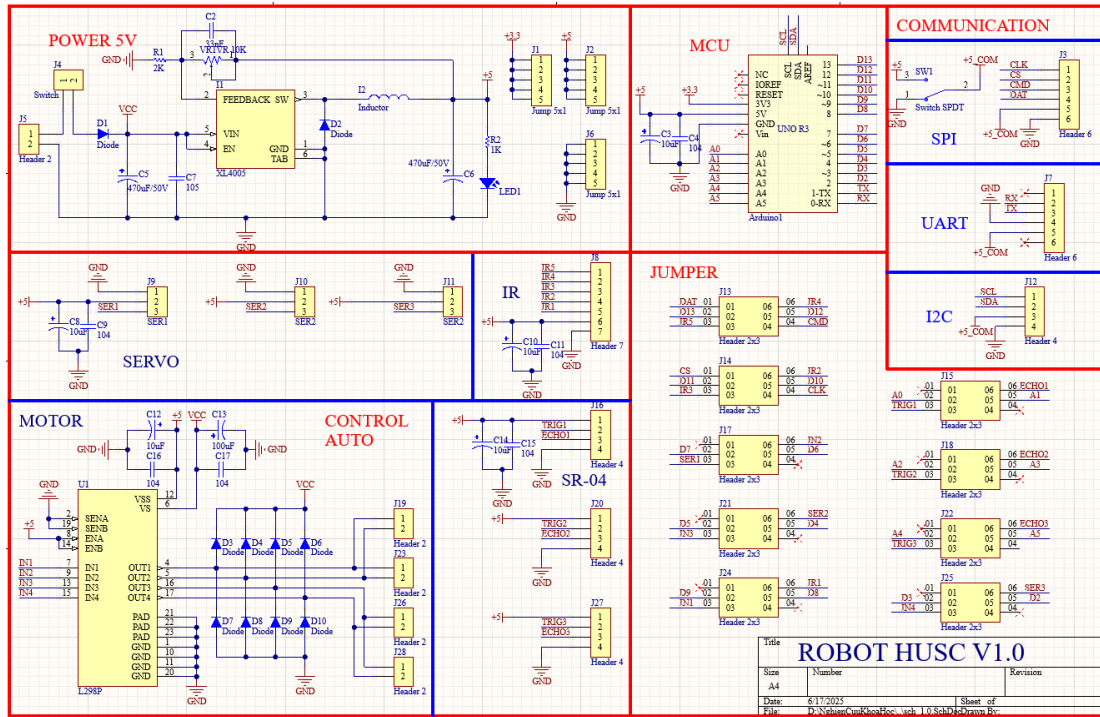
Loại kết nối	Số lượng	Ứng dụng điển hình
SPI, UART, I2C	Mỗi loại 1 cổng	Kết nối mô-đun PS2, Bluetooth HC-05, màn hình LCD dùng I2C
Servo	3	Điều khiển cơ cấu truyền động nhỏ
Cảm biến siêu âm	3	Đo khoảng cách, tránh vật cản
Cảm biến dò line IR	1	Robot dò line trong giáo dục STEM
Header nhân bản I/O và Nguồn từ Arduino	Theo cấu trúc chân của Arduino	Kết nối linh hoạt mô-đun bổ sung

Việc tích hợp sẵn các jumper cho servo, cảm biến siêu âm và cảm biến dò line không chỉ giúp tiết kiệm thời gian lắp ráp mà còn giảm thiểu sai sót trong quá trình đấu nối, vấn đề này vốn là trở ngại phổ biến đối với người mới tiếp cận với bo mạch Arduino. Điều này đặc biệt quan trọng trong môi trường giáo dục STEM, nơi mục tiêu chính là giúp học sinh, sinh viên nhanh chóng triển khai ý tưởng và tập trung vào tư duy thuật toán, thay vì gặp khó khăn ở khâu phần cứng.

Ngoài ra, việc chuẩn hóa các giao tiếp như SPI, UART và I2C trên shield cho phép học viên dễ dàng mở rộng sang nhiều dự án khác nhau, từ robot tránh vật cản, robot dò line đến các hệ thống IoT. Cách tiếp cận này khuyến khích khả năng sáng tạo, tăng tính linh hoạt và tạo nền tảng vững chắc cho việc nghiên cứu, phát triển các mô hình robot phức tạp hơn trong tương lai.

2.1.4. Sơ đồ nguyên lý

Từ các khối chức năng đã trình bày ở trên, chúng tôi đã xây dựng sơ đồ nguyên lý tổng thể của shield mở rộng bằng phần mềm Altium Designer như thể hiện ở Hình 5.



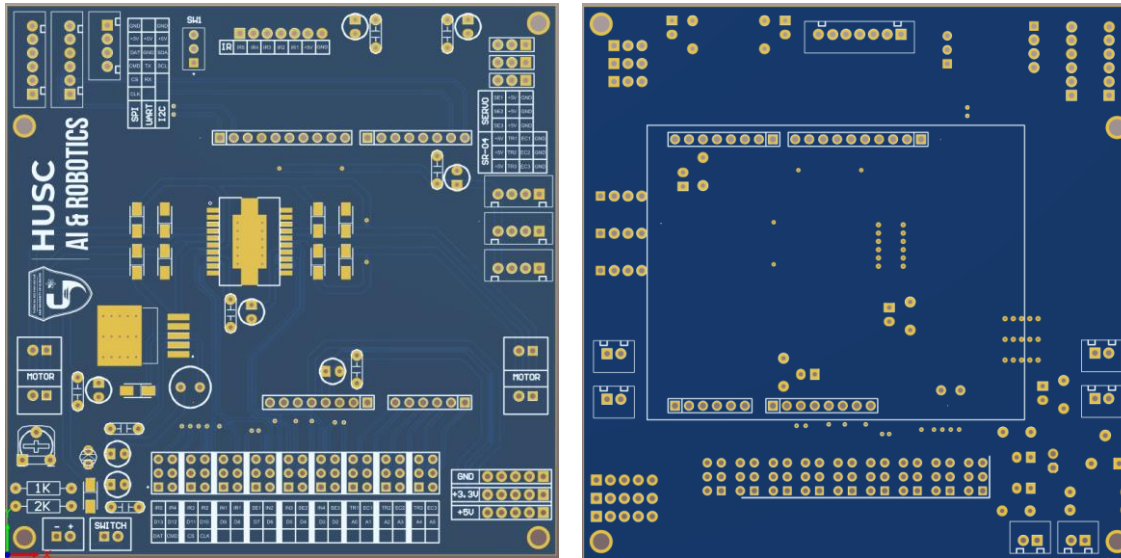
Hình 5. Sơ đồ nguyên lý tổng thể của shield mở rộng đa chức năng được thiết kế bằng Altium Designer.

Trong sơ đồ này, các khối chức năng được bố trí tách biệt, liên kết trực tiếp với bo mạch Arduino Uno thông qua các chân header tiêu chuẩn. Khối nguồn đảm bảo cung cấp điện áp ổn định cho toàn hệ thống; khối điều khiển động cơ kết nối với các cổng I/O số của Arduino; khối mở rộng giao tiếp ngoại vi được bố trí song song, hỗ trợ cả giao tiếp nối tiếp (UART), song song (SPI) và bus I2C.

Thiết kế sơ đồ nguyên lý theo cấu trúc mô-đun giúp người dùng dễ dàng hiệu chỉnh, thay thế hoặc nâng cấp từng khối chức năng mà không ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống. Đây là cơ sở quan trọng để triển khai thiết kế mạch in (PCB) ở các bước tiếp theo.

2.2. Thiết kế mạch thực tế

Trên cơ sở sơ đồ nguyên lý tổng thể nêu trên, chúng tôi đã tiến hành thiết kế mạch in (PCB) bằng phần mềm Altium Designer để triển khai trên thực tế, sơ đồ mạch in được thể hiện như ở Hình 6. Bo mạch được thiết kế dạng hai lớp, với bố cục rõ ràng và hợp lý, phân tách thành ba khối chính: khối nguồn, khối điều khiển động cơ và khối mở rộng chân kết nối.



(a) Mặt trên

(b) Mặt dưới

Hình 6. Mặt trên và mặt dưới của shield.

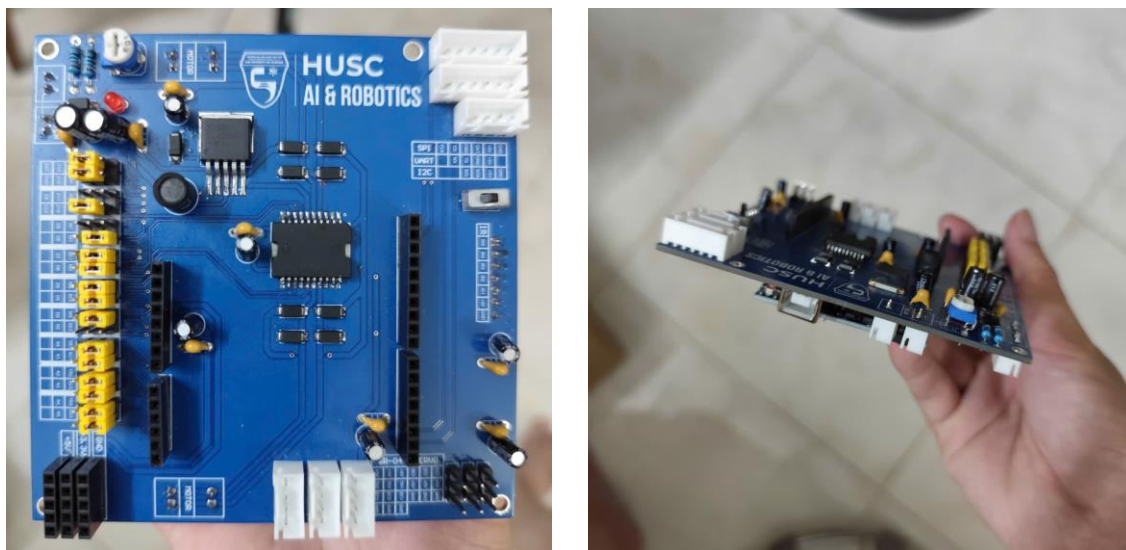
Các linh kiện và cổng kết nối được bố trí khoa học, đảm bảo thuận tiện cho việc lắp ráp và sử dụng. Các ký hiệu và tên gọi được in trực tiếp trên bề mặt PCB, hỗ trợ người dùng dễ dàng nhận biết và thao tác. Thiết kế này đặc biệt hữu ích cho người mới bắt đầu học tập và thực hành lập trình phần cứng với bo mạch Arduino, đồng thời cũng phù hợp cho việc nghiên cứu và phát triển các ứng dụng nâng cao.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật chính của PCB

Thông số	Giá trị
Số lớp	2
Kích thước mạch	100 mm × 100 mm
Độ dày bo mạch	1.6 mm
Độ dày lớp đồng	1 oz/ft ² (≈ 35 μm)
Khoảng cách tối thiểu đường mạch	6 mil
Đường kính lỗ khoan tối thiểu	0.3 mm
Kỹ thuật in	Lớp phủ chống oxy hóa (HASL)

2.3. Gia công và lắp ráp mạch thực tế

Sau khi hoàn tất thiết kế PCB, file Gerber được gửi đến đơn vị gia công JLCPCB [5] để sản xuất. Các bo mạch sau khi gia công được kiểm tra chất lượng và chuyển giao cho nhóm nghiên cứu để tiến hành lắp ráp. Quá trình hàn linh kiện được thực hiện thủ công với độ chính xác cao nhằm đảm bảo tính thẩm mỹ và độ tin cậy của mạch. Sau khi hoàn thiện lắp ráp, bo mạch được kiểm tra kết nối, tiến hành cấp nguồn thử nghiệm và nạp chương trình điều khiển để đánh giá.



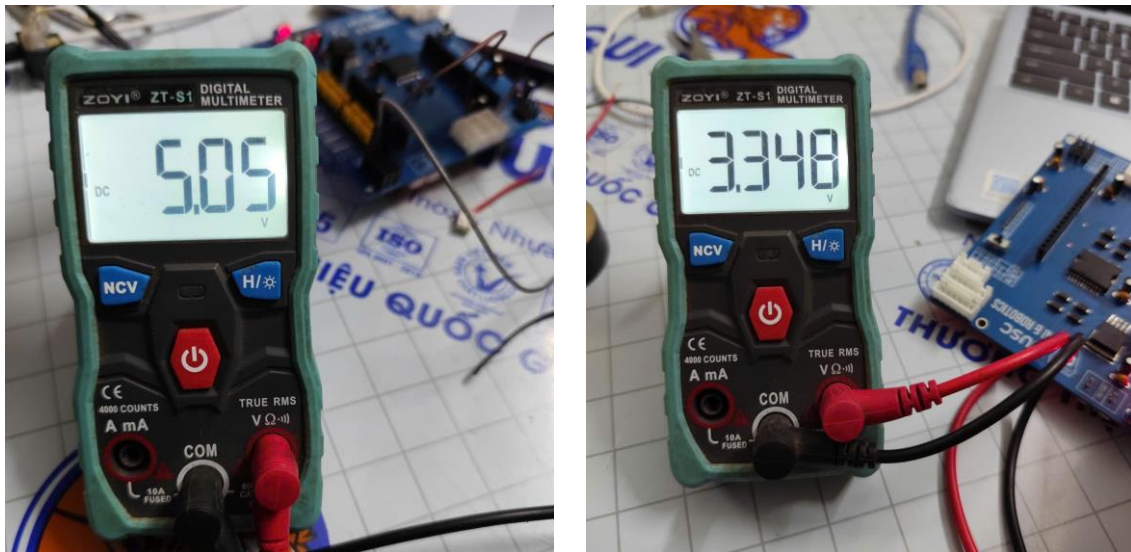
Hình 7. Bo mạch shield mở rộng sau khi lắp ráp hoàn chỉnh.

Kết quả kiểm thử ban đầu cho thấy mạch hoạt động ổn định, các khối chức năng (nguồn, điều khiển động cơ, mở rộng chân kết nối) đều vận hành đúng thiết kế. Điều này chứng minh tính khả thi của phương án chế tạo và sẵn sàng cho các thử nghiệm ứng dụng trong robot giáo dục.

3. KẾT QUẢ

Sau khi lắp ráp và kiểm tra, bo mạch shield mở rộng hoạt động ổn định, đáp ứng đúng các chức năng đã thiết kế. Quá trình kiểm thử được tiến hành theo bốn bước: kiểm tra cấp nguồn, thử tải giả, kiểm tra khối điều khiển động cơ và kiểm tra khối mở rộng chân kết nối. Kết quả cho thấy toàn bộ hệ thống hoạt động đúng thiết kế, ổn định và đáp ứng các tiêu chí an toàn, tin cậy cũng như khả năng mở rộng trong ứng dụng robot giáo dục.

Khối nguồn: cung cấp điện áp ổn định 5 V và 3.3 V cho toàn bộ hệ thống. Kết quả đo điện áp thể hiện ở Hình 8a và Hình 8b cho thấy giá trị đầu ra duy trì ổn định, dao động nhỏ hơn $\pm 2\%$, đáp ứng yêu cầu cấp nguồn cho Arduino và thiết bị ngoại vi.

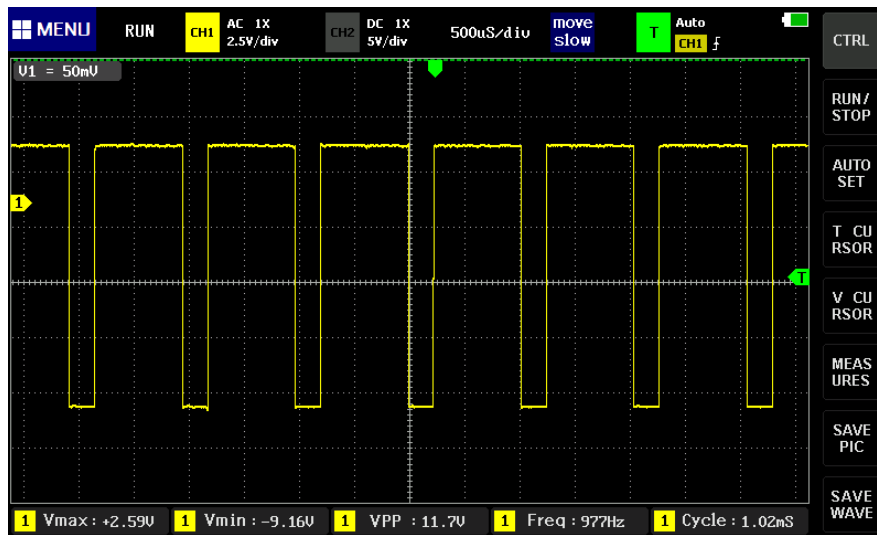


(a) Điện áp 5V đo được trên shield

(b) Điện áp 3.3V đo được trên shield

Hình 8. Điện áp nguồn 5 V và 3.3 V đo được trên shield.

Khởi điều khiển động cơ: điều khiển được hai động cơ DC độc lập thông qua tín hiệu PWM từ Arduino Uno, phản hồi tốt khi thay đổi tốc độ và chiều quay. Hình 9 minh họa xung PWM ở một kênh điều khiển động cơ với giá trị PWM = 200 (thang 0–255), tần số 977 Hz và độ rộng xung ~78%. Tín hiệu PWM có biên độ ổn định, không xuất hiện nhiễu bất thường, chứng tỏ mạch điều khiển đáp ứng nhanh và chính xác.



Hình 9. Xung tín hiệu PWM tại ngõ ra điều khiển động cơ.

Khởi mở rộng chân kết nối: hoạt động đúng chức năng, cho phép kết nối ổn định với các mô-đun và cảm biến phổ biến như servo, cảm biến siêu âm HC-SR04, cảm biến dò line hồng ngoại dạng thanh 5 LED, bộ điều khiển PS2, và module Bluetooth HC-05. Các thử nghiệm cho thấy tín hiệu truyền/nhận ổn định, không có hiện tượng nhiễu hoặc mất dữ liệu.

Bo mạch hoạt động ổn định, đáp ứng đúng chức năng và phù hợp triển khai các ứng dụng giáo dục STEM. Kết quả tương đồng với những nghiên cứu gần đây về nền tảng Arduino mở rộng phục vụ đào tạo robot.

4. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã thiết kế và chế tạo thành công một bo mạch mở rộng (shield) đa chức năng cho Arduino Uno tích hợp ba khối chính: khối nguồn, khối điều khiển động cơ và khối mở rộng chân kết nối. Kết quả kiểm thử cho thấy bo mạch hoạt động ổn định, tương thích tốt với nền tảng Arduino Uno và hỗ trợ kết nối hiệu quả nhiều thiết bị ngoại vi, đáp ứng yêu cầu ứng dụng trong giảng dạy và nghiên cứu về robot giáo dục.

Trong tương lai, nhóm nghiên cứu dự kiến tối ưu kích thước và bố cục mạch, đồng thời tích hợp thêm các giao tiếp không dây (Bluetooth, Wi-Fi) để tăng tính linh hoạt và khả năng ứng dụng trong nhiều mô hình robot hiện đại.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên cấp cơ sở mã số ĐHKH2025B-15.

Nguyễn Đức Nhật Quang được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2024.TS.072.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Banzhi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 4th ed. Sebastopol, CA, USA: Maker Media, 2022.
- [2] Arduino, "Arduino Uno Rev3," Arduino.cc, 2023. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- [3] Texas Instruments, "L298P - Dual Full Bridge Driver," Datasheet, 2021. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298.pdf>
- [4] XLsemi, "XL4005E1 5A 180 KHz 36 V Buck DC to DC Converter," Datasheet, 2019. [Online]. Available: <https://www.xlsemi.com/datasheet/XL4005E1.pdf>
- [5] JLCPCB, "PCB Prototype & Fabrication Specifications," 2024. [Online]. Available: <https://jlcpcb.com>
- [6] H. Li, J. Huang, and Y. Wu, "Design of Arduino-based multifunctional shield for robotics education," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2020, pp. 1245–1250, doi: 10.1109/ICMA49215.2020.9233741.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MULTIFUNCTIONAL EXPANSION SHIELD FOR CONTROL BOARDS IN EDUCATIONAL ROBOTICS

**Ngo Van Tien Dat, Le Van Thai, Vo Hoang Bach,
Ton That Toan, Nguyen Duc Nhat Quang***

Faculty of Electronics, Electrical Engineering and Material Technology,
University of Sciences, Hue University

*Email: ndnquang@hueuni.edu.vn

ABSTRACT

This study presents the design and implementation of a multifunctional expansion shield for the Arduino Uno platform, aiming to support teaching and research in educational robotics. Arduino shields are add-on modules that directly attach to Arduino boards, providing extended hardware connectivity and functionality. The proposed shield integrates three main functional blocks: a motor control unit, a step-down buck converter for a stable power supply, and a set of pre-arranged I/O headers for quick connection with standard sensors and modules. The development process involved schematic design, PCB layout using Altium Designer, fabrication through professional PCB manufacturing, component assembly, and experimental validation. Test results confirm that the shield operates reliably, delivering stable 5 V and 3.3 V power outputs, accurate motor control via PWM signals, and seamless interfacing with peripherals such as ultrasonic sensors, servos, and Bluetooth modules. With its modularity and ease of use, the shield is well-suited for STEM education and the development of embedded system projects based on Arduino.

Keywords: Arduino Uno, Arduino Shields, STEM, motor control circuit.