

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**



**BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
MẠCH ĐIỆN – ĐIỆN TỬ (CO2038)**

ĐỀ TÀI:

***ROBOTIC 2-CH DRIVER SHIELD
FOR ARDUINO***

LỚP L05 – NHÓM 8 – HK 231 (2023 – 2024)

Giảng viên hướng dẫn: Huỳnh Hoàng Kha

Thành phố Hồ Chí Minh – 2023

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA



**DANH SÁCH THÀNH VIÊN
NHÓM 8 – LỚP L05
ID: 2213226**

STT	Họ và tên	MSSV
1	CAO THUẬN THIÊN	2213226
2	VÕ LÊ SINH	2212927
3	NGÔ MINH THÁI	2213106
4	PHẠM NGỌC THẠCH	2213175

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH	1
CHƯƠNG I. REQUIREMENTS ENGINEERING	4
1.1. Đặc tả tổng quát mạch cần làm bằng văn bản	4
1.2. Thông số kỹ thuật chi tiết	5
CHƯƠNG II. CONCEPTUAL DESIGN	5
2.1. Lựa chọn các chuẩn kết nối phù hợp	5
2.2. Mô tả giao diện của mạch	5
CHƯƠNG III. SCHEMATIC DESIGN	8
3.1. Khối Interface (khối giao tiếp)	8
3.2. Khối Power Supply (khối nguồn)	11
3.3. Khối Motor Driver (khối điều khiển động cơ)	13
CHƯƠNG IV. SCHEMATIC VALIDATION	19
4.1. Test thử bằng trình mô phỏng trên máy tính	19
4.2. Test thử bằng linh kiện sẵn	21
4.3. Kết luận	22
CHƯƠNG V. PCB DESIGN	23
5.1. Design Rules setup	23
5.2. PCB layout	24
5.2.1. Components arrangement (bố trí linh kiện)	24
5.2.2. Routing (đi dây)	28
5.2.3. Overlay on Board.....	30
5.3. Design Rules Check	31
CHƯƠNG VI. FABRICATION & ASSEMBLY	32
CHƯƠNG VII. TESTING & DOCUMENTING	36
7.1. Nguyên lý chung	36
7.2. Tiến hành đo trong nhiều trạng thái khác nhau	37
7.3. Bảng số liệu chi tiết	44
7.4. Kết luận	44
KẾT LUẬN CHUNG	46
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	47

DANH MỤC HÌNH

STT	Tên hình ảnh	Trang
1	<i>Hình 2a. Giao diện mặt trước của mạch</i>	5
2	<i>Hình 2c. Giao diện mặt sau của mạch</i>	7
3	<i>Hình 3a. Phương pháp mắc tụ điện từ chân tín hiệu xuống GND</i>	10
4	<i>Hình 3b. Khối Interface (khối giao tiếp)</i>	10
5	<i>Hình 3c. Khối Power Supply (khối nguồn)</i>	12
6	<i>Hình 3d. Khối cầu H</i>	13
7	<i>Hình 3e. Ánh trích Datasheet MOSFET (1)</i>	14
8	<i>Hình 3f. Ánh trích Datasheet MOSFET (2)</i>	15
9	<i>Hình 3g. Khối cầu H trong khối Motor Driver của nhóm</i>	16
10	<i>Hình 3h. Sơ đồ khối của mạch</i>	16
11	<i>Hình 3i. Mạch tách kênh</i>	17
12	<i>Hình 3k. Ánh trích Datasheet transistor C1815</i>	17
13	<i>Hình 3l. Khối Motor Driver (khối điều khiển)</i>	18
14	<i>Hình 4a. Khi VM1DIR = 0V</i>	19
15	<i>Hình 4b. Khi VM1DIR = 5V</i>	20
16	<i>Hình 4c. Test mạch bằng linh kiện thực tế</i>	22
17	<i>Hình 5a. Thiết lập Design Rules cho Clearance và Routing Vias</i>	23
18	<i>Hình 5b. Thiết lập Design Rules cho Routing Width</i>	24
19	<i>Hình 5c. Tính toán kích thước đường dây theo dòng điện</i>	25

19	<i>Hình 5d. Ánh trích Datasheet của MOSFET IRLR2908 được sử dụng trong phép tính</i>	26
20	<i>Hình 5e. Bố trí các linh kiện trên mạch</i>	27
21	<i>Hình 5f. Top Layer</i>	28
22	<i>Hình 5g. Bottom Layer</i>	28
23	<i>Hình 5i. Hình ảnh các đường dây trong thực tế</i>	29
24	<i>Hình 5j. Bottom Layer sau khi được đốt polygon</i>	30
25	<i>Hình 5k. Top Overlay</i>	30
26	<i>Hình 5l. Bottom Overlay</i>	31
27	<i>Hình 5m. Kết quả từ Design Rules Check</i>	31
28	<i>Hình 6a. Mạch 3D view trong Altium Designer</i>	32
29	<i>Hình 6b. Hình ảnh mạch được render trên KeyShot</i>	33
30	<i>Hình 6c. Hình ảnh mạch thật đã được hàn linh kiện đầy đủ</i>	34
31	<i>Hình 6d. Hình ảnh mạch thật lắp vào xe 2 bánh mô phỏng</i>	35
32	<i>Hình 7a. Minh họa cách test mạch</i>	36
33	<i>Hình 7b. Giao diện chính của máy cấp nguồn 3 ngõ ra</i>	37
34	<i>Hình 7c. Sử dụng máy cấp nguồn cho mạch</i>	38
35	<i>Hình 7d. Kết nối que thăm dò</i>	40
36	<i>Hình 7e. Trạng thái nghỉ</i>	40
37	<i>Hình 7f. Trạng thái nghỉ có Arduino và Bluetooth</i>	41

38	<i>Hình 7g. Trạng thái 2 động cơ đảo chiều liên tục tự động (không Bluetooth)</i>	41
39	<i>Hình 7h. Trạng thái 2 động cơ hoạt động liên tục (không Bluetooth)</i>	42
40	<i>Hình 7i. Trạng thái hoạt động thực tế (có Bluetooth)</i>	43

CHƯƠNG I. REQUIREMENTS ENGINEERING

1.1. Đặc tả tổng quát mạch cần làm bằng văn bản

Trong các dự án liên quan đến thiết kế, chế tạo robot, xe điều khiển, xe tự động/bán tự động có sử dụng Arduino hay một vài vi điều khiển khác, chúng ta thường xuyên sử dụng rất nhiều module kết hợp hoạt động với nhau. Ví dụ, ta sử dụng các module nguồn như module hạ áp LM2596 – nhằm giảm điện áp nguồn xuống 5V cho Arduino lõi Servo, và các module hạ áp khác phục vụ cho việc điều khiển động cơ. Thường các module nguồn này sẽ được sử dụng tách biệt để tránh xung đột nguồn và gây nhiễu không đáng có. Ngoài ra ta còn cần có các module khác liên quan như module điều khiển động cơ, module Bluetooth, module RX, những loại module cảm biến,...

Nhược điểm lớn của việc kết hợp quá nhiều module là làm cho mạch điện trở nên phức tạp, các dây điện kết nối được bố trí dày đặc nhưng kết nối lỏng lẻo... tất cả những yếu tố trên dẫn tới sự mất ổn định và hiệu suất thấp khi hoạt động. Vì vậy, nhóm mong muốn có thể loại bỏ các khó khăn trên bằng cách tạo ra một mạch điện có khả năng kết nối đơn giản, đảm nhận được hầu hết các module và chuẩn kết nối phổ biến.

Ý tưởng của nhóm là làm ra một mạch được kết nối dưới dạng SHIELD cắm cho Arduino UNO R3 (và các phiên bản Arduino có chuẩn GPIO tương đương), trên mạch có hỗ trợ các nút nhấn điều khiển, cổng nguồn, cổng ra cho động cơ cổng kết nối với Servo, sensor, module bluetooth, chuẩn IC2,... Mạch cần đáp ứng được công suất cao (ít nhất 3A cho mỗi kênh động cơ) hoạt động ổn định và không sinh quá nhiều nhiệt khi hoạt động trong thời gian dài.

Để hiện thực được mạch với mô tả trên, nhóm đề ra các **yêu cầu cơ bản** mà mạch cần phải đạt được như sau:

- Có các đầu nối phù hợp để kết nối mạch với các module cảm biến, Servo, Bluetooth, PS2 RX,... tránh tình trạng đi dây lộn xộn khi thiết kế robot;
- Có khả năng điều chỉnh điện áp hoạt động phù hợp, không cần module điều chỉnh điện áp bên ngoài;
- Tích hợp mạch cầu H để điều khiển động cơ, bao gồm 2 kênh, mỗi kênh đáp ứng tối thiểu 3A;
- Cung cấp nút nhấn reset chương trình cho Arduino (vì nút trên board bị che mất) và các nút nhấn cho người dùng sử dụng;

- Đáp ứng được công suất cao, đảm bảo hoạt động ổn định khi động cơ, Servo và các thiết bị khác hoạt động cùng lúc;
- Các chức năng cản tránh dùng chung nguồn để không gây nhiễu điện áp;
- Có kích thước nhỏ gọn, nhẹ, thích hợp cho việc chế tạo xe robot.

1.2. Thông số kĩ thuật chi tiết

Dựa vào đặc tả bên trên, nhóm đã lập bảng tổng hợp các thông số kĩ thuật chi tiết cho mạch như sau:

MAIN SPECIFICATIONS	
GENERAL	
Motor output power	adjustable 3 - 12V, maximum 3A
Motor channels	2
Sensor	8-input
COMMUNICATION INTERFACE	
Arduino	Male Header
Sensor	Header 10P
Servo	Male Header 3P
Bluetooth	Female Header 6P
PS2 Receiver	Male Header 6P
I2C	Male Header 4P
MECHANICAL	
Weight	<100g
Width	<55mm
Length	<100mm
POWER	
Battery	
Battery Type	3S20C
Battery Voltage	~11.7 - 12.6V
Battery Discharge Current	20C
Input	
Input Voltage	6 - 24V
Input Current	maximum 10A
Sensor Power	
Input Voltage	3.3 - 5V
Input Current	~100mA

Digital Signal (The same as Arduino)	
HIGH	3.3 - 5V
LOW	0.0 - 0.8V
Analog Signal (The same as Arduino)	
Resolution	10-bit
Accuracy	2LSB (upper 8-bit accuracy guarantee)
Sampling frequency	up to 15000 samples/second
Band gap reference	1.1V
DC Motor Power	
Output Voltage	adjustable 3 - 12V
Output Current	maximum 1.5A
Servo Power	
Output Voltage	5V
Output Current	0.5A
ARDUINO	
Name	Arduino UNO R3
Used Power	6 - 36V
Recommended Power	9 - 12V
Digital I/O Pins	13
Analog Input Pins	6
PWM Pins	6
USB Connector	USB.B
Main Processor	ATmega328P 16MHz
USB-Serial Processor	ATmega16U2 16MHz
Memory	2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM

CHƯƠNG II. CONCEPTUAL DESIGN

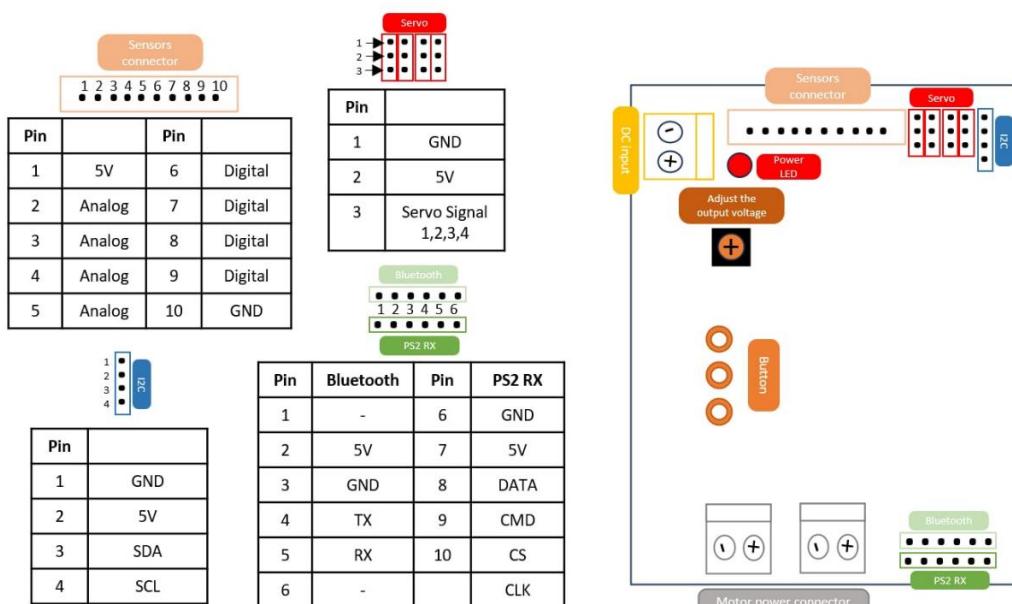
2.1. Lựa chọn các chuẩn kết nối phù hợp

Để kết nối mạch với các module, thiết bị khác, nhóm sử dụng các loại cổng kết nối như sau:

- Cổng kết nối nguồn là cổng 2 chân, chịu được dòng điện cao 10A. Nhóm lựa chọn loại cổng chắc chắn, có khả năng kết nối dây điện có kích thước lớn, dẫn điện tốt;
- Cổng kết nối 2 động cơ là 2 cổng 2 chân tương tự như trên;
- 8 cổng input của cảm biến được kết nối thông qua header 10-pin cùng với 2 chân 5V và GND;
- Kết nối với Servo thông qua cổng header đực 3 chân, thứ tự các chân theo chuẩn thứ tự chân Servo phổ biến hiện nay;
- 2 chân SCL, SDA cùng với 2 chân 5V và GND được sắp xếp thứ tự theo chuẩn kết nối I2C phổ biến, thông qua header đực;
- 2 chân TX, RX cùng với 2 chân 5V và GND được sắp xếp thứ tự theo chuẩn kết nối Bluetooth của module HC-05 và HC-06, thông qua header cái;
- Kết nối với receiver của PS2 thông qua header cái 6 chân với thứ tự như các chân của module PS2 RX (GND, 5V, DAT, CMD, CS, CLK).

2.2. Mô tả giao diện của mạch

Mặt trước:



Hình 2a. Giao diện mặt trước của mạch

Giao diện mặt trước được nhóm bố trí như hình trên với một số lý giải như sau:

– Các cổng kết nối được ưu tiên bố trí về 2 phía trên – dưới của mạch và gần các đường biên. Điều này giúp cho việc kết nối trở nên dễ dàng và không ảnh hưởng đến các linh kiện bên trong mạch, khi đi dây cũng sẽ đi thông qua các đường biên và không cắt ngang các đường mạch cần công suất cao. Theo đó, các cổng kết nối cảm biến, Servo, I2C có xu hướng ở trên vì gần các cổng GPIO tương ứng của Arduino, tương tự ta đặt cổng kết nối PS2 và Bluetooth ở phía dưới;

– Cổng nguồn thường được đi đôi với các linh kiện mạch nguồn, cổng đầu ra của động cơ đi đôi với các linh kiện của mạch điều khiển động cơ, vì vậy ưu tiên bố trí cổng nguồn ở 1 phía và cổng đầu ra động cơ ở phía còn lại, khi đó các linh kiện trong cùng khối chức năng sẽ có đủ không gian để dễ dàng bố trí. Ở đây chọn cổng nguồn bố trí ở trên, cùng phía với nguồn của mạch Arduino, giúp đi dây và kết nối nguồn dễ dàng hơn.

– Trình tự bố trí các linh kiện đi theo thứ tự từ trên xuống như sau: Cổng nguồn → Module chức năng nguồn → Cáp nguồn cho khói driver động cơ → Đầu ra động cơ;

– Đèn LED báo nguồn được đặt gần cổng nguồn, trực quan và dễ dàng đi dây;

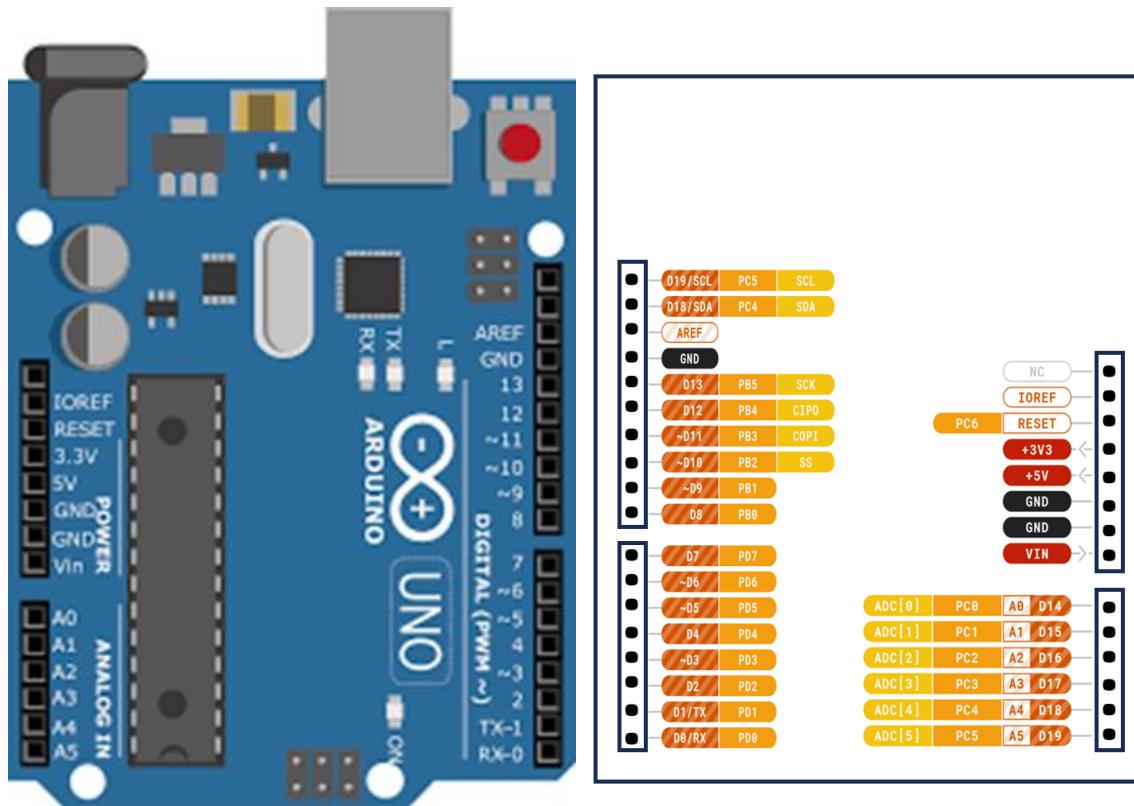
– Các bộ phận có “giao tiếp” với người dùng (như nút nhấn, biến trờ điều chỉnh điện áp) được đặt gần các khu vực trung tâm của mạch, tránh các linh kiện có kích thước lớn, không cản trở việc tương tác giữa người dùng với mạch;

– Cách bố trí trên cũng đã được tham khảo các yếu tố liên quan đến thẩm mỹ, phân bố các linh kiện tỏa nhiệt cao một cách hợp lý.

So với thiết kế ý tưởng ban đầu, Conceptual Design này có vài sự khác biệt nhỏ như bố trí thêm các cổng kết nối cho đa dạng và sử dụng được hết công năng của vi điều khiển; loại bỏ công tắc nguồn khỏi mạch vì các loại công tắc nguồn cần công suất lớn, không phù hợp để hàn lên PCB, chiếm quá nhiều diện tích, hơn nữa công tắc nguồn của robot/ xe thường được gắn bên ngoài vỏ thiết bị, việc bố trí lên PCB là không cần thiết.

Mặt sau:

Được dùng như một Arduino Shield với các chân cắm header khớp với mạch vi điều khiển Arduino UNO R3.



Hình 2b. Giao diện mặt sau của mạch

CHƯƠNG III. SCHEMATIC DESIGN

Để làm cho việc thiết kế mạch trở nên dễ dàng và hiệu quả hơn, nhóm chia mạch thành các khối chức năng. Vì mỗi khối thực hiện một chức năng cụ thể, việc phân tích mạch, lựa chọn linh kiện, kiểm tra và cải tiến mạch sẽ trở nên đơn giản hơn khi chỉ cần tập trung vào một khối chức năng tại một thời điểm. Theo đó, nhóm chia mạch thành 3 khối chức năng, bao gồm khối Interface chịu trách nhiệm kết nối mạch với các thiết bị khác và tương tác với người dùng, khối Power Supply cung cấp nguồn điện cho mọi hoạt động của mạch và cấp cho động cơ & khối Motor Driver điều chỉnh chiều và tốc độ quay của động cơ.

3.1. Khối Interface (khối giao tiếp)

Khối Interface là khối giao tiếp giữa mạch với Arduino, Servo, Bluetooth, sensor... và tương tác với người dùng thông qua tay điều khiển, nút nhấn.

Về cơ bản, các cổng GPIO của Arduino được chia làm 2 loại là Digital và Analog.

Trong các cổng Digital, có 6 cổng có khả năng tạo ra tín hiệu xung PWM¹. Trong đề tài BTL này, kỹ thuật điều chế xung được sử dụng để làm tín hiệu điều khiển cho Servo (bao gồm 4 cổng là 6, 9, 10, 11) và điều khiển tốc độ động cơ (2 cổng là 3 và 5 cho 2 kênh động cơ). 4 cổng còn lại được sử dụng để nối với header sensor nhằm đọc tín hiệu từ các cảm biến.

Có tất cả 6 cổng Analog, trong đó 2 cổng được sử dụng để đọc tín hiệu nút nhấn, 4 cổng còn lại có thể được sử dụng để đọc tín hiệu từ sensor hoặc đọc tín hiệu điều khiển từ PS2 Receiver (robot tự động hoặc robot được điều khiển). Hai tính năng này thường không nằm chung trong 1 dự án nên có thể sử dụng 1 trong 2 tùy vào mục đích của người dùng. Các chân TX và RX, SCL và SDA của Arduino được sử dụng để giao tiếp với Bluetooth và I2C.

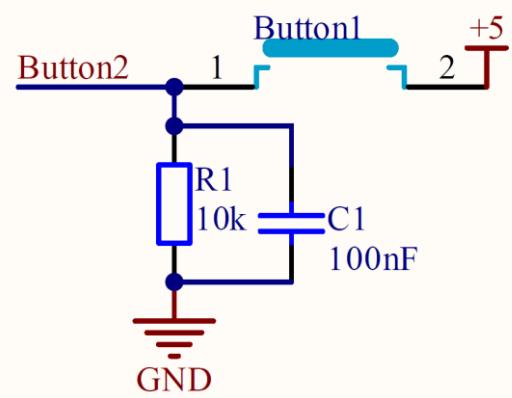
¹ PWM là kỹ thuật điều chế độ rộng xung, tức thời gian ON/OFF trong 1 chu kỳ. Ưu điểm chính của PWM đó là tốn hao công suất trên các thiết bị đóng cắt (chuyển mạch) rất thấp (gần như bằng không), cũng như giúp dễ dàng thiết lập chu kỳ làm việc cân thiết với các thiết bị kỹ thuật số. PWM được ứng dụng nhiều để điều khiển các cơ cấu Servo, và chế tạo các bộ điều chỉnh điện áp hiệu quả.

Dựa trên mô tả Conceptual Design, khối này bao gồm các bộ phận sau:

- DC input: là một connector nhận nguồn điện bên ngoài vào để nuôi mạch. Để tránh cấp điện ngược dòng, nhóm lắp thêm diode chinh lưu 10A, thu được Vinput để cấp cho mạch;
- Jumper: dùng để nối từ Vinput của mạch xuống Vin của Arduino. Khi cắm jumper vào, Arduino và mạch sử dụng chung một nguồn, khi không cắm thì có thể sử dụng nguồn riêng để cấp cho Arduino tuỳ theo mục đích sử dụng;
- Sensor input: là header dùng để cảm sensor;
- BLT: là header dùng để cảm Bluetooth, có cấu tạo chân theo HC-05 và HC-06;
- I2C: là header cho một giao thức truyền thông nối tiếp, dùng để cảm cảm biến hoặc màn hình, thứ tự các chân được sắp xếp theo chuẩn I2C phổ biến;
- PS2: dùng để cảm Receive (mạch nhận) nhận tín hiệu từ tay điều khiển PS2;
- Servo Output: dùng để cảm các động cơ Servo, thứ tự các chân được sắp xếp theo chuẩn các chân Servo phổ biến;
- Button1 và Button2: được kết nối với Arduino, chức năng của nó tùy thuộc vào mục đích người dùng thông qua việc lập trình Arduino.

* **Hiện tượng nhiễu trên nút nhấn:** Nút nhấn gồm hệ thống lò xo và các tiếp điểm làm bằng kim loại. Khi nhấn nút, lò xo bên trong gắn với tiếp điểm bị nén lại, khi thả nút, lò xo dao động làm tiếp điểm gắn với nó chạm liên tiếp vào các tiếp điểm cố định ở dưới cùng nút nhấn. Do tính đàn hồi của lò xo nên các tiếp điểm không ổn định ngay lập tức, chúng dao động giữa hai trạng thái HIGH và LOW trong một thời gian rất ngắn mà mắt thường không thể thấy được nhưng có thể quan sát được bằng máy dao động ký oscilloscope. Hiện tượng trên còn được gọi là debound, khi xảy ra sẽ gây sai lệch giá trị logic, gây ra các lỗi trong chương trình và làm giảm hiệu suất của mạch điện.

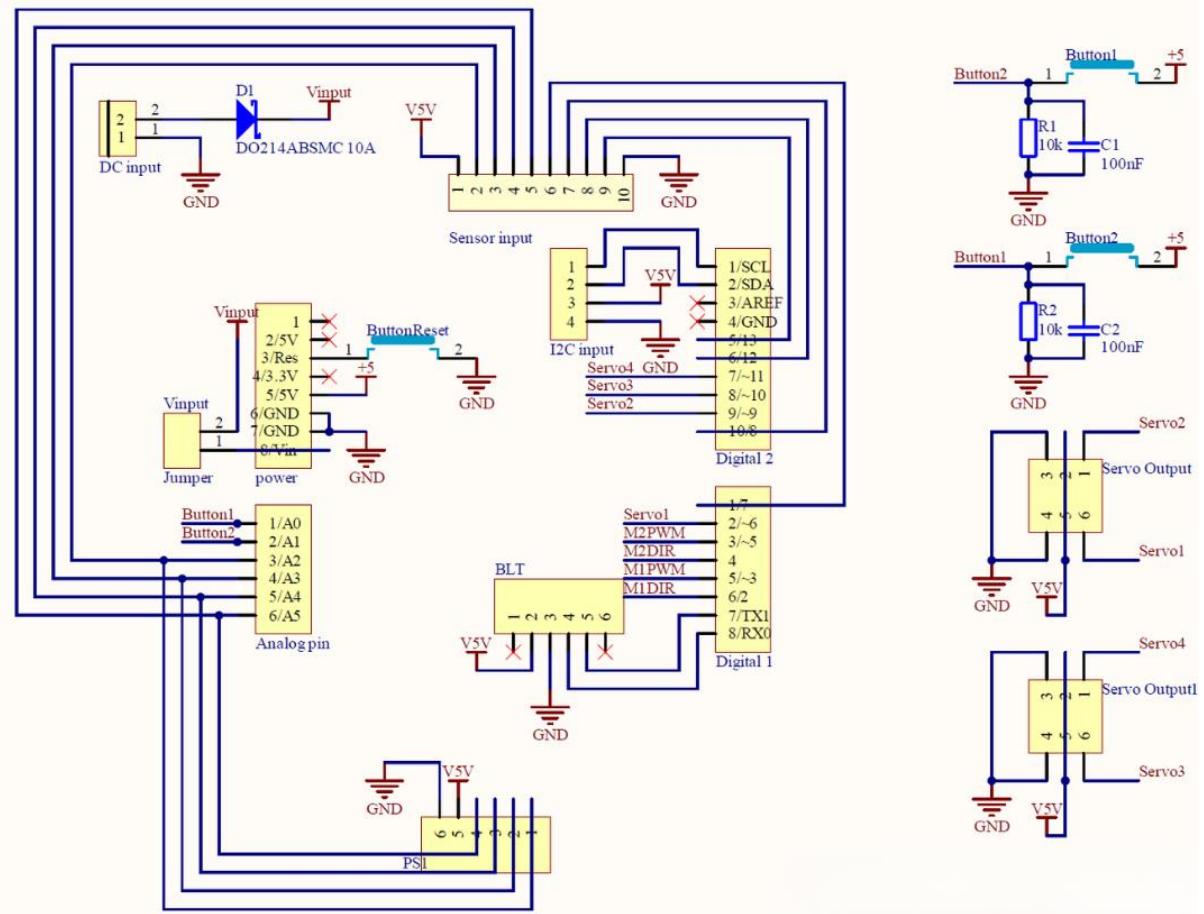
Để khắc phục hiện tượng trên, nhóm sử dụng phương pháp mắc tụ điện 100nF từ chân tín hiệu xuống GND. Khi nút được nhấn, tụ điện sẽ tạo ra 1 delay nhỏ ở chân tín hiệu, từ đó loại bỏ hầu hết các xung gây nhiễu.



Hình 3a. Phương pháp măc tụ điện từ chân tín hiệu xuống GND

* **Nguyên lý hoạt động:** Khi chưa nhấn nút tín hiệu được nối với GND thông qua điện trở 10KOhm (không sinh ra dòng điện) nên ở trạng thái LOW. Khi nhấn nút, tín hiệu được nối với +5 (nguồn điện 5V), button cho dòng điện đi qua đèn phân nhánh giữa chân tín hiệu, điện trở và tụ điện. Do điện trở có giá trị lớn 10 KOhm nên dòng điện sẽ chạy qua tín hiệu đồng thời nạp toàn bộ điện có tín hiệu nhiễu cho tụ.

Khối Interface sau khi được hoàn thiện được thể hiện trong hình ảnh dưới đây.



Hình 3b. Khối Interface (khối giao tiếp)

3.2. Khối Power Supply (khối nguồn)

Khối Power Supply là khối cấp nguồn cho toàn mạch, có các đầu vào và đầu ra như sau:

- Đầu vào: là nguồn từ pin cấp vào mạch, có 2 chân là Vinput và GND;
- Đầu ra: tạo được 2 nguồn ra độc lập với nhau:
 - + Thứ nhất là VADJ (điều chỉnh áp được) để cấp cho bộ điều khiển động cơ, nguồn này cần có công suất cao, vì vậy ưu tiên sử dụng IC giảm áp có cường độ dòng điện lớn (tối thiểu 6A, vì mỗi kênh động cơ là 3A). Nhóm tìm được và chọn IC XL4016 vì IC này đáp ứng được 8A và nó khá phổ biến.
 - + Thứ hai là V5V, là đầu ra 5V dùng để nuôi Servo và các tín hiệu logic, nhóm sử dụng các header 3 chân ngay góc trên bên phải để kết nối Servo. Mỗi Servo có cường độ dòng điện khoảng 0.5 nên mạch cần đáp ứng ít nhất 3A. Nhóm tìm được và chọn IC ổn áp 5V là LM2576T-5.0 (có sử dụng cùng loại tản nhiệt TO220 với IC XL 4016).
 - + Nguyên lý hoạt động của IC LM2576T-5.0 và XL 4016: Khi điện áp truyền về chân FB nhỏ hơn yêu cầu của nó, IC cho dòng ở đầu ra, lúc này cuộn cảm có tác dụng ổn định đầu ra, và tụ nạp điện đến khi điện áp truyền về chân FB đạt yêu cầu của nó thì IC lập tức ngắt dòng, khi đó tụ phóng điện, cuộn cảm sinh ra dòng ngược tạo ra dòng điện một chiều có điện áp cố định.

Các linh kiện điện tử khác:

- Tụ gồm 105 1uF 50V: có điện dung đủ lớn, điện áp định mức lớn hơn điện áp đầu vào, có tần số cộng hưởng 100MHz. Đặt trước IC có tác dụng lọc nhiễu điện áp đầu vào Vinput;
- Tụ hóa 220uF 35V: có điện dung cho dòng điện cực đại của tải và điện áp định mức lớn hơn điện áp đầu vào và chất liệu phù hợp dùng để lọc nguồn khi đặt sau IC;
- Diode: đưa dòng điện ngược từ cuộn cảm về, tạo thành dòng điện kín;
- Cuộn cảm 47uH 10A: có cường độ dòng điện định mức lớn hơn cường độ dòng điện đi qua, có độ tự cảm phù hợp trong việc tạo ra điện áp đầu ra ổn định;
- Điện trở 360 Ohm: kết hợp với biến trở 10KOhm dùng để làm cầu chiết áp, chia điện áp sau khi qua XL4016 thành điện áp thấp hơn;

– Biến trở 10 KOhm 3 chân chỉnh: dùng để làm chiết áp, khi biến trở thay đổi giá trị, điện áp rơi trên điện trở 360 Ohm cũng thay đổi;

$$\text{Công thức tính điện áp đầu ra: } VADJ = 1.25 * \left(1 + \frac{R1}{R2} \right)$$

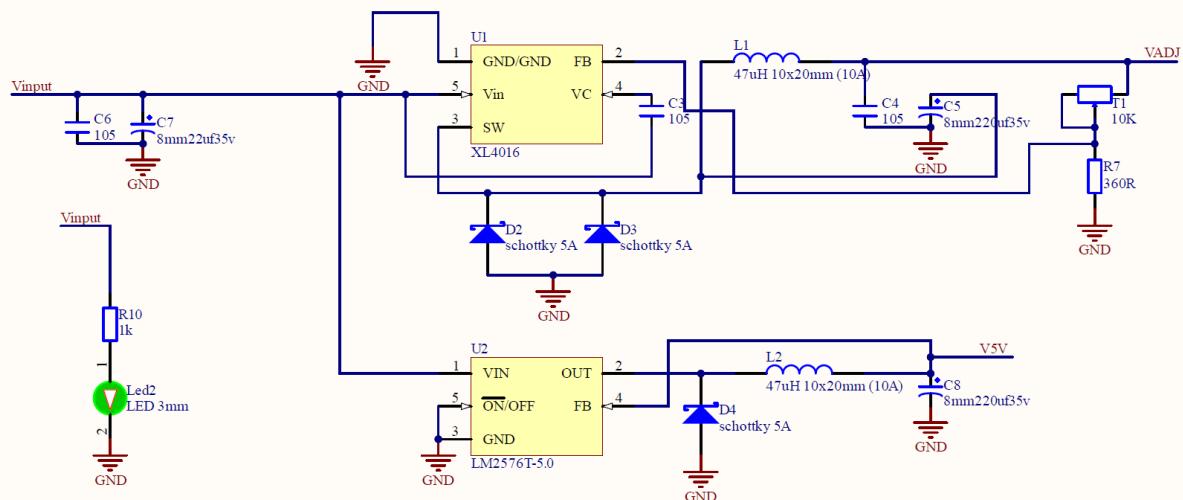
Trong đó: R1: giá trị của biến trở 10 KOhm 3 chân chỉnh,

R2: giá trị của điện trở 360 Ohm.

– LED: có điện áp hoạt động thấp khoảng 2V - 3V, được sử dụng để phát hiện có nguồn cấp cho mạch hay không;

$$– \text{Điện trở } 1 \text{ KOhm: dùng để bảo vệ LED báo nguồn, dùng công thức } R = \frac{(Vs - Vf)}{I}.$$

Vs từ 12V trở lên (điện áp cung cấp cho mạch), Vf = 2V (điện áp để LED hoạt động), I = 0,01A (dòng điện chạy qua LED). Từ đó ta chọn được giá trị điện trở thích hợp để bảo vệ LED là R = 1 KOhm.



Hình 3c. Khối Power Supply (khởi nguồn)

3.3. Khối Motor Driver (khối điều khiển động cơ)

Khối Motor Driver là khối dùng để điều khiển 2 động cơ. Nó có đầu vào và đầu ra như sau:

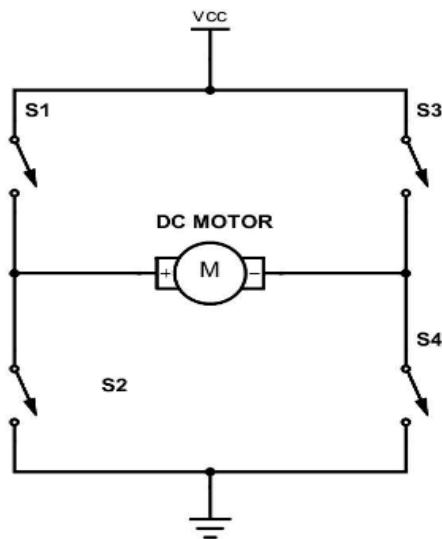
- Nguồn vào: VADJ được điều chỉnh từ khối power supply, nguồn này dùng để nuôi động cơ.
- Nguồn ra: 2 dây cho mỗi động cơ.

Các tín hiệu M1DIR, M2DIR là điều khiển chiều của 2 động cơ, M1PWM M2PWM là điều khiển tốc độ dựa trên kỹ thuật điều chế xung².

Khối Motor Driver được chia làm hai khối là khối cầu H và khối tín hiệu:

– Khối cầu H:

- + Đây là một mạch điện dùng để điều khiển động cơ một chiều quay theo chiều thuận hoặc chiều nghịch. Mô hình mạch đơn giản để điều khiển động cơ gồm 4 công tắc mắc thành hình chữ H như hình dưới đây.



Hình 3d. Khối cầu H

- + Nguyên lý hoạt động: Khi đóng S1 và S4, mở S2 và S3, tức là cực dương của nguồn nối với cực dương của động cơ, cực âm của nguồn nối với cực âm của động cơ thì động cơ quay theo chiều thuận. Khi đóng S2 và S3, mở S1 và S4, tức là cực âm của nguồn nối với cực dương của động cơ, cực dương của nguồn nối với cực âm của động cơ thì động cơ quay theo chiều nghịch.

² Kỹ thuật điều chế xung là kỹ thuật điều khiển tín hiệu bằng cách thay đổi độ rộng của xung, theo đó động cơ được nối với một bộ điều khiển PWM, bộ điều khiển này sẽ tạo ra các xung có tần số cố định và độ rộng theo tín hiệu điều khiển. Tốc độ của động cơ tỷ lệ với độ rộng của xung.

+ Nhóm thay 4 công tắc của mạch cầu H bằng MOSFET vì có thể đóng và mở nhanh hơn các công tắc cơ học, giúp động cơ hoạt động mượt hơn, bên cạnh đó, MOSFET có thể chịu được dòng điện và điện áp lớn giúp mạch hoạt động ổn định;

+ Nhóm sử dụng 2 MOSFET kênh P và 2 MOSFET kênh N vì khi cấp điện áp dương, MOSFET kênh P sẽ đóng và MOSFET kênh N sẽ mở, khi cấp điện áp âm, MOSFET kênh P sẽ mở và MOSFET kênh N sẽ đóng;

+ Việc chọn lựa MOSFET kênh N IRLR2908 (80V 30A) và MOSFET kênh P STD10PF06 (60V 10A) vì 2 lí do:

Thứ nhất, điện áp ngưỡng để MOSFET hoạt động nhỏ hơn điện áp tín hiệu cấp cho chúng. Điện áp cấp cho 2 MOSFET là 5V trong khi đó điện áp ngưỡng của MOSFET kênh N lớn nhất là 2.5V và của MOSFET kênh P lớn nhất là 4V. Điều này quan trọng và cần thiết cho việc sử dụng tín hiệu logic 0-5V để điều khiển MOSFET.

Static @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)						
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(\text{BR})\text{DSS}}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	80	—	—	V	$V_{\text{GS}} = 0\text{V}, I_D = 250\mu\text{A}$
$\Delta BV_{\text{DSS}/\Delta T_J}$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.085	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{\text{DS}(\text{on})}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	22.5	28	$\text{m}\Omega$	$V_{\text{GS}} = 10\text{V}, I_D = 23\text{A}$ ④
		—	25	30		$V_{\text{GS}} = 4.5\text{V}, I_D = 20\text{A}$ ④
$V_{\text{GS}(\text{th})}$	Gate Threshold Voltage	1.0	—	2.5	V	$V_{\text{DS}} = V_{\text{GS}}, I_D = 250\mu\text{A}$
g_{fs}	Forward Transconductance	35	—	—	S	$V_{\text{DS}} = 25\text{V}, I_D = 23\text{A}$
I_{DS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	μA	$V_{\text{DS}} = 80\text{V}, V_{\text{GS}} = 0\text{V}$
		—	—	250		$V_{\text{DS}} = 80\text{V}, V_{\text{GS}} = 0\text{V}, T_J = 125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	200	nA	$V_{\text{GS}} = 16\text{V}$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-200		$V_{\text{GS}} = -16\text{V}$

1) Trích Datasheet của MOSFET IRLR2908						
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{\text{CASE}} = 25^\circ\text{C}$ UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)						
OFF						
Symbol	Parameter	Test Conditions			Min.	Typ.
$V_{(\text{BR})\text{DSS}}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250 \mu\text{A}, V_{\text{GS}} = 0$			60	—
I_{DS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{\text{GS}} = 0$)	$V_{\text{DS}} = \text{Max Rating}$ $V_{\text{DS}} = \text{Max Rating } T_C = 125^\circ\text{C}$			—	1 10 μA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{\text{DS}} = 0$)	$V_{\text{GS}} = \pm 20\text{V}$			—	± 1 μA
ON (*)						
Symbol	Parameter	Test Conditions			Min.	Typ.
$V_{\text{GS}(\text{th})}$	Gate Threshold Voltage	$V_{\text{DS}} = V_{\text{GS}}$ $I_D = 250 \mu\text{A}$			2	4 V
$R_{\text{DS}(\text{on})}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{\text{GS}} = 10 \text{ V}$ $I_D = 5 \text{ A}$			0.18	0.20 Ω
2) Trích Datasheet của MOSFET STD10PF06						

Hình 3e. Ảnh trích Datasheet MOSFET (1)

Thứ hai, dòng định mức tối đa mà MOSFET có thể chịu được trong thời gian dài mà không bị hỏng ứng với điện áp đầu vào 5V cao hơn dòng điện 3A dùng để cấp cho MOSFET. Nói cách khác, MOSFET cần đáp ứng được điện áp và cường độ dòng điện khi được điều khiển bằng tín hiệu 5V.

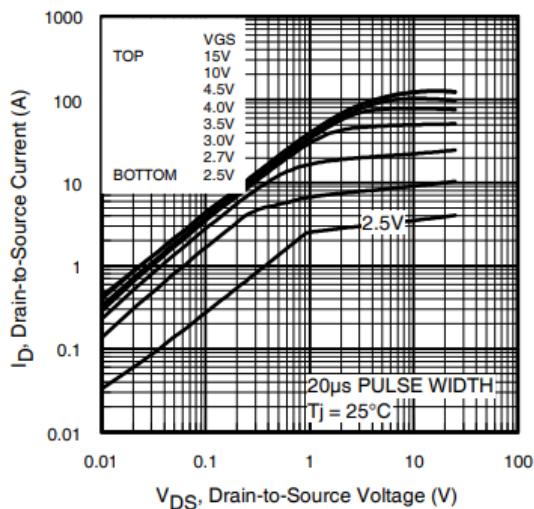


Fig 1. Typical Output Characteristics

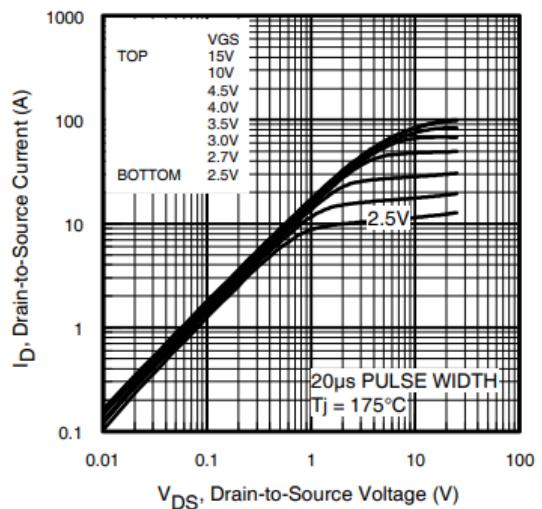
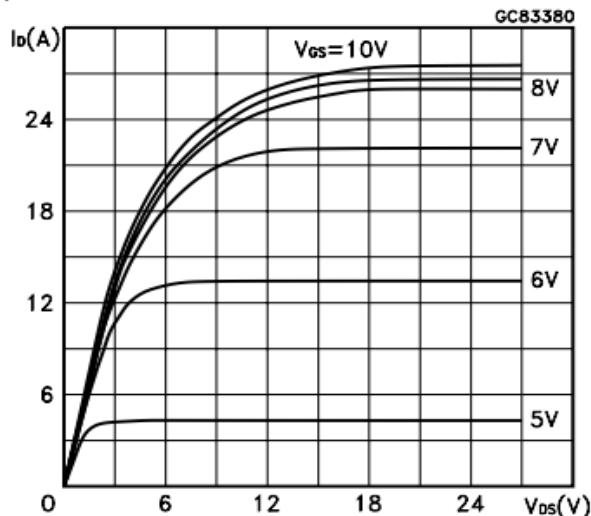


Fig 2. Typical Output Characteristics

1) Trích Datasheet của MOSFET IRLR2908

Output Characteristics

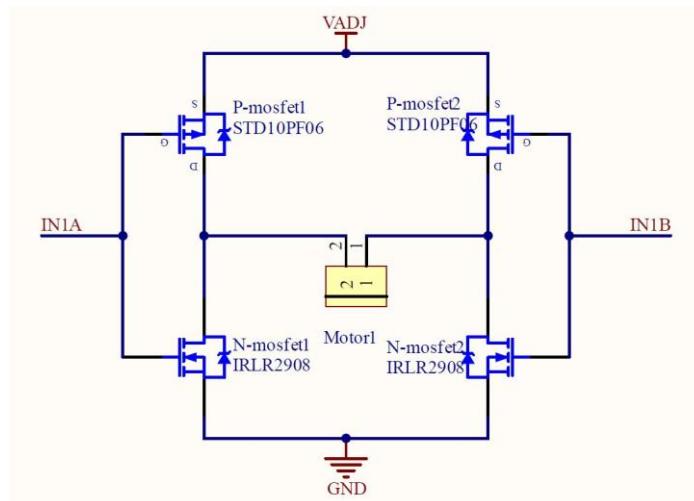


2) Trích Datasheet của MOSFET STD10PF06

Hình 3f. Ảnh trích Datasheet MOSFET (2)

+ Mạch được thiết kế để có thể điều khiển hai chiều quay của động cơ. Khi IN1A ở mức HIGH, IN1B ở mức LOW thì P-MOSFET1 đóng, N-MOSFET1 mở, P-MOSFET2 mở và N-MOSFET2 đóng, động cơ sẽ quay theo một hướng. Khi IN1A ở mức LOW, IN1B ở mức HIGH thì động cơ sẽ quay theo hướng ngược lại.

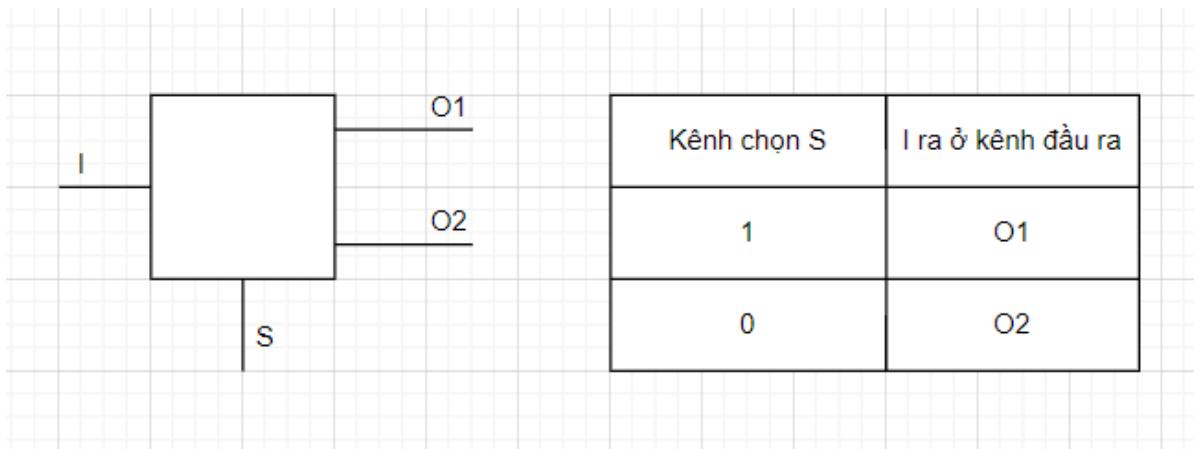
Bằng những lý thuyết đã nêu ở trên, nhóm đã tạo ra khối cầu H như sau:



Hình 3g. Khối cầu H trong khối Motor Driver của nhóm

– Khối tín hiệu:

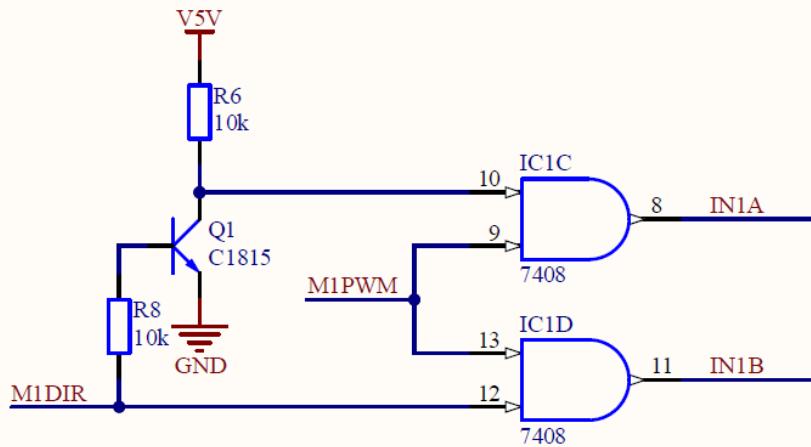
+ Ý tưởng thiết kế xuất phát từ mạch tách kênh, mạch tách kênh là mạch tổ hợp cho phép từ 1 kênh đầu vào để đưa tới 1 đường trong các kênh đầu ra, việc chọn đường nào từ kênh đầu ra do kênh chọn quyết định. Theo thiết kế của nhóm, mạch được thiết kế từ mạch tách kênh 1 sang 2 có sơ đồ đơn giản như hình dưới đây.



Hình 3h. Sơ đồ khối của mạch

+ Biểu thức logic của kênh đầu ra sẽ là: $O1 = S \cdot I$ và $O2 = \sim S \cdot I$. Từ đây có thể dùng cổng NOT và cổng AND để thiết kế mạch tách kênh.

Xét mạch dưới đây:



Hình 3i. Mạch tách kênh

- + Kênh đầu vào M1DIR, kênh chọn M1PWM, kênh đầu ra: IN1A và IN1B.
- + Mạch này có công NOT được thiết kế từ NPN BJT C1815 với các điện trở. Việc chọn BJT vì có tốc độ xử lý cao, đáp ứng được yêu cầu trong các ứng dụng điều khiển động cơ.
- + Chọn điện trở, BJT, cách thiết lập để thành công NOT: Chọn transistor C1815 vì có điện áp đánh thủng lớn hơn điện áp cấp cho nó hoạt động.

MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)				
CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT	
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	V	
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	50	V	
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5	V	
Collector Current	I_C	150	mA	
Base Current	I_B	50	mA	
Collector Power Dissipation	P_C	400	mW	
Junction Temperature	T_j	125	°C	
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55~125	°C	

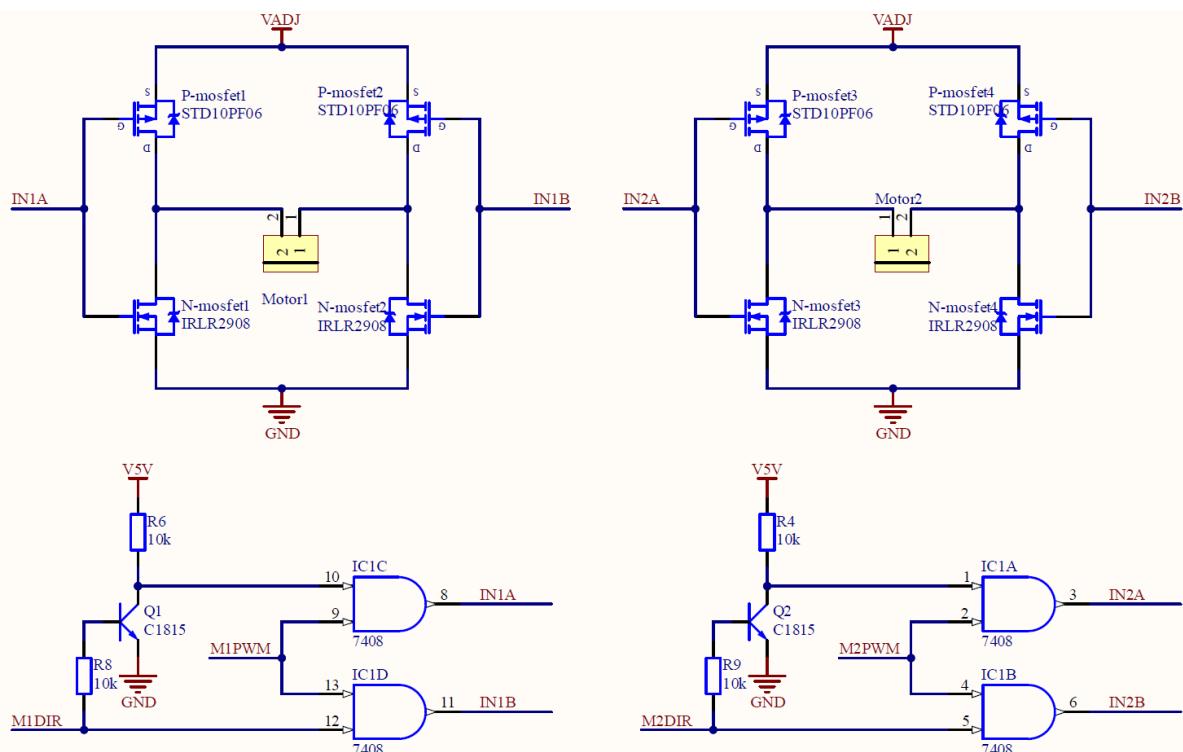
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)						
CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$	—	—	0.1	μA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$	—	—	0.1	μA
DC Current Gain	$h_{FE}(1)$ (Note)	$V_{CE} = 6\text{V}, I_C = 2\text{mA}$	70	—	700	
	$h_{FE}(2)$	$V_{CE} = 6\text{V}, I_C = 150\text{mA}$	25	100	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(\text{sat})}$	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 10\text{mA}$	—	0.1	0.25	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(\text{sat})}$	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 10\text{mA}$	—	—	1.0	V

Hình 3k. Ảnh trích Datasheet transistor C1815

BJT hoạt động như một công tắc (cho dòng điện chạy qua khi hoạt động ở chế độ bão hòa, ngăn dòng điện chạy qua khi hoạt động ở chế độ cắt) và sử dụng điện trở để hạn chế dòng tối đa qua cực Base và Collector. Khi đầu vào nối với cực Base có mức HIGH ($M1DIR = 5V$) thì BJT sẽ bắt đầu cho dòng điện chạy qua. Điện áp $V5V$ sẽ bắt đầu có dòng chạy cực Collector xuống cực Emitter và làm điện áp đầu ra $Vc = Vce(sat) = 0.25$ V có mức LOW (từ 0 - 0.8 V thể hiện mức LOW). Khi đầu vào nối với cực Base có mức LOW ($M1DIR = 0V$) thì BJT không có dòng điện chạy qua, điều này sẽ làm cho điện áp đầu ra là $5V5$ (giá trị $5V$) thể hiện mức HIGH (từ 3.3 - 5V thể hiện mức HIGH).

Dòng điện tối đa chạy qua cực Base là 50 mA , để transistor không bị hư, dòng điện chạy qua nó phải nhỏ hơn 50 mA vì vậy chọn điện trở có giá trị 10 KOhm (điện áp đầu vào cực Base là $5V$, $Vbe(sat) = 1V$, ta có $Ib = \frac{5-1}{Rb}$ nên cường độ dòng điện qua cực Base là 0.4 mA nhỏ hơn 50 mA).

- + Dùng IC7408 để làm công AND cho mạch.
- + Nguyên lý hoạt động: Khi kênh chọn M1PWM ở mức HIGH, M1DIR sẽ ra ở kênh đầu ra IN1A. Khi kênh chọn M1PWM ở mức LOW, M1DIR sẽ ra ở kênh đầu ra IN2A.



Hình 31. Khối Motor Driver (khối điều khiển)

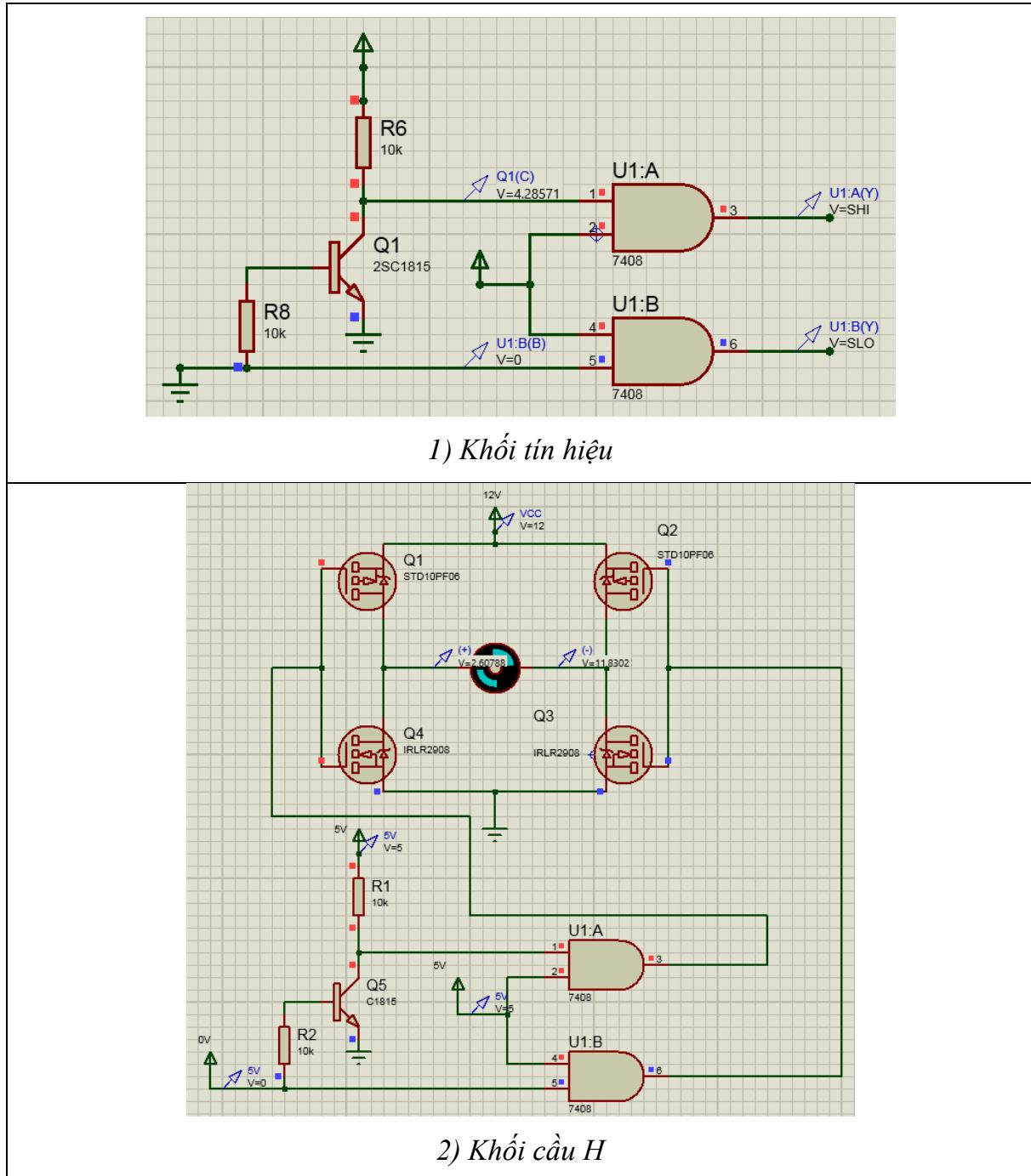
CHƯƠNG IV. SCHEMATIC VALIDATION

4.1. Test thử bằng trình mô phỏng trên máy tính

Nhóm sử dụng nền tảng Proteus nhằm mô phỏng mạch dựa trên sơ đồ nguyên lý trước đó, thông qua đó xác định hiệu điện thế hoạt động trong các linh kiện, độ ổn định và giới hạn của thiết bị. Cụ thể, nhóm thực hiện xác định thông số ở khối Motor Driver.

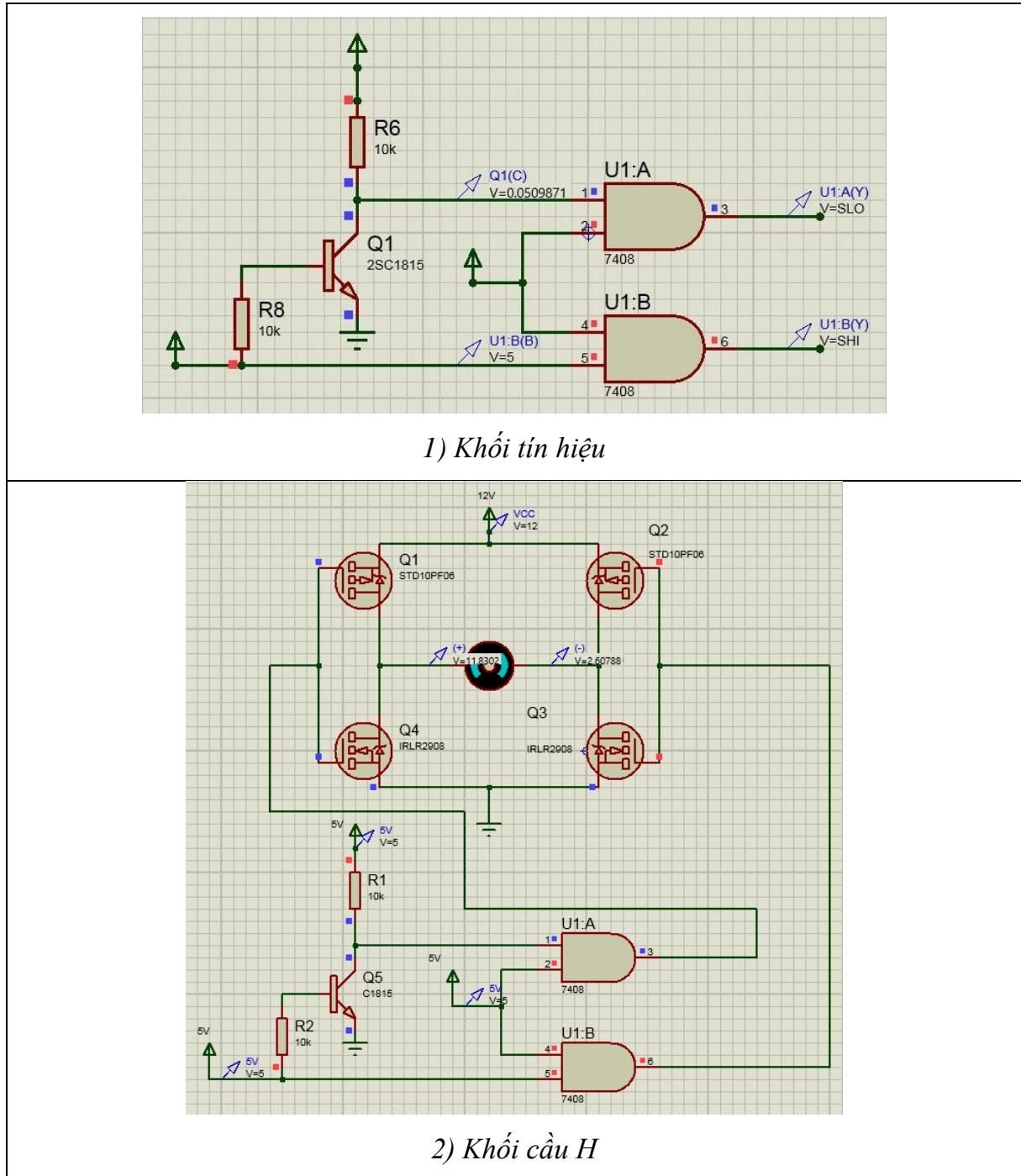
Ta cho $V_{ADJ} = 12V$, $V_{M1PWM} = 5V$. Xét 2 trạng thái như sau:

– Trạng thái 1: Khi $V_{M1DIR} = 0V$



Hình 4a. Khi $V_{M1DIR} = 0V$

– Trạng thái 2: Khi $V_{M1DIR} = 5V$



Hình 4b. Khi $V_{M1DIR} = 5V$

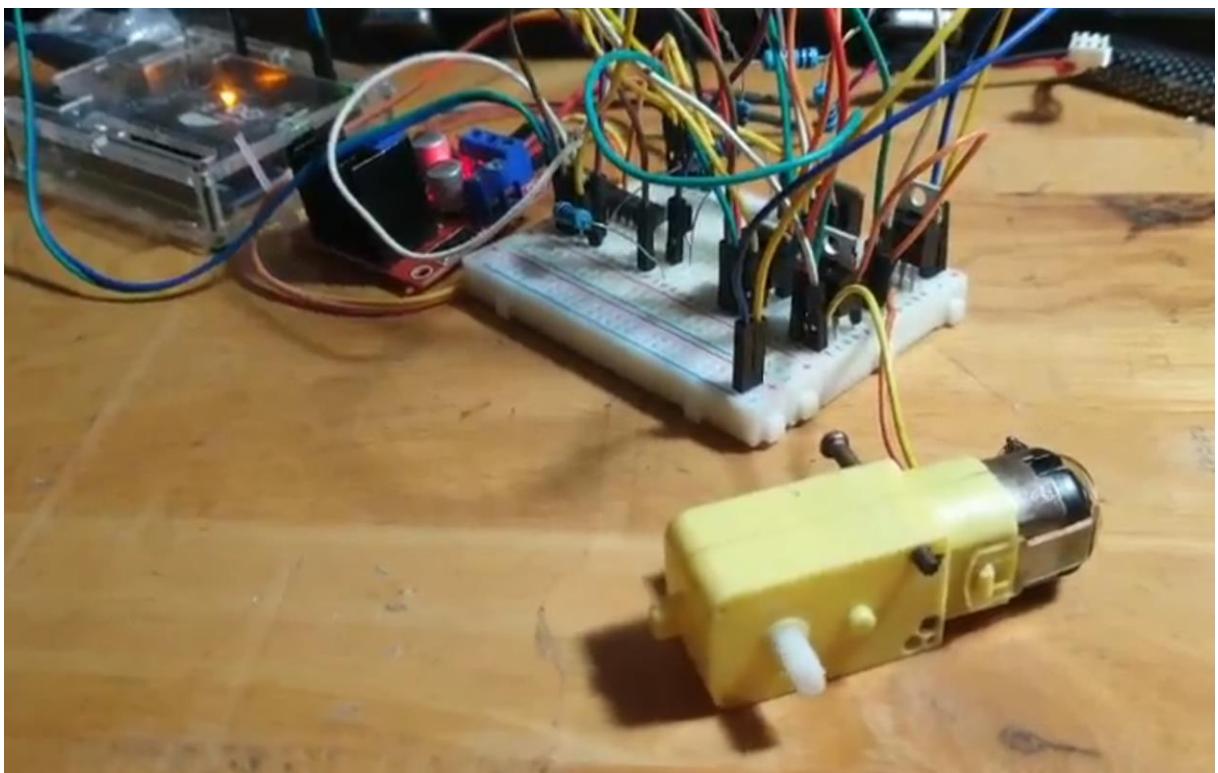
Ta thấy điện áp giữa 2 đầu động cơ lần lượt khoảng 9.2V và -9.2V.

Từ kết quả đạt được sau khi thực hiện các thao tác mô phỏng trên có thể thấy được sơ đồ nguyên lý khả thi và có thể đáp ứng được thiết kế đề ra, linh kiện hoạt động ổn định, điện áp qua các linh kiện nằm trong mức cho phép, đúng với mục tiêu đặt ra ban đầu.

4.2. Test thử bằng linh kiện sẵn

Nhóm tiến hành đặt một số linh kiện để kiểm tra mạch nguyên lý của khối chức năng Motor Driver, danh sách các linh kiện sử dụng được mô tả như sau, một số linh kiện có thể được thay thế bằng linh kiện cắm cùng thông số để thuận tiện cho việc thử nghiệm mạch nguyên lý trên test board:

STT	Tên linh kiện	Chức năng
1	Các loại MOSFET kênh N và P	Mạch cầu H
2	BJT B1815	Công NOT cho mạch DEMUX
3	IC7408 Quad-AND	Công AND cho mạch DEMUX
4	Một số điện trở	Điện trở kéo lên và kéo xuống cho tín hiệu
5	Pin 2s 7,4V	Cung cấp nguồn cho mạch
6	Mạch nguồn LM2596-5V	Mức logic cho tín hiệu
7	Arduino Uno R3	Xuất tín hiệu logic
8	Test board	Bố trí linh kiện
9	Đồng hồ VOM	Đo đặc số liệu điện áp và dòng điện
10	Dây cắm và các công cụ khác	Hỗ trợ



Hình 4c. Test mạch bằng linh kiện thực tế

Mô hình test mạch bằng linh kiện thực tế cho thấy sơ đồ nguyên lý khả thi và có thể đáp ứng được thiết kế đề ra, các linh kiện hoạt động ổn định trong thời gian dài, không sinh quá nhiều nhiệt.

4.3. Kết luận

Thông qua việc kết hợp cả 2 thao tác kiểm thử, nhóm có thể kết luận rằng, sơ đồ nguyên lý của mạch thiết kế khả thi và có thể hoạt động ổn định, phù hợp với yêu cầu thiết kế ban đầu.

CHƯƠNG V. PCB DESIGN

5.1. Design Rules setup

Nhóm lựa chọn đơn vị gia công mạch PCB là JLCPCB, vì thế nhóm đã thiết lập design rules theo khả năng đáp ứng được của nhà cung cấp³ với các thuộc tính cơ bản: Clearance, Routing Width, Routing Via,... như sau:

Features	Capability	Patterns
Hole to hole clearance(Different nets)	0.5mm	
Via to Via clearance(Same nets)	0.254mm	
Pad to Pad clearance(Pad without hole, Different nets)	0.127mm	
Pad to Pad clearance(Pad with hole, Different nets)	0.5mm	
Via to Track	0.254mm	
PTH to Track	0.33mm	
NPTH to Track	0.254mm	
Pad to Track	0.2mm	

1) Khả năng của đơn vị gia công

2) Thiết lập Clearance tương ứng

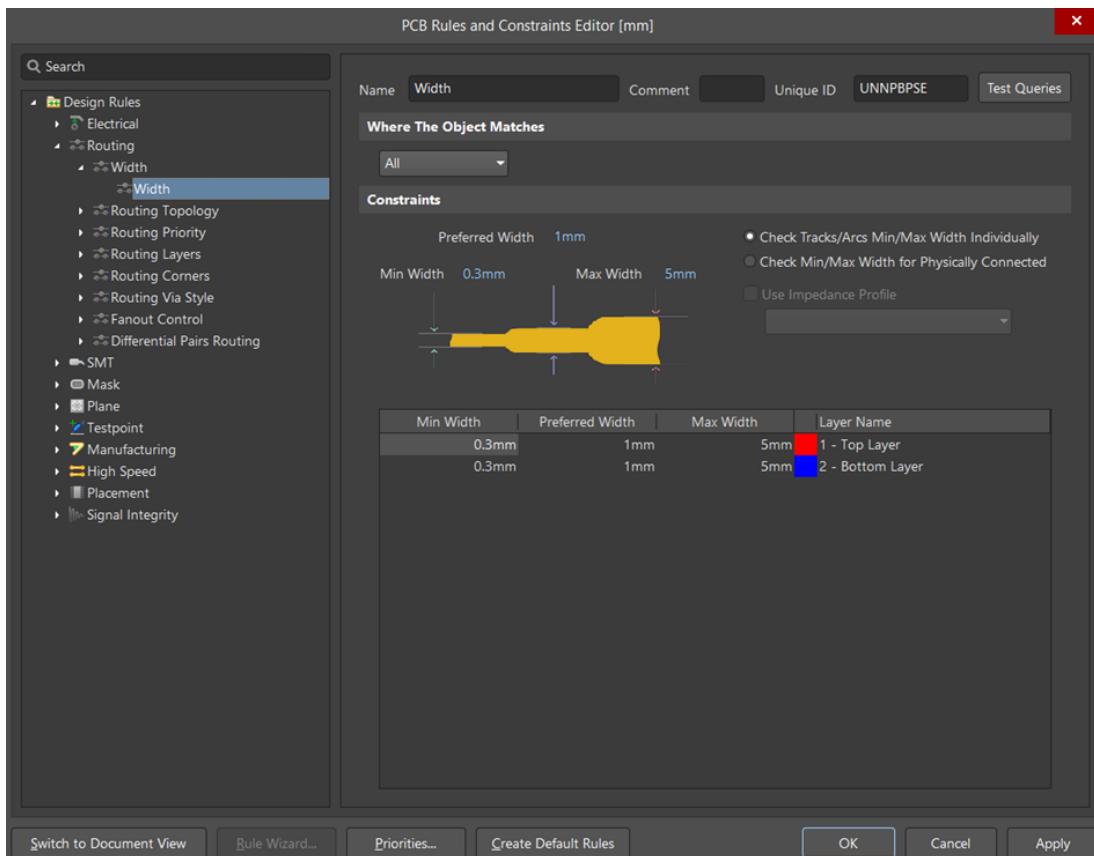
Features	Capability	Notes	Patterns
Drill Hole Size	0.15mm - 0.30mm	1 & 2 Layer PCB: 0.5 - 8.5mm Multi-Layer PCB: 0.15 - 6.5mm (0.15mm more costly)	
Drill Hole Size Tolerance	+0.13/-0.08mm	e.g. for the 0.6mm hole size, the finished hole size between 0.52mm to 0.73mm is acceptable.	
Blind/Buried Vias	Don't support	Currently we don't support Blind/Buried Vias, only make Through holes.	
Min. Via hole size/diameter	0.15mm / 0.25mm	- 1 & 2 Layer PCB: 0.3mm(hole size) / 0.3mm(diameter) - Multi-Layer PCB: 0.15mm(Via hole size) / 0.25mm(Via diameter) ① Via diameter should be 0.1mm(0.15mm preferred) larger than Via hole size ② Preferred Min. Via hole size: 0.2mm	
PTH hole Size	0.20mm - 0.35mm	The annular ring size will be enlarged to 0.15mm in production	
Pad Size	Minimum 1.0mm	The pad size will be enlarged by 0.5mm than the hole size. The minimum size of annular ring around plated through hole pads is 0.25mm. If the recommended sizes are not respected then the pad will not be produced properly.	

3) Khả năng của đơn vị gia công

4) Thiết lập RoutingVias tương ứng

Hình 5a. Thiết lập Design Rules cho Clearance và RoutingVias

³ Nhóm tham khảo tại website JLCPCB, *PCB Manufacturing & Assembly Capabilities*, <https://jlcpcb.com/capabilities/pcb-capabilities>



Hình 5b. Thiết lập Design Rules cho Routing Width

5.2. PCB layout

5.2.1. Components arrangement (bố trí linh kiện)

Tính toán kích thước các đường dây

Các đường dây được đi trong mạch được chia làm 2 nhóm chính:

- Các đường dây tín hiệu: nhóm dây này không tải quá nhiều dòng điện nên không nhất thiết phải quá to, kích thước đường dây được sử dụng cho tất cả các dây thuộc nhóm này là 0.5mm.
- Các đường dây công suất: bao gồm các dây nguồn vào, dây vào và ra IC nguồn, dây vào và ra cuộn cảm, dây vào và ra MOSFET, dây ra động cơ,... là các dây cần tính toán kích thước dây cho phù hợp.

Nhóm sử dụng công cụ PCB Trace Width Calculator⁴ để tính toán kích thước dây.

⁴ Truy cập tại website Advanced Circuits, *PCB Trace Width Calculator*, <https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html>

Inputs:		
Current	6	Amps
Thickness	35	um <input type="button" value="▼"/>

Optional Inputs:		
Temperature Rise	10	Deg <input type="button" value="C ▼"/>
Ambient Temperature	25	Deg <input type="button" value="C ▼"/>
Trace Length	1	inch <input type="button" value="▼"/>

Results for Internal Layers:		
Required Trace Width	9.25	mm <input type="button" value="▼"/>
Resistance	0.00139	Ohms
Voltage Drop	0.00831	Volts
Power Loss	0.0499	Watts

Results for External Layers in Air:		
Required Trace Width	3.56	mm <input type="button" value="▼"/>
Resistance	0.00360	Ohms
Voltage Drop	0.0216	Volts
Power Loss	0.130	Watts

Hình 5c. Tính toán kích thước đường dây theo dòng điện

Kết quả tính toán được mô tả như trong bảng sau:

STT	Tên đường dây	Dòng điện thiết kế (A)	Bề rộng đường dây (mm)
1	Đường dây nối giữa Vin và đầu vào 2 IC nguồn, thông qua Diode 10A	10	7.2
2	Đường dây từ OUTPUT của IC LM2596 đến các chân 5V, đi qua cuộn cảm 10A	3	1.4
3	Đường dây từ OUTPUT của IC XL4016 đến các chân MOSFET, đi qua cuộn cảm 10A	8	5.3
4	Đường dây từ OUTPUT của các MOSFET đến cổng ra động cơ	3	3.6

Tính toán sự cần thiết của tản nhiệt cho các linh kiện

Thông thường khi sử dụng MOSFET có trong các dự án công suất lớn, dòng điện đi qua MOSFET cao, điều này dẫn đến MOSFET sinh nhiệt và ảnh hưởng đến khả năng hoạt động ổn định của chính nó. Vì vậy chúng ta cần tính toán đến việc kiểm soát nhiệt độ cho MOSFET hoạt động được ổn định hơn.

Ta xác định công suất tiêu tán mà MOSFET có thể chịu được khi không có tản nhiệt dựa trên các số liệu được cung cấp từ datasheet như sau:

$$P_{MOSFET} = \frac{Max(T) - T}{R_{\theta JA}} \text{ (W)}$$

Trong đó: P_{MOSFET} là công suất tiêu tán tối đa trên MOSFET;

$Max(T)$ là nhiệt độ tối đa ($^{\circ}\text{C}$);

T là nhiệt độ phòng ($T = 30^{\circ}\text{C}$);

$R_{\theta JA}$ là hệ số tiếp giáp nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^{\circ}\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Silicon Limited)	39	A
$I_D @ T_C = 100^{\circ}\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (See Fig. 9)	28	
$I_D @ T_C = 25^{\circ}\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Package Limited)	30	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	150	
$P_D @ T_C = 25^{\circ}\text{C}$	Maximum Power Dissipation	120	W
	Linear Derating Factor	0.77	$\text{W}/^{\circ}\text{C}$
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 16	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (Thermally Limited) ②	180	mJ
E_{AS} (tested)	Single Pulse Avalanche Energy Tested Value ③	250	
I_{AR}	Avalanche Current ①	See Fig.12a,12b,15,16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ④		mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	2.3	V/ns
T_J	Operating Junction and	$-55 \text{ to } +175$	$^{\circ}\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.3	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient (PCB Mount) ⑥	—	40	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	110	

Hình 5d. Ảnh trích Datasheet của MOSFET IRLR2908 được sử dụng trong phép tính

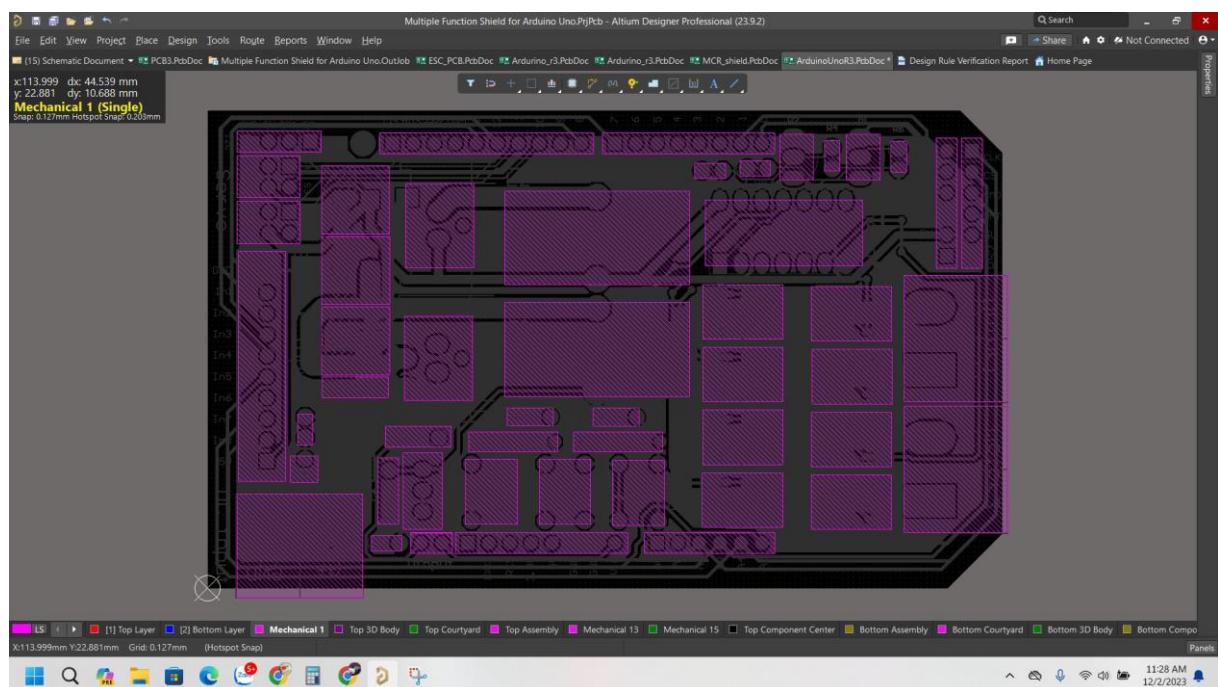
$$\text{Ta tính được } P_{IRLR2908} = \frac{Max(T)-T}{R_{\theta JA}} = \frac{175-30}{110} \approx 1,318 (W)$$

Vậy để sử dụng MOSFET với công suất lớn hơn, ta cần bô trí tản nhiệt để MOSFET được hoạt động một cách ổn định. Tương tự, ta cần thực hiện phép tính này đối với 2 IC nguồn là XL4016 và LM2596.

Bô trí các linh kiện trên mạch

Các linh kiện trên mạch được nhóm bô trí theo một số nguyên tắc sau:

- Các linh kiện trong cùng 1 khối chức năng theo thiết kế mạch nguyên lý được ưu tiên bô trí gần nhau.
 - Các chân cắm giao tiếp với Arduino được bô trí theo thông số của Arduino.
 - Các bộ phận giao tiếp như: Chân cắm Servo, chân cắm module Bluetooth, chân cắm PS2, header Sensor input được bô trí tương đối dựa theo nhu thiết kế tại Conceptual Design.
 - Khối chức năng Power Supply bô trí gần với cổng kết nối vào, khối chức năng Motor Driver bô trí gần các cổng kết nối động cơ.
 - IC nguồn LM2596, XL4016 và 8 con MOSFET được bô trí kèm với tản nhiệt một cách hợp lý.

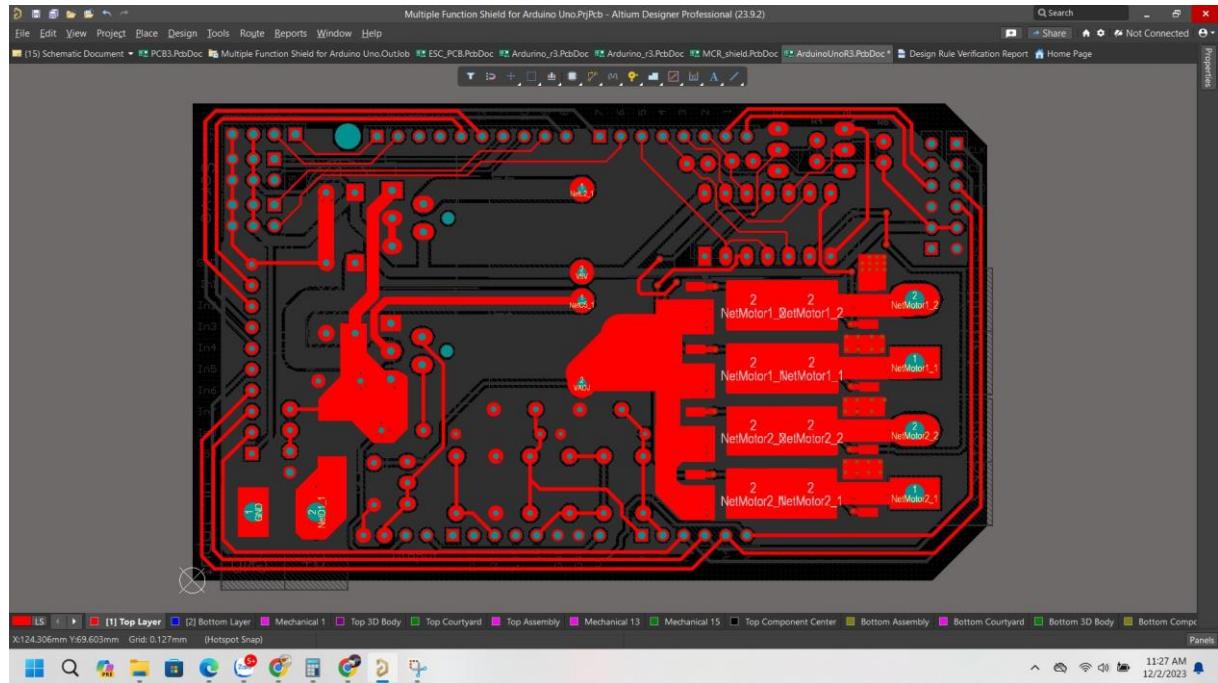


Hình 5e. Bô trí các linh kiện trên mạch

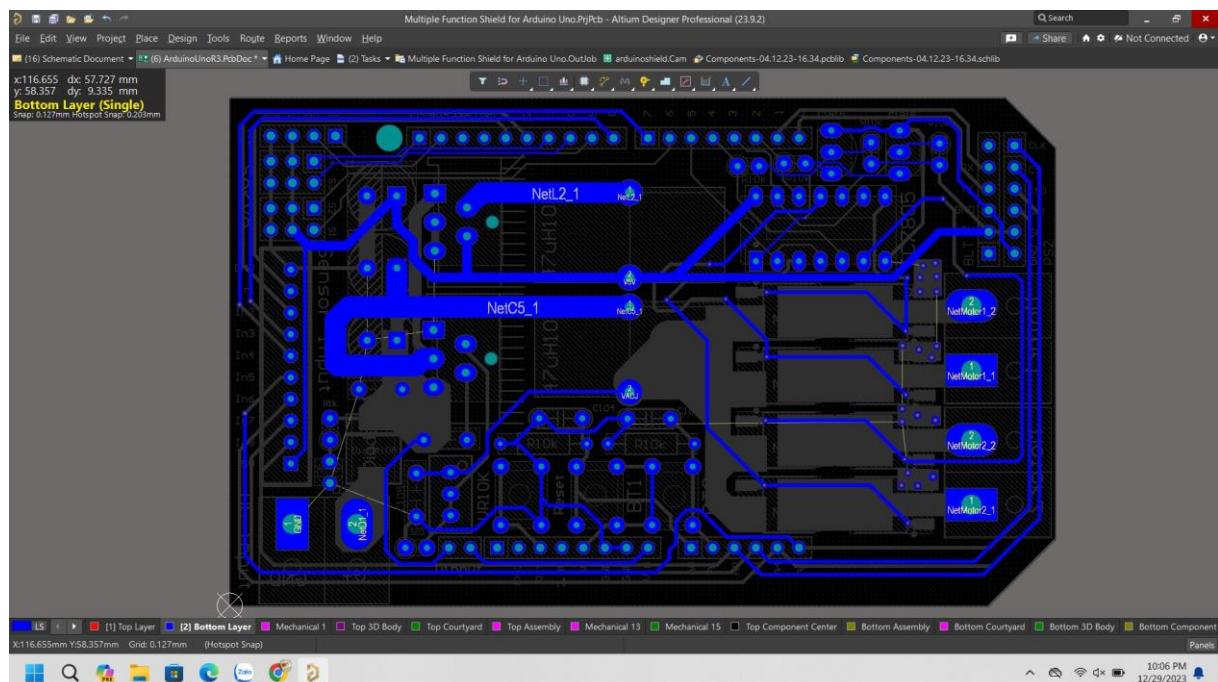
5.2.2. Routing (đi dây)

Đi dây trên mạch

Trong quá trình đi dây, nhóm tuân thủ theo cách bố trí và kích thước đường dây được tính toán trong các bước trước đó. Kết quả được thể hiện trong 2 hình bên dưới.



Hình 5f. Top Layer

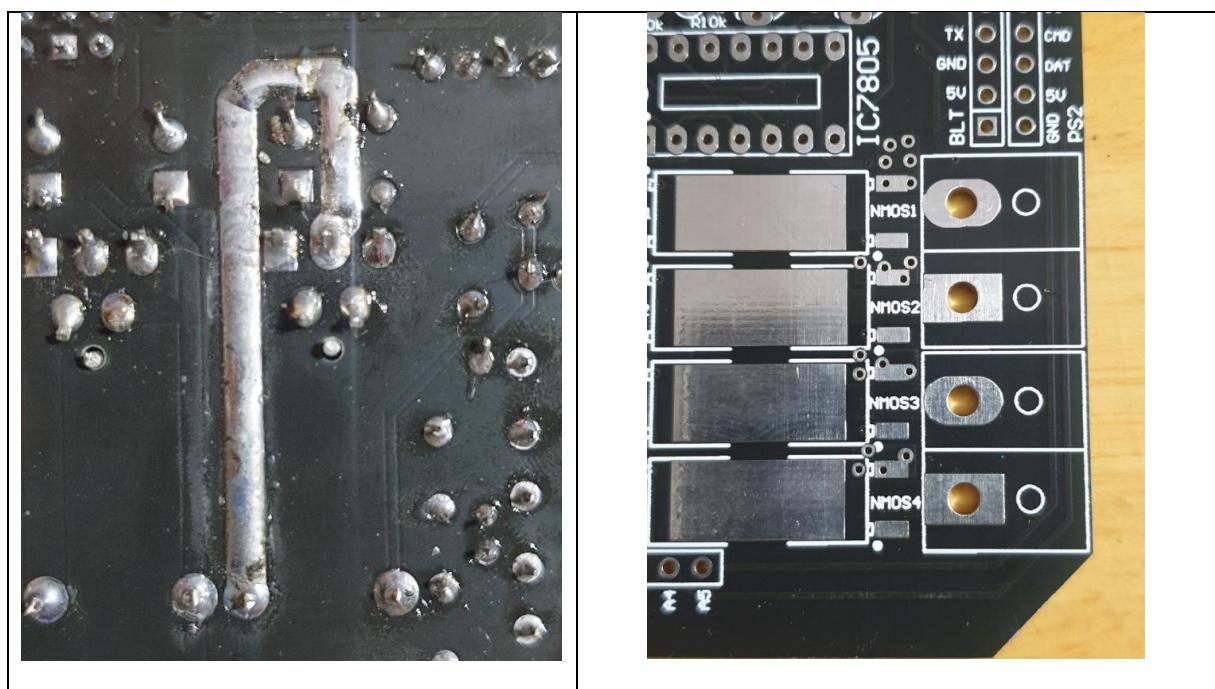


Hình 5g. Bottom Layer

Tất cả các đường dây đều được thiết kế đạt yêu cầu về dòng điện, áp dụng các phương pháp đi dây sau:

– Đối với đường dây đi từ OUTPUT IC nguồn XL4016 đến cuộn cảm, được thiết kế với dòng điện là 8A, vì kích thước giữa các chân không đảm bảo có thể đi được đường dây lớn hơn, nhóm đã sử dụng phương pháp hàn đè thêm lớp thiết lên đường dây đó nhằm tăng độ dày. Song, đường dây vẫn đáp ứng được dòng điện thiết kế.

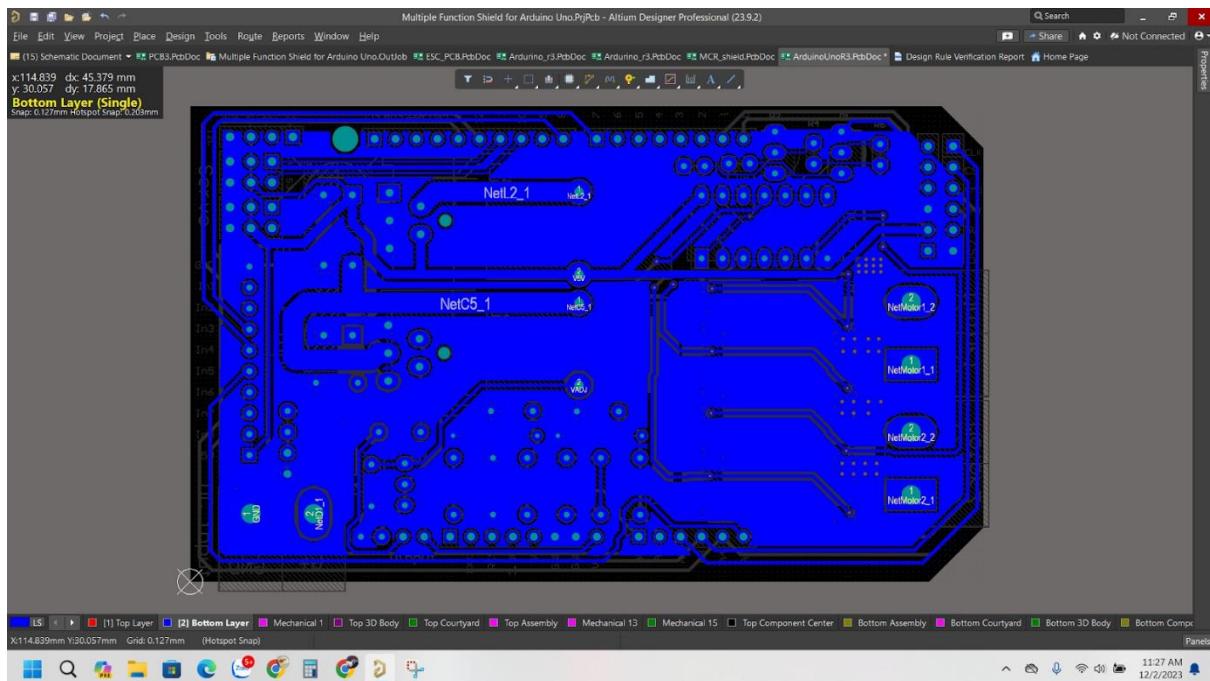
– Đối với các chân GND nối với MOSFET, nhóm sử dụng phương pháp đổ polygon GND vào Bottom layer của mạch, sau đó đóng nhiều vias lớn, xuyên từ Top layer đến Bottom layer nhằm kết nối đường dây này đảm bảo dòng điện yêu cầu.



Hình 5i. Hình ảnh các đường dây trong thực tế

Polygon pouring (đổ polygon)

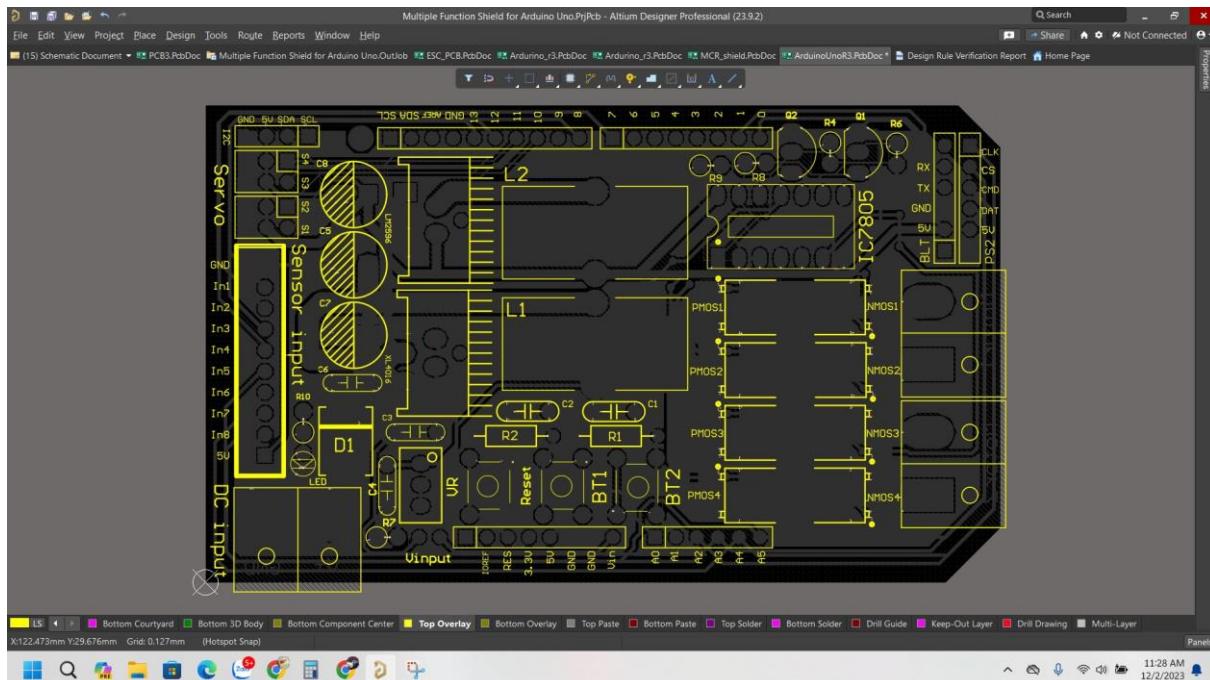
Sau khi tất cả các đường dây trên mạch được đi hoàn tất, bước cuối cùng của quá trình routing là đổ polygon cho mạch. Nhóm tiến hành đổ polygon cho Bottom Layer, kết nối với đường dây GND nhằm đảm bảo dòng điện thiết kế, giảm điện trở trên dây GND và tăng độ ổn định cho mạch.



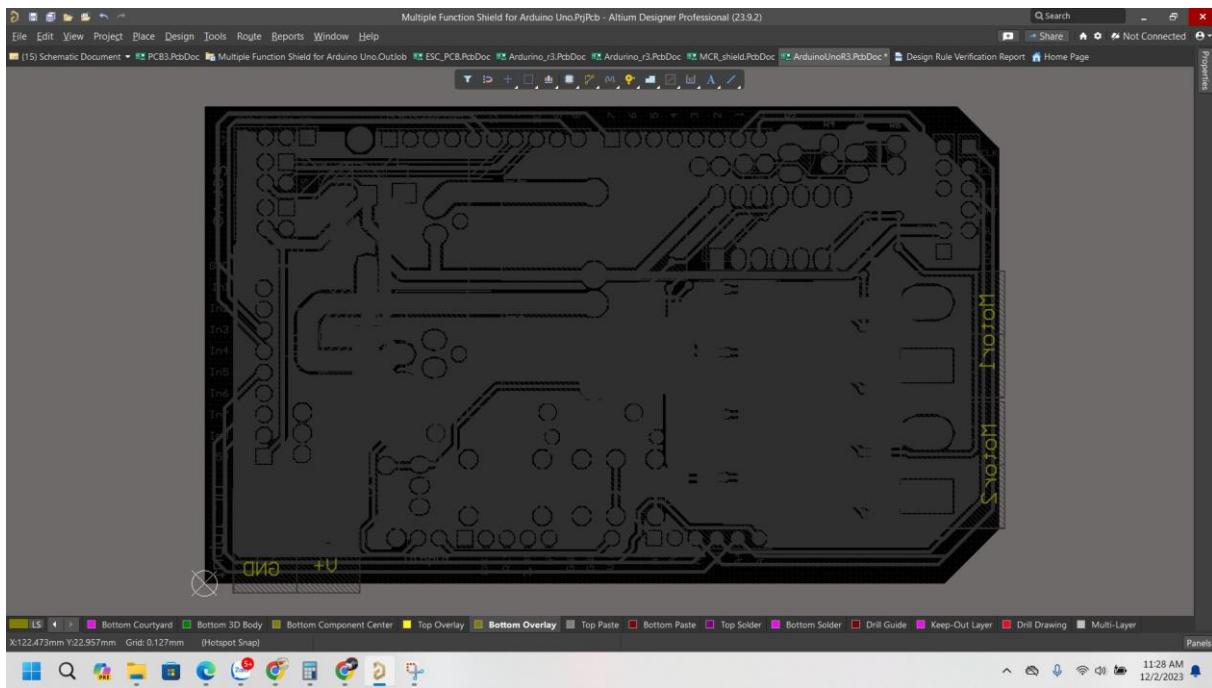
Hình 5j. Bottom Layer sau khi được đỗ polygon

5.2.3. Overlay on Board

Top/Bottom Overlay bao gồm các ký hiệu của linh kiện trên mạch, các thông số của linh kiện được sử dụng và tên các bộ phận giao tiếp như: tên nút nhấn, tên cổng kết nối, tên các chân kết nối,...



Hình 5k. Top Overlay



Hình 5l. Bottom Overlay

5.3. Design Rules Check

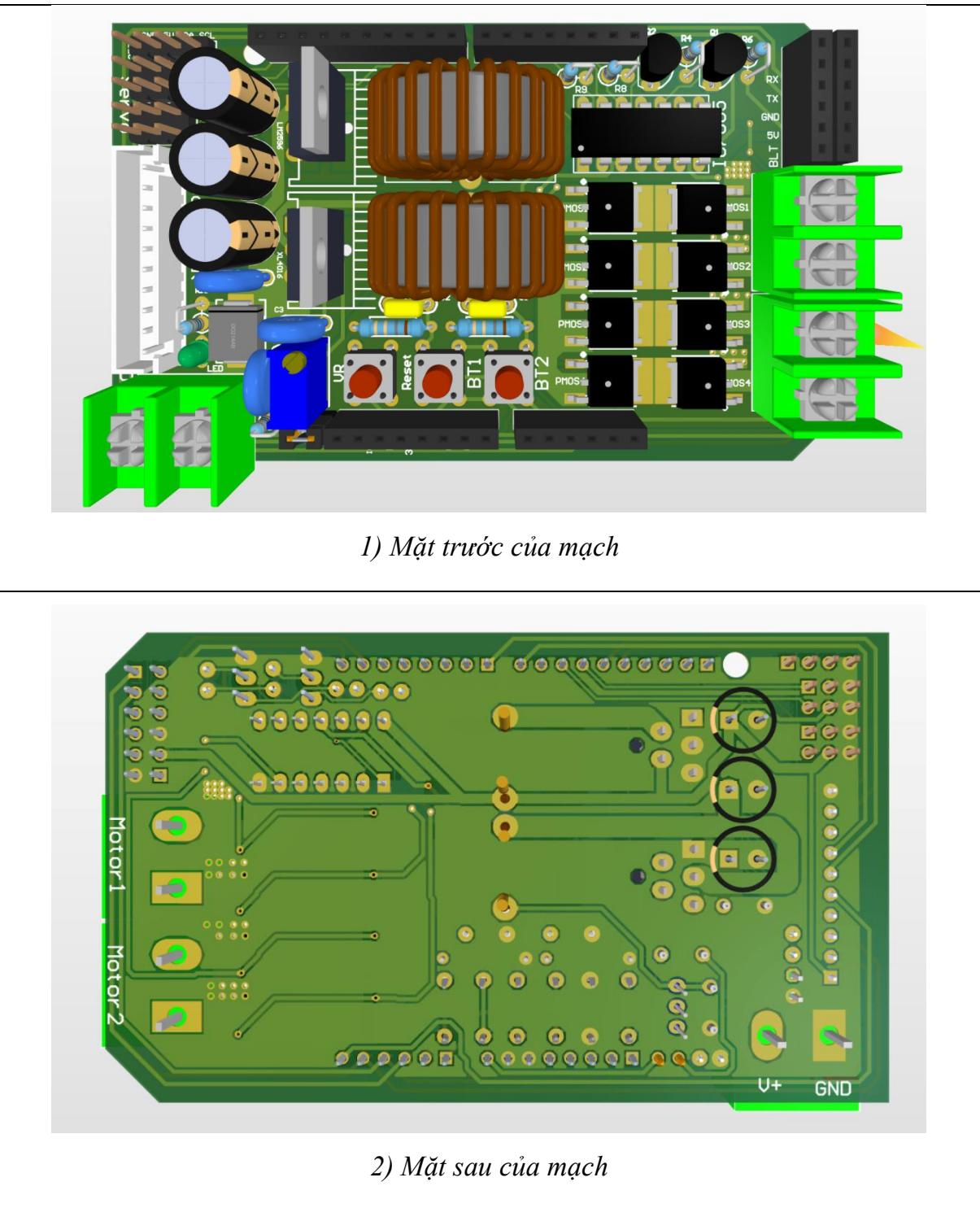
Sau khi thực hiện xong các công đoạn vẽ mạch PCB, nhóm tiến hành kiểm tra bằng công cụ “Design Rules Check” với kết quả là không có lỗi nào.

Warnings	Count
Total 0	
Rule Violations	Count
Clearance Constraint (Gap=0.6mm) (InNet('GND')).(All)	0
Clearance Constraint (Gap=0.254mm).(All).(All)	0
Short-Circuit Constraint (Allowed=No).(All).(All)	0
Un-Routed Net Constraint .(All.)	0
Modified Polygon (Allow modified: No),(Allow shelved: No)	0
Width Constraint (Min=0.3mm) (Max=5mm) (Preferred=1mm) (All)	0
Power Plane Connect Rule(Direct Connect)(Expansion=0.508mm) (Conductor Width=0.254mm) (Air Gap=0.254mm) (Entries=4) (All)	0
Hole Size Constraint (Min=0.025mm) (Max=5mm) (All)	0
Hole To Hole Clearance (Gap=0.254mm) (All).(All)	0
Minimum Solder Mask Sliver (Gap=0.254mm) (All).(All)	0

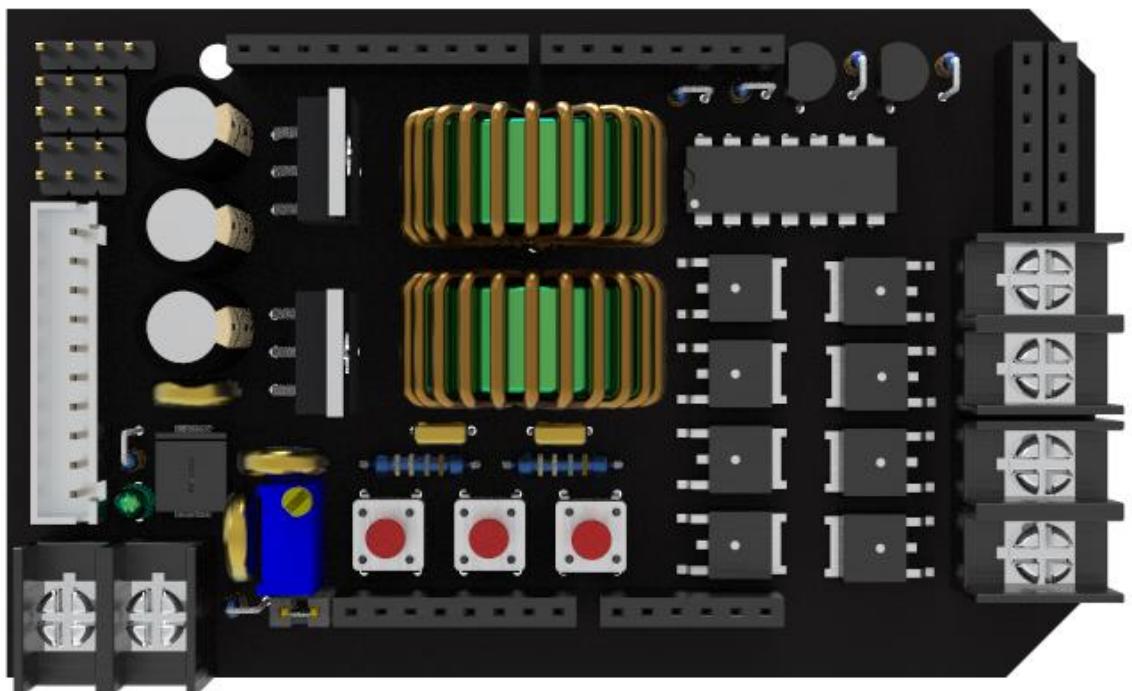
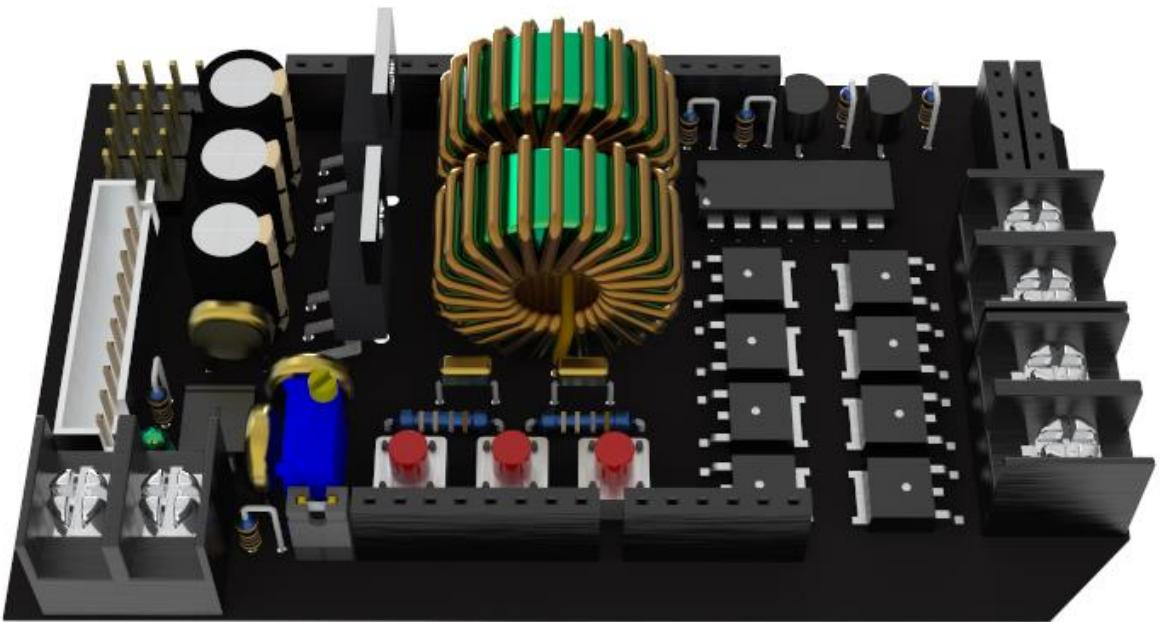
Hình 5m. Kết quả từ Design Rules Check

CHƯƠNG VI. FABRICATION & ASSEMBLY

Sau khi hoàn thành và kiểm tra tất cả các bước phía trên, mạch đã hầu như hoàn tất như dưới đây:



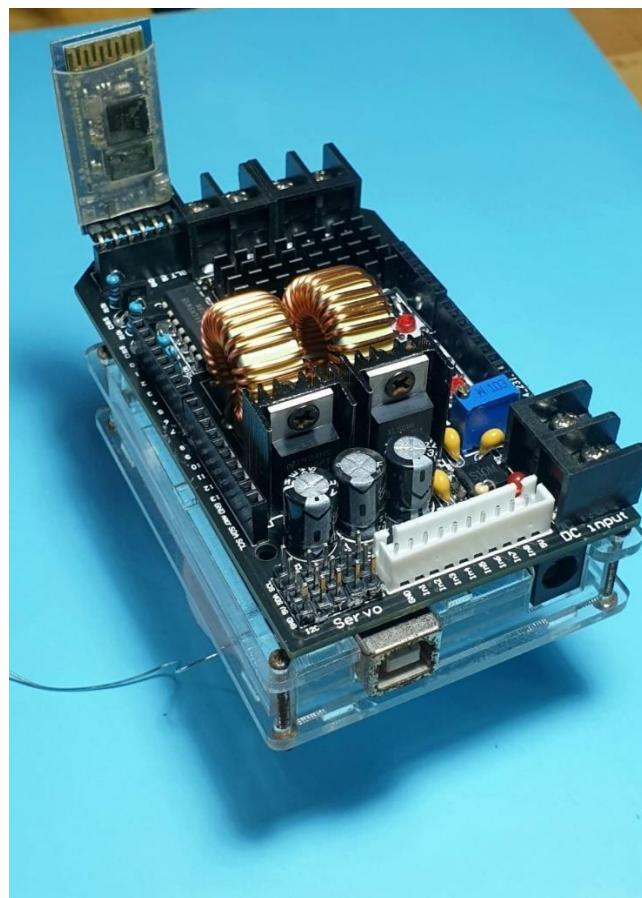
Hình 6a. Mạch 3D view trong Altium Designer



Hình 6b. Hình ảnh mạch được render trên KeyShot

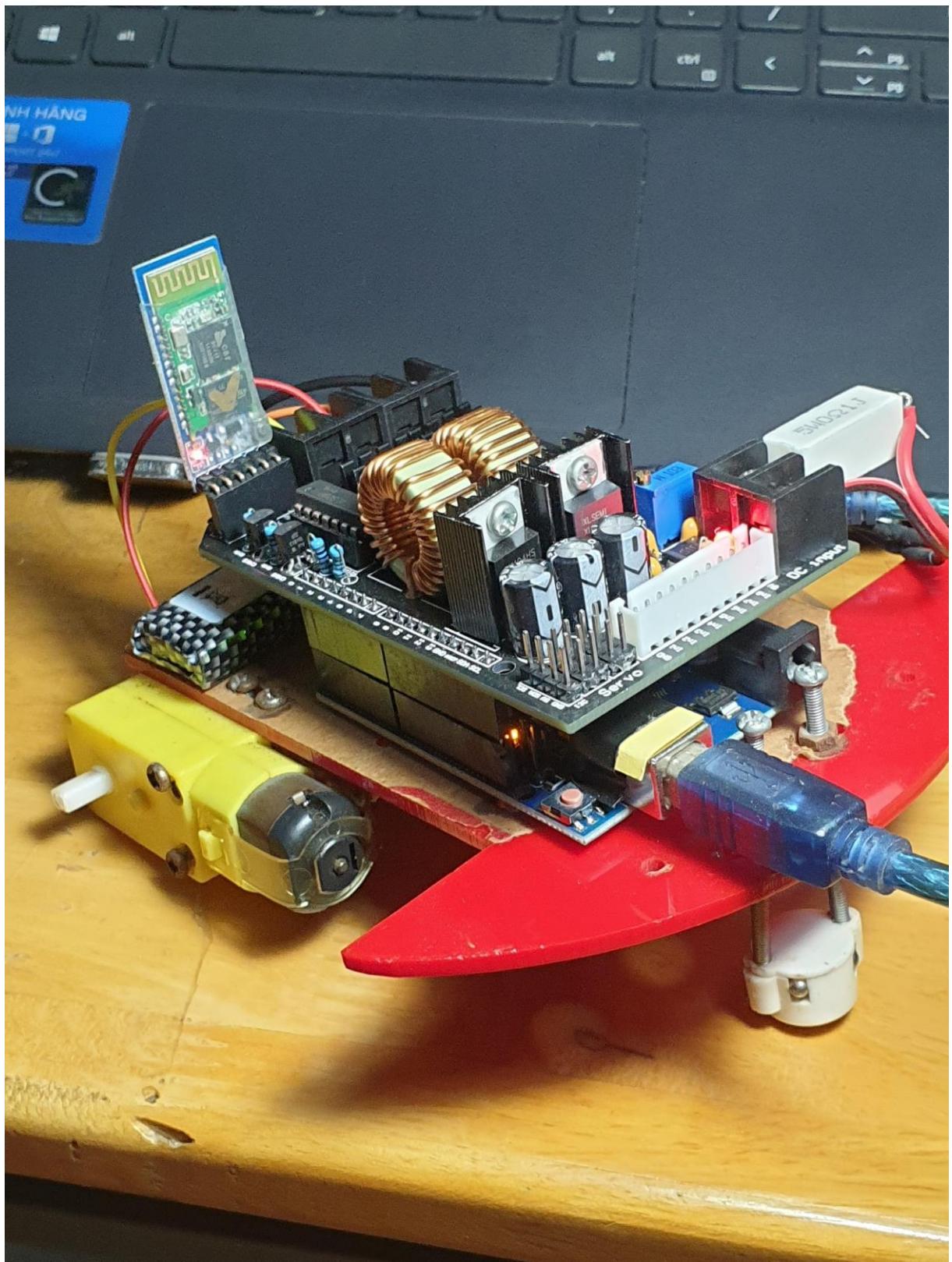


1) Mạch chưa kết nối Bluetooth



2) Mạch đã kết nối Bluetooth

Hình 6c. Hình ảnh mạch thật đã được hàn linh kiện đầy đủ

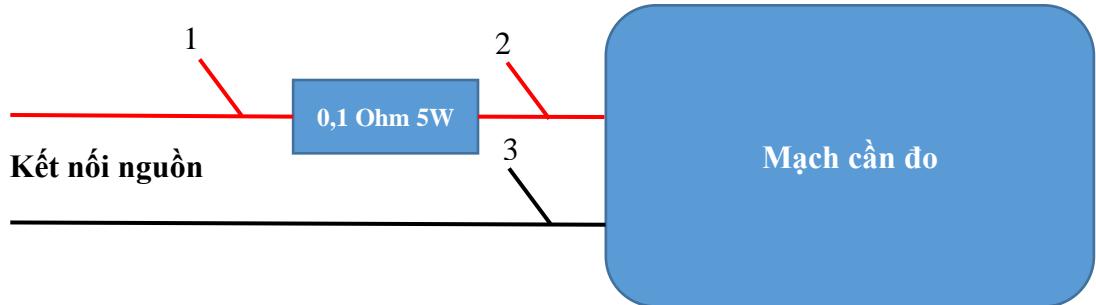


Hình 6d. Hình ảnh mạch thật lắp vào xe 2 bánh mô phỏng, có kết nối Bluetooth

CHƯƠNG VII. TESTING & DOCUMENTING

7.1. Nguyên lý chung

Nhằm thực hiện đo đặc tính toán các thông số cần thiết như dòng điện và công suất tiêu thụ của mạch trong nhiều trạng thái khác nhau, nhóm sử dụng phương pháp mắc nối tiếp với một điện trở có giá trị 0.1 Ohm 5W như hình 7a.



Hình 7a. Minh họa cách test mạch

Giữa điểm tham chiếu 1 và 2 ta đo được hiệu điện thế giữa hai đầu điện trở U_R , còn giữa điểm tham chiếu 2 và 3 ta đo được hiệu điện thế giữa hai đầu mạch $U_{mạch}$.

$$\text{Cường độ dòng điện tối đa đi qua điện trở là: } I_{R \max} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{5}{0.1}} \approx 7 \text{ (A)}$$

Ta thấy giá trị của $I_{R \max}$ đáp ứng được yêu cầu của BTL đề ra.

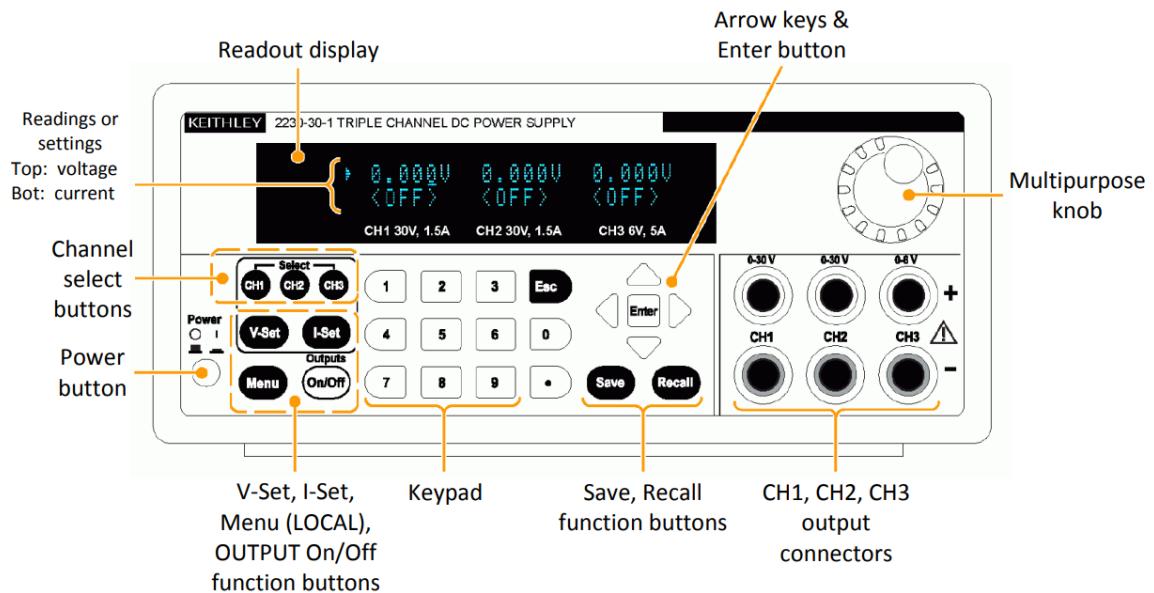
Với cách mắc nối tiếp trên, dòng điện đi qua con trở bằng dòng điện đi qua mạch cần đo, tức $I_R = I$. Vì thế, bằng cách đo U_R , áp dụng định luật Ohm $I_R = \frac{U_R}{R}$ ta dễ dàng biết được cường độ dòng điện I đi qua mạch. Công suất tiêu thụ của mạch được tính như sau:

$$P_{tiêu thụ} = U_{mạch} \cdot I \text{ (W)}$$

Sử dụng các loại máy trong phòng thí nghiệm để đo liên tục và tính giá trị trung bình trong khoảng thời gian nhất định, ta có được số liệu cần thu thập.

7.2. Tiến hành đo trong nhiều trạng thái khác nhau

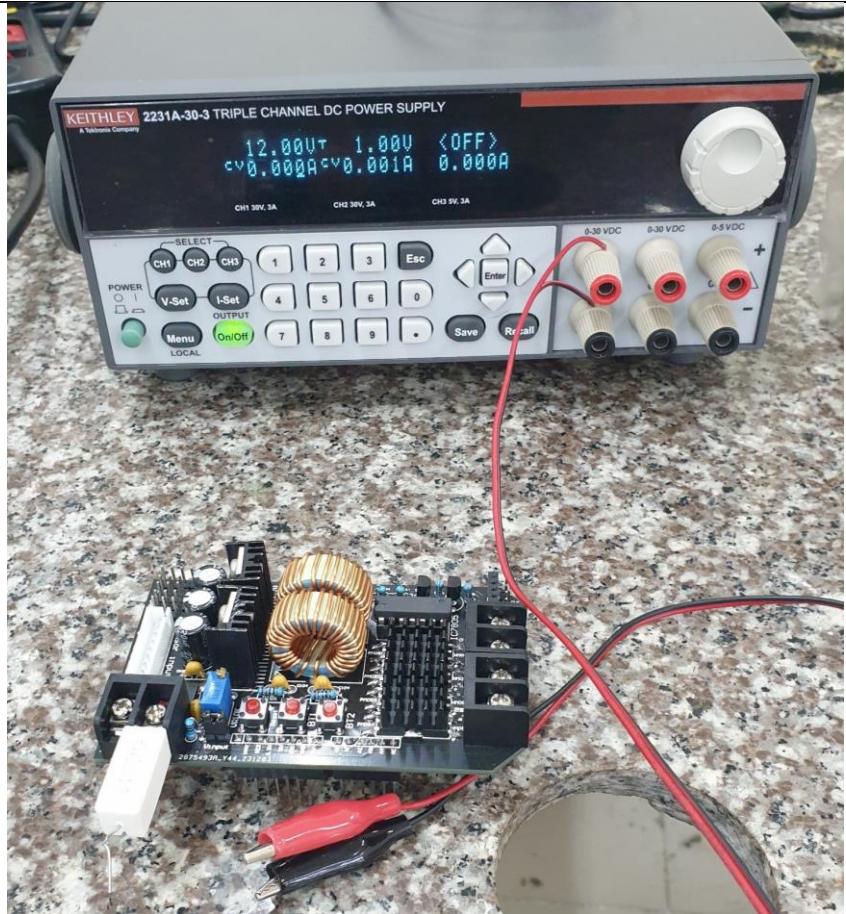
Với nguyên lý chung như trên, ta cần sử dụng máy cấp nguồn 3 ngõ ra (Keithley 2231A-30-3) và máy dao động kỹ (oscilloscope).



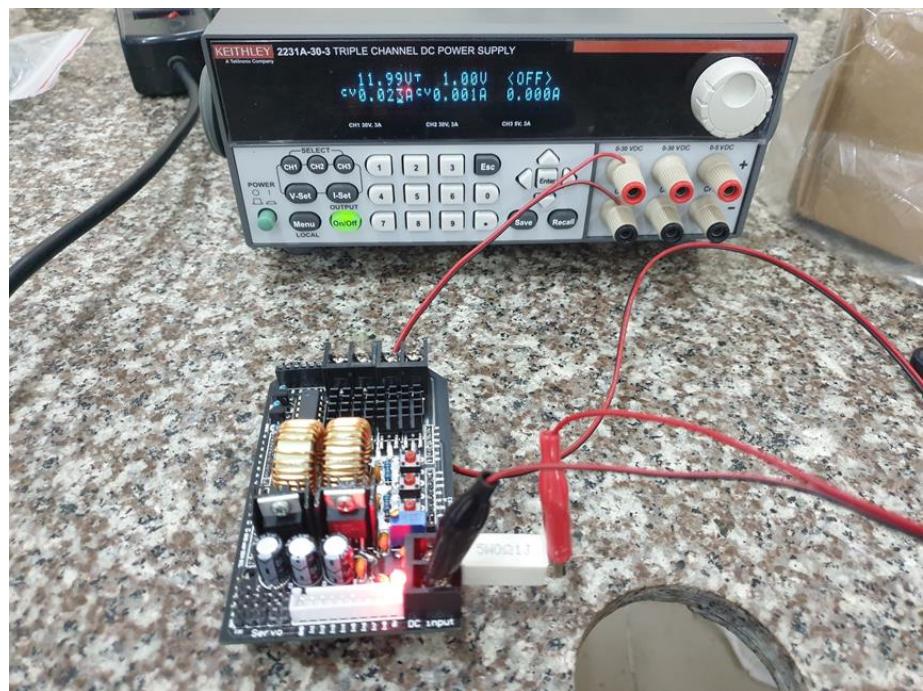
Hình 7b. Giao diện chính của máy cấp nguồn 3 ngõ ra

Sử dụng máy cấp nguồn 3 ngõ ra như sau:

- Đầu tiên, sử dụng dây kết nối mạch với kênh 1 của máy cấp nguồn.
- Tiếp theo, ấn nút power button, sau đó chọn kênh 1 bằng cách ấn nút CH1.
- Tại kênh 1, nhập giá trị giới hạn của điện áp (12V) và giá trị giới hạn của dòng điện (3A) bằng keypad, sau đó nhấn enter.
- Ấn nút OUTPUT On/Off, kênh 1 chính thức được kích hoạt. Dòng <OFF> sẽ biến mất và được thay thế bằng giá trị dòng điện tại thời điểm đo.
- Kiểm tra giá trị và sau khi xong việc, ấn nút OUTPUT On/Off 1 lần nữa để kết thúc quá trình. Sau đó ấn nút power button 1 lần nữa để tắt máy và thu dọn dây kết nối mạch.



1) Đặt các giá trị giới hạn



2) Tiến hành kết nối dây vào máy cấp nguồn

Hình 7c. Sử dụng máy cấp nguồn cho mạch

Sau khi cấp nguồn cho mạch, nhóm sẽ đo đặc số liệu trong nhiều trạng thái khác nhau bằng máy dao động ký (oscilloscope) để đánh giá tổng quan mạch có đáp ứng được yêu cầu đã đặt ra hay không.

Sử dụng máy dao động ký (oscilloscope) để đo mạch như sau:

– Đầu tiên, kết nối máy với nguồn điện và bật nó lên. Kết nối que thăm dò của máy với mạch, chọn chế độ đo DC.

– Tiếp theo, chỉnh dải thời gian time base, cài đặt độ nhạy sensitivity cũng như đặt độ phân giải resolution để tín hiệu hiển thị rõ ràng. Hình ảnh tín hiệu sẽ được hiển thị rõ ràng trên màn hình.

– Án nút Measure để tính toán các số liệu trung bình trong một chu kỳ. Chờ cho các số liệu ổn định, ghi chép lại các giá trị hiển thị. Sau khi xong việc, cài đặt lại về trạng thái ban đầu, sau đó tắt máy và thu gọn dây kết nối mạch.

Các trạng thái được mô tả lần lượt như sau:

– Trạng thái nghỉ: khi mạch được cấp nguồn và không kết nối với bất kỳ một mạch hay thiết bị ngoại vi nào khác. Mạch chưa được kích hoạt và không có bất kỳ hoạt động nào.

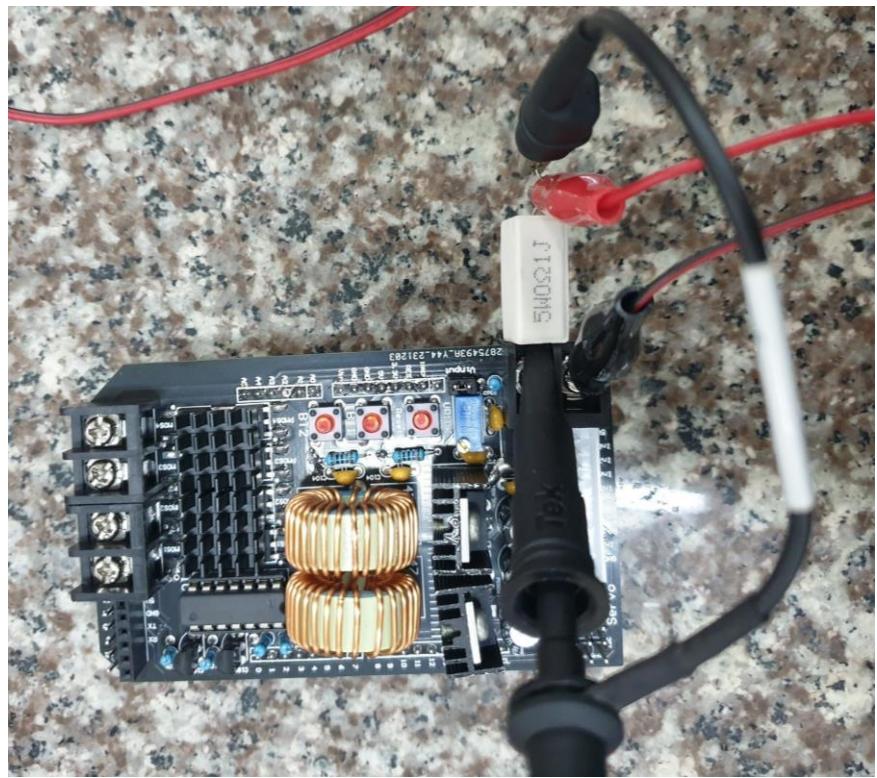
– Trạng thái nghỉ có Arduino: tương tự như trạng thái nghỉ, nhưng mạch được kết nối thêm với Arduino UNO R3.

– Trạng thái nghỉ có Arduino và Bluetooth: tương tự như trạng thái nghỉ, nhưng mạch được kết nối thêm với Arduino UNO R3 và module Bluetooth.

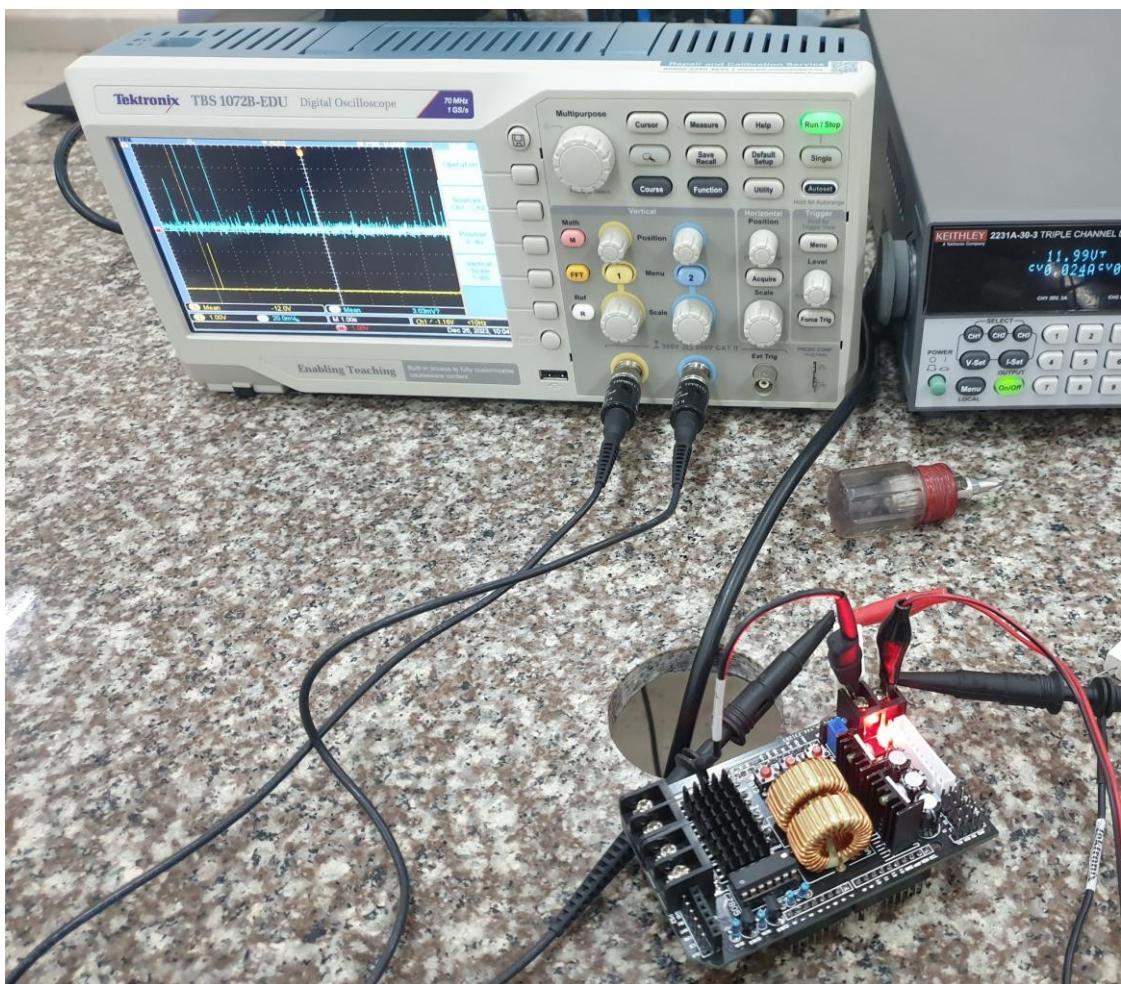
– Trạng thái 2 động cơ đảo chiều liên tục tự động (không Bluetooth): khi mạch được cấp nguồn và chỉ kết nối với Arduino UNO R3. Mạch được kích hoạt và động cơ đảo chiều liên tục tự động trong 50% thời gian.

– Trạng thái 2 động cơ hoạt động liên tục (không Bluetooth): khi mạch được cấp nguồn và chỉ kết nối với Arduino UNO R3. Mạch được gắn trên xe 2 bánh mô phỏng, được kích hoạt để điều khiển 2 động cơ quay trong 100% thời gian.

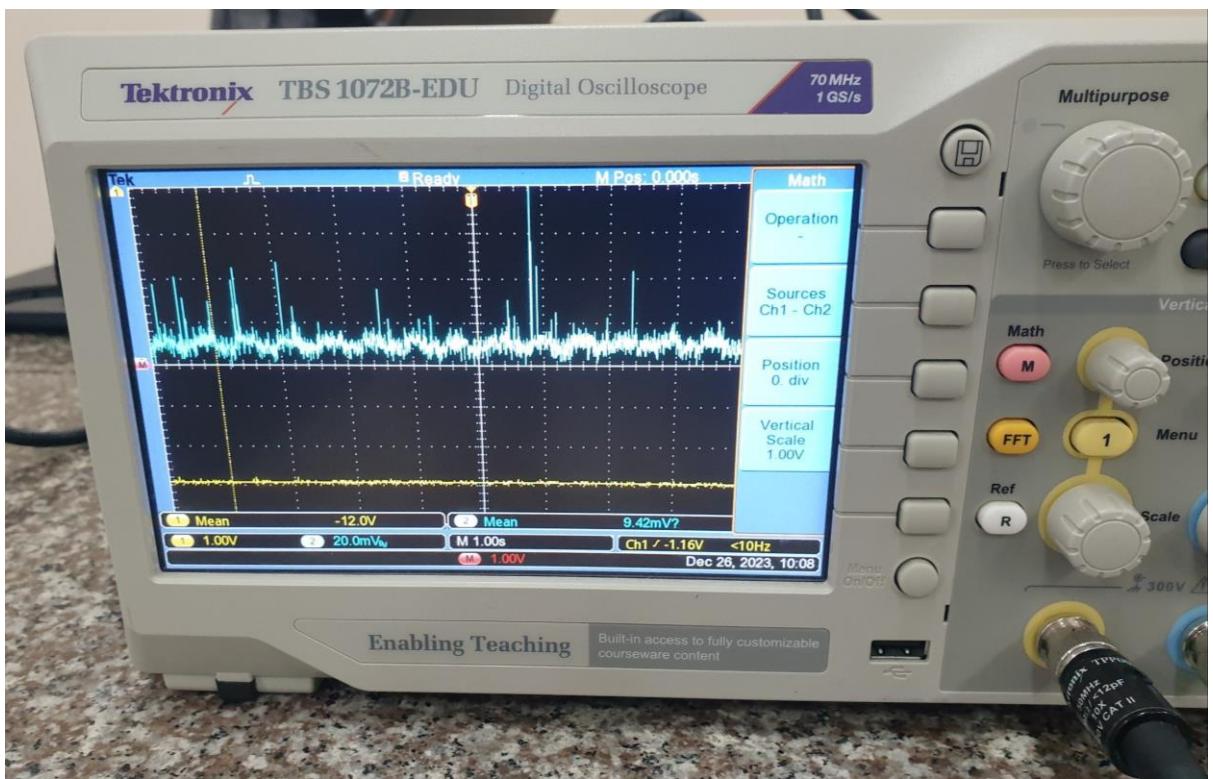
– Trạng thái hoạt động thực tế (có Bluetooth): khi mạch được cấp nguồn và kết nối với Arduino UNO R3 và module Bluetooth (điều khiển ngẫu nhiên trong quá trình đo bằng điện thoại). Mạch được gắn trên xe 2 bánh mô phỏng, được kích hoạt để điều khiển ngẫu nhiên.



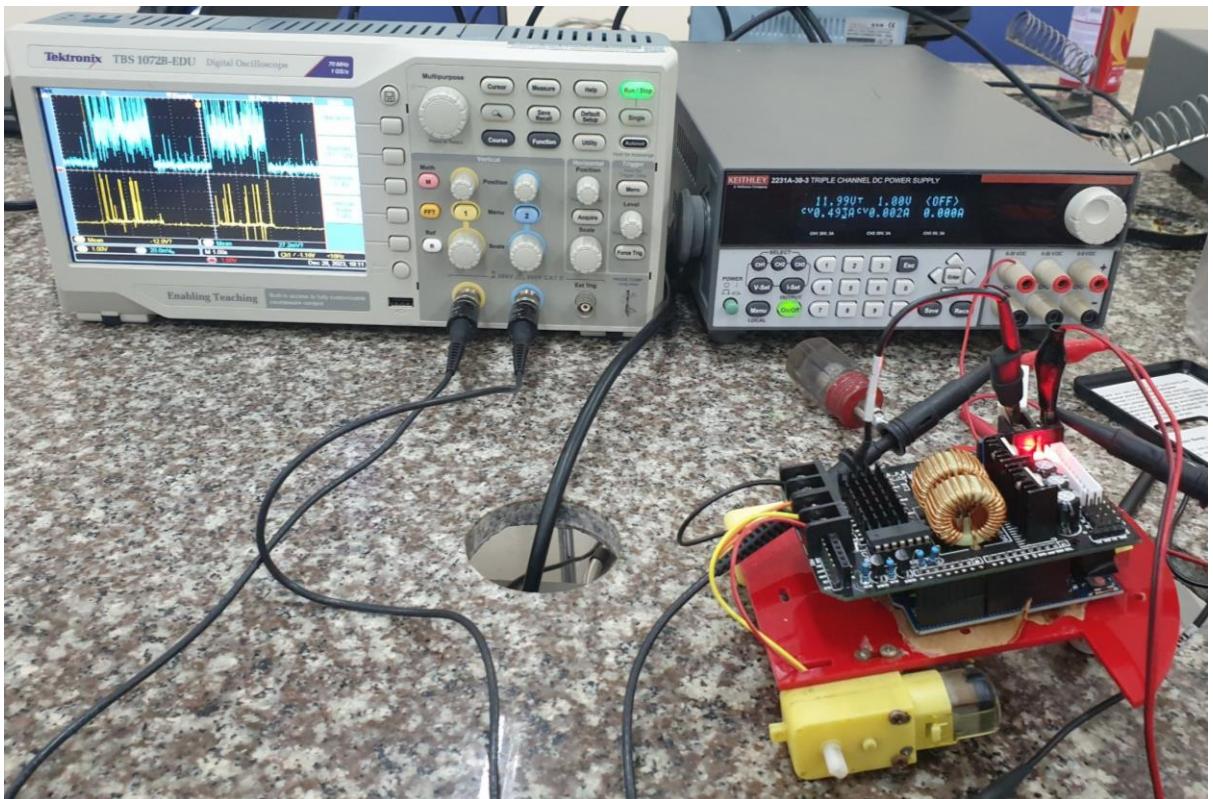
Hình 7d. Kết nối que thăm dò



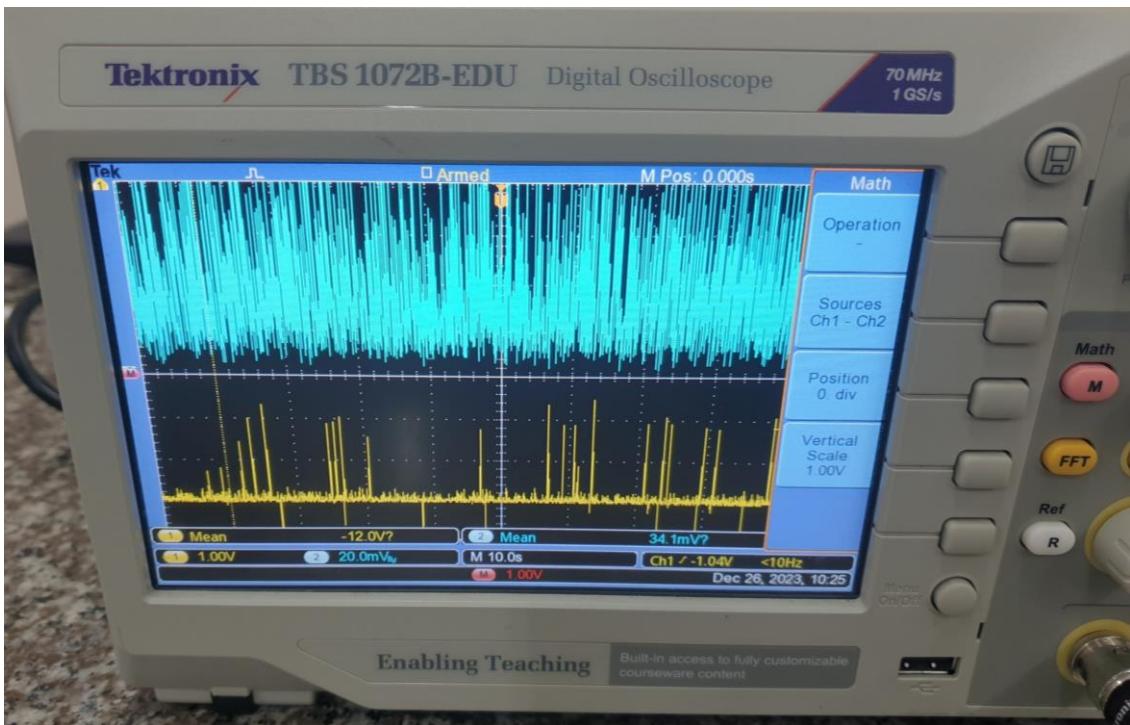
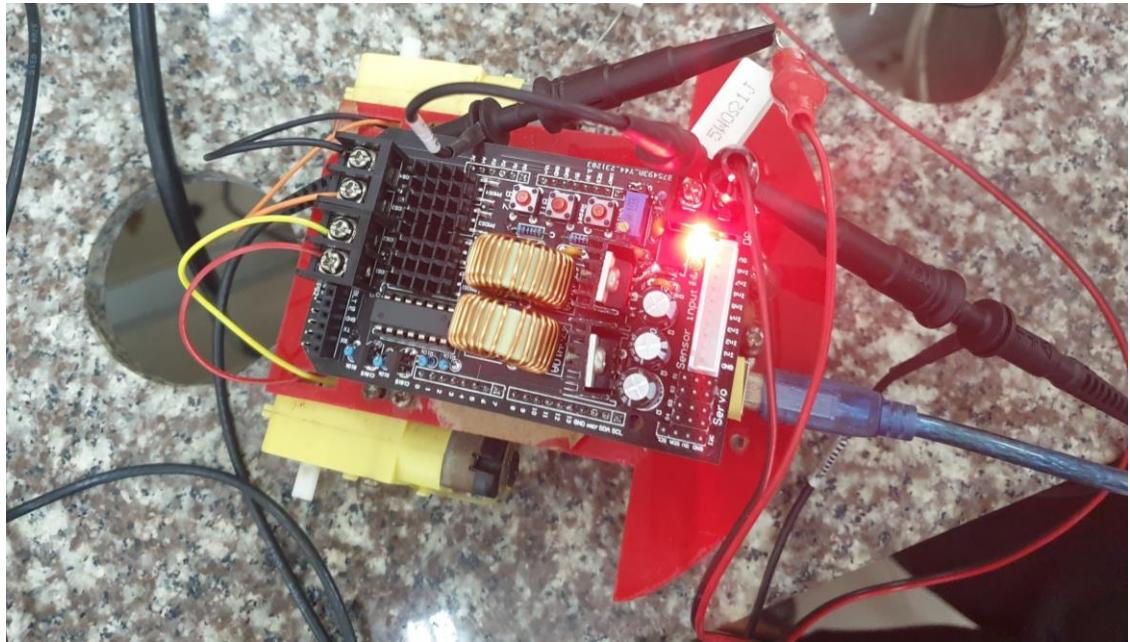
Hình 7e. Trang thái nghỉ



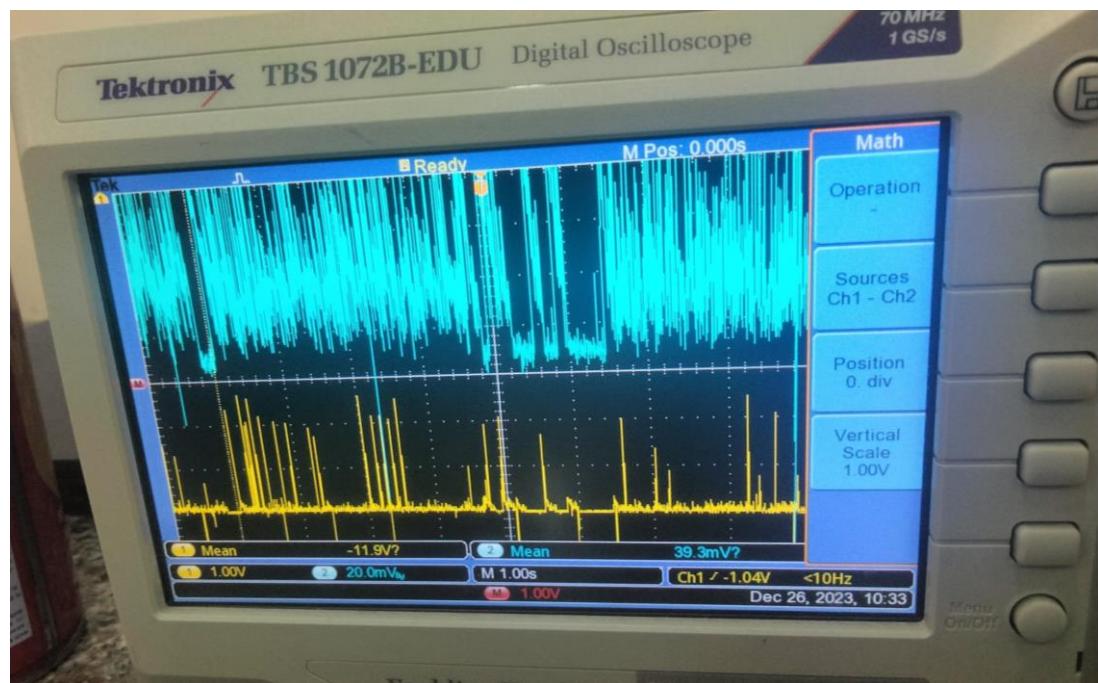
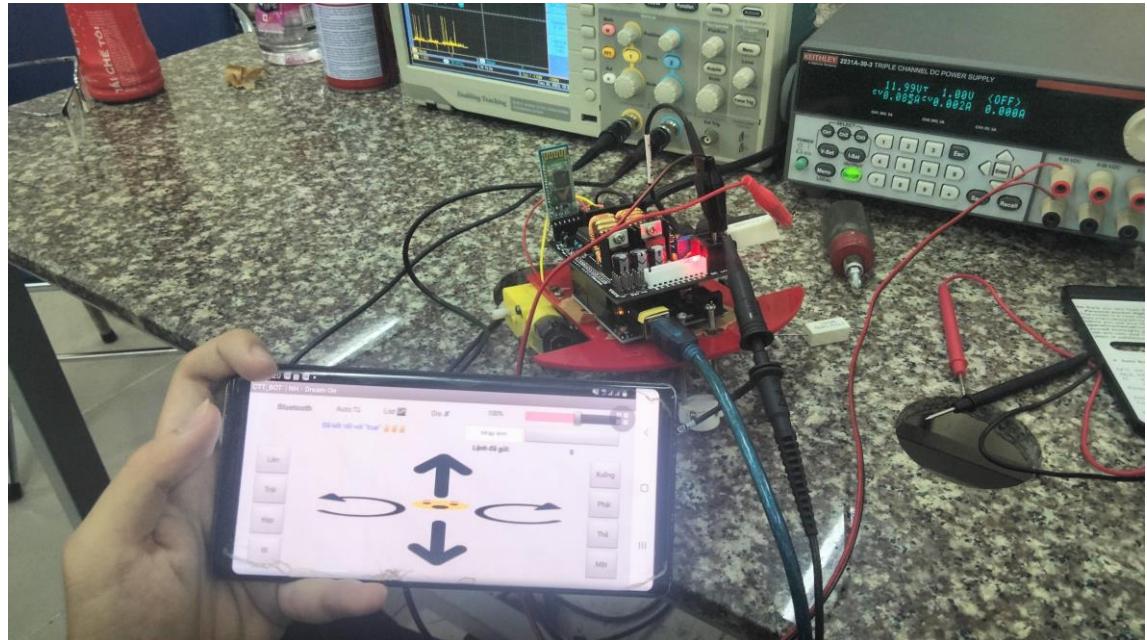
Hình 7f. Trạng thái nghỉ có Arduino và Bluetooth



Hình 7g. Trạng thái 2 động cơ đảo chiều liên tục tự động (không Bluetooth)



Hình 7h. Trạng thái 2 động cơ hoạt động liên tục (không Bluetooth)



Hình 7i. Trạng thái hoạt động thực tế (có Bluetooth)

7.3. Bảng số liệu chi tiết

Sau khi sử dụng nguyên lý đã nêu trên và thực hiện đo đạc các đại lượng $U_{mạch}$ và U_R tại phòng thí nghiệm, toàn bộ các trạng thái và số liệu liên quan đều được liệt kê và tính toán ở bảng dưới đây:

STT	Trạng thái	$U_{mạch}$ (V)	U_R (mV)	I (A)	$P_{tiêu thụ}$ (W)
1	Nghi	12	2.84	0.0284	0.3408
2	Nghi có Arduino	12	7.63	0.0763	0.9156
3	Nghi có Arduino và Bluetooth	12	9.42	0.0942	1.1304
4	2 động cơ đảo chiều liên tục tự động (không Bluetooth)	12	27.5	0.275	3.3
5	2 động cơ hoạt động liên tục (không Bluetooth)	12	34.1	0.341	4.092
6	Hoạt động thực tế (có Bluetooth)	11.9	39.3	0.393	4.6767

7.4. Kết luận

Từ bảng số liệu trên, ta có thể rút ra một vài kết luận như sau:⁵

- Tại trạng thái nghỉ, $P_{tiêu thụ} = 0.3W$. Lúc không hoạt động mạch có công suất tiêu thụ thấp, đảm bảo tiết kiệm năng lượng, và có tiềm năng hiệu suất hoạt động cao.
- Ngay cả khi kết nối thêm Arduino UNO R3 và module Bluetooth vào mạch trong trạng thái nghỉ, $P_{tiêu thụ} \leq 1.2W$. Trạng thái hoạt động thực tế trong 100% thời gian cũng chỉ tiêu thụ 4.0 – 4.7W. Nhìn chung mức tiêu thụ của mạch khá ổn định, không quá cao.

⁵ Các số liệu trên chỉ mang tính chất tham khảo. Công suất tiêu thụ thực tế còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như nguồn cấp là gì, công suất của động cơ là lớn hay nhỏ, sa bàn hoạt động của robot...

– Các thông số thiết kế ban đầu được đảm bảo. Cường độ dòng điện đi qua mạch ban đầu được giới hạn ở mức 3A, khi đo đặc tính toán chỉ nằm trong khoảng từ 0.02 – 0.4A. Việc này đảm bảo mạch hoạt động chính xác như những gì ta đã đề ra và mạch an toàn với người sử dụng.

– Mạch có khả năng hoạt động bền bỉ và ổn định, quá trình chuyển đổi trạng thái mượt mà, chưa bao giờ lỗi kĩ thuật nào. Điều này giúp cho việc điều khiển xe 2 bánh kèm theo trở nên chính xác hơn.

Tóm lại, mạch đã đáp ứng được các yêu cầu ban đầu nhóm đặt ra và có các điểm mạnh, điểm ưu thế kèm với tính ứng dụng cao.

KẾT LUẬN CHUNG

Qua quá trình thực hiện bài tập lớn môn học Mạch điện - Điện tử, nhóm đã thiết kế và hiện thực thành công một mạch điện hợp lý, khả thi, có tính sáng tạo, hoạt động tốt và đáp ứng đầy đủ các yêu cầu được môn học đề ra. Bài tập lớn này được thực hiện dựa trên các nội dung đã được học trên lớp, kèm với các nguyên lý, quy trình thiết kế mạch được học trong các giờ thí nghiệm và xuyên suốt quá trình học môn học.

Nhóm đã tiến hành hiện thực mạch điện thông qua đầy đủ các bước của trong quy trình “engineering process”, đồng thời nhóm biết được cách chọn các linh kiện phù hợp, bố trí linh kiện hợp lý và đi dây trên mạch một cách chính xác. Sau khi hoàn thành việc lắp ráp mạch điện, nhóm đã tiến hành kiểm tra và đánh giá tổng quát hoạt động của mạch bằng cách áp dụng các phương pháp và công cụ đo lường, phân tích tín hiệu tại các lớp thí nghiệm, kết quả cho thấy được hiệu suất và độ tin cậy của mạch điện so với yêu cầu đề ra.

Tổng kết lại, việc hoàn thành được bài tập lớn môn học này đã mang lại cho nhóm nhiều kiến thức, kỹ năng và trải nghiệm đáng giá, nhóm được rèn luyện và nâng cao khả năng tư duy “engineering mindset”, kỹ năng thiết kế và khả năng xử lý vấn đề trong lĩnh vực mạch điện. Với sự nỗ lực đó, nhóm tự tin có thể đạt được kết quả tốt khi kết thúc môn học này.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

A. BOOK

1. Charles K Alexander, Matthew Sadiku, *Fundamentals of Electric Circuits*
2. Boylestad, Robert_ Nashelsky, Louis, *Electronic devices and circuit theory-Pearson* (2014)

B. WEBSITE

1. Cộng đồng Arduino Việt Nam, arduino.vn
2. DroneBot Workshop, *Driving DC Motors with Microcontrollers*,
<https://www.youtube.com/watch?v=ygrsIqWOh3Y>
3. DroneBot Workshop, *Linear DC Power Supplies - Designing & Building Custom DC Power Supplies*,
<https://www.youtube.com/watch?v=nVpgO6xEF8Y>
4. Paul McWhorter, *Arduino Tutorial 37: Understanding How to Control DC Motors in Projects*, <https://www.youtube.com/watch?v=fPLEncYrl4Q>

C. DATASHEET

1. MOSFET Kênh N 80V 30A IRLR2908,
<https://www.infineon.com/dgdl/irlr2908pbf.pdf?fileId=5546d462533600a40153566cdace2681&redirId=112287>
2. MOSFET Kênh P 60V 10A STD10PF06T4,
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/std10pf06.pdf>
3. C1815L Transistor NPN 50V 0.15A,
<https://www.thegioiic.com/upload/documents/a90ab2c7f073bcd20d51bab91014feff.pdf>
4. XL4016E1 IC Điều Chỉnh Giảm Áp 8A,
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1134369/XLSEMI/XL4016.html>
5. LM2596T-5.0 IC Điều Chỉnh Giảm Áp 5V 3A,
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
6. SN74HC08N IC Quad 2-Input AND Logic Gate
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc08.pdf>