

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ



HỌC PHẦN EE3003: THIẾT KẾ HỆ THỐNG NHÚNG

TÀI LIỆU YÊU CẦU HỆ THỐNG
(System Requirements)
HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ DC

LỚP TN01 - NHÓM 02

Người thực hiện

Đặng Hà Minh Tuấn

Nguyễn Đình Quyền

Giảng viên hướng dẫn

ThS.Bùi Quốc Bảo

TP.HCM, 18/09/2025

MỤC LỤC

MỤC LỤC	1
TỔNG QUAN.....	2
SYSTEM REQUIREMENT	3
SUBSYSTEM REQUIREMENT	4
SYSTEM ARCHITECTURE	6
USE CASE MODELLING	7
1. Nguồn và bảo vệ	7
Use Case Diagram.....	7
Use Case Specification	8
2. Truyền động động cơ	13
Use Case Diagram.....	13
Use Case Specification	14
3. Xử lý và điều khiển.....	18
Use Case Diagram.....	18
Use Case Specification	19
4. Truyền thông UART	24
Use Case Diagram.....	24
Use Case Specification	25
5. Phần mềm và giao diện người dùng.....	27
Use Case Diagram.....	27
Use Case Specification	28
Case-Requirement Traceability Matrix.....	30
HARDWARE REQUIREMENTS.....	31
Hardware consideration	33
Hardware Traceability Matrix.....	34

TỔNG QUAN

Tài liệu này mô tả tập hợp các yêu cầu của hệ thống điều khiển động cơ DC, nhằm đảm bảo thiết kế, triển khai, kiểm chứng và vận hành có thể thực hiện một cách thống nhất, minh bạch và có thể truy vết.

Mục đích của tài liệu là:

- Xác định đầy đủ các yêu cầu của hệ thống, bao gồm yêu cầu chức năng, phi chức năng, an toàn, giao diện và vận hành.
- Đảm bảo rằng các yêu cầu được viết ở mức có thể kiểm chứng, đo lường và truy vết trong suốt vòng đời phát triển.
- Làm cơ sở để thiết kế, triển khai, kiểm thử, tích hợp và nghiệm thu hệ thống.

Hệ thống điều khiển động cơ DC được phát triển với mục tiêu:

- Điều khiển chính xác tốc độ và chiều quay của động cơ.
- Cho phép người dùng nhập giá trị đặt và giám sát trạng thái thông qua giao diện trực quan.
- Vận hành an toàn, liên tục, tin cậy trong điều kiện bình thường.
- Bảo vệ phần cứng và người dùng khi xảy ra sự cố.
- Tương thích với các khối mạch khác.

Tài liệu này không bao gồm:

- Điều khiển nâng cao nhiều động cơ cùng lúc.
- Giao tiếp phức tạp với hệ thống mạng hoặc giao thức công nghiệp (CAN, Modbus, v.v.).
- Tích hợp cảm biến ngoài tốc độ (như cảm biến vị trí, nhiệt độ chi tiết động cơ).
- Các yêu cầu tích hợp vào hệ thống phức tạp khác ngoài phạm vi ứng dụng đã nêu.
- Yêu cầu về môi trường khắc nghiệt (nhiệt độ cao, bức xạ, chân không)

SYSTEM REQUIREMENT

SYS-1: Hệ thống phải điều khiển được tốc độ và chiều quay của động cơ DC.

SYS-2: Hệ thống phải cho phép người dùng nhập tốc độ mong muốn và quan sát tốc độ thực tế.

SYS-3: Hệ thống phải duy trì tốc độ trong giới hạn sai số cho phép và phản ứng nhanh khi thay đổi tốc độ đặt.

SYS-4: Hệ thống phải sẵn sàng hoạt động trong vòng 3 giây sau khi bật nguồn. SYS-5: Hệ thống phải hoạt động liên tục tối thiểu 8 giờ mà không xảy ra lỗi hoặc reset ngoài ý muốn.

SYS-6: Hệ thống phải có cơ chế bảo vệ khi xảy ra sự cố (quá dòng, mất tín hiệu, lỗi phản hồi).

SYS-7: Hệ thống phải được thiết kế để hạn chế nhiễu điện giữa phần công suất và mạch điều khiển.

SYS-8: Hệ thống phải hoạt động ổn định trong điều kiện thông thường.

SUBSYSTEM REQUIREMENT

SYS-1: Hệ thống phải điều khiển được tốc độ và chiều quay của động cơ DC.

SYS-1.1: Hệ thống phải có khả năng đo tốc độ động cơ.

SYS-1.2: Hệ thống phải có khả năng thay đổi công suất cấp để điều chỉnh tốc độ.

SYS-1.3: Hệ thống phải có khả năng đảo chiều quay theo lệnh điều khiển.

SYS-2: Hệ thống phải cho phép người dùng nhập tốc độ mong muốn và quan sát tốc độ thực tế.

SYS-2.1: Giao diện phải cho phép nhập giá trị tốc độ mục tiêu từ 0% set point cho tới 100% set point

SYS-2.2: Giao diện phải hiển thị tốc độ thực tế của động cơ.

SYS-2.3: Giao diện phải có khả năng kết nối với thiết bị giám sát bên ngoài, thông qua giao tiếp UART, tốc độ baud 115200

SYS-3: Hệ thống phải duy trì tốc độ trong giới hạn sai số cho phép và phản ứng nhanh khi thay đổi tốc độ đặt.

SYS-3.1: Sai số xác lập không vượt quá $\pm 5\%$ so với tốc độ đặt.

SYS-3.2: Thời gian đáp ứng phải nhỏ hơn hoặc bằng 200 ms khi thay đổi tốc độ đặt.

SYS-4: Hệ thống phải sẵn sàng hoạt động trong vòng 3 giây sau khi bật nguồn.

SYS-4.1: Sau khi cấp nguồn, hệ thống phải vào trạng thái sẵn sàng điều khiển trong ≤ 3 giây.

SYS-5: Hệ thống phải hoạt động liên tục tối thiểu 8 giờ mà không xảy ra lỗi hoặc reset ngoài ý muốn.

SYS-5.1: Trong suốt thời gian hoạt động, hệ thống không được tự khởi động lại ngoài ý muốn.

SYS-6: Hệ thống phải có cơ chế bảo vệ khi xảy ra sự cố (quá dòng, mất tín hiệu, lỗi phản hồi).

SYS-6.1: Hệ thống phải phát hiện tình trạng quá dòng.

SYS-6.2: Hệ thống phải phát hiện tình trạng mất tín hiệu phản hồi.

SYS-6.3: Khi xảy ra sự cố, hệ thống phải ngắt tín hiệu điều khiển để bảo vệ phần cứng.

SYS-6-4: Khi lỗi nghiêm trọng xảy ra, hệ thống phải ngắt nguồn cấp cho động cơ ngay lập tức.

SYS-7: Hệ thống phải được thiết kế để hạn chế nhiều điện giữa phần công suất và mạch điều khiển.

SYS-7.1: Đường nguồn động cơ phải được tách biệt với đường tín hiệu điều khiển.

SYS-7.2: Mạch phải có biện pháp lọc nhiễu phù hợp.

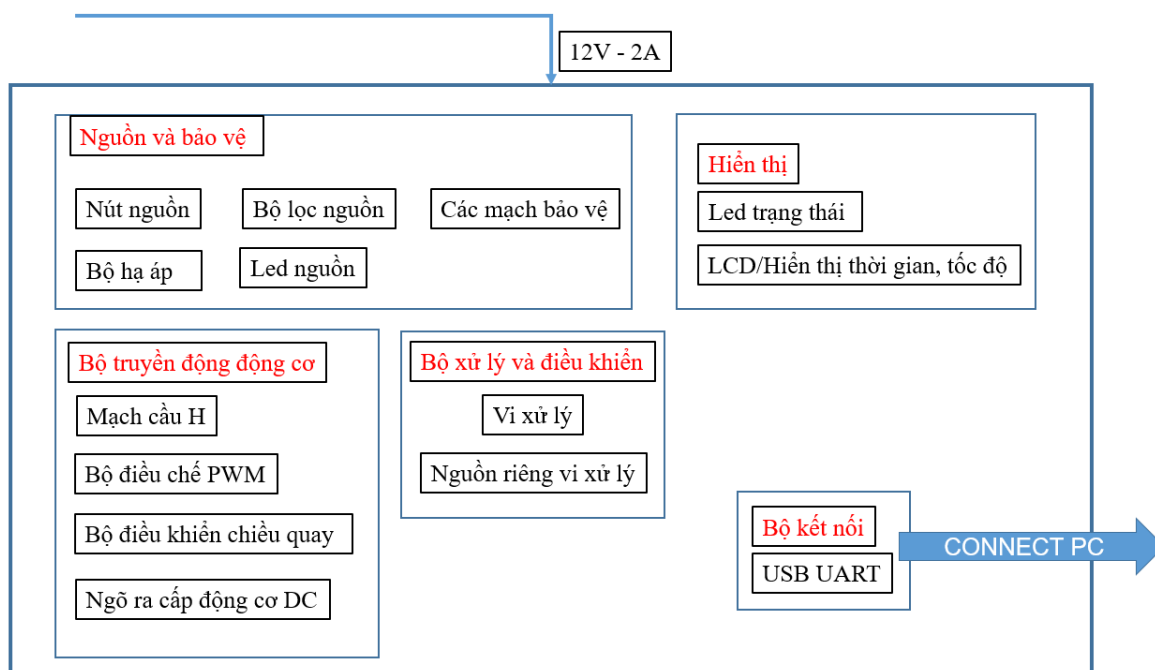
SYS-8: Hệ thống phải hoạt động ổn định trong điều kiện thông thường.

SYS-8.1: Hệ thống phải vận hành với điện áp ổn định 12V DC.

SYS-8.2: Dòng tiêu thụ tối đa không vượt quá 3A.

SYS-8.3: Hệ thống phải hoạt động ổn định trong nhiệt độ môi trường từ 25 độ C đến 50°C.

SYSTEM ARCHITECTURE

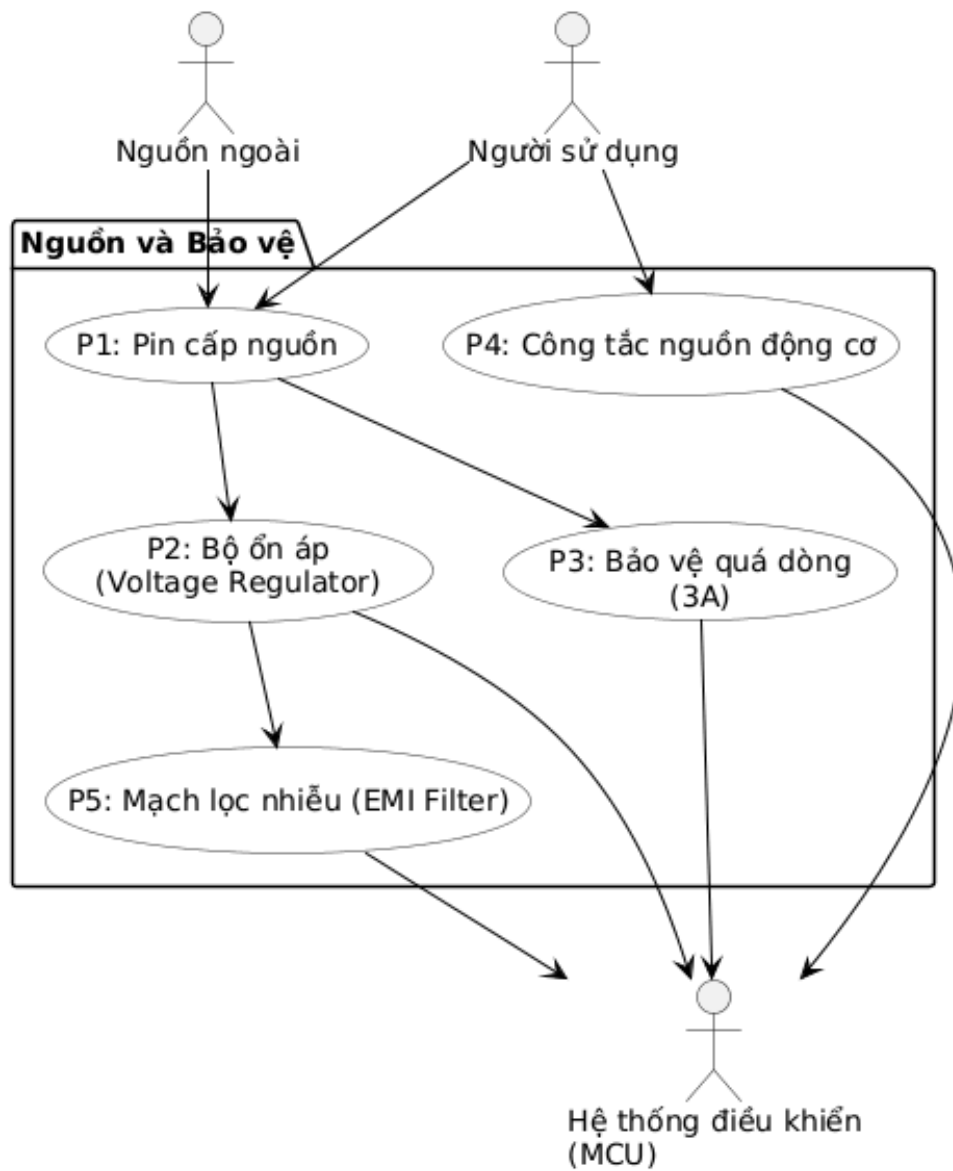


Nguồn và bảo vệ Pin cấp nguồn Bộ ổn áp về điện áp cấp cho vi điều khiển Bảo vệ quá dòng (3A) Công tắc nguồn động cơ Mạch lọc nhiễu	Truyền động động cơ Mạch cầu H (H-Bridge Driver) Bộ điều chế PWM Bộ điều khiển chiều quay Ngõ ra cấp động cơ DC
Xử lý và điều khiển Tạo tín hiệu PWM theo tốc độ đặt Điều khiển chiều quay Quản lý khởi động hệ thống (≤ 3 giây) Phát hiện trạng thái bất thường Kích hoạt chế độ bảo vệ khi lỗi	Truyền thông UART Khối UART-USB Khối khung truyền dữ liệu Phần mềm và giao diện người dùng Khối nhập lệnh tốc độ Khối hiển thị tốc độ

USE CASE MODELLING

1. Nguồn và bảo vệ

Use Case Diagram



Use Case Specification

Use Case Name	Pin cấp nguồn
Use Case ID	P1
Scope	Cung cấp nguồn điện đầu vào cho toàn bộ hệ thống điều khiển động cơ DC
Primary Actor(s)	Người sử dụng, nguồn điện ngoài (adapter, pin, nguồn DC)
Stakeholders and Interests	Người dùng: Muốn hệ thống hoạt động ổn định ngay khi cấp nguồn, Hệ thống điều khiển: Nhận nguồn điện đúng mức, ổn định để khởi động và duy trì hoạt động.
Preconditions	Nguồn ngoài sẵn sàng với điện áp danh định (112 VDC). Cực tính được kết nối chính xác với đầu vào hệ thống.
Postconditions	Hệ thống được cấp nguồn điện và chuyển sang trạng thái sẵn sàng khởi động.
Main Flow of Events	Người dùng kết nối nguồn điện ngoài vào chân cấp nguồn của hệ thống. Hệ thống nhận điện áp đầu vào. Nguồn được chuyển tới khối ổn áp để xử lý tiếp.
Alternative Flow 1	Nếu nguồn được kết nối ngược cực → mạch bảo vệ cực tính chặn dòng điện để tránh hư hại.
Alternative Flow 2	Nếu điện áp đầu vào vượt quá ngưỡng → cầu chì hoặc bảo vệ kích hoạt, ngắt nguồn để đảm bảo an toàn.
Exception Flows	Nguồn không ổn định hoặc dao động lớn → hệ thống tự ngắt hoặc không khởi động để bảo vệ phần cứng.
Includes	P2 – Bộ ổn áp cung cấp điện áp cho MCU.
Extends	
Special Requirements	Điện áp đầu vào: 12 VDC Dòng điện tối thiểu: 1 A
Assumptions	Người dùng sử dụng nguồn được khuyến nghị và kết nối đúng cách.
Notes	Đây là điều kiện khởi đầu bắt buộc cho toàn bộ hoạt động của hệ thống.
Author	
Date	

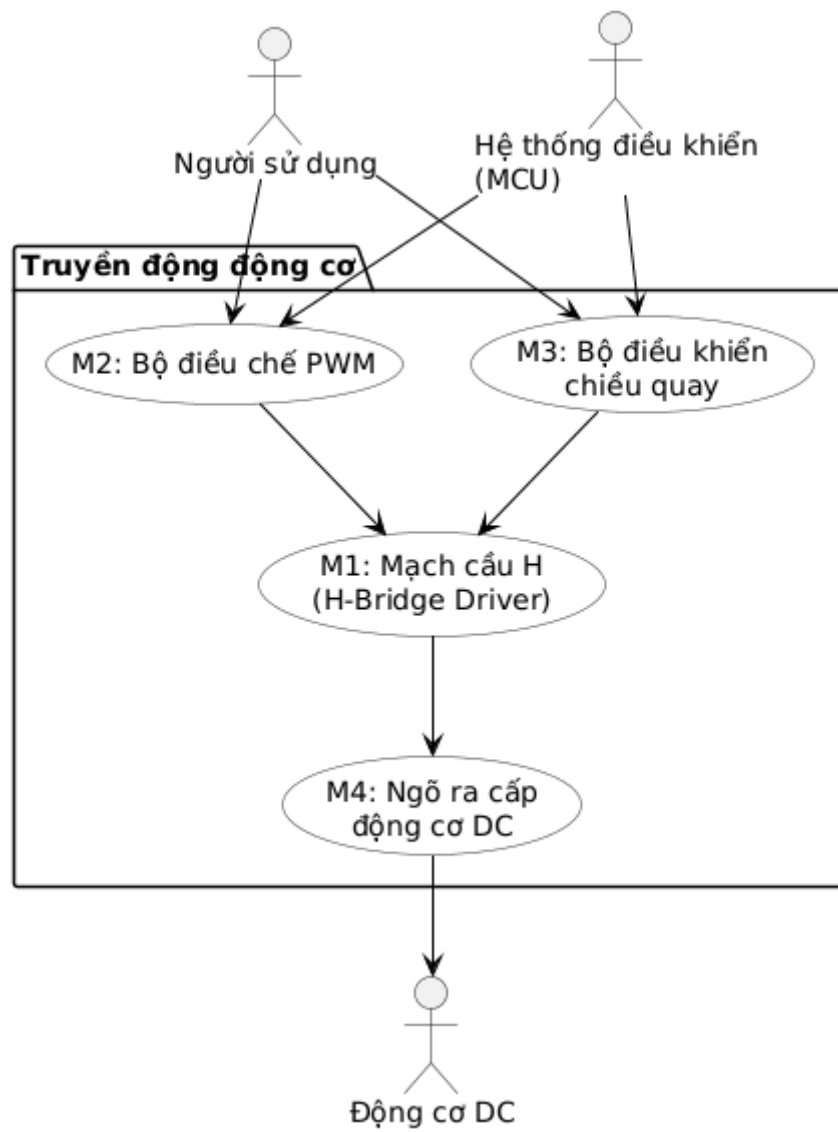
Use Case Name	Bộ ổn áp về điện áp cấp cho vi điều khiển
Use Case ID	P2
Scope	Ổn định điện áp đầu vào, cung cấp mức điện áp phù hợp (5 V hoặc 3.3 V) cho vi điều khiển và các khối logic.
Primary Actor(s)	Bộ ổn áp, hệ thống điều khiển.
Stakeholders and Interests	MCU: Nhận điện áp ổn định để hoạt động chính xác. Người sử dụng: Hệ thống hoạt động liên tục mà không bị reset hoặc lỗi do sụt áp.
Preconditions	Có điện áp đầu vào từ P1.
Postconditions	MCU và các khối logic nhận điện áp ổn định trong giới hạn cho phép.
Main Flow of Events	Bộ ổn áp nhận điện áp đầu vào từ nguồn. Hạ áp xuống mức điện áp cần thiết (5 V hoặc 3.3 V). Cấp nguồn ổn định cho MCU và các khối điều khiển.
Alternative Flow 1	Nếu nhiệt độ bộ ổn áp vượt ngưỡng → hệ thống tạm ngắt để bảo vệ IC.
Alternative Flow 2	Nếu xảy ra quá tải dòng → bộ ổn áp tự giới hạn hoặc ngắt nguồn.
Exception Flows	Bộ ổn áp hỏng → hệ thống không khởi động hoặc reset liên tục.
Includes	
Extends	
Special Requirements	Sai số điện áp: $\pm 5\%$ Thời gian ổn định: ≤ 10 ms sau khi cấp nguồn
Assumptions	Sử dụng IC ổn áp tuyến tính hoặc switching phù hợp (LM7805, AMS1117, Buck Converter).
Notes	Thành phần quan trọng để bảo đảm độ tin cậy lâu dài của hệ thống.
Author	
Date	

Use Case Name	Bảo vệ quá dòng (3A)
Use Case ID	P3
Scope	Phát hiện và bảo vệ hệ thống khi dòng điện vượt ngưỡng cho phép để tránh hư hại phần cứng.
Primary Actor(s)	Mạch bảo vệ, hệ thống điều khiển.
Stakeholders and Interests	Người sử dụng: Hệ thống an toàn, không gây cháy nổ hoặc hỏng linh kiện. Phần cứng: Không bị hư hại do dòng điện lớn bất thường.
Preconditions	Hệ thống đang hoạt động với dòng điện dưới ngưỡng giới hạn.
Postconditions	Khi xảy ra quá dòng, mạch bảo vệ ngắt tải và đưa hệ thống về trạng thái an toàn.
Main Flow of Events	Cảm biến dòng giám sát liên tục dòng tải. Khi dòng vượt quá 3 A, mạch bảo vệ được kích hoạt. Hệ thống ngắt nguồn tải để bảo vệ linh kiện.
Alternative Flow 1	Khi dòng trở lại mức an toàn, hệ thống có thể tự động khôi phục hoạt động.
Alternative Flow 2	Người dùng có thể cần reset thủ công để khởi động lại hệ thống sau khi bảo vệ kích hoạt.
Exception Flows	Mạch bảo vệ không kích hoạt đúng lúc → linh kiện bị hỏng hoặc cháy.
Includes	None
Extends	C5 – Kích hoạt chế độ bảo vệ khi lỗi.
Special Requirements	Ngưỡng bảo vệ: $3\text{ A} \pm 10\%$ Thời gian phản ứng: $\leq 5\text{ ms}$
Assumptions	Mạch bảo vệ hoạt động độc lập, không phụ thuộc vào phần mềm.
Notes	Tăng tuổi thọ linh kiện và độ an toàn tổng thể của hệ thống.
Author	
Date	

Use Case Name	Công tắc nguồn động cơ
Use Case ID	P4
Scope	Cho phép bật/tắt cấp nguồn cho động cơ một cách chủ động, hỗ trợ thao tác điều khiển và bảo trì.
Primary Actor(s)	Người sử dụng, hệ thống điều khiển.
Stakeholders and Interests	Người sử dụng: Có thể dừng động cơ khi không cần thiết hoặc trong trường hợp khẩn cấp. Hệ thống: Giám tiêu thụ năng lượng và tránh quá nhiệt.
Preconditions	Hệ thống đã được cấp nguồn ổn định và hoạt động bình thường.
Postconditions	Nguồn cấp cho động cơ được bật hoặc tắt theo lệnh điều khiển.
Main Flow of Events	Người dùng gửi lệnh bật/tắt động cơ (thủ công hoặc qua giao diện). Công tắc nguồn điều khiển cấp điện cho mạch truyền động. Động cơ khởi động hoặc dừng hoạt động tương ứng.
Alternative Flow 1	Hệ thống tự động ngắt nguồn khi phát hiện lỗi nghiêm trọng.
Alternative Flow 2	Trong chế độ tiết kiệm năng lượng, công tắc có thể tắt sau thời gian không hoạt động.
Exception Flows	Công tắc bị kẹt hoặc lỗi cơ khí → không thể điều khiển cấp nguồn.
Includes	
Extends	C5 – Kích hoạt chế độ bảo vệ khi lỗi.
Special Requirements	Thời gian chuyển mạch: ≤ 50 ms Chu kỳ bật/tắt: ≥ 10.000 lần
Assumptions	Công tắc hoạt động ổn định trong điều kiện môi trường tiêu chuẩn.
Notes	Đảm bảo tính linh hoạt và an toàn trong vận hành.
Author	
Date	

Use Case Name	Mạch lọc nhiễu
Use Case ID	P5
Scope	Giảm nhiễu điện từ và xung đột tín hiệu giữa khối công suất và mạch điều khiển.
Primary Actor(s)	Mạch lọc, hệ thống điều khiển.
Stakeholders and Interests	Hệ thống điều khiển: Hoạt động ổn định, không bị sai lệch tín hiệu do nhiễu. Người sử dụng: Đảm bảo độ tin cậy và chính xác của điều khiển.
Preconditions	Hệ thống đang hoạt động và cấp nguồn bình thường.
Postconditions	Nhiều cao tần và xung đột tín hiệu được giảm thiểu trong giới hạn an toàn.
Main Flow of Events	Mạch lọc nhận tín hiệu và nguồn từ khối trước. Loại bỏ thành phần nhiễu cao tần hoặc nhiễu xung. Cung cấp nguồn và tín hiệu sạch cho các khối điều khiển tiếp theo.
Alternative Flow 1	Nếu nhiễu vượt ngưỡng thiết kế → cảnh báo được kích hoạt.
Alternative Flow 2	Mạch lọc tự động thay đổi đặc tính lọc nếu có chức năng adaptive.
Exception Flows	Mạch lọc lỗi → nhiễu xâm nhập gây reset MCU hoặc sai lệch tín hiệu.
Includes	
Extends	P2 – Bộ ổn áp.
Special Requirements	Suy hao nhiễu ≥ 30 dB tại tần số 1 MHz Thời gian đáp ứng ≤ 1 ms
Assumptions	Linh kiện lọc được chọn phù hợp với dải nhiễu hệ thống.
Notes	Quan trọng trong môi trường có nhiễu điện từ cao.
Author	
Date	

2. Truyền động động cơ Use Case Diagram



Use Case Specification

Use Case Name	Mạch cầu H (H-Bridge Driver)
Use Case ID	M1
Scope	Khối công suất truyền động động cơ DC
Primary Actor(s)	Bộ điều chế PWM, Bộ điều khiển chiều quay
Stakeholders and Interests	Người sử dụng: Muốn động cơ hoạt động đúng hướng, đúng tốc độ. Hệ thống điều khiển (MCU): Cần tín hiệu điều khiển công suất ổn định. Phần cứng động cơ: Được cấp điện áp và chiều quay chính xác.
Preconditions	Đã có nguồn cấp ổn định. Tín hiệu PWM và tín hiệu đảo chiều hợp lệ.
Postconditions	Động cơ được cấp nguồn theo chế độ mong muốn.
Main Flow of Events	MCU phát tín hiệu PWM. MCU gửi tín hiệu điều khiển chiều quay. Mạch cầu H đóng/mở transistor theo chu kỳ PWM. Điện áp cấp cho động cơ thay đổi theo điều chế.
Alternative Flow 1	Nếu tín hiệu đảo chiều thay đổi → mạch cầu H chuyển hướng dòng điện.
Alternative Flow 2	Nếu PWM = 0% → mạch cầu H ngắt điện áp động cơ.
Exception Flows	Quá dòng, ngắn mạch, transistor hỏng → ngắt điều khiển.
Includes	M2 (Bộ điều chế PWM), M3 (Bộ điều khiển chiều quay)
Extends	P3 (Bảo vệ quá dòng)
Special Requirements	Thời gian chuyển mạch nhỏ hơn 10 μ s để tránh nhiễu. Bố trí dead-time tránh đánh chập.
Assumptions	Sử dụng BJT driver chuyên dụng.
Notes	
Author	
Date	

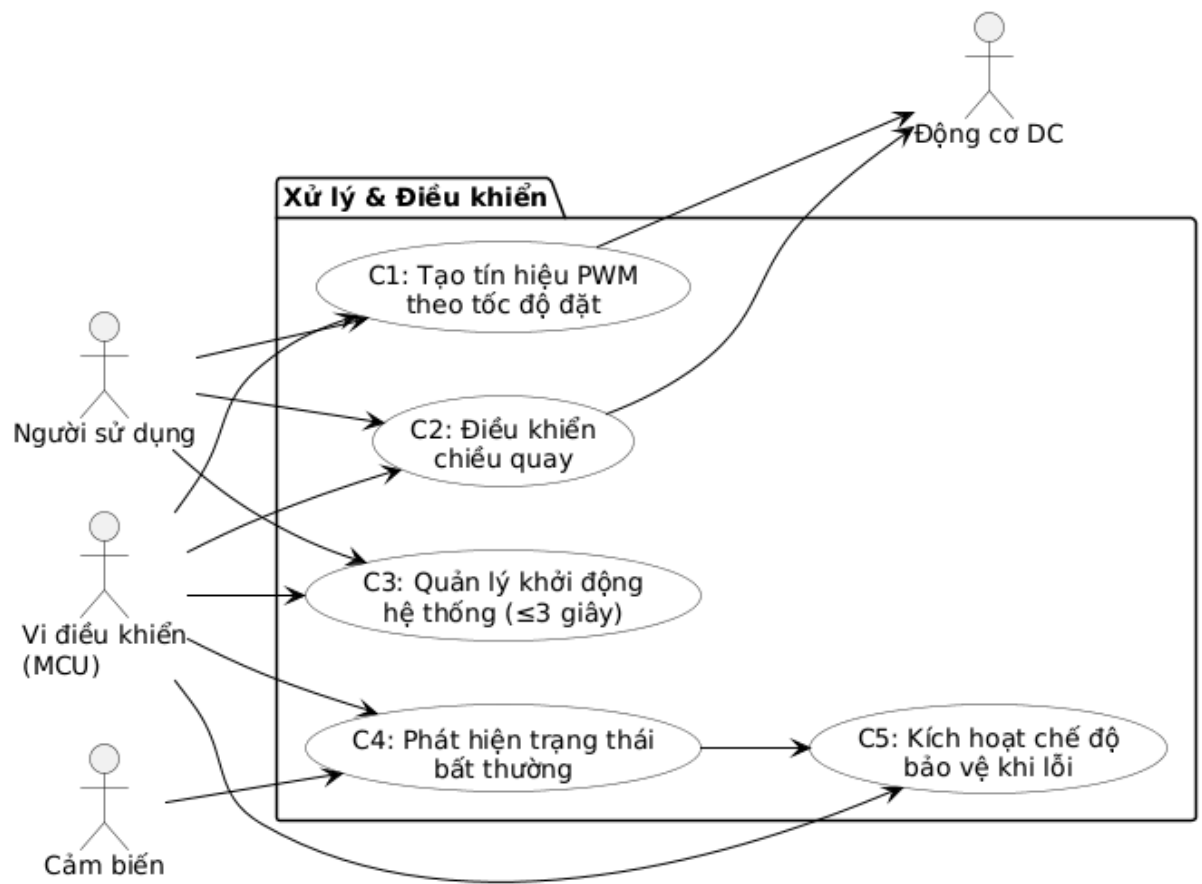
Use Case Name	Bộ điều chế PWM
Use Case ID	M2
Scope	Khởi tạo tín hiệu điều khiển độ rộng xung
Primary Actor(s)	MCU, Người dùng (gián tiếp qua setpoint)
Stakeholders and Interests	Người dùng: Tốc độ động cơ được điều khiển mượt mà. MCU: Có phương tiện điều chế để kiểm soát công suất.
Preconditions	Giá trị tốc độ đặt đã có sẵn. Timer nội bộ MCU hoạt động.
Postconditions	Xuất tín hiệu PWM với chu kỳ và duty cycle mong muốn.
Main Flow of Events	Người dùng nhập tốc độ đặt. MCU tính toán duty cycle. Bộ điều chế PWM tạo sóng vuông tương ứng. Tín hiệu PWM được gửi tới mạch cầu H.
Alternative Flow 1	Nếu tốc độ đặt = 0 → duty cycle = 0%.
Alternative Flow 2	Nếu tốc độ đặt = 100% → duty cycle = 100%.
Exception Flows	Lỗi timer hoặc overflow → PWM không hợp lệ.
Includes	SYS-1.2 (Thay đổi công suất cấp để điều chỉnh tốc độ).
Extends	
Special Requirements	Độ phân giải PWM ≥ 8 bit. MCU có bộ PWM tích hợp.
Assumptions	MCU có bộ PWM tích hợp.
Notes	
Author	
Date	

Use Case Name	Bộ điều khiển chiều quay
Use Case ID	M3
Scope	Khối xác định chiều quay động cơ
Primary Actor(s)	Người dùng, MCU
Stakeholders and Interests	Người dùng: Có thể thay đổi chiều quay theo ý muốn. MCU: Gửi lệnh điều khiển phù hợp đến mạch cầu H.
Preconditions	Động cơ đang ở trạng thái dừng hoặc tốc độ thấp. Lệnh đảo chiều hợp lệ.
Postconditions	Chiều quay của động cơ thay đổi theo lệnh.
Main Flow of Events	Người dùng nhập lệnh đảo chiều. MCU gửi tín hiệu logic điều khiển đến mạch cầu H. Dòng điện trong cuộn dây động cơ đổi chiều. Động cơ quay theo chiều ngược lại.
Alternative Flow 1	Nếu lệnh giữ nguyên → động cơ tiếp tục quay cùng chiều.
Alternative Flow 2	Nếu PWM = 0% → động cơ dừng lại.
Exception Flows	Đảo chiều khi tốc độ quá cao → có thể gây sốc cơ khí.
Includes	SYS-1.3 (Khả năng đảo chiều quay).
Extends	
Special Requirements	Động cơ cần phải dừng trước khi đảo chiều
Assumptions	Người dùng tuân thủ thao tác an toàn.
Notes	
Author	
Date	

Use Case Name	Ngõ ra cấp động cơ DC
Use Case ID	M4
Scope	Điểm kết nối công suất ra động cơ
Primary Actor(s)	Mạch cầu H
Stakeholders and Interests	Người dùng: Muốn động cơ nhận được điện áp ổn định. Động cơ: Nhận nguồn đúng mức, đúng chiều.
Preconditions	Mạch cầu H đang hoạt động. Có tín hiệu PWM và chiều quay xác định.
Postconditions	Động cơ nhận điện áp đầu ra để quay.
Main Flow of Events	Mạch cầu H đóng cặp transistor theo chu kỳ PWM. Điện áp được đưa ra ngõ cấp động cơ. Động cơ quay theo công suất và chiều đã điều chỉnh.
Alternative Flow 1	Duty cycle thấp → động cơ quay chậm.
Alternative Flow 2	Duty cycle cao → động cơ quay nhanh.
Exception Flows	Quá dòng tại ngõ ra → bảo vệ kích hoạt.
Includes	M1 (Mạch cầu H).
Extends	SYS-6 (Cơ chế bảo vệ khi sự cố)
Special Requirements	Đảm bảo độ sụt áp trên ngõ ra < 5%.
Assumptions	Dây nối động cơ đạt chuẩn.
Notes	
Author	
Date	

3. Xử lý và điều khiển

Use Case Diagram



Use Case Specification

Use Case Name	Tạo tín hiệu PWM theo tốc độ đặt
Use Case ID	C1
Scope	Khởi xử lý điều khiển động cơ
Primary Actor(s)	Người vận hành
Stakeholders and Interests	Người vận hành: muốn đặt tốc độ chính xác, ổn định. Hệ thống điều khiển: phải sinh tín hiệu PWM chuẩn, có độ phân giải cao.
Preconditions	Hệ thống đã khởi động, nguồn ổn định.
Postconditions	Tín hiệu PWM phù hợp với tốc độ đặt.
Main Flow of Events	Người vận hành nhập tốc độ đặt. Bộ xử lý tính toán chu kỳ PWM. Xuất tín hiệu PWM ra mạch công suất.
Alternative Flow 1	Nếu giá trị tốc độ nằm ngoài giới hạn cho phép → giới hạn và cảnh báo.
Alternative Flow 2	Nếu cảm biến phản hồi không hợp lệ → giữ giá trị PWM an toàn.
Exception Flows	Lỗi phần cứng PWM → chuyển sang chế độ bảo vệ.
Includes	
Extends	C4 (phát hiện bất thường).
Special Requirements	$PWM \geq \text{-bit}$, tần số ổn định.
Assumptions	Động cơ DC có đáp ứng tuyến tính gần đúng.
Notes	
Author	
Date	

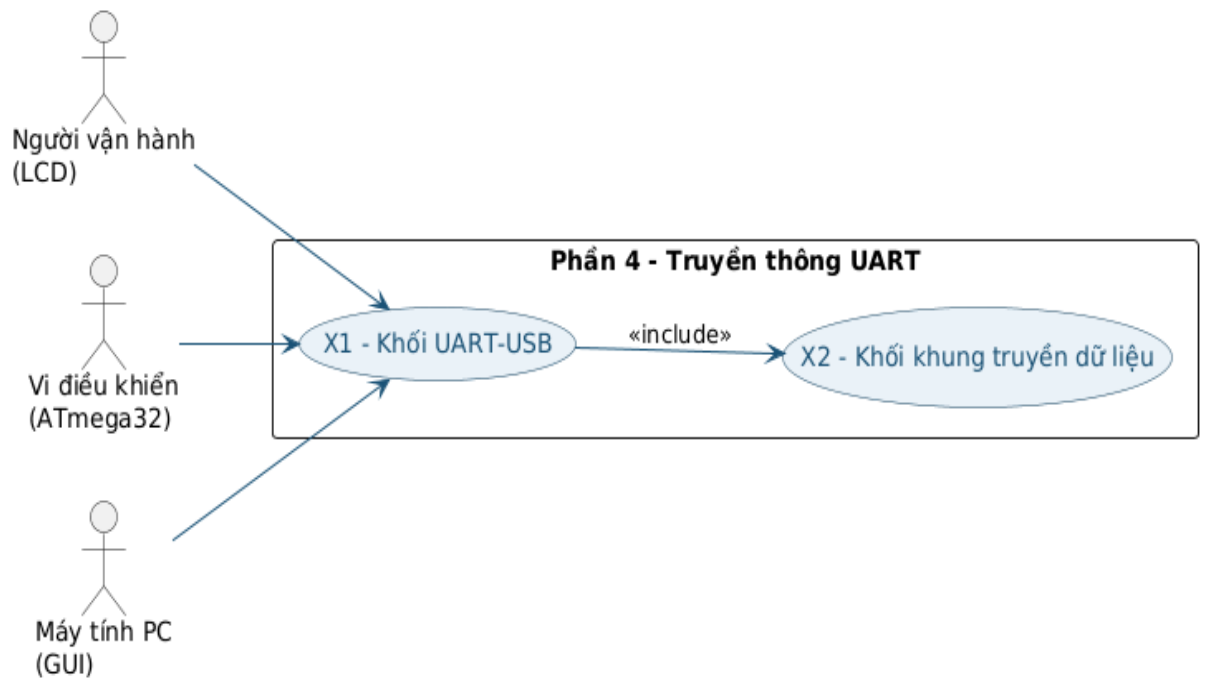
Use Case Name	Điều khiển chiều quay
Use Case ID	C2
Scope	Điều khiển logic chiều quay động cơ
Primary Actor(s)	Người vận hành
Stakeholders and Interests	Người vận hành: có thể đảo chiều quay dễ dàng. Mạch công suất: tránh ngắn mạch H-Bridge.
Preconditions	Hệ thống đang dừng hoặc tốc độ thấp.
Postconditions	Chiều quay thay đổi an toàn.
Main Flow of Events	Người vận hành chọn chiều quay. Bộ xử lý gửi tín hiệu điều khiển H-Bridge. Động cơ quay theo chiều mong muốn.
Alternative Flow 1	Nếu đang quay tốc độ cao → từ chối đảo chiều và báo lỗi.
Alternative Flow 2	Nếu tín hiệu điều khiển bị nhiễu → giữ nguyên chiều hiện tại.
Exception Flows	H-Bridge lỗi → chuyển C5 (bảo vệ).
Includes	
Extends	C4.
Special Requirements	Động cơ dừng trước khi đảo chiều
Assumptions	Động cơ có thể đảo chiều trong mọi tốc độ
Notes	
Author	
Date	

Use Case Name	Quản lý khởi động hệ thống (≤ 3 giây)
Use Case ID	C3
Scope	Khởi động hệ thống an toàn
Primary Actor(s)	Người vận hành
Stakeholders and Interests	Người vận hành: muốn hệ thống sẵn sàng nhanh chóng. Bộ điều khiển: đảm bảo ổn định nguồn, tránh sốc tải.
Preconditions	Hệ thống được cấp nguồn.
Postconditions	Hệ thống sẵn sàng trong ≤ 3 giây.
Main Flow of Events	Người vận hành bật nguồn. Bộ điều khiển kiểm tra phản ứng. Thiết lập trạng thái ban đầu (PWM = 0, hướng = dừng). Kết thúc khởi động trong ≤ 3 giây.
Alternative Flow 1	Nếu kiểm tra phản ứng thất bại \rightarrow chuyển C5 (bảo vệ).
Alternative Flow 2	Nếu mất nguồn trong khi khởi động \rightarrow dừng quá trình.
Exception Flows	Reset không thành công \rightarrow cảnh báo lỗi.
Includes	
Extends	C4.
Special Requirements	Thời gian ≤ 3 giây.
Assumptions	Phản ứng ổn định ngay sau cấp nguồn.
Notes	
Author	
Date	

Use Case Name	Phát hiện trạng thái bất thường
Use Case ID	C4
Scope	Hệ thống điều khiển động cơ DC
Primary Actor(s)	Vi điều khiển (MCU)
Stakeholders and Interests	<p>Người sử dụng: Muốn hệ thống an toàn, được cảnh báo khi có sự cố.</p> <p>Nhà thiết kế: Cần phát hiện lỗi sớm để bảo vệ phần cứng.</p> <p>Hệ thống: Đảm bảo vận hành ổn định, tránh hỏng hóc.</p>
Preconditions	<p>Hệ thống đang hoạt động bình thường.</p> <p>Các cảm biến phản hồi hoạt động đúng chức năng.</p>
Postconditions	Khi phát hiện bất thường (quá dòng, mất tín hiệu phản hồi, lỗi tốc độ), hệ thống báo trạng thái lỗi và sẵn sàng chuyển sang chế độ bảo vệ.
Main Flow of Events	<p>MCU liên tục đọc dữ liệu phản hồi từ cảm biến (tốc độ, dòng).</p> <p>MCU so sánh giá trị đo được với ngưỡng cho phép.</p> <p>Nếu nằm ngoài giới hạn, MCU đánh dấu trạng thái bất thường.</p> <p>MCU gửi tín hiệu cảnh báo cho người dùng và chuẩn bị kích hoạt bảo vệ.</p>
Alternative Flow 1	Nếu tín hiệu cảm biến bị nhiễu ngắn hạn, hệ thống sẽ lọc và không coi đó là lỗi nghiêm trọng.
Alternative Flow 2	Nếu trạng thái bất thường trở lại bình thường trong khoảng thời gian ngắn, hệ thống tiếp tục vận hành.
Exception Flows	Nếu mất toàn bộ tín hiệu phản hồi, MCU ngay lập tức coi là lỗi nghiêm trọng.
Includes	
Extends	C5 (Kích hoạt chế độ bảo vệ khi lỗi).
Special Requirements	<p>Phát hiện sai số tốc độ $> \pm 5\%$.</p> <p>Giám sát dòng tiêu thụ $> 3A$.</p>
Assumptions	Cảm biến luôn được hiệu chuẩn đúng.
Notes	
Author	
Date	

Use Case Name	Kích hoạt chế độ bảo vệ khi lỗi
Use Case ID	C5
Scope	Hệ thống điều khiển động cơ DC
Primary Actor(s)	Vi điều khiển (MCU)
Stakeholders and Interests	<p>Người sử dụng: Muốn hệ thống tự động bảo vệ khi có sự cố, tránh hỏng phần cứng.</p> <p>Nhà thiết kế: Đảm bảo tuổi thọ linh kiện và độ tin cậy hệ thống.</p> <p>Hệ thống: Ngăn ngừa rủi ro cháy nổ, hỏng hóc.</p>
Preconditions	Có tín hiệu cảnh báo bất thường từ C4.
Postconditions	<p>Động cơ DC được ngắt nguồn hoặc dừng điều khiển ngay lập tức.</p> <p>Người dùng nhận được thông báo lỗi.</p>
Main Flow of Events	<p>MCU nhận trạng thái bất thường từ chức năng C4.</p> <p>MCU ngắt tín hiệu PWM và tắt cầu H để ngừng điều khiển.</p> <p>Nếu lỗi nghiêm trọng (quá dòng, mất tín hiệu phản hồi), MCU ngắt nguồn động cơ.</p> <p>MCU báo trạng thái lỗi qua giao diện hiển thị/UART.</p>
Alternative Flow 1	Nếu lỗi chỉ là tạm thời và biến mất, hệ thống có thể cho phép khởi động lại sau khi reset bằng tay.
Alternative Flow 2	Nếu người dùng yêu cầu tiếp tục chạy thử, hệ thống chỉ cho phép sau khi lỗi được xử lý.
Exception Flows	Nếu cơ chế bảo vệ thất bại (ví dụ relay ngắt nguồn không hoạt động), MCU ghi log và báo lỗi nghiêm trọng.
Includes	C4 (Phát hiện trạng thái bất thường).
Extends	
Special Requirements	Thời gian phản ứng ≤ 50 ms kể từ khi phát hiện lỗi.
Assumptions	Cơ chế ngắt nguồn vật lý hoạt động đúng.
Notes	
Author	
Date	

4. Truyền thông UART Use Case Diagram



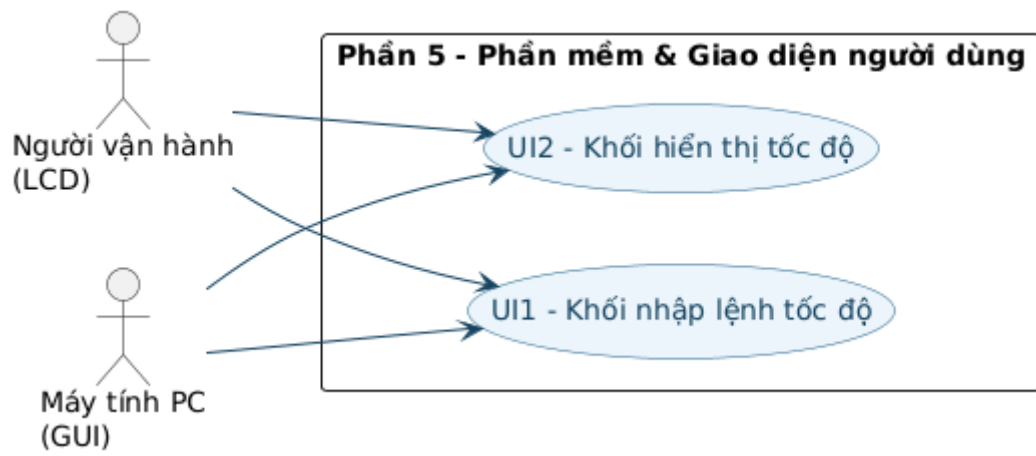
Use Case Specification

Use Case Name	Khối UART–USB
Use Case ID	X1
Scope	Hệ thống điều khiển động cơ DC
Primary Actor(s)	Vi điều khiển (MCU), Thiết bị giám sát bên ngoài (PC/Laptop)
Stakeholders and Interests	<p>Người sử dụng: Muốn kết nối máy tính với hệ thống để nhập lệnh, giám sát tốc độ.</p> <p>Nhà phát triển: Cần cơ chế truyền thông ổn định, tốc độ baud chuẩn (115200).</p> <p>Hệ thống: Bảo đảm dữ liệu được truyền/nhận chính xác, tránh mất gói.</p>
Preconditions	<p>Kết nối UART–USB đã được thiết lập (cáp USB cắm vào PC).</p> <p>Trình điều khiển USB–UART trên PC đã cài đặt thành công.</p>
Postconditions	<p>Dữ liệu lệnh từ PC được MCU nhận thành công.</p> <p>Dữ liệu trạng thái từ MCU được hiển thị trên PC.</p>
Main Flow of Events	<p>Người dùng mở phần mềm giám sát trên PC.</p> <p>PC gửi lệnh qua UART–USB đến MCU.</p> <p>MCU nhận lệnh, xử lý, phản hồi trạng thái (tốc độ thực tế, lỗi).</p> <p>PC hiển thị dữ liệu phản hồi lên giao diện.</p>
Alternative Flow 1	Nếu PC chỉ ở chế độ giám sát, dữ liệu sẽ chỉ truyền một chiều từ MCU → PC.
Alternative Flow 2	Nếu MCU chưa sẵn sàng (chưa khởi động xong), UART–USB sẽ tạm ngưng truyền nhận cho đến khi hệ thống sẵn sàng.
Exception Flows	<p>Nếu kết nối USB bị ngắt, hệ thống sẽ mất liên lạc và báo lỗi kết nối.</p> <p>Nếu dữ liệu truyền bị lỗi CRC, MCU bỏ qua gói tin và yêu cầu gửi lại.</p>
Includes	X2 (Khối khung truyền dữ liệu).
Extends	
Special Requirements	<p>Tốc độ baud mặc định: 115200.</p> <p>Chuẩn UART: 8N1 (8 data bit, no parity, 1 stop bit).</p>
Assumptions	PC có cổng USB và driver tương thích.
Notes	
Author	
Date	

Use Case Name	Khối khung truyền dữ liệu
Use Case ID	X2
Scope	Hệ thống điều khiển động cơ DC
Primary Actor(s)	Vi điều khiển (MCU), Thiết bị giám sát bên ngoài (PC/Laptop)
Stakeholders and Interests	<p>Người sử dụng: Muốn dữ liệu truyền nhận rõ ràng, không lẫn lộn.</p> <p>Nhà phát triển: Cần có cấu trúc gói tin chuẩn để dễ dàng phân tích và debug.</p> <p>Hệ thống: Bảo đảm dữ liệu toàn vẹn và đồng bộ.</p>
Preconditions	Kết nối UART–USB hoạt động bình thường (X1).
Postconditions	Dữ liệu trao đổi giữa MCU và PC tuân theo định dạng gói tin chuẩn.
Main Flow of Events	<p>MCU đóng gói dữ liệu phản hồi vào khung dữ liệu (header, payload, checksum).</p> <p>PC nhận và giải mã khung dữ liệu.</p> <p>PC hiển thị kết quả hoặc gửi lại gói tin nếu lỗi checksum.</p> <p>Khi PC gửi lệnh, dữ liệu cũng được đóng gói tương tự và MCU giải mã.</p>
Alternative Flow 1	Nếu dữ liệu phản hồi quá dài, hệ thống chia thành nhiều khung truyền liên tiếp.
Alternative Flow 2	Nếu không có dữ liệu mới, MCU gửi gói tin heartbeat định kỳ để duy trì kết nối.
Exception Flows	<p>Nếu khung dữ liệu sai định dạng, MCU bỏ qua và chờ khung hợp lệ kế tiếp.</p> <p>Nếu checksum không khớp, PC yêu cầu MCU gửi lại.</p>
Includes	
Extends	X1 (Khối UART–USB).
Special Requirements	<p>Định dạng khung dữ liệu: [Header Length Payload Checksum].</p> <p>Tần suất truyền định kỳ: 100 ms.</p>
Assumptions	PC và MCU cùng tuân thủ cấu trúc gói tin đã định nghĩa.
Notes	
Author	
Date	

5. Phần mềm và giao diện người dùng

Use Case Diagram



Use Case Specification

Use Case Name	Khởi nhập lệnh tốc độ
Use Case ID	UI1
Scope	Giao diện phần mềm trên PC
Primary Actor(s)	Người vận hành (LCD), Máy tính PC
Stakeholders and Interests	Người vận hành: muốn nhập và gửi giá trị tốc độ mong muốn một cách nhanh chóng, chính xác. PC: cần đảm bảo dữ liệu hợp lệ trước khi truyền tới vi điều khiển.
Preconditions	Phần mềm PC đã kết nối thành công với vi điều khiển qua UART.
Postconditions	Lệnh tốc độ được gửi thành công tới vi điều khiển.
Main Flow of Events	Người vận hành nhập giá trị tốc độ trên giao diện. PC kiểm tra tính hợp lệ (dài giá trị, kiểu dữ liệu). PC đóng gói thành gói tin truyền UART. PC gửi gói tin cho vi điều khiển.
Alternative Flow 1	Nếu nhập sai định dạng → hiển thị thông báo lỗi và yêu cầu nhập lại.
Alternative Flow 2	Nếu mất kết nối UART → hiển thị cảnh báo “Mất kết nối” và chặn gửi dữ liệu.
Exception Flows	PC treo ứng dụng → người dùng phải khởi động lại phần mềm.
Includes	X2 – Khung truyền dữ liệu.
Extends	
Special Requirements	Thời gian phản hồi nhỏ hơn 200 ms để tránh trễ khi nhập lệnh.
Assumptions	PC và MCU luôn đồng bộ baudrate UART.
Notes	Đây là điểm khởi đầu chính cho vòng điều khiển tốc độ.
Author	
Date	

Use Case Name	Khởi hiển thị tốc độ
Use Case ID	UI2
Scope	Giao diện phần mềm trên PC
Primary Actor(s)	Người vận hành (), Máy tính PC
Stakeholders and Interests	Người vận hành: muốn quan sát giá trị tốc độ hiện tại của động cơ theo thời gian thực. PC: cần nhận và hiển thị dữ liệu đo từ vi điều khiển một cách ổn định, rõ ràng.
Preconditions	Vi điều khiển đã gửi dữ liệu tốc độ qua UART.
Postconditions	Tốc độ hiện tại được hiển thị trên giao diện phần mềm.
Main Flow of Events	Vi điều khiển gửi gói dữ liệu tốc độ về PC. PC nhận dữ liệu và kiểm tra tính hợp lệ. Giao diện hiển thị tốc độ theo dạng số hoặc đồ thị.
Alternative Flow 1	Nếu gói dữ liệu lỗi CRC → bỏ qua và hiển thị cảnh báo “Dữ liệu lỗi”.
Alternative Flow 2	Nếu mất tín hiệu UART trong >2 giây → hiển thị “Mất dữ liệu”.
Exception Flows	PC treo phần mềm → hiển thị đóng băng, cần khởi động lại.
Includes	X2 – Khung truyền dữ liệu.
Extends	
Special Requirements	Cập nhật dữ liệu tốc độ với chu kỳ tối đa 100 ms.
Assumptions	UART truyền song công toàn phần.
Notes	Phần hiển thị có thể mở rộng để log dữ liệu ra file.
Author	
Date	

Case-Requirement Traceability Matrix

	P1	P2	P3	P4	P5	M1	M2	M3	M4	C1	C2	C3	C4	C5	UI1	UI2	X1	X2
SYS-1																		
SYS-1.1										✓	✓	✓						
SYS-1.2						✓	✓	✓										
SYS-1.3								✓	✓									
SYS-2																		
SYS-2.1															✓			
SYS-2.2																✓		
SYS-2.3																	✓	✓
SYS-3																		
SYS-3.1							✓		✓	✓			✓					
SYS-3.2							✓			✓								
SYS-4																		
SYS-4.1	✓	✓								✓								
SYS-5																		
SYS-5.1	✓	✓	✓	✓						✓								
SYS-6																		
SYS-6.1				✓						✓			✓					
SYS-6.2						✓	✓	✓	✓				✓					
SYS-6.3			✓											✓				
SYS-6.4				✓										✓				
SYS-7																		
SYS-7.1																		
SYS-7.2																		
SYS-8																		
SYS-8.1	✓	✓																
SYS-8.2			✓						✓				✓					
SYS-8.3						✓			✓	✓								

HARDWARE REQUIREMENTS

1. Nguồn và Bảo vệ

- **HR-1.1:** Hệ thống phải được cấp nguồn từ pin DC 12V, dung lượng đủ để vận hành liên tục ≥ 8 giờ.
- **HR-1.2:** Bộ ổn áp tuyến tính hoặc xung phải cung cấp điện áp ổn định 5V/3.3V cho vi điều khiển và mạch điều khiển, sai số không vượt quá $\pm 2\%$.
- **HR-1.3:** Mạch bảo vệ quá dòng phải được tích hợp, giới hạn dòng tối đa 3A, đảm bảo ngắt tải khi vượt ngưỡng trong ≤ 10 ms.
- **HR-1.4:** Công tắc nguồn động cơ phải cho phép đóng/ngắt độc lập với mạch điều khiển.
- **HR-1.5:** Mạch lọc nhiễu EMI phải được thiết kế để giảm ảnh hưởng xuyên nhiễu giữa phần công suất và tín hiệu điều khiển, với bộ lọc LC hoặc RC chuyên dụng.
- **HR-1.6:** Hệ thống phải hoạt động ổn định trong dải nhiệt độ môi trường từ 25 °C đến 50 °C, không làm suy giảm chức năng điều khiển hoặc gây reset ngoài ý muốn.

2. Truyền động Động cơ

- **HR-2.1:** Mạch cầu H (H-Bridge) phải hỗ trợ điều khiển động cơ DC một chiều, công suất định mức ≥ 36 W (12V–3A).
- **HR-2.2:** Bộ điều chế PWM phải hoạt động ở tần số từ 10 kHz – 20 kHz để hạn chế nhiễu âm thanh, với độ phân giải điều chế ≥ 8 bit.
- **HR-2.3:** Bộ điều khiển chiều quay phải cho phép đảo chiều động cơ trong thời gian ≤ 100 ms sau khi nhận lệnh.
- **HR-2.4:** Ngõ ra cấp cho động cơ phải có khả năng chịu tải liên tục 3A và xung khởi động tối đa 5A trong 1 giây.

3. Xử lý và Điều khiển

- **HR-3.1:** Vi điều khiển trung tâm phải có bộ tạo PWM tích hợp, tối thiểu 2 kênh độc lập.
- **HR-3.2:** Bộ xử lý phải hỗ trợ điều khiển thời gian thực, đảm bảo chu kỳ xử lý ≤ 1 ms.
- **HR-3.3:** Hệ thống phải khởi động và sẵn sàng trong vòng ≤ 3 giây sau khi cấp nguồn.

- **HR-3.4:** Mạch phát hiện bất thường phải giám sát tín hiệu dòng, điện áp, và phản hồi từ encoder/feedback.
- **HR-3.5:** Khi xảy ra lỗi nghiêm trọng, phần điều khiển phải ngay lập tức gửi tín hiệu ngắt đến mạch công suất để bảo vệ phần cứng.

4. Truyền thông UART

- **HR-4.1:** Khối UART–USB phải hỗ trợ tốc độ baud chuẩn 115200, 8-N-1.
- **HR-4.2:** Hệ thống phải truyền/nhận dữ liệu trạng thái và lệnh điều khiển qua UART với độ tin cậy $\geq 99.9\%$.
- **HR-4.3:** Khung truyền dữ liệu phải tuân theo định dạng: [Header]–[Command/Data]–[Checksum], đảm bảo phát hiện lỗi truyền.
- **HR-4.4:** Thời gian phản hồi cho một lệnh UART không vượt quá 50 ms trong điều kiện hoạt động bình thường.

Hardware consideration

Component	Quantity	MCU Interface	Interface Quantity	Part Number	Note
(1) STM32F103C8T6 (MCU)	1			STM32F103C8T6	MCU điều khiển chính, giao tiếp PWM, ADC, UART
(2) L298N (Motor Driver)	1	PWM, GPIO	4	L298N	Điều khiển 2 chiều quay, tốc độ động cơ DC
(3) DC Motor	1	–	–	DC12V Motor	Động cơ DC 12V, dòng $\leq 3A$
(4) Rotary Encoder	1	GPIO / Timer	2	Incremental Encoder	Cảm biến đo tốc độ và vị trí trục động cơ
(5) Power Supply 12V DC	1	–	–	12V 3A PSU	Cung cấp nguồn cho MCU và động cơ
(6) Capacitor 100uF, 10uF	2	–	–	–	Lọc nhiễu nguồn động cơ và MCU
(7) Resistor 10k Ω	4	–	–	–	Pull-up/pull-down cho encoder và nút nhấn
(8) Push Button	2	GPIO	2	–	Nhập tốc độ hoặc đảo chiều thủ công
(9) UART Connector (TTL/USB)	1	UART	1	–	Kết nối giám sát với PC, baud 115200
(10) LED	3	GPIO	3	–	Hiển thị trạng thái hoạt động / lỗi
(11) MOSFET / Diode bảo vệ	2	–	–	–	Bảo vệ chống quá dòng / dòng ngược
(12) Terminal Block	2	–	–	–	Kết nối nguồn và động cơ dễ dàng

Hardware Traceability Matrix

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Subsystem												
SYS-1.1	✓			✓								
SYS-1.2	✓	✓	✓		✓						✓	✓
SYS-1.3	✓	✓	✓		✓						✓	✓
SYS-2.1	✓							✓				
SYS-2.2	✓									✓		
SYS-2.3	✓								✓			
SYS-3.1	✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓
SYS-3.2	✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓
SYS-4.1	✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓
SYS-5.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
SYS-6.1	✓	✓	✓								✓	✓
SYS-6.2	✓			✓								
SYS-6.3	✓	✓	✓								✓	✓
SYS-6.4	✓		✓		✓						✓	✓
SYS-7.1	✓	✓	✓		✓						✓	✓
SYS-7.2	✓	✓			✓	✓					✓	
SYS-8.1	✓		✓		✓	✓						✓
SYS-8.2	✓	✓	✓		✓						✓	✓
SYS-8.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Use case												
P1					✓							
P2	✓											
P3											✓	
P4											✓	✓
P5						✓						
M1		✓										
M2	✓											
M3	✓	✓										
M4			✓									✓
C1	✓											
C2	✓	✓										
C3	✓											
C4	✓			✓							✓	
C5	✓						✓				✓	
UI1	✓							✓				
UI2	✓									✓		
X1									✓			
X2	✓											