**TÀI LIỆU YÊU CẦU KỸ THUẬT**

# 1. Thông Tin Chung

|  |  |
| --- | --- |
| **Tên dự án** | Hệ thống điều khiển động cơ DC |
| **Ngày** | 18/09/2025 |
| **Nhóm** | 2 |
| **Giảng viên hướng dẫn** | ThS.Bùi Quốc Bảo |
| **Thành viên** | Đặng Hà Minh Tuấn  Nguyễn Đình Quyền |

# 2. Mục Đích & Phạm Vi

**Mục Đích**

Tài liệu này được xây dựng nhằm xác định và mô tả các yêu cầu kỹ thuật cho hệ thống điều khiển động cơ DC sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6, mạch driver L298N và thuật toán điều khiển PID. Mục tiêu chính là:

* Đảm bảo hệ thống có thể điều khiển tốc độ động cơ DC một cách chính xác, ổn định và tin cậy.
* Định nghĩa rõ ràng các yêu cầu chức năng, hiệu năng, an toàn, giao diện và bảo trì để làm cơ sở cho thiết kế, triển khai và kiểm thử.
* Làm tài liệu tham chiếu cho nhóm phát triển phần cứng, phần mềm, cũng như cho giai đoạn kiểm chứng và đánh giá hệ thống.

**Phạm Vi**

Hệ thống được thiết kế để:

* Điều khiển tốc độ và chiều quay của động cơ DC thông qua mạch công suất L298N.
* Sử dụng thuật toán PID chạy trên vi điều khiển STM32F103C8T6 nhằm duy trì tốc độ động cơ theo giá trị đặt trước.
* Cung cấp giao diện người dùng (UART/PC hoặc màn hình hiển thị) để cho phép nhập giá trị tốc độ mong muốn, giám sát tốc độ thực tế và tinh chỉnh tham số PID.
* Hỗ trợ các tính năng an toàn cơ bản như bảo vệ quá dòng và dừng khẩn cấp.

**Phạm vi 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).

# 3. Định Nghĩa & Tài Liệu Tham Khảo

**3.1 Định Nghĩa & Thuật Ngữ**

* **STM32F103C8T6**: Vi điều khiển ARM Cortex-M3 của STMicroelectronics, dùng để thực hiện điều khiển PID và giao tiếp.
* **L298N**: Mạch cầu H (H-Bridge Driver) dùng để điều khiển động cơ DC với khả năng đảo chiều quay và điều chỉnh tốc độ thông qua PWM.
* **PID (Proportional-Integral-Derivative)**: Thuật toán điều khiển vòng kín dựa trên ba tham số Kp, Ki, Kd, giúp duy trì giá trị tốc độ động cơ gần với giá trị đặt (setpoint).
* **PWM (Pulse Width Modulation)**: Kỹ thuật điều chế độ rộng xung dùng để điều chỉnh điện áp trung bình cấp cho động cơ.
* **Setpoint**: Giá trị tốc độ mục tiêu mà người dùng mong muốn động cơ đạt được.
* **Overshoot**: Độ vượt quá của tốc độ thực tế so với giá trị đặt trước khi hệ thống ổn định.
* **Steady-state Error (Sai số xác lập)**: Sai số còn lại khi hệ thống đã đạt trạng thái ổn định lâu dài.
* **UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)**: Chuẩn giao tiếp nối tiếp bất đồng bộ giữa vi điều khiển và giao diện người dùng/PC.
* **Watchdog Timer**: Bộ đếm phần cứng giúp hệ thống tự khởi động lại khi phần mềm bị treo hoặc lỗi.

**3.2 Tài Liệu Tham Khảo**

1. Datasheet STM32F103C8T6 – STMicroelectronics.
2. Reference Manual RM0008 – STM32F1 Series.
3. Datasheet L298N – STMicroelectronics.
4. Ogata, K. Modern Control Engineering.
5. PID Control Theory.

# 4. Yêu Cầu Cấp Cao

* **REQ-HL01**: Hệ thống phải có khả năng điều khiển tốc độ và chiều quay của động cơ DC một cách ổn định.
* **REQ-HL02**: Hệ thống phải cho phép người dùng nhập giá trị tốc độ mong muốn (setpoint) và giám sát tốc độ thực tế.
* **REQ-HL03**: Hệ thống phải sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6 và driver L298N làm phần cứng chính.
* **REQ-HL04**: Hệ thống phải sử dụng thuật toán PID để duy trì tốc độ động cơ gần với giá trị đặt, với sai số xác lập nhỏ.
* **REQ-HL05**: Hệ thống phải có giao diện điều khiển đơn giản, dễ sử dụng (ví dụ: UART trên PC hoặc màn hình LCD).
* **REQ-HL06**: Hệ thống phải có cơ chế bảo vệ an toàn cơ bản, bao gồm bảo vệ quá dòng và chế độ dừng khẩn cấp.
* **REQ-HL07**: Hệ thống phải cho phép điều chỉnh tham số PID (Kp, Ki, Kd) mà không cần lập trình lại vi điều khiển.

# 5. Yêu Cầu Kỹ Thuật

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ID** | **Loại** | **Nội dung yêu cầu** | **Lý do** | **Phương pháp kiểm tra** |
| REQ-F01 | Chức năng | MCU STM32F103C8T6 phải đọc tín hiệu tốc độ động cơ mỗi 10 ms | Đảm bảo PID có dữ liệu phản hồi kịp thời để điều khiển | Thử nghiệm đo tốc độ |
| REQ-F02 | Chức năng | MCU phải xuất tín hiệu PWM để điều khiển L298N | Điều khiển công suất và chiều quay của động cơ | Đo tín hiệu PWM bằng oscilloscope |
| REQ-F03 | Chức năng | Giao diện người dùng phải cho phép đặt tốc độ mục tiêu (0 – 3000 RPM) | Người dùng cần khả năng điều chỉnh tốc độ | Thử nghiệm giao diện |
| REQ-F04 | Chức năng | Hệ thống phải hiển thị/ghi log tốc độ thực tế của động cơ | Người dùng cần giám sát tình trạng động cơ | Demo / test thực tế |
| REQ-P01 | Hiệu năng | Sai số xác lập của hệ thống phải nhỏ hơn ±5% tốc độ đặt | Đảm bảo độ chính xác điều khiển | Đo tốc độ thực tế so với setpoint |
| REQ-P02 | Hiệu năng | Thời gian đáp ứng (settling time) < 200 ms sau khi thay đổi setpoint | Đảm bảo hệ thống phản ứng nhanh | Thử nghiệm thực tế |
| REQ-I01 | Giao diện | MCU phải giao tiếp với giao diện điều khiển qua UART 115200 baud, 8N1 | Chuẩn giao tiếp phổ biến, dễ kết nối PC | Đo tín hiệu UART / kiểm tra trao đổi dữ liệu |
| REQ-I02 | Giao diện | Giao diện phải hiển thị tốc độ thực tế và trạng thái động cơ | Người dùng cần theo dõi tình trạng hệ thống | Test màn hình/PC UI |
| REQ-S01 | An toàn | Nếu dòng điện động cơ vượt 2A, hệ thống phải ngắt PWM trong ≤ 10 ms | Bảo vệ driver L298N và động cơ | Test fault injection |
| REQ-S02 | An toàn | Nếu mất tín hiệu phản hồi hoặc lỗi MCU, hệ thống phải dừng động cơ về trạng thái an toàn | Tránh tình trạng mất kiểm soát | Thử nghiệm mô phỏng lỗi |
| REQ-E01 | Năng lượng | Hệ thống phải hoạt động với nguồn DC 12V, dòng tiêu thụ tối đa ≤ 3A | Đảm bảo chọn nguồn và driver phù hợp | Đo dòng/điện áp |
| REQ-M01 | Bảo trì | Người dùng có thể điều chỉnh Kp, Ki, Kd từ giao diện mà không cần nạp lại firmware | Cho phép tinh chỉnh dễ dàng | Test giao diện và quan sát kết quả |

# 6. Yêu Cầu Toàn Hệ Thống

* **Độ tin cậy (Reliability)**
  + Hệ thống phải hoạt động liên tục tối thiểu 8 giờ mà không xảy ra lỗi hoặc reset không mong muốn.
  + Tỷ lệ lỗi phần mềm phải < 1 lỗi/100 giờ hoạt động.
* **Khả năng bảo trì (Maintainability)**
  + Code phải được viết theo cấu trúc module, có chú thích rõ ràng để dễ dàng mở rộng/hiệu chỉnh.
  + Các thông số PID phải có thể điều chỉnh mà không cần thay đổi firmware.
* **Tính sẵn sàng (Availability)**
  + Sau khi khởi động, hệ thống phải sẵn sàng điều khiển trong vòng ≤ 3 giây.
  + Khi có lỗi (ví dụ: mất tín hiệu phản hồi), hệ thống phải tự động chuyển về trạng thái an toàn.
* **Khả năng mở rộng (Scalability)**
  + Hệ thống phải hỗ trợ điều khiển nhiều loại động cơ DC khác nhau chỉ với thay đổi tham số trong phần mềm.
  + Giao diện UART phải có khả năng tích hợp thêm với PC, GUI hoặc ứng dụng giám sát mở rộng.
* **An toàn điện & EMI (Safety & EMI)**
  + Thiết kế mạch phải tuân theo tiêu chuẩn an toàn cơ bản (bảo vệ ngắn mạch, quá dòng).
  + Hệ thống phải có biện pháp giảm nhiễu EMI từ động cơ (tụ lọc, diode chống ngược).
* **Bảo mật (Security)**
  + Giao tiếp UART phải có cơ chế kiểm tra dữ liệu (checksum hoặc CRC) để tránh lệnh sai gây mất an toàn.
  + Hệ thống phải hạn chế truy cập ngoài ý muốn bằng cách yêu cầu xác thực cơ bản (ví dụ: mật khẩu trên giao diện cấu hình).

### 7. Ma Trận Xác Minh Yêu Cầu

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ID** | **Yêu cầu** | **Nguồn (Stakeholder/Spec)** | **Trạng thái** | **Phương pháp kiểm tra** |
| REQ-HL01 | Điều khiển tốc độ và chiều quay của động cơ DC ổn định | Người dùng / Khách hàng | Chưa kiểm | Test thực tế trên bench |
| REQ-HL04 | Thuật toán PID duy trì tốc độ với sai số nhỏ | Giáo viên hướng dẫn | Chưa kiểm | Thử nghiệm tốc độ động cơ, so sánh |
| REQ-F01 | Đọc tín hiệu tốc độ động cơ mỗi 10 ms | Yêu cầu kỹ thuật | Chưa kiểm | Đo tín hiệu phản hồi bằng oscilloscope |
| REQ-F02 | Xuất PWM điều khiển L298N | Yêu cầu kỹ thuật | Chưa kiểm | Đo PWM bằng oscilloscope |
| REQ-P01 | Sai số xác lập < ±5% | Người dùng / Giảng viên | Chưa kiểm | Đo tốc độ thực tế vs setpoint |
| REQ-P02 | Thời gian đáp ứng < 200 ms | Người dùng / Giảng viên | Chưa kiểm | Step response test |
| REQ-S01 | Bảo vệ quá dòng > 2A, ngắt PWM ≤ 10 ms | Yêu cầu an toàn | Chưa kiểm | Fault injection test |
| REQ-I01 | Giao tiếp UART 115200 baud, 8N1 | Yêu cầu giao diện | Chưa kiểm | Đo tín hiệu UART / kiểm tra console |
| REQ-M01 | Điều chỉnh Kp, Ki, Kd từ giao diện mà không nạp lại firmware | Người dùng / Kỹ sư vận hành | Chưa kiểm | Test qua giao diện |
| REQ-E01 | Hoạt động với nguồn DC 12V, dòng tối đa ≤ 3A | Ràng buộc hệ thống | Chưa kiểm | Đo điện áp và dòng tiêu thụ |

### 8. Ràng Buộc Thiết Kế (Design Constraints)

* **Phần cứng cố định**
  + Vi điều khiển: bắt buộc sử dụng **STM32F103C8T6** (ARM Cortex-M3, 72 MHz, 64 KB Flash, 20 KB RAM).
  + Driver động cơ: bắt buộc sử dụng **L298N** để điều khiển động cơ DC.
  + Động cơ: loại động cơ DC chổi than, hoạt động ở 12V, dòng định mức ≤ 2A.
  + Nguồn cấp: 12V DC, tối đa 3A.
* **Phần mềm & Công cụ**
  + Ngôn ngữ lập trình: C.
  + IDE: **KeilC**
  + Framework: sử dụng **HAL Library** của STMicroelectronics.
  + Thuật toán điều khiển: **PID** cố định, không thay đổi sang thuật toán khác.
* **Giao diện người dùng**
  + Giao tiếp với PC qua UART (chuẩn 115200 baud, 8N1).
  + Không sử dụng giao thức phức tạp khác (CAN, Ethernet, SPI) để giảm chi phí và độ phức tạp.
  + Giao diện điều khiển đơn giản: nhập tốc độ đặt và quan sát tốc độ thực tế.
* **Thiết kế mạch**
  + Phải đảm bảo tuân thủ giới hạn dòng tối đa của L298N.
  + Cần bổ sung diode bảo vệ và tụ lọc để giảm nhiễu EMI từ động cơ.
  + Layout PCB phải đảm bảo đường cấp nguồn động cơ tách biệt với đường tín hiệu điều khiển.
* **Thời gian & chi phí**
  + Thời gian phát triển: ≤ 8 tuần.
  + Chi phí linh kiện: ≤ 50 USD cho toàn bộ hệ thống (không tính PC).
* **Tiêu chuẩn an toàn**
  + Phải có cơ chế dừng khẩn cấp khi có lỗi (quá dòng, mất tín hiệu, lỗi MCU).
  + Mạch điện phải an toàn cho người dùng (điện áp thấp, có bảo vệ ngắn mạch).

# 9. Lịch Sử Chỉnh Sửa

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Phiên bản | Ngày | Người chỉnh sửa | Thay đổi |