**Requirement**

Mô hình điều khiển động cơ BLDC/PMSM được thiết kế phục vụ mục tiêu giảng dạy và nghiên cứu trong lĩnh vực điều khiển motor, áp dụng phương pháp Model-Based Design (MBD) với đầy đủ các giai đoạn phát triển và kiểm thử: Model-in-the-Loop (MIL), Software-in-the-Loop (SIL), Processor-in-the-Loop (PIL) và Hardware-in-the-Loop (HIL). Mô hình có thể được áp dụng nhiều thuật toán điều khiển, bao gồm điều khiển Six-Step, Field Oriented Control (FOC), và điều khiển không cảm biến (sensorless), nhằm đảm bảo tính linh hoạt trong quá trình đào tạo.

Cấu hình phần cứng bao gồm hai động cơ đồng trục, trong đó motor thứ nhất được điều khiển tốc độ bằng PID, còn motor thứ hai hoạt động ở chế độ open-loop nhằm tạo tải biến đổi lên motor 1. Motor sử dụng trong mô hình là loại công suất nhỏ, dễ lắp đặt, dễ thay thế và có sẵn encoder để cung cấp tín hiệu vị trí chính xác. Bộ nguồn cấp cho hệ thống phải đáp ứng được điện áp và dòng điện cực đại cho cả hai motor hoạt động đồng thời, có dự phòng dòng để đảm bảo ổn định trong điều kiện tải thay đổi. Vi điều khiển sử dụng là dòng TI C2000 (F28069M), được thiết kế chuyên dụng cho điều khiển motor, có khả năng xử lý thời gian thực mượt mà với tần số PWM ít nhất 20kHz, đồng thời đảm bảo hiệu suất xử lý đủ mạnh để vừa thực hiện điều khiển, vừa thu thập và truyền dữ liệu ra các thiết bị bên ngoài như LCD hoặc máy tính thông qua UART, SPI, hoặc CAN. Bộ inverter phải tương thích hoàn toàn với thông số điện áp và dòng điện của motor, có khả năng hoạt động ổn định lâu dài, với tần số chuyển mạch tối thiểu 20kHz, độ nhiễu thấp, đáp ứng tốt trong các bài kiểm thử HIL và thực nghiệm thực tế. Về mặt giao diện, mô hình phải được thiết kế với bố cục dễ quan sát, các chi tiết dễ tháo lắp để phục vụ kiểm tra, bảo trì và thay thế khi cần. Toàn bộ dây dẫn từ motor, cảm biến, nguồn, tín hiệu PWM,... phải được đưa ra các cổng đo (jack test hoặc connector) để người vận hành mô hình có thể đo lường và phân tích tín hiệu motor control bằng thiết bị ngoài như oscilloscope, multimeter,... Mô hình cần có các bộ phận hiển thị thông số vận hành cơ bản như tốc độ, dòng điện, sử dụng màn hình LCD hoặc tương đương. Ngoài ra, cần bố trí các nút điều khiển vật lý rõ ràng, dễ thao tác, và đặc biệt là nút dừng khẩn cấp (emergency stop) nhằm bảo vệ an toàn khi xảy ra sự cố trong quá trình vận hành hoặc thực nghiệm. Hệ thống phần mềm đi kèm bao gồm mô hình điều khiển mô phỏng trong Simulink, có khả năng tự động sinh mã C sử dụng Embedded Coder, hỗ trợ tích hợp đầy đủ chuỗi MIL → SIL → PIL → HIL. Tài liệu hướng dẫn vận hành, cấu hình thí nghiệm, mô tả sơ đồ hệ thống, cũng như các bài thực hành mẫu (tuning PID, phản ứng khi tải thay đổi, quan sát đáp ứng tần số, v.v...) cần được xây dựng kèm theo để phục vụ hiệu quả công tác đào tạo.

**Lựa chọn linh kiện**

**1. Motor chính**

Dựa vào các yêu cầu của dự án, chọn động cơ D60M-R6430 của hãng sản xuất BeuDMKE với các thông số và cấu tạo như sau:

* Công suất 200W – phù hợp với môi trường phòng thí nghiệm, dễ cấp nguồn, ít nguy hiểm và dễ kiểm soát khi thực nghiệm
* Điện áp định mức 48V-DC phổ biến, dễ tìm nguồn và driver phù hợp
* Thuộc loại PMSM, có thể áp dụng cả Six-Step, FOC và Sensorless
* Motor được tích hợp với Encoder đầy đủ 3 kênh A/B/Z, với 2500 rãnh cho ra độ phân giải cao, dễ dàng tính toán chính xác vị trí motor. Ngoài ra còn được trang bị sẵn jack DB15 dễ dàng lắp ráp và vận hành.
* Kích thước nhỏ gọn (100x60x60mm), dễ dàng bố trí lên mô hình dạy học
* Có datasheet rõ ràng, có bản vẽ cơ khí, sơ đồ dây đầy đủ từ nhà sản xuất
* Được ứng dụng nhiều trong giáo dục, sản xuất công nghiệp nhỏ, thuận lợi cho việc tìm hiểu và học tập từ những dự án bên ngoài.

**2. Motor Load**

Sử dụng motor tạo tải giống với motor chính để thuận tiện trong việc kết nối 2 trục motor, tái sử dụng lại thiết kế cơ khí. Ngoài ra sử dụng motor có cùng đặc điểm sẽ dễ dàng áp dụng lại bộ điều khiển đã được thiết kế cho motor chính. Tải tạo ra sẽ linh hoạt hơn nhờ vào thay đổi cách điều khiển motor, VD: tải biến thiên liên tục, tải ngắt quãng,…

**3. Inverter**

Sử dụng board inverter SBLMB500, với công suất tối đa 500W, trang bị MOSFET N-Channel giúp điều khiển dễ dàng và chính xác, kích thước nhỏ gọn và phù hợp với nhiều loại motor BLDC/PMSM công suất nhỏ. Có tài liệu kĩ thuật rõ ràng và được đã kiểm thử chất lượng, hiệu suất.

**4. TI C2000**

LAUNCHXL-F28069M được thiết kế chuyên biệt cho các ứng dụng motor control. Board sử dụng vi điều khiển C2000 Piccolo F28069M với xung nhịp 90 MHz, tích hợp đơn vị xử lý tín hiệu số (C28x + CLA), bộ ePWM độ phân giải cao, ADC 12-bit, bộ đo Encoder độ phân giải cao và nhiều giao tiếp ngoại vi (UART, I2C, SPI, GPIO, CANbus) cần thiết cho điều khiển thời gian thực. Một điểm nổi bật là bộ thư viện InstaSPIN-FOC™ được tích hợp sẵn trong ROM, cho phép triển khai nhanh chóng các thuật toán điều khiển tiên tiến như FOC, six-step hoặc sensorless mà không cần viết lại toàn bộ code từ đầu. Board tương thích với môi trường MATLAB/Simulink, phù hợp cho các mô hình Model-Based Design và đã được xây dựng một bộ mô hình mẫu chuyên cho điều khiển motor. LAUNCHXL-F28069M đáp ứng tốt các tiêu chí về hiệu năng, tính linh hoạt và khả năng tích hợp cho các hệ thống điều khiển motor phục vụ mục tiêu đào tạo và nghiên cứu chuyên sâu.

Mô hình sử dụng 2 board TI C2000 để điều khiển 2 motor, nhằm tách biệt thành phần điều khiển PID và thành phần tạo tải. Ngoài ra việc dành mỗi board cho mỗi motor nhằm đảm bảo hiệu suất điểu khiển theo thời gian thực, thuật toán được xây dựng sẽ đảm bảo chạy đúng trên phần cứng yêu cầu, tránh việc bộ điều khiển quá tải, gây khó khăn cho việc phát triển phần mềm cũng như gỡ lỗi cần thiết.

**5. Cảm biến**

Ngoài cảm biến vị trí đã được tích hợp sẵn trên motor, để kiểm soát và đảm bảo motor hoạt động chính xác và an toàn, cần có thêm cảm biến dòng điện được trang bị vào hệ thống. Đối với motor chính sử dụng bộ điều khiển PID cho tốc độ, cần trang bị 3 cảm biến dòng điện để kiểm tra dòng điện của mỗi pha. Thực tế với thuật toán Six-Step, chỉ cần 1 cảm biến dòng điện để đo dòng Idc vào motor, nhưng với yêu cầu có thể điều khiển với nhiều thuật toán khác nhau, đặc biệt là FOC – yêu cầu khắt khe về kiểm soát dòng điện trên từng pha, mô hình cần được trang bị cả 3 cảm biến cho cả 3 pha của motor. Đối với motor tạo tải chạy open-loop, có thể tuỳ chọn trang bị 1 hoặc 3 cảm biến dòng điện, tuỳ vào mức độ muốn kiểm soát tải của người thiết kế.

Từ những lí do đó, cảm biến Cảm biến dòng WCS1800 được lựa chọn với khả năng đáp ứng tốt với các yêu cầu của hệ thống như có khả năng phát hiện dòng điện với độ phân giải cao, độ nhạy ổn định với các điều kiện môi trường thay đổi, thang đo phù hợp với hệ thống tính toán trong mô hình, tài liệu được cung cấp đầy đủ từ nhà sản xuất và kích thước nhỏ gọn, dễ trang bị, dễ thay thế lên mô hình.

**6. Bộ nguồn**

Lựa chọn bộ nguồn tổ ong 48V – 10A có thông số phù hợp với yêu cầu, hình dạng kích thước đơn giản, dễ thiết kế và lắp đặt. Đầy đủ cổng ra cho bộ motor và các thành phần khác của hệ thống.