

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐIỆN – ĐIỆN TỬ



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

**THIẾT KẾ VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG TRUYỀN
ĐỘNG TỬ LƯU TRỮ THÔNG MINH SỬ DỤNG ĐỘNG
CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI THAN**

TRỊNH MINH HIỆP

hiiep.tm181468@sis.hust.edu.vn

Ngành KT Điều khiển & Tự động hóa

Giảng viên hướng dẫn: TS. Giáp Văn Nam

Chữ ký của GVHD

Khoa: Tự động hóa

Trường: Điện – Điện tử

HÀ NỘI, 8/2023

**BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐH BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do - Hạnh phúc**

**NHIỆM VỤ
ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

Họ và tên sinh viên: **Trịnh Minh Hiệp**

Khóa 63 Trường: **Điện- Điện tử**

Ngành: **KT ĐK &TĐH**

1. Tên đề tài:

Thiết kế và điều khiển hệ thống truyền động tủ lưu trữ thông minh sử dụng động cơ một chiều không chổi than.

2. Nội dung đề tài:

- Giới thiệu tổng quan về các tính năng của hệ thống tủ lưu trữ thông minh đưa ra tính năng vượt trội khi so sánh với hệ lưu trữ tài liệu truyền thống.
- Trình bày chi tiết về cấu trúc phần cứng đề xuất cho hệ thống truyền động tủ lưu trữ thông minh như động cơ chính, thiết kế mạch lực và lập trình điều khiển cho hệ thống.
- Trình bày mô hình hóa của động cơ một chiều không chổi than và đưa ra phương án điều khiển cho hệ thống.
- Thiết kế mạch lực điều khiển cho hệ thống truyền động tủ lưu trữ thông minh.
- Kiểm nghiệm và đưa ra các đánh giá kết quả thực nghiệm của mạch đã thiết kế, chương trình điều khiển, và khả năng truyền động của hệ thống với các trường hợp khác nhau.

3. Thời gian giao đề tài: 03/2023

4. Thời gian hoàn thành: 08/2023

Ngày..... tháng 08 năm 2023

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

Lời cảm ơn

Trong thời gian làm đồ án tốt nghiệp, em nhận được rất nhiều sự giúp đỡ của TS. Giáp Văn Nam. Em xin chân thành gửi lời cảm ơn đến thầy đã hướng dẫn em tận tình trong quá trình làm đồ án này.

Em cũng xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo trong Đại học Bách khoa Hà Nội nói chung, các thầy cô trong khoa Tự động hóa nói riêng đã dạy dỗ cho em kiến thức về các môn đại cương cũng như các môn chuyên ngành, giúp em có được cơ sở lý thuyết vững vàng và tạo điều kiện giúp đỡ em trong suốt quá trình học tập.

Em xin chân thành cảm ơn.

Tóm tắt nội dung đồ án

Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn, yêu cầu tất yếu của cuộc cách mạng 4.0, lưu trữ tài liệu, văn bản ngày càng được các doanh nghiệp, công ty, nhà nước, ... chú trọng quan tâm, đặc biệt là khi lưu trữ các tài liệu quan trọng. Điều này dẫn tới nhu cầu tất yếu về một hệ thống thông minh có khả năng lưu trữ, bảo quản và truy xuất tài liệu hoạt động dễ dàng, an toàn, chính xác, ổn định. Chính vì vậy, việc xây dựng, nghiên cứu, và phát triển hệ thống lưu trữ thông minh là một bước đi phù hợp với xu thế hiện nay. Mục tiêu của đồ án xây dựng hệ thống chuyển động an toàn, chính xác và tối ưu trong hệ thống lưu trữ thông minh.

Nội dung của đề tài “Thiết kế và điều khiển hệ thống truyền động tải lưu trữ thông minh sử dụng động cơ một chiều không chổi than” được trình bày chi tiết trong 6 chương:

- Chương 1: Tổng quan về hệ thống lưu trữ thông minh
- Chương 2: Tổng quan về động cơ một chiều không chổi than
- Chương 3: Mô hình hóa động cơ BLDC và phương án điều khiển
- Chương 4: Thiết kế mạch điều khiển động cơ BLDC
- Chương 5: Thực nghiệm
- Chương 6: Kết luận và hướng nghiên cứu

Sinh viên thực hiện
Ký và ghi rõ họ tên



Trịnh Minh Hiệp

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG TỦ LƯU TRỮ THÔNG MINH.

.....	1
1.1 Đặt vấn đề	1
1.2 Tổng quan về các hệ thống lưu trữ tài liệu.....	1
1.2.1 Hệ lưu trữ tài liệu truyền thống.....	1
1.2.2 Hệ lưu trữ tài liệu thông minh.....	2
1.2.3 So sánh và đánh giá.....	3
1.3 Tổng quan về cấu trúc xây dựng hệ thống tủ thông minh.....	5
1.3.1 Các tính năng trong hệ thống lưu trữ thông minh.....	5
1.3.2 Cấu trúc thiết kế cho hệ thống lưu trữ thông minh	7
1.4 Kết luận và chọn đề tài.....	10

CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỔI THAN

.....	11
2.1 Đặt vấn đề	11
2.2 Tổng quan về động cơ một chiều không chổi than – BLDC motor.....	11
2.2.1 Giới thiệu về động cơ BLDC	11
2.2.2 Cấu tạo của động cơ BLDC	12
2.2.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC.....	17
2.3 Tổng kết chương 2	23

CHƯƠNG 3. MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG CƠ BLDC VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN.....

.....	24
3.1 Đặt vấn đề	24
3.2 Mô hình toán học	24
3.3 Mô hình hàm truyền của động cơ	26
3.4 Momen đập mạch trong quá trình chuyển mạch.....	27
3.5 Kỹ thuật điều chế độ rộng xung – PWM	29
3.5.1 Phương pháp chuyển mạch lưỡng cực	29
3.5.2 Phương pháp chuyển mạch đơn cực	29
3.6 Điều khiển động cơ BLDC	30
3.7 Tổng kết chương 3	31

CHƯƠNG 4. THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC.....

.....	32
4.1 Đặt vấn đề	32
4.2 Cấu trúc tổng thể của hệ thống.....	32
4.3 Động cơ BLDC 90ZWN24-120P.....	33

4.4	Thiết kế chế tạo bộ nghịch lưu 3 pha	33
4.4.1	Thiết kế, chế tạo mảng mạch lực và driver cho bộ nghịch lưu ..	34
4.5	Thiết kế, chế tạo mảng mạch lực	42
4.5.1	Mạch lái van.....	42
4.5.2	Mạch lực các van Mosfet	43
4.5.3	Nguồn cấp cho phần lực và điều khiển	44
4.6	Mạch chống trùng dẫn.....	45
4.7	Module IC TXS0108E và nguồn 5V	46
4.8	Bộ vi điều khiển	46
4.9	Các phần mềm được sử dụng trong đồ án.....	47
4.9.1	Matlab R2022a	47
4.9.2	Altium Designer 21.3.2	49
4.9.3	STM32 CubeIDE	50
4.9.4	Excel.....	51
4.10	Tổng kết chương 4	52
	CHƯƠNG 5. THỰC NGHIỆM	53
5.1	Đặt vấn đề	53
5.2	Xây dựng sơ đồ khối và chương trình điều khiển.....	53
5.3	Mô hình thử nghiệm.....	53
5.3.1	Mục đích thử nghiệm:	53
5.3.2	Kết quả thử nghiệm.....	54
5.4	Hệ truyền động tải lưu trữ thông minh	59
5.4.1	Mục đích thử nghiệm	59
5.4.2	Kết quả thực nghiệm	59
	CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU	65
6.1	Kết luận	65
6.2	Hướng nghiên cứu.....	65
	TÀI LIỆU THAM KHẢO	66

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Hệ thống lưu trữ tài liệu truyền thống.....	1
Hình 1.2 Hệ thống lưu trữ tài liệu thông minh.....	2
Hình 1.3 Hệ thống tủ lưu trữ thông minh thực tế.....	3
Hình 1.4 Sơ đồ cấu trúc hệ thống lưu trữ thông minh	9
Hình 2.1 Động cơ một chiều không chổi than BLDC.....	11
Hình 2.2 Sức phản điện động hình thang và hình sine	13
Hình 2.3 Các thành phần cơ bản của động cơ BLDC	15
Hình 2.4 Stator động cơ	15
Hình 2.5 Rotor của động cơ BLDC	16
Hình 2.6 Cảm biến vị trí Hall.....	16
Hình 2.7 Hiệu ứng Hall.....	17
Hình 2.8 Hệ thống truyền động BLDC motor	18
Hình 2.9 Trình tự chuyển mạch cho động cơ BLDC 3 pha, 1 cặp cực.....	19
Hình 2.10 Nguyên lý truyền động của động cơ BLDC ba pha.....	20
Hình 2.11 Quỹ đạo vector điện áp và sector của rotor.....	21
Hình 2.12 Quỹ đạo từ thông.....	22
Hình 3.1 Mô hình mạch tương đương của động cơ BLDC.	25
Hình 3.2 Chuyển mạch dòng điện pha từ sector 1 sang sector 2.	27
Hình 3.3 Dòng điện pha trong quá trình chuyển mạch trong các trường hợp khác nhau. (a) tốc độ thấp ($VDC < 4E$), (b) tốc độ trung bình ($VDC = 4E$) và (c) tốc độ cao ($VDC > 4E$).....	28
Hình 3.4 Kỹ thuật PWM. (a) chuyển mạch lưỡng cực và (b) chuyển mạch đơn cực.	29
Hình 3.5 Cấu trúc điều khiển tốc độ của động cơ BLDC	30
Hình 4.1 Cấu trúc tổng thể của hệ thống.....	33
Hình 4.2 Van MOSFET IRFP150NPBF.....	35
Hình 4.3 Thời gian quá độ của van IRFP150NBFP.....	37
Hình 4.4 Sơ đồ nguyên lý các chân của IC TLP250.....	38
Hình 4.5 Module nguồn cách ly B1212S-2W.....	40
Hình 4.6 Mạch driver lái các van Mosfet.....	42
Hình 4.7 Mạch nguyên lý mạch lực	43
Hình 4.8 Nguồn cho mạch lực và điều khiển.....	44
Hình 4.9 Mạch chống trùng dẫn.....	45
Hình 4.10 IC TXS0108E.....	46
Hình 4.11 KIT STM32F407 Discovery.	47
Hình 4.12 Phần mềm MATLAB R2022a.	48

Hình 4.13 Mạch nguyên lý vẽ bằng phần mềm Altium Designer 21.3.2.	49
Hình 4.14 Phần mềm STM32 CubeIDE.	50
Hình 4.15 Chức năng Data Streamer trong phần mềm Excel.	51
Hình 5.1 Sơ đồ khối cấu trúc điều khiển tốc độ.	53
Hình 5.2 Mô hình thử nghiệm.	54
Hình 5.3 Điện áp cực DS	55
Hình 5.4 Điện áp cực DS khi OFF	55
Hình 5.5 Điện áp cực DS khi ON	56
Hình 5.6 Điện áp cực D-S van trên	56
Hình 5.7 Điện áp cực D-S van dưới.	57
Hình 5.8 Biểu đồ tốc độ động cơ.	58
Hình 5.9 Hệ thống truyền động tải lưu trữ thông minh.	59
Hình 5.10 Dạng sóng điện áp cực D-S.	60
Hình 5.11 Dạng sóng điện áp D-S khi OFF	60
Hình 5.12 Dạng sóng điện áp D-S khi ON	61
Hình 5.13 Đáp ứng tốc độ của hệ thống tại 900 rpm	61
Hình 5.14 Đáp ứng tốc độ tại 1200 rpm.	62
Hình 5.15 Đáp ứng tốc độ tại 1500 (rpm).	62
Hình 5.16 Dòng điện 3 pha U,V,W.	63
Hình 5.17 Dòng điện pha U	63
Hình 5.18 Dòng điện pha V	64
Hình 5.19 Dòng điện pha W	64

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Bảng so sánh hệ thống lưu trữ truyền thông với hệ thống lưu trữ thông minh.....	3
Bảng 2.1 So sánh giữa BLDC và PMSM.....	13
Bảng 2.2 Các vector trạng thái điện áp	21
Bảng 2.3 Các sector trạng thái	22
Bảng 2.4 Lựa chọn vector điện áp tương ứng với sector.	23
Bảng 4.1 Đặc tính động cơ BLDC 90ZWN24-120P	33
Bảng 4.2 Thông số van Mosfet IRFP150NPBF.....	35
Bảng 4.3 Thông số kỹ thuật của IC TLP 250.....	38
Bảng 4.4 Bảng chân lý IC TLP250.	38
Bảng 4.5 Mô tả chi tiết cấu hình các chân của IC TLP250	39
Bảng 4.6 Các thông số tối hạn của IC TLP250.....	39
Bảng 5.1 Thông số thực nghiệm	58

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG TỦ LƯU TRỮ THÔNG MINH.

1.1 Đặt vấn đề

Lưu trữ tài liệu mang ý nghĩa hết sức quan trọng đối với xã hội nói chung và hoạt động thư viện nói riêng đặc biệt là việc lưu trữ các tài liệu quan trọng trong trường học, doanh nghiệp, cơ quan nhà nước,... Bảo quản tài liệu lưu trữ [1] là sử dụng một hệ thống quản lý bao gồm các biện pháp khoa học kỹ thuật nhằm tạo ra các điều kiện tốt nhất để bảo đảm an toàn và kéo dài tuổi thọ cho tài liệu, nhằm phục vụ được tốt các yêu cầu khai thác, sử dụng tài liệu. Công việc bảo quản tài liệu lưu trữ bao gồm: xây dựng, cải tạo kho lưu trữ; trang thiết bị kỹ thuật bảo quản; xử lý kỹ thuật bảo quản; tổ chức tài liệu trong kho lưu trữ; tu bổ và phục chế tài liệu lưu trữ. Điều này dẫn tới nhu cầu tất yếu về một hệ thống thông minh có khả năng lưu trữ, bảo quản và truy xuất tài liệu hoạt động dễ dàng, an toàn, chính xác, ổn định. Chính vì vậy, việc xây dựng, nghiên cứu, và phát triển hệ thống lưu trữ thông minh là một bước đi phù hợp với xu thế hiện nay.

1.2 Tổng quan về các hệ thống lưu trữ tài liệu

1.2.1 Hệ lưu trữ tài liệu truyền thống

Hệ thống lưu trữ truyền thống có kết cấu cơ khí đơn giản, hệ thống gồm các dãy tủ cố định được đặt cách đều nhau, tài liệu được đặt trong các khoang tủ. Vì khoảng cách giữa các tủ là cố định cho nên hệ thống lưu trữ truyền thống làm lãng phí diện tích. Ngoài ra, hệ thống không có bất cứ hệ thống điều khiển, giám sát nào. Vì vậy, hệ thống không thể phản hồi bất cứ thông tin nào về môi trường lưu trữ tài liệu cũng như điều chỉnh môi trường lưu trữ sao cho thích hợp nhất. Môi trường lưu trữ tài liệu hoàn toàn phụ thuộc vào môi trường của phòng lưu trữ. Điều này khiến cho điều kiện bảo quản tài liệu không được tối ưu. *Hình 1.1* trình bày hệ thống lưu trữ tài liệu truyền thống.



Hình 1.1 Hệ thống lưu trữ tài liệu truyền thống

Việc tìm kiếm tài liệu trong hệ thống cũng được thực hiện thủ công. Người dùng sẽ tìm kiếm tài liệu thông qua các bảng chỉ dẫn về khu vực lưu trữ nhóm các tài liệu có cùng một thuộc tính nào đó được dán ở mặt ngoài của mỗi tủ. Thuộc tính để nhóm các tài liệu thường được sử dụng đó là sắp xếp theo bảng chữ cái, theo chủ đề hoặc theo mã số được mã hóa cho tài liệu, ...

1.2.2 Hệ lưu trữ tài liệu thông minh



Hình 1.2 Hệ thống lưu trữ tài liệu thông minh

Hệ thống có cấu trúc cơ khí gồm nhiều tủ lưu trữ được đặt sát cạnh nhau có khả năng di chuyển nhờ hệ thống truyền động động cơ – bánh răng – dây xích – ray dẫn hướng được thiết kế dưới chân tủ và nền nhà của phòng lưu trữ. Điều này sẽ giúp tiết kiệm tối đa không gian lưu trữ bởi người dùng đơn giản là lấy tài liệu bằng cách kích mở tủ lưu trữ có chứa tài liệu đó. Khi ấy hệ thống sẽ tạo ra 1 lối đi đủ rộng tại tủ có chứa tài liệu người dùng cần trong khi các tủ còn lại vẫn nằm sát cạnh nhau. *Hình 1.2* đã trình bày ở trên thể hiện tính năng của hệ thống đề xuất khi người dùng có yêu cầu tìm kiếm tài liệu thì hệ thống đưa ra lệnh điều khiển tủ tạo ra lối đi cho người dùng và đưa ra vị trí của tài liệu cần tìm.

Bên cạnh đó, hệ thống còn được trang bị hệ thống giám sát, điều khiển có nhiệm vụ thu thập dữ liệu về điều kiện của môi trường lưu trữ. Từ đó tự động phân tích dữ liệu và đưa ra tín hiệu điều khiển phù hợp. Hệ thống có khả năng tương tác với người dùng, có nghĩa là người dùng có thể ra lệnh điều khiển cho hệ thống từ việc thiết lập thông số, thiết lập bảo mật đến việc tìm kiếm tài liệu thông qua màn hình hiển thị được đặt tại mỗi tủ trong hệ thống.



Hình 1.3 Hệ thống tủ lưu trữ thông minh thực tế.

Người dùng chỉ việc nhập tên hoặc mã của tài liệu cần tìm kiếm tại bất kỳ màn hình hiển thị được đặt tại bất kỳ tủ nào. Sau đó hệ thống sẽ tự động phân tích dữ liệu người dùng nhập vào với cơ sở dữ liệu của hệ thống. Nếu tài liệu mà người dùng cần tìm kiếm được lưu trữ trong hệ thống, khi đó hệ thống sẽ thông báo cho người dùng biết vị trí của tài liệu đang nằm ở đâu đồng thời kích mở khoang giá đang chứa tài liệu đó. *Hình 1.3* trình bày hệ thống tủ lưu trữ thông minh thực tế được lắp tại tòa C1b, trường Điện – Điện tử, Đại học Bách Khoa Hà N

Ngoài ra, hệ thống lưu trữ thông minh có thể được trang bị thêm tính năng bảo mật giúp ngăn chặn truy cập từ bên ngoài. Khi đó người dùng cần phải đăng nhập vào hệ thống thông qua màn hình hiển thị để có thể vận hành, điều khiển, thiết lập các thông số, tìm kiếm tài liệu,

1.2.3 So sánh và đánh giá

Sau khi tìm hiểu khái quát về 2 hệ thống lưu trữ truyền thống và thông minh, ta rút ra được bảng so sánh sau:

Bảng 1.1 Bảng so sánh hệ thống lưu trữ truyền thống với hệ thống lưu trữ thông minh

Tiêu chí đánh giá	Hệ thống lưu trữ truyền thống	Hệ thống lưu trữ thông minh
Diện tích	Cần nhiều không gian lưu trữ.	Giải pháp tối ưu cho tiết kiệm không gian lưu trữ.
Kết cấu	Kết cấu cơ khí đơn giản.	Kết cấu phức tạp do có thêm phần điều khiển. Ngoài ra kết cấu cơ khí cũng phức tạp hơn khi được trang bị thêm cơ cấu truyền động động cơ – bánh răng – dây xích, ray dẫn hướng.

Bảo quản tài liệu	Không có hệ thống đánh giá, thu thập dữ liệu về môi trường lưu trữ tài liệu => không bảo đảm điều kiện lưu trữ tối ưu.	Được trang bị hệ thống cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, hệ thống giám sát cho phép theo dõi điều kiện môi trường lưu trữ => kiểm soát và đưa ra giải pháp lưu trữ tối ưu cho tài liệu.
Tìm kiếm tài liệu	Tài liệu được đánh số một cách thủ công, phải tuân thủ theo 1 quy tắc sắp xếp nhất định và được lưu trữ thông qua sổ sách hoặc dữ liệu số trên máy tính => tra cứu và tìm kiếm tài liệu khó khăn.	Tài liệu được số hóa trước khi được sắp xếp lên các giá, người dùng tìm kiếm tài liệu qua màn hình hiển thị bằng tên hoặc mã của tài liệu, sau đó hệ thống sẽ tiến hành tìm kiếm trong cơ sở dữ liệu và thông báo cho người dùng biết vị trí của tài liệu cần tìm đồng thời mở khoang giá có chứa tài liệu đó.
Bảo mật tài liệu	Tài liệu gần như không có bảo mật, người dùng có thể sử dụng tài liệu tùy ý, bảo mật khả quan nhất cho tài liệu trong hệ thống lưu trữ truyền thống là mỗi tài liệu được gắn một chip từ và hệ thống sẽ báo động trong trường hợp người dùng chưa làm thủ tục gỡ từ cho tài liệu.	Người dùng bắt buộc phải đăng nhập vào hệ thống bằng tên tài khoản và mật khẩu được cung cấp để có thể vận hành, điều khiển hệ thống cũng như tìm kiếm tài liệu. Các tài khoản cũng được phân cấp quyền truy cập vào các tính năng của hệ thống => Tăng tính bảo mật cho tài liệu và hệ thống.
Khả năng quản lý	Rất khó để quản lý khi số lượng tài liệu lưu trữ lớn.	Tài liệu được số hóa và hệ thống hóa cho phép lưu trữ tài liệu với số lượng lớn.
Khả năng mở rộng	Khó mở rộng.	Cung cấp khả năng mở rộng thành nhiều chuỗi hệ thống lưu trữ dùng chung một cơ sở dữ liệu.
Giá thành	Rẻ	Cao hơn đáng kể so với hệ thống lưu trữ truyền thống.

Như vậy, qua bảng so sánh ở trên ta dễ dàng nhận thấy ưu điểm vượt trội của hệ thống lưu trữ thông minh so với hệ thống lưu trữ truyền thống. Tuy có giá thành cao hơn đáng kể so với hệ thống lưu trữ truyền thống, nhưng bù lại với những tính năng vượt trội, hệ thống lưu trữ thông minh đã và đang dần thay thế hệ thống lưu trữ truyền thống và ngày càng được các doanh nghiệp, cơ quan, tổ chức đưa vào sử dụng. Do đó, việc nghiên cứu, phát triển hệ thống lưu trữ thông minh qua

đó làm chủ công nghệ đang được các doanh nghiệp trong lĩnh vực lưu trữ, chỉnh lý, tự động hóa quan tâm, chú trọng.

Từ những phân tích đã nêu, mục tiêu tiếp theo của đồ án sẽ đi vào xây dựng và phát triển hệ thống lưu trữ thông minh đáp ứng các tiêu chí, yêu cầu công nghệ để đảm bảo môi trường lưu trữ tối ưu cho tài liệu.

1.3 Tổng quan về cấu trúc xây dựng hệ thống tủ thông minh

1.3.1 Các tính năng trong hệ thống lưu trữ thông minh

Hệ thống lưu trữ thông minh được xây dựng gồm nhiều giá (tủ lưu trữ) được đặt sát cạnh nhau nhằm tối ưu không gian lưu trữ.

Hệ thống lưu trữ thông minh phục vụ cho công tác lưu trữ tài liệu cần đáp ứng được các tiêu chí sau:

- Hệ thống có khả năng di chuyển, đảm bảo không gian lưu trữ tối ưu.
- Hệ thống có khả năng điều khiển, giám sát, thu thập dữ liệu của môi trường lưu trữ, đảm bảo điều kiện lưu trữ tối ưu.
- Hệ thống có khả năng vận hành trơn tru, đảm bảo các yếu tố an toàn cho người dùng.
- Hệ thống có khả năng tìm kiếm tài liệu ngay tại hệ thống, hoặc thông qua PC và smartphone.
- Hệ thống có khả năng bảo mật tài liệu
- Hệ thống có khả năng theo dõi, chuẩn đoán các thiết bị, cảm biến phục vụ công tác bảo trì, bảo dưỡng hệ thống.
- Hệ thống có khả năng tự động theo dõi và đưa ra các cảnh báo cho người dùng khi có sự cố xảy ra.

Để đáp ứng được các tiêu chí, yêu cầu trên, các tính năng được xây dựng trong hệ thống lưu trữ thông minh gồm có:

❖ Tính năng truyền động

- Để hệ thống có thể di chuyển được, mỗi tủ lưu trữ được trang bị một động cơ truyền động (riêng tủ Master sẽ không có động cơ). Vấn đề đặt ra đó là phối hợp hoạt động của toàn bộ hệ thống để tránh va chạm trong quá trình các tủ lưu trữ di chuyển.

❖ Tính năng bảo vệ an toàn

- Bảo vệ an toàn cho người sử dụng:
 - Hệ thống sẽ được trang bị các bộ cảm biến đếm người để kiểm soát người ra vào tủ lưu trữ cũng như đảm bảo an toàn cho người sử dụng khi lấy tài liệu bên trong các khoang giá.
- Bảo vệ an toàn cho hệ thống trong quá trình làm việc:
 - Để tránh trường hợp các tủ va chạm khi kết thúc hành trình, mỗi tủ sẽ được trang bị các bộ cảm biến tiệm cận (tủ Master không cần trang bị).

- Để phát hiện tài liệu lưu trữ bị nhô ra ngoài gây mất an toàn trong quá trình hệ thống hoạt động, tại mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị bộ cảm biến quang điện được đặt dọc theo tủ (riêng tủ Master không cần trang bị).

- Do mỗi tủ trong hệ thống đều được trang bị khóa cơ với tác dụng giữ tủ lưu trữ ở vị trí cố định. Điều này sẽ gây ra mất an toàn trong trường hợp hệ thống điều khiển ra lệnh di chuyển tại tủ đang bị khóa cơ. Để giải quyết vấn đề này, mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị cảm biến phát hiện khóa cơ.

- Mỗi hệ thống đều được giới hạn làm việc trong không gian lưu trữ nhất định. Do vậy, tại các tủ ngoài cùng của hệ thống sẽ được trang bị thêm cảm biến phát hiện hết hành trình nhằm đảm bảo hệ thống không đi quá hành trình bởi một nguyên nhân bất thường nào đó.

- Để phát hiện các tác nhân có thể gây ra cháy, gây tổn hại cho hệ thống, mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị cảm biến đo nồng độ khí.

❖ Tính năng điều khiển, giám sát

- Để theo dõi, kiểm tra, giám sát và ra lệnh điều khiển cho hệ thống, mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị màn hình hiển thị kết nối với hệ thống điều khiển.
- Để lưu trữ toàn bộ cơ sở dữ liệu của các tài liệu được số hóa cũng như đưa ra chuẩn đoán, phân tích, đánh giá các hoạt động và thu thập, giám sát các dữ liệu của hệ thống, tủ Master sẽ được trang bị máy tính công nghiệp IPC và cũng được kết nối với hệ thống điều khiển.
- Để tạo được và đảm bảo môi trường lưu trữ tối ưu cho tài liệu ta cần phải thu thập dữ liệu về môi trường lưu trữ tài liệu (đặc biệt là thông số về nhiệt độ môi trường, độ ẩm không khí). Do đó, mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị cảm biến nhiệt độ, độ ẩm.

❖ Tính năng bảo mật

- Để tăng tính bảo mật cho tài liệu và dữ liệu trong hệ thống cũng như để có thể ra lệnh điều khiển hệ thống, người dùng phải thực hiện đăng nhập vào hệ thống theo tài khoản và mật khẩu được cấp.
- Tài khoản và mật khẩu của người dùng cũng được phân cấp theo mức độ truy cập vào hệ thống. Theo đó, người dùng chỉ có thể sử dụng những tính năng mà tài khoản đó được cấp quyền truy cập.
- Ngoài ra, để tăng khả năng truy cập, hệ thống sẽ được trang bị cảm biến vân tay, và người dùng có thể đăng nhập bằng vân tay để tiết kiệm thời gian. Vân tay sẽ được thêm vào cùng với tài khoản của người dùng.

❖ Tính năng tìm kiếm tài liệu

- Hệ thống sẽ cung cấp một cơ sở dữ liệu để người quản lý thiết lập các thông số của tài liệu (tên, vị trí trong khoang giá, số lượng...) qua đó kết hợp với

phần mềm trên máy tính, người sử dụng chỉ cần truy xuất thông tin bằng mã hoặc tên của tài liệu và sau đó sẽ được hệ thống tự động cung cấp vị trí của tài liệu trong khu vực lưu trữ.

- Người dùng sau khi đăng nhập vào hệ thống có thể thực hiện tìm kiếm tài liệu tại bất kỳ tủ lưu trữ nào trong hệ thống.
- Ngoài ra, để tăng tính đa dụng cho hệ thống, người dùng có thể tìm kiếm tài liệu thông qua máy tính để bàn hoặc Smartphone.

❖ Tính năng phụ trợ

- Tính năng cảnh báo
 - Để thông báo cho người dùng về các trạng thái hoạt động của hệ thống, ở đây hệ thống sẽ được trang bị loa cảnh báo.
 - Ngoài ra hệ thống cũng sẽ hiển thị nội dung của các cảnh báo trên màn hình hiển thị để cho người dùng tiện theo dõi.
- Tính năng chiếu sáng
 - Mỗi tủ lưu trữ được trang bị hệ thống đèn chiếu sáng với tính năng chiếu sáng tự động mỗi khi tủ lưu trữ được mở và sẽ tự động tắt khi tủ đóng lại (được điều khiển bởi phần mềm).

❖ Tính năng hiển thị vị trí của tủ

- Để giúp người dùng dễ dàng xác định vị trí chính xác của mỗi tủ lưu trữ trong hệ thống khi tìm kiếm tài liệu và vận hành hệ thống, tại mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị led 7 thanh hiển thị số thứ tự của tủ.

Như vậy, sau khi phân tích và xây dựng các tính năng cho hệ thống lưu trữ thông minh đảm bảo đáp ứng các tiêu chí đặt ra, phần tiếp theo sẽ tập trung đi vào thiết kế, xây dựng cấu trúc tổng quan cho một hệ thống lưu trữ thông minh hoàn chỉnh.

1.3.2 Cấu trúc thiết kế cho hệ thống lưu trữ thông minh

Như đã đề cập ở các phần trước, một hệ thống lưu trữ thông minh gồm nhiều dãy giá - tủ lưu trữ được đặt sát cạnh nhau nhằm mục đích tối ưu không gian lưu trữ. Do vậy để phối hợp hoạt động của tất cả các tủ trong hệ thống ta cần xây dựng một tủ có chức năng điều khiển, giám sát mọi hoạt động của các tủ còn lại. Và tủ đó được gọi là tủ “Master”. Các tủ còn lại được kết nối với tủ Master và sẽ được gọi là các tủ “Slave”.

Mỗi hệ thống đều được trang bị cảm biến phát hiện hết hành trình được đặt tại các tủ ngoài cùng của hệ thống có nhiệm vụ xác định giới hạn khoảng cách tối đa mà hệ thống có thể đạt được. Điều này sẽ giúp đảm bảo hệ thống sẽ không đi quá khỏi ray trong quá trình di chuyển. Và các tủ ngoài cùng đó sẽ được gọi là tủ “Outmost Slave”.

Như vậy, một hệ thống lưu trữ thông minh hoàn chỉnh sẽ gồm 3 loại tủ sau:

- Tủ Master
- Tủ Slave
- Tủ Outmost Slave

Trong quá trình hoạt động, các tủ lưu trữ sẽ giao tiếp với nhau và tủ Master có nhiệm vụ ra lệnh điều khiển trong khi các tủ Slave và Outmost Slave sẽ gửi lệnh đến Master và nhận lệnh điều khiển từ Master. Để thực hiện được các công việc thu thập và xử lý dữ liệu, truyền nhận dữ liệu giữa các ngoại vi và giữa các tủ, mỗi tủ lưu trữ sẽ được trang bị một mạch điều khiển và em gọi chúng là “mạch điều khiển trung tâm”.

Ngoài ra, để tính toán và xác định khoảng cách di chuyển của các tủ lưu trữ ta cần có một hệ tọa độ gốc đóng vai trò tham chiếu và em sẽ đặt hệ tọa độ gốc này tại tủ Master. Như vậy các tủ Slave và Outmost Slave sẽ được quy về phía Master và do đó tủ Master phải là tủ cố định. Chính vì vậy, tủ Master là tủ duy nhất trong hệ thống sẽ không được trang bị động cơ và không được phép chuyển động.

Thêm nữa, để có thể thực hiện chức năng tìm kiếm tài liệu trên hệ thống ta cần xây dựng một cơ sở dữ liệu lưu trữ thông tin của toàn bộ tài liệu và cơ sở dữ liệu đó sẽ được đặt tại tủ Master. Do đó tủ Master sẽ được thiết kế đặc biệt hơn các tủ còn lại.

Sơ đồ thiết kế cho hệ thống lưu trữ thông minh đáp ứng các tính năng đã xây dựng ở mục được minh họa trong hình dưới đây:

- Mạch điều khiển trung tâm được kết nối với tầng điều khiển phía trên đó là máy tính công nghiệp “Industrial Panel PC” gọi tắt là IPC. Về sau, em sẽ dùng ký hiệu IPC để chỉ máy tính công nghiệp.
- Tại tầng trên, IPC sẽ giao tiếp với các ngoại vi đó là điều khiển điều hòa, loa và cảm biến vân tay.
- Tại tầng dưới, mạch điều khiển trung tâm sẽ giao tiếp với các ngoại vi đó là led 7 thanh báo số tử (hiển thị vị trí của tử), điều khiển thông gió, cảm biến phát hiện khóa cơ (phát hiện tử bị khóa), cảm biến nhiệt độ độ ẩm và cảm biến chất lượng không khí (báo cháy).
- Tủ Slave
 - Mạch điều khiển trung tâm được kết nối với tầng trên có nhiệm vụ hiển thị đó là màn hình công nghiệp “Human-machine Interface” gọi tắt là HMI.
 - Tại tầng điều khiển trung tâm, mạch điều khiển trung tâm sẽ kết nối với các ngoại vi đó là cảm biến quang điện, mạch đếm người, cảm biến nhiệt độ độ ẩm, cảm biến chất lượng không khí (báo cháy), cảm biến tiệm cận, cảm biến phát hiện khóa cơ (phát hiện tử bị khóa), mạch điều khiển động cơ, đèn led chiếu sáng và led 7 thanh báo số tử (hiển thị vị trí của tử).
- Tủ Outmost Slave
 - Tủ Outmost Slave có thiết kế gần giống với các tủ Slave, ngoài ra, tại tầng điều khiển trung tâm, mạch điều khiển trung tâm còn kết nối với cảm biến hết hành trình.

1.4 Kết luận và chọn đề tài

Như vậy, tổng kết lại, chương 1 đã giới thiệu khái quát các hệ thống lưu trữ tài liệu truyền thống và thông minh cũng như đưa ra đánh giá về 2 hệ thống này. Với tính năng ưu việt vượt trội so với hệ thống lưu trữ truyền thống, có thể xem hệ thống lưu trữ thông minh là bước phát triển tất yếu trong thời kỳ cách mạng công nghiệp 4.0.

Từ những tìm hiểu về hệ thống tủ lưu trữ thông minh có thể thấy rằng hệ thống tủ lưu trữ thông minh là một hệ thống lớn và phức tạp với rất nhiều các công đoạn khác nhau cần được thực hiện kiểm tra, đo đạc và vận hành tỉ mỉ để hệ thống có thể hoạt động được tốt nhất. Chính vì vậy, trong phạm vi thực hiện đồ án tốt nghiệp này sẽ thực hiện nhiệm vụ “Thiết kế và điều khiển hệ thống truyền động cho hệ thống tủ lưu trữ thông minh sử dụng động cơ một chiều không chổi than”. Trong những chương tiếp theo sẽ trình bày chi tiết về cấu trúc phần cứng của hệ thống truyền động trong tủ lưu trữ thông minh bao gồm các bước chi tiết như sau: động cơ chính sử dụng trong hệ thống, thiết kế mạch lực và lập trình điều khiển động cơ BLDC.

CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỔI THAN

2.1 Đặt vấn đề

Ở chương 1 đã trình bày một số kiến thức tổng quan về hệ thống lưu trữ thông minh. Trong chương 2 này sẽ đi vào trình bày các đặc điểm về động cơ một chiều không chổi than (BLDC).

2.2 Tổng quan về động cơ một chiều không chổi than – BLDC motor

2.2.1 Giới thiệu về động cơ BLDC

Động cơ một chiều (ĐCMC) thông thường sử dụng bộ chuyển mạch cơ học bao gồm chổi than và cổ góp để thay đổi hướng của dòng điện trong dây dẫn để tạo ra mô-men xoắn trung bình. Tuy nhiên, chuyển mạch cơ học này gây ra tiếng ồn điện từ và âm thanh. Cổ góp và chổi than cũng cần được bảo dưỡng và thay thế định kỳ do hao mòn và phóng điện. Động cơ DC nhỏ có bán kính $\phi 25$ - $\phi 34$ có thể hoạt động khoảng 1000 giờ, trong khi động cơ có bán kính $\phi 37$ - $\phi 60$ có thể hoạt động khoảng 2000 giờ. Động cơ DC được thiết kế đặc biệt có khả năng hoạt động khoảng 3000 giờ. [2]

Động cơ DC đã được sử dụng rộng rãi cho các ứng dụng điều khiển tốc độ hoặc vị trí vì tính đơn giản trong điều khiển của chúng khi so sánh với động cơ dòng điện xoay chiều (AC). Tuy nhiên, vì chúng yêu cầu bảo trì định kỳ chổi than và cổ góp, nên việc sử dụng chúng đã bị giảm trong nhiều ứng dụng truyền động bằng động cơ, vốn yêu cầu hoạt động liên tục và nâng cao độ tin cậy của hệ thống.



Hình 2.1 Động cơ một chiều không chổi than
BLDC

Để khắc phục vấn đề này của động cơ DC, một động cơ gọi là động cơ dòng điện một chiều không chổi than (BLDC) đã được phát triển [3]. Động cơ này có các đặc tính điện tương tự như động cơ DC, nhưng nó có độ tin cậy cao hơn bằng

cách thay thế chuyển mạch cơ học bằng chuyển mạch điện tử. Để thực hiện chuyển mạch điện tử, động cơ BLDC sử dụng các cảm biến và mạch điều khiển. Các cảm biến phát hiện vị trí của nam châm trên rôto. Bằng cách sử dụng vị trí nam châm được phát hiện, các mạch điều khiển sẽ kích thích một cuộn dây cụ thể để quay liên tục.

Trong động cơ BLDC, để loại bỏ chổi than của động cơ điện một chiều, cuộn dây phần ứng được đặt ở phía stato và nam châm được đặt ở phía rôto. Do đó, động cơ BLDC có cấu hình khác với động cơ DC. Vì có một mức độ tự do trong cấu hình động cơ khi thiết kế để loại bỏ chổi than, nên có thể có nhiều thiết kế động cơ BLDC khác nhau để phù hợp với nhu cầu ứng dụng rộng rãi chẳng hạn như cấu hình nhỏ hơn hoặc mỏng hơn. Động cơ BLDC có nhiều ưu điểm như hiệu suất cao, mật độ công suất cao, tỷ lệ mô-men xoắn trên quán tính cao, khả năng vận hành tốc độ cao, phương pháp truyền động đơn giản và chi phí thấp. Vì vậy, ngày nay, chúng được sử dụng rộng rãi cho giải pháp tiết kiệm chi phí trong nhiều ứng dụng truyền động động cơ vừa và nhỏ như thiết bị gia dụng, sản phẩm công nghiệp, văn phòng và xe hạng nhẹ.

Ưu điểm của động cơ BLDC:

- Đặc tính tốc độ/mô men tuyến tính.
- Đáp ứng động nhanh do quán tính nhỏ.
- Hiệu suất cao do sử dụng rotor nam châm vĩnh cửu nên không có tổn hao trên rotor.
- Tuổi thọ cao do không có chuyển mạch cơ khí.
- Không gây nhiễu khi hoạt động.
- Dải tốc độ rộng.
- Mật độ công suất lớn.
- Vận hành nhẹ nhàng (dao động mô men nhỏ) thậm chí ở tốc độ thấp (để đạt được điều khiển vị trí một cách chính xác).
- Mô men điều khiển được ở vị trí bằng không.
- Kết cấu gọn.
- Có thể tăng giảm tốc độ trong thời gian ngắn.

Hạn chế của động cơ không chổi than BLDC:

- Do động cơ được kích từ bằng nam châm vĩnh cửu nên khi chế tạo có giá thành cao.
- Nếu dùng các loại nam châm sắt từ thì dễ bị từ hóa, khả năng tích từ không cao, dễ bị khử từ và đặc tính từ của nam châm bị giảm khi tăng nhiệt độ.

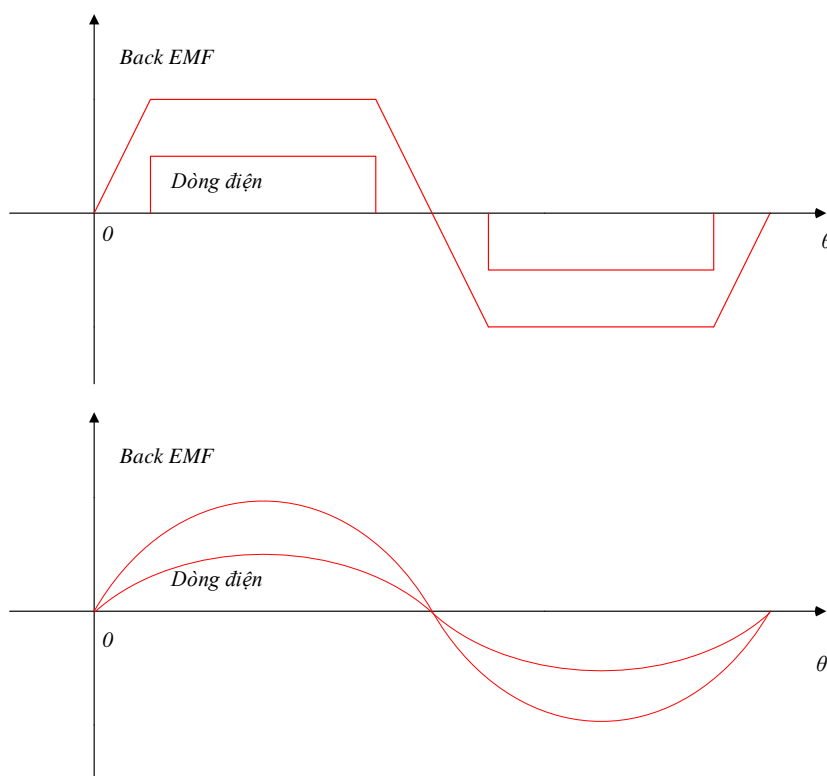
2.2.2 Cấu tạo của động cơ BLDC

Do sự giống nhau về cấu trúc, động cơ BLDC thường bị nhầm lẫn với động cơ xoay chiều đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM). Thông thường, động cơ BLDC có thể được phân biệt với PMSM bằng hình dạng của sức phản điện động (back-EMF).

2.2.2.1. So sánh giữa động cơ BLDC và PMSM

Một động cơ BLDC được thiết kế để phát triển dạng sóng back-EMF hình thang như trong hình 2.2. Do đó, biên độ của mật độ từ thông do nam châm rôto

tạo ra không đổi dọc theo khe hở không khí. Điều này có thể đạt được bằng cách sử dụng nam châm có từ hóa song song. [2]



Hình 2.2 Sức phản điện động hình thang và hình sine

Khi một động cơ BLDC có dạng sóng EMF hình thang được cung cấp dòng điện stato hình chữ nhật, có thể tạo ra một mô-men xoắn không đổi. Mặt khác, PMSM là một loại động cơ AC có dạng sóng EMF hình sin do đó dòng điện của nó phải là dạng sóng hình sin để tạo ra mô-men xoắn không đổi như trong Hình 2.2.

Dạng sóng EMF hình sin yêu cầu mật độ từ thông do nam châm rôto tạo ra phải được phân bố theo hình sin dọc theo khe hở không khí [4]. PMSM thường được gọi là động cơ BLAC, trái ngược với động cơ BLDC.

Mật độ công suất của động cơ BLDC có dạng sóng EMF hình thang cao hơn 15% so với PMSM [5]. Điều này là do dạng sóng hình thang có thành phần cơ bản cao hơn dạng sóng hình sin, mặc dù chúng có cùng giá trị đỉnh. Bên cạnh dạng sóng EMF, có một số điểm khác biệt giữa động cơ BLDC và PMSM. Sự so sánh được liệt kê trong Bảng 2.2 [2]. Một động cơ BLDC thường sử dụng cuộn dây stato tập trung và dòng điện dạng sóng gần vuông chạy vào chúng. Ngược lại, PMSM thường sử dụng cuộn dây stato phân tán, trong đó dòng điện dạng sóng hình sin chạy qua. Tuy nhiên, gần đây, PMSM thường sử dụng cuộn dây tập trung do đầu cuối của cuộn dây ngắn và cấu trúc đơn giản phù hợp cho sản xuất tự động.

Bảng 2.1 So sánh giữa BLDC và PMSM

	BLDC Motor	PMSM
Back-EMF	Hình thang	Hình sin

Dây quấn stator	Dây quấn tập trung	Dây quấn dải
Dòng điện Stator	Dạng sóng bán vuông	Dạng hình sin
Mạch điều khiển	Nghịch lưu (chuyển mạch 120°)	Nghịch lưu 3 pha
Phương pháp điều khiển	Đơn giản, sử dụng các cảm biến Hall	Phức tạp, sử dụng các cảm biến có độ phân giải cao như encoder, resolver
Momen đập mạch	Momen đập mạch lớn	Momen đập mạch nhỏ
Chi phí cho hệ thống	Nhỏ	Lớn

Có một sự khác biệt rõ ràng trong phương pháp truyền động cho hai động cơ này. Trong quá trình kích thích của động cơ BLDC ba pha, dòng điện pha chỉ chạy trong hai trong số các cuộn dây ba pha tại một thời điểm và do đó, mỗi van bán dẫn của biến tần luôn hoạt động trong khoảng thời gian 120° trên mỗi chu kỳ vận hành cơ bản. Ngược lại, trong PMSM ba pha, dòng điện pha chạy trong tất cả các cuộn dây ba pha tại một thời điểm và do đó, mỗi công tắc của biến tần luôn hoạt động trong khoảng thời gian 180° trên mỗi chu kỳ vận hành cơ bản.

Bộ truyền động động cơ BLDC đơn giản và rẻ tiền so với bộ truyền động PMSM, vốn yêu cầu một phương pháp điều khiển véc-tơ phức tạp. Tuy nhiên, động cơ BLDC có gợn mô-men xoắn đáng kể trong quá trình chuyển đổi pha dòng điện, điều này sẽ được giải thích sau.

2.2.2.2. Cấu tạo của động cơ BLDC

Động cơ BLDC có thể được phân loại theo số cuộn dây stato: một pha, hai pha, ba pha và nhiều pha.

Động cơ BLDC một pha được sử dụng rộng rãi cho các thiết bị và máy móc nhỏ do cấu trúc đơn giản, mạch điều khiển đơn giản và chi phí thấp. Tuy nhiên, những động cơ như vậy chỉ có thể quay theo một hướng. Động cơ BLDC một pha có lợi cho các ứng dụng công suất nhỏ dưới 10 W chẳng hạn như quạt và quạt gió yêu cầu mô-men xoắn khởi động thấp. Động cơ BLDC nhiều pha trên bốn pha có thể được áp dụng chủ yếu cho các ứng dụng hàng không vũ trụ và quân sự đòi hỏi độ tin cậy cao do mật độ công suất tăng và khả năng chịu lỗi. [2] Động cơ BLDC ba pha được sử dụng rộng rãi nhất và được quan tâm trong phạm vi đề án này.

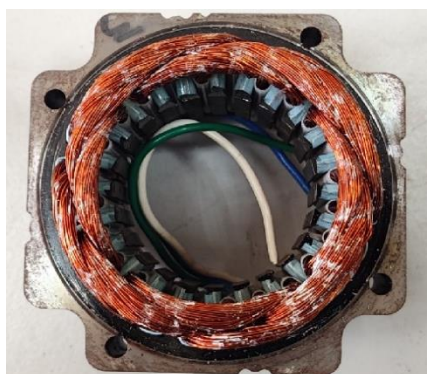
Cấu tạo BLDC motor gồm stator, rotor và cảm biến vị trí.



Hình 2.3 Các thành phần cơ bản của động cơ BLDC

❖ Stator

Stator bao gồm lõi thép là các lá thép kỹ thuật điện ghép cách điện với nhau và dây quấn.



Hình 2.4 Stator động cơ

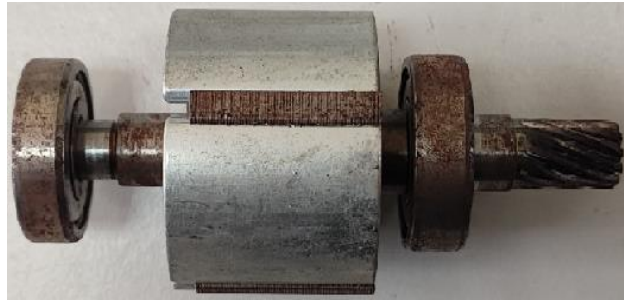
Hầu hết tất cả các động cơ một chiều không chổi than có 3 cuộn dây đấu với nhau theo hình sao hoặc hình tam giác. Mỗi một cuộn dây được cấu tạo bởi một số lượng các bó dây nối liền với nhau. Các bó dây này được đặt trong các khe và chúng được nối liền nhau để tạo nên một cuộn dây. Mỗi một trong các cuộn dây được phân bố trên chu vi của stator theo trình tự thích hợp để tạo nên một số chẵn các cực. Cách bố trí và số rãnh của stator của động cơ khác nhau thì cho chúng ta số cực của động cơ khác nhau.

Sự khác nhau trong cách nối liền các bó dây trong cuộn dây stator tạo nên sự khác nhau của hình dáng sức phản điện động. Động cơ nam châm vĩnh cửu có 2 dạng sức phản điện động là dạng hình sin và dạng hình thang. Điều này làm cho mô men của động cơ hình sin phẳng hơn nhưng giá thành lại đắt hơn do phải có thêm các bó dây nối liên tục, còn động cơ hình thang lại rẻ hơn nhưng đặc tính mô men lại có sự nhấp nhô vì sự thay đổi điện áp của sức phản điện động là lớn hơn.

❖ Rotor

Roto bao gồm trục động cơ và các nam châm vĩnh cửu được bố trí xen kẽ giữa các cực bắc và nam.

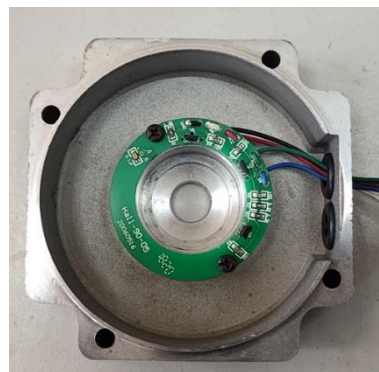
Để đạt được mô-men xoắn cực đại trong động cơ, mật độ từ thông của vật liệu phải cao. Cần có vật liệu từ tính thích hợp cho roto để tạo ra mật độ từ trường yêu cầu.



Hình 2.5 Rotor của động cơ BLDC

❖ Cảm biến vị trí – Cảm biến vị trí hiệu ứng Hall

Nguyên lý hoạt động cơ bản của động cơ BLDC là thay đổi các cuộn dây pha, cuộn dây này sẽ được kích thích theo vị trí của nam châm vĩnh cửu trên rôto để tạo ra mô-men xoắn liên tục. Để thực hiện chức năng này, thông tin về vị trí nam châm rôto là không thể thiếu. Cảm biến vị trí thường đạt được với các cảm biến hiệu ứng Hall.

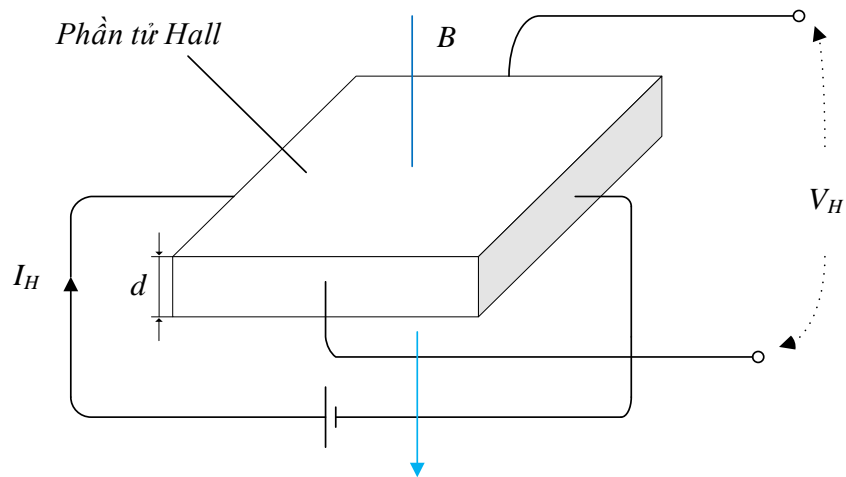


Hình 2.6 Cảm biến vị trí Hall

Ba cảm biến hiệu ứng Hall được dịch chuyển từ nhau 120 độ điện trên stato để phát hiện từ thông được tạo ra từ các nam châm rôto. Ba tín hiệu đầu ra của cảm biến hiệu ứng Hall giúp chúng ta nhận biết vị trí rôto được chia thành sáu phần khác nhau. Theo đó, phương pháp điều khiển cơ bản của động cơ BLDC là phương pháp 6 bước. [2]

Cảm biến hiệu ứng Hall là một thiết bị có thể phát hiện từ trường bằng cách sử dụng hiệu ứng Hall trên vật liệu bán dẫn. Như thể hiện trong hình 2.7 dưới đây, khi dòng điện I_H chạy qua tấm vật liệu bán dẫn - được gọi là phần tử Hall và mật độ từ trường B đi qua tấm, điện áp V_H được tạo ra để đáp ứng với từ trường bởi hiệu ứng Hall bằng:

$$V_H = \frac{R_H}{d} I_H B \quad PT 1$$



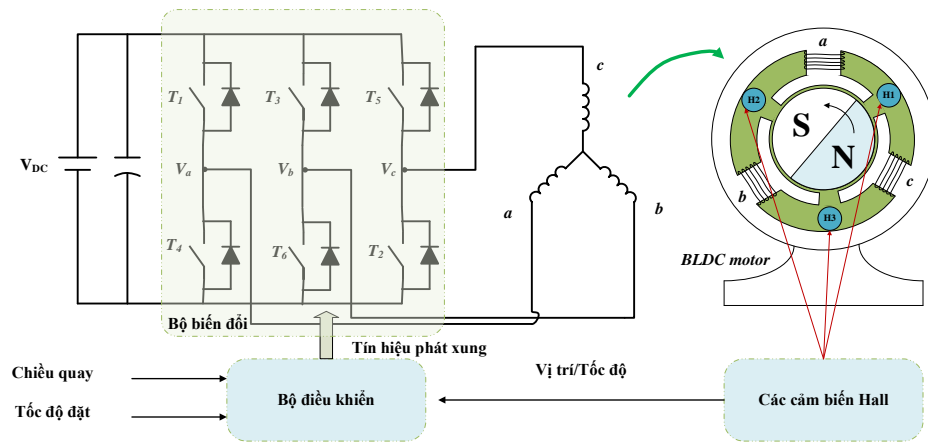
Hình 2.7 Hiệu ứng Hall

Từ việc đo điện áp V_H , vị trí và cực tính của từ trường có thể được phát hiện. Do đó, các cảm biến hiệu ứng Hall được sử dụng để phát hiện vị trí rôto của động cơ nam châm vĩnh cửu như động cơ BLDC.

2.2.3 Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC

Nguyên lý hoạt động cơ bản của động cơ BLDC là thay đổi các cuộn dây pha, cuộn dây này sẽ được kích thích theo vị trí của nam châm vĩnh cửu trên rôto để tạo ra mô-men xoắn liên tục. Để thực hiện chức năng này, thông tin về vị trí nam châm rôto là không thể thiếu. Cảm biến vị trí thường đạt được với cảm biến hiệu ứng Hall. [2]

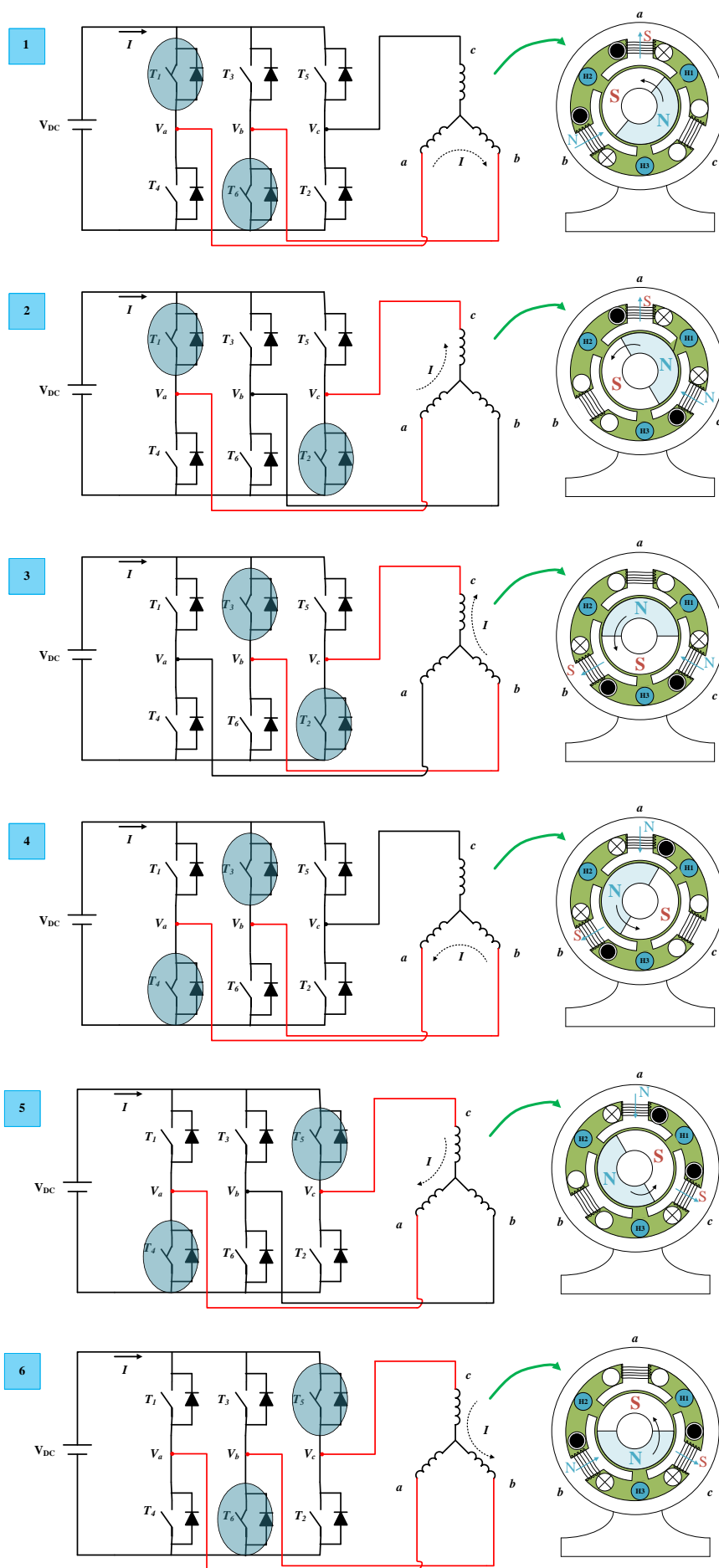
Hệ thống truyền động động cơ BLDC ba pha nối Y hai cực được thể hiện trong Hình 2.8. Ba cảm biến hiệu ứng Hall được dịch chuyển từ nhau 120 độ điện trên stato để phát hiện từ thông được tạo ra từ các nam châm rôto. Ba tín hiệu đầu ra của cảm biến hiệu ứng Hall giúp chúng ta nhận biết vị trí rôto được chia thành sáu sector khác nhau. Theo đó, một bộ truyền động cơ bản (thường gọi là bộ truyền động sáu bước – *six-step drive*) để hoàn thành một chu kỳ điện gồm có sáu sector khác nhau. Tất cả phân tích và trình bày nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC trong phần này đều cho chiều quay ngược kim đồng hồ. Đối với chiều quay thuận có thể phân tích tương tự.



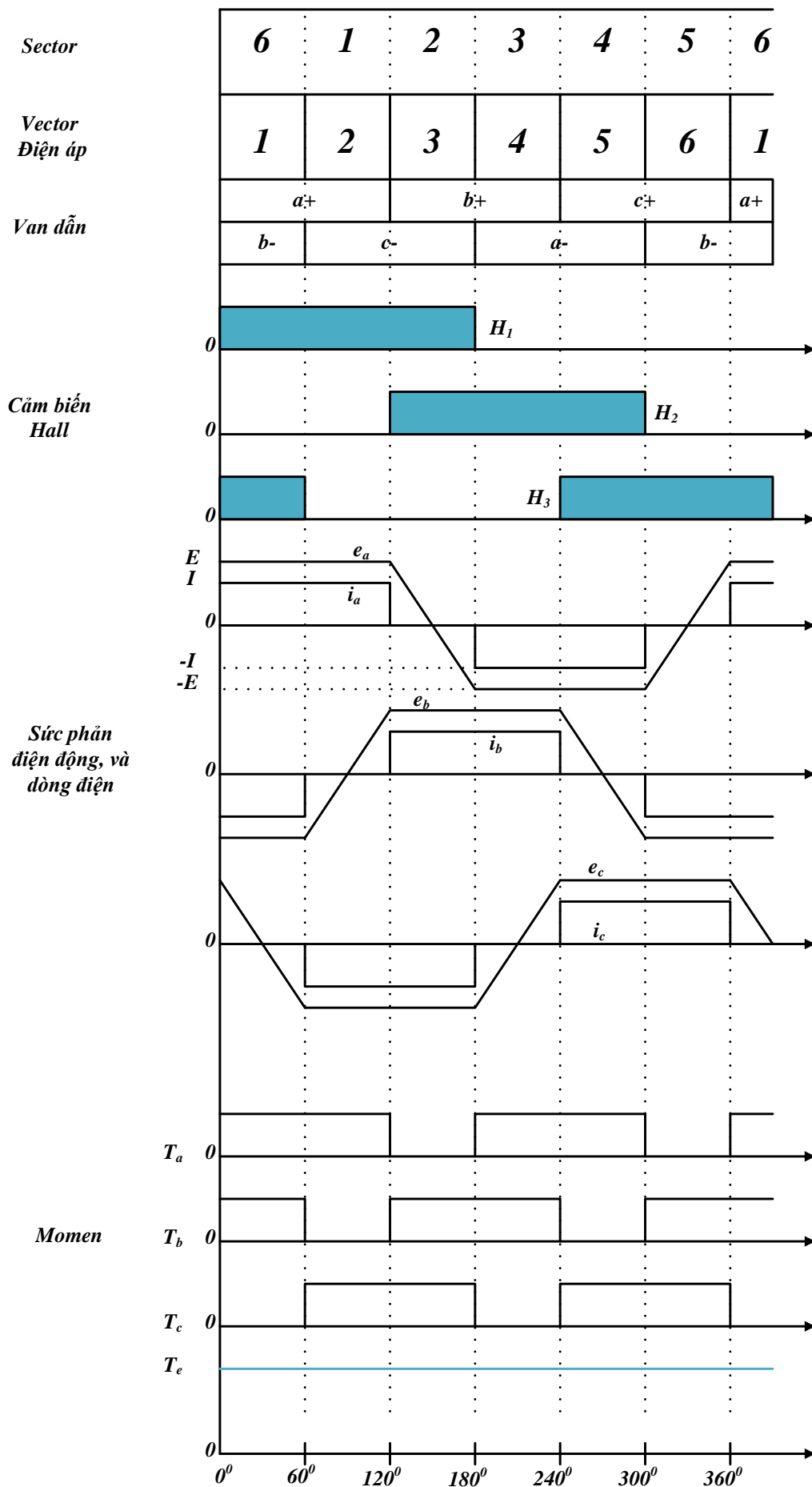
Hình 2.8 Hệ thống truyền động BLDC motor

Trình tự chuyển mạch cho truyền động sáu bước BLDC được minh họa trong Hình 2.9. Trong điều khiển động cơ BLDC, chỉ có hai trong số các cuộn dây ba pha được cấp điện, trong khi cuộn dây còn lại không được cấp điện. Đây là điểm khác biệt so với phương pháp điều khiển biến tần cho động cơ xoay chiều. Tín hiệu phản hồi vị trí rôto có thể được sử dụng để xác định hai cuộn dây ba pha nào sẽ được kích thích để tạo ra mômen quay liên tục tại mỗi thời điểm. Là một mạch điều khiển, biến tần ba pha được sử dụng để truyền dòng điện vào cuộn dây hai pha cần thiết. Trong biến tần cho truyền động BLDCM như trong Hình 2.9, các van chuyển mạch chỉ có hai pha hoạt động tại bất kỳ thời điểm nào. Theo đó, mỗi van chuyển mạch có khoảng thời gian dẫn 120. Trong truyền động sáu bước, việc chuyển đổi một công tắc đang hoạt động được thực hiện sang công tắc của pha khác, và do đó không cần thời gian chết để bảo vệ ngăn mạch trong biến tần.

Hình 2.10 minh họa các tín hiệu cảm biến hiệu ứng Hall (H1, H2, H3) liên quan đến back-EMF của cuộn dây stato trong truyền động sáu bước như trong Hình 2.9 và mối quan hệ giữa các tín hiệu cảm biến và dòng điện pha. Ở đây, giả sử rằng mỗi cảm biến tạo ra mức logic cao cho cực bắc, trong khi nó tạo ra mức thấp cho cực nam. Từ các tín hiệu cảm biến, cuộn dây pha kích thích, tức là cuộn dây pha hoạt động, nên được thay đổi sau mỗi 60 độ quay điện để tạo ra mô-men xoắn liên tục. Quá trình chuyển đổi của một pha hoạt động được gọi là *commutation*. Đối với chuyển động quay ngược, trình tự chuyển mạch đối với các tín hiệu cảm biến hiệu ứng Hall phải được thay đổi. Hình 2.9 minh họa thứ tự chuyển mạch các van bán dẫn cho động cơ BLDC 3 pha, 1 cặp cực – Hình 2.9 và 2.10 minh họa thứ tự chuyển mạch của các van bán dẫn và hình dạng dòng điện, back-EMF tương ứng với từng sector [6].

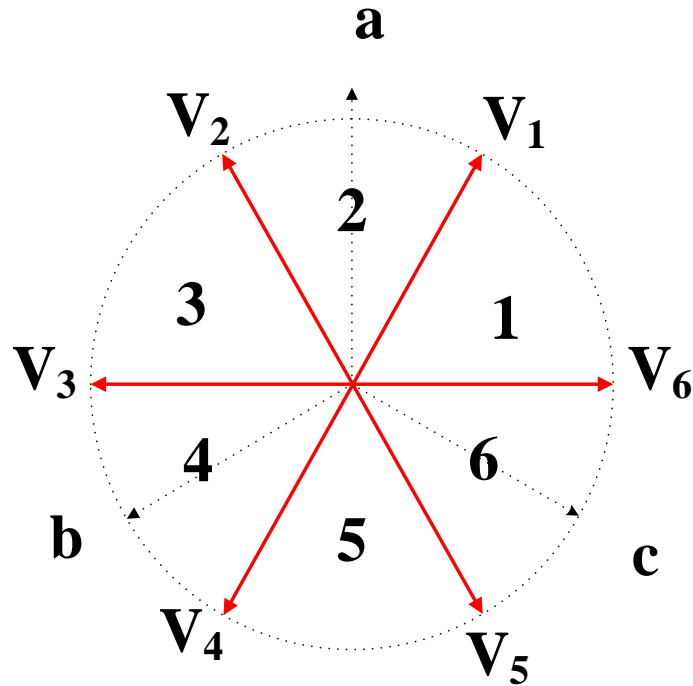


Hình 2.9 Trình tự chuyển mạch cho động cơ BLDC 3 pha, 1 cặp cực.



Hình 2.10 Nguyên lý truyền động của động cơ BLDC ba pha.

Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC dựa trên lực tương tác của từ trường do stato tạo ra và nam châm vĩnh cửu trên roto. Khi dòng điện chạy qua một trong ba cuộn dây stato sẽ tạo ra cực từ hút các nam châm vĩnh cửu gần nhất có cực từ trái dấu. Roto sẽ tiếp tục chuyển động nếu dòng điện dịch chuyển sang một cuộn dây liền kề. Cấp điện tuần tự cho mỗi cuộn dây sẽ làm cho roto quay theo từ trường quay. *Hình 2.11* thể hiện quỹ đạo các vector điện áp và các sector của rotor [7] [8].



Hình 2.11 Quỹ đạo vector điện áp và sector của rotor.

Đối với hệ truyền động BLDC, có tất cả 6 trạng thái đóng ngắt của các van (state switch). Ứng với mỗi trạng thái tương ứng với 1 vector không gian điện áp đầu ra có hướng và độ dài cố định. Các vector điện áp ra ứng với các trạng thái van được phép gọi là các vector trạng thái (véc tơ trạng thái). Vị trí của rotor được chia thành 6 sector tương ứng với 6 giá trị của 3 cảm biến Hall, với mỗi sector tương ứng với 1 vector điện áp được lựa chọn. Biểu diễn trên mặt phẳng tọa độ các vector trạng thái và sector rotor, mỗi sector ứng với góc 60° , như thể hiện trên *hình 2.11*. 6 vector trạng thái ứng với 6 trạng thái van được phép được liệt kê trong *Bảng 2.2*. 6 sector ứng với 6 trạng thái cảm biến Hall được liệt kê trong *Bảng 2.3*.

Bảng 2.2 Các vector trạng thái điện áp

State vector	State switch $u = T_1T_2T_3T_4T_5T_6$
V_1	100001
V_2	110000
V_3	011000
V_4	001100
V_5	000110
V_6	000011

Bảng 2.3 Các sector trạng thái

Sector	State Hall sensors $s = H_1H_2H_3$
S_1	100
S_2	110
S_3	010
S_4	011
S_5	001
S_6	101

Quỹ đạo từ thông (flux linkage trajectory) được thể hiện trong hình 2.12. Từ thông liên kết stator đối với động cơ BLDC được thể hiện với phương trình sau:

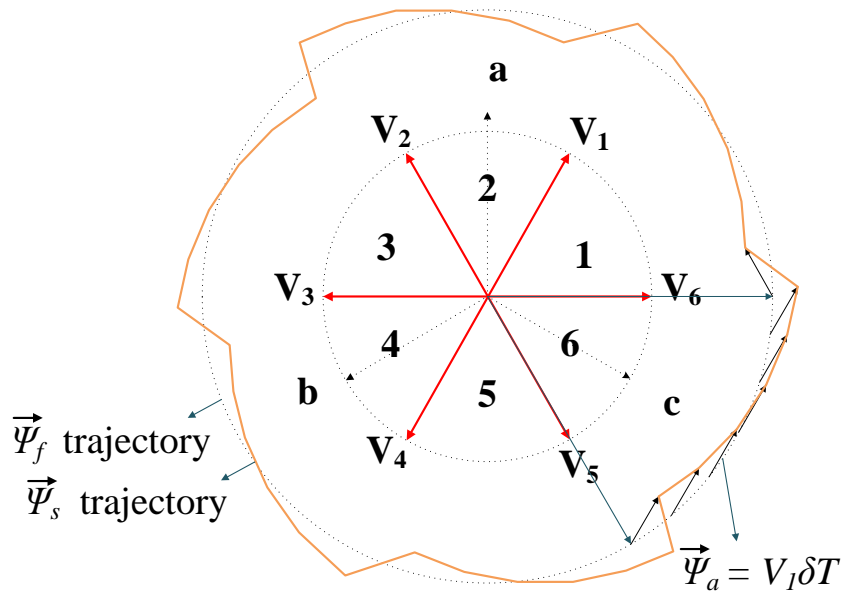
$$\vec{\psi}_s = \vec{\psi}_f + \vec{\psi}_a \quad PT 2$$

Trong đó:

$\vec{\psi}_s$: Từ thông liên kết stator.

$\vec{\psi}_f$: Từ thông nam châm vĩnh cửu.

$\vec{\psi}_a = \vec{V}_x \delta T$: Từ thông phản ứng phản ứng (amature reaction flux).



Hình 2.12 Quỹ đạo từ thông

Từ PT 2, cho thấy vector $\vec{\psi}_s$ luôn dẫn trước vector $\vec{\psi}_f$ một giá trị bằng $\vec{\psi}_a = \vec{V}_x \delta T$. Quan sát quỹ đạo từ thông cho thấy quỹ đạo từ thông liên kết stator có dạng không tròn do việc chuyển mạch không lý tưởng. Việc lựa chọn vector điện áp \vec{V}_x thích hợp có thể làm giảm dao động quỹ đạo từ thông liên kết stator. Việc lựa chọn

vector điện áp \vec{V}_x cũng làm cho Momen tác động nhanh hơn và lớn hơn. Ví dụ minh họa trên *hình 2.12* khi rotor đang ở sector 6 lựa chọn vector \vec{V}_1 cho trường hợp động cơ quay ngược chiều kim đồng hồ. Cũng đã trình bày ở trên, do việc chuyển mạch không lý tưởng khi rotor quay đến vị trí sector khác làm cho momen đập mạch lớn [9]. Điều này sẽ được phân tích, trong những phần sau của đồ án.

Tóm lại, việc điều khiển động cơ theo phương pháp 6 bước (six-step) là dựa vào tín hiệu phản hồi vị trí của rotor sử dụng các cảm biến vị trí Hall để áp các vector điện áp tương ứng. Trong *bảng 2.4*, trình bày việc áp dụng các vector điện áp tương ứng với vị trí rotor cho cả hai trường hợp quay thuận và quay ngược. Ký hiệu, CCW (counter-clockwise) là quay ngược chiều kim đồng hồ; CW (clockwise) là quay thuận chiều kim đồng hồ.

Bảng 2.4 Lựa chọn vector điện áp tương ứng với sector.

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
CCW	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
CW	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5

2.3 Tổng kết chương 2

Chương 2 đã trình bày một cách tổng quan về động cơ BLDC được sử dụng trong hệ thống tủ lưu trữ thông. Trong chương 2 đã đưa ra cấu trúc cơ bản của một động cơ BLDC, trình bày và phân tích một cách chi tiết và rõ về nguyên lý hoạt động của động cơ được sử dụng trong hệ thống. Từ đó, đưa ra được các ưu, nhược điểm của động cơ BLDC. Trong chương tiếp theo sẽ làm rõ hơn nữa các vấn đề đối với động cơ BLDC như mô hình toán học, phương pháp điều khiển, thiết kế điều khiển tốc độ và một số vấn đề khác.

CHƯƠNG 3. MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG CƠ BLDC VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN

3.1 Đặt vấn đề

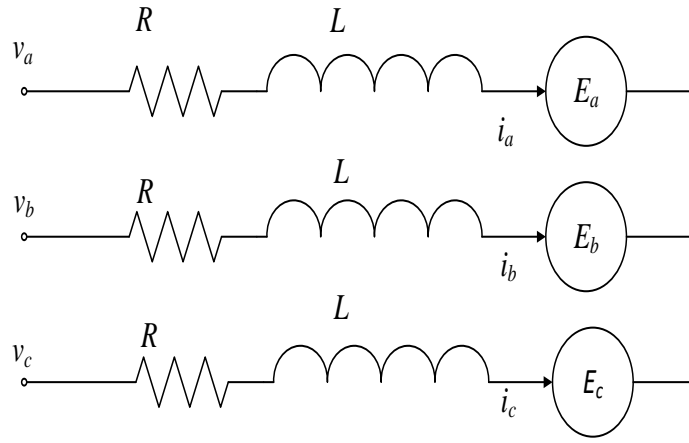
Các PMSM có emf cảm ứng hình thang được gọi là động cơ một chiều không chổi than PM (PMBDCM). Ưu điểm của một máy như vậy so với động cơ PMSM đã được thảo luận trong Chương 2. Lý do chính cho sự phổ biến của các động cơ này so với đối tác của nó là do sự đơn giản trong điều khiển của nó. Để bắt đầu khởi động và chuyển đổi dòng điện trong pha của động cơ, dạng của *emf* cảm ứng phải được theo dõi. Đó chỉ là sáu vị trí riêng biệt trong mỗi chu kỳ điện. Những tín hiệu này có thể dễ dàng được tạo ra bằng cách sử dụng ba cảm biến Hall lệch nhau 120 độ điện. Các cảm biến Hall được gắn đối diện với một nam châm được cố định vào rôto có cùng số cực như trong rôto của PMBDCM để cung cấp thông tin vị trí. Sự sắp xếp như vậy để theo dõi vị trí tuyệt đối của nam châm rôto và do đó hình dạng và vị trí của các emfs cảm ứng trong tất cả các pha của máy. Trái ngược với PMSM, yêu cầu vị trí rôto tuyệt đối liên tục và tức thời, yêu cầu phản hồi vị trí PMBDCM đơn giản hơn nhiều vì nó chỉ yêu cầu sáu vị trí tuyệt đối riêng biệt cho máy ba pha, giúp tiết kiệm chi phí lớn cho cảm biến phản hồi. Ngoài ra, việc kiểm soát liên quan đến các hoạt động véc tơ quan trọng trong hệ truyền động PMSM trong khi các hoạt động đó không bắt buộc đối với hoạt động của hệ truyền động PMBDCM [10].

Mô hình động của động cơ DC không chổi than PM với sơ đồ điều khiển của nó được xem xét trong chương này. Mô phỏng và phân tích theo mô hình động học. Một số tài liệu tham khảo về mô hình hóa và điều khiển [11]-[13], mô phỏng [14], [15] của hệ thống truyền động động cơ.

3.2 Mô hình toán học

Mô hình toán học của đối tượng là các mối quan hệ toán học nhằm mục đích mô tả lại đối tượng thực tế đó nhưng dưới dạng các biểu thức toán học để thuận lợi cho quá trình phân tích, khảo sát và thiết kế. Đối với động cơ, mô tả toán học đóng vai trò quan trọng vì mọi khảo sát và tính toán bằng lý thuyết đều dựa trên mô hình toán học. Vì vậy mô hình toán học là chìa khóa để mở ra mọi vấn đề trong quá trình tính toán thiết kế các bộ điều khiển cho động cơ [6].

Để thực hiện xây dựng mô hình toán cần phải đưa động cơ BLDC về các thành phần điện tử cơ bản. Hình 3.1 trình bày mô hình mạch điện trong động cơ bao gồm 3 cuộn dây stato được ước lượng bởi điện trở R_a , và điện cảm L_a , do 3 cuộn dây của stator được đặt cạnh nhau nên xảy ra hiện tượng hồ cảm M. Mặt khác do rotor của động cơ là nam châm vĩnh cửu nên khi rotor quay sẽ quét qua cuộn dây stator nên có sự tương tác giữa hai từ trường. Vì vậy các đại lượng e_a, e_b, e_c thể hiện sự tương tác giữa 2 từ trường, biên độ của các sức phản điện động này là bằng nhau và bằng E. Do các nam châm đều được làm từ vật liệu có suất điện trở cao nên có thể bỏ qua dòng cảm ứng rotor [6].



Hình 3.1 Mô hình mạch tương đương của động cơ BLDC.

Ba cuộn dây trên stator có điện trở lần lượt là R_a, R_b, R_c ; L_a, L_b, L_c lần lượt là điện cảm của các cuộn dây; M_{ab}, M_{bc}, M_{ca} là hồ cảm giữa các cuộn dây tương ứng.

Ta có phương trình điện áp pha của động cơ BLDC:

$$\begin{aligned} V_a &= R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + M_{ab} \frac{di_b}{dt} + M_{ac} \frac{di_c}{dt} + e_a \\ V_b &= R_b i_b + L_b \cdot \frac{di_b}{dt} + M_{ba} \frac{di_a}{dt} + M_{bc} \frac{di_c}{dt} + e_b \\ V_c &= R_c i_c + L_c \cdot \frac{di_c}{dt} + M_{ca} \frac{di_a}{dt} + M_{cb} \frac{di_b}{dt} + e_c \end{aligned} \quad PT 3$$

Từ các phương trình trên, ta có phương trình điện áp ba pha viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ba} & L_b & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & L_c \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad PT 4$$

Với các giả thiết, điện cảm và hồ cảm của 3 pha là tương đương và bằng hằng số. Vì vậy,

$$L_a = L_b = L_c = L \quad PT 5$$

Và điện cảm.

$$M_{ab} = M_{ac} = M_{ba} = M_{bc} = M_{ca} = M_{cb} \quad PT 6$$

Vì ba pha stator là cân bằng, nên điện trở ba pha là tương đương,

$$R_a = R_b = R_c = R \quad PT 7$$

Sử dụng toán tử Laplace, phương trình ma trận (4) được viết lại như sau:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = s \cdot \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad PT 8$$

Do ba pha của động cơ nối theo kiểu sao nên ta có

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad PT 9$$

Vì vậy,

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = s \cdot \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad PT 10$$

Mô men điện từ của động cơ,

$$T_{em} = J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} + B \cdot \omega_m + T_l \quad PT 11$$

Mô men điện từ phụ thuộc vào back-EMF và dòng điện rotor nên mô men điện từ có thể biểu diễn ở dạng,

$$T_{em} = \frac{e_a \cdot i_a + e_b \cdot i_b + e_c \cdot i_c}{\omega_m} = 2 \frac{EI}{\omega_m} \quad PT 12$$

3.3 Mô hình hàm truyền của động cơ

Động cơ BLDC được điều khiển bởi bộ nghịch lưu thì trong chế độ vận hành 2 trong 3 pha của động cơ được cấp điện. Giả sử, pha A và pha B đang được cấp điện, [6] [16]

$$\begin{aligned} i_a &= -i_b = i \\ \frac{di_a}{dt} &= -\frac{di_b}{dt} = \frac{di}{dt} \end{aligned} \quad PT 13$$

Vì vậy, ta có thể suy ra dòng điện dây như sau,

$$v_{AB} = 2 \cdot R \cdot i + 2 \cdot (L - M) \cdot \frac{di}{dt} + (e_a - e_b) \quad PT 14$$

Một cách tổng quát, khi động cơ BLDC trong chế độ vận hành, có 2 trong 3 pha sẽ được cấp điện. Vì vậy, ta có phương trình tổng quát,

$$V_d = r_a \cdot i + L_a \cdot \frac{di}{dt} + K_e \cdot \omega \quad PT 15$$

Phương trình động cơ,

$$\begin{aligned} T_e - T_l &= J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega \\ T_e &= K_T \cdot i \end{aligned} \quad PT 16$$

Khi động cơ vận hành không tải, ta có dòng điện phản ứng

$$i = \frac{J}{K_T} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{B \cdot \omega}{K_T} \quad PT 17$$

Kết hợp các phương trình (15), (16), (17),

$$V_d = r_a \cdot \left(\frac{J}{K_T} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{B \cdot \omega}{K_T} \right) + L_a \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{J}{K_T} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{B \cdot \omega}{K_T} \right) + K_e \cdot \omega \quad PT 18$$

Vì vậy,

$$V_d = \frac{L_a \cdot J}{K_T} \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{r_a \cdot J + L_a \cdot B}{K_T} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{r_a \cdot B + K_e \cdot K_T}{K_T} \cdot \omega \quad PT 19$$

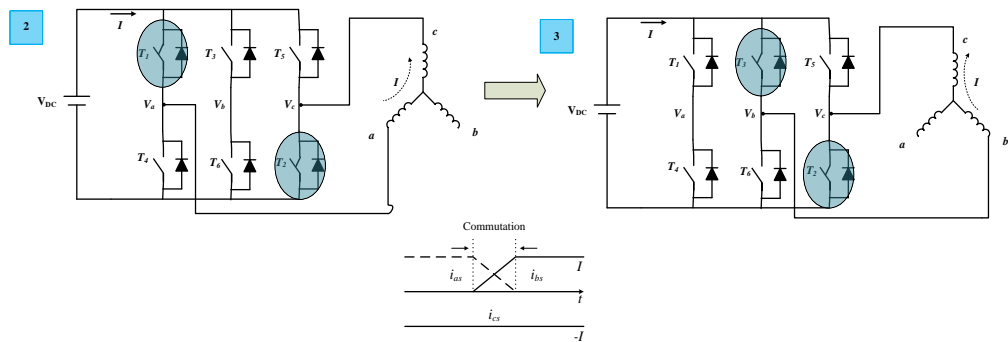
Hàm truyền của động cơ BLDC thể hiện mối quan hệ giữa DC voltage và vận tốc góc. Sử dụng toán tử Laplace vào phương trình (19) ta thu được mô hình hàm truyền của động cơ,

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V_d(s)} = \frac{K_T}{L_a \cdot J \cdot s^2 + (r_a \cdot J + L_a \cdot B) \cdot s + (r_a \cdot B + K_e \cdot K_T)} \quad PT 20$$

3.4 Momen đập mạch trong quá trình chuyển mạch

Mặc dù back-EMF là một dạng sóng hình thang lý tưởng, đập mạch mô-men xoắn có thể xảy ra do đập mạch dòng điện được đưa vào trong quá trình chuyển đổi dòng điện pha [17] [18] [19] [20] [21]. Đập mạch mô-men xoắn này có thể là một trở ngại lớn trong việc áp dụng động cơ BLDC cho truyền động động cơ hiệu suất cao. Dưới đây là mô tả về nguyên nhân gây ra gợn sóng mô-men xoắn trong quá trình chuyển đổi dòng điện pha.

Xét sự chuyển mạch của dòng điện pha từ *sector 1* sang *sector 2* trong Hình 3.2. Dòng điện stato trong quá trình chuyển mạch được coi là không đổi và bằng I . Độ lớn của back-EMF cũng được giả định là một giá trị không đổi E .



Hình 3.2 Chuyển mạch dòng điện pha từ *sector 1* sang *sector 2*.

Trong *sector 1*, dòng điện stato I chạy từ pha as sang pha cs , trong khi ở *sector 2*, dòng điện I chạy từ pha bs sang pha cs . Do đó, dòng điện được chuyển từ pha as sang pha bs trong quá trình chuyển đổi từ *sector 1* sang *sector 2*. Trong trường hợp này, pha khi dòng điện as giảm xuống 0, trong khi dòng điện pha bs tăng đến giá trị cuối cùng I . Trong khi đó, dòng điện pha cs , i_{cs} , dòng điện không chuyển mạch, vẫn không thay đổi. Trong quá trình chuyển đổi từ *sector 1* sang

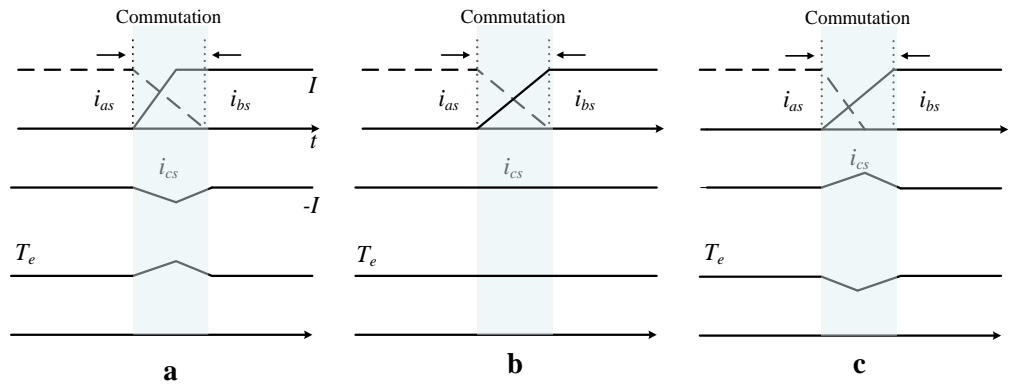
sector 2, $e_{as} = e_{bs} = E, e_{cs} = -E$. Do đó, mô-men xoắn đầu ra của phương trình (12) có thể được biểu thị dưới dạng

$$T_{em} = \frac{e_a \cdot i_a + e_b \cdot i_b + e_c \cdot i_c}{\omega_m} = \frac{E(i_a + i_b) - E i_c}{\omega_m} \quad PT 21$$

$$= -2 \frac{E}{\omega_m} i_c$$

Từ phương trình (21), có thể dễ dàng nhận thấy rằng, trong quá trình chuyển mạch, mô men xoắn tỷ lệ với dòng điện không chuyển mạch i_{cs} . Nếu dòng điện không chuyển mạch i_{cs} vẫn là một giá trị không đổi trong quá trình chuyển mạch, thì mô-men xoắn cũng trở thành một giá trị không đổi.

Trong quá trình chuyển mạch, cần có thời gian để thay đổi dòng điện do độ tự cảm của cuộn dây. Nếu tốc độ giảm của dòng điện pha as bằng tốc độ tăng của dòng điện pha bs , $i_{as} + i_{bs} = I$, do đó dòng điện pha cs , i_{cs} , duy trì ở một giá trị không đổi, $-I$. Tuy nhiên, trong thực tế, hai tốc độ thay đổi này thường không bằng nhau do back-EMF, điện áp DC-link, hằng số thời gian của cuộn dây, v.v. Theo đó, dòng điện không chuyển mạch không thể duy trì ở một giá trị không đổi, dẫn đến một gợn sóng mô-men xoắn. Ví dụ, Hình 3.3 cho thấy tốc độ thay đổi của dòng điện thay đổi tùy theo điện áp DC và back-EMF [17].



Hình 3.3 Dòng điện pha trong quá trình chuyển mạch trong các trường hợp khác nhau. (a) tốc độ thấp ($V_{DC} < 4E$), (b) tốc độ trung bình ($V_{DC} = 4E$) và (c) tốc độ cao ($V_{DC} > 4E$).

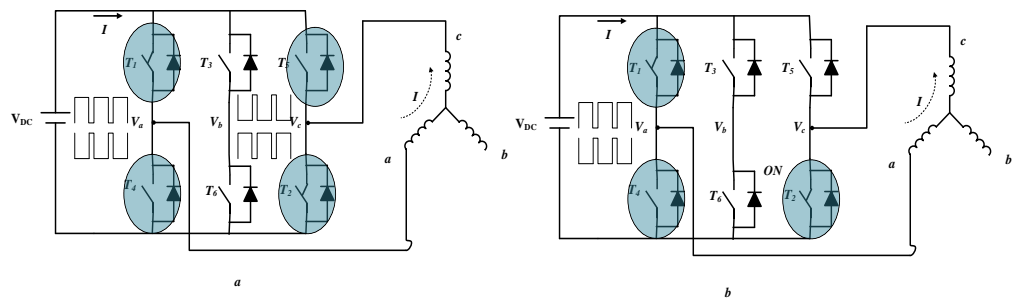
Hình 3.3a cho thấy dòng điện pha bs đạt đến giá trị cuối cùng I trước khi pha khi dòng điện as giảm về không. Do đó, dòng điện không chuyển mạch, dòng điện pha cs , i_{cs} , trở nên lớn hơn I , dẫn đến sự gia tăng mô-men xoắn. Mặt khác, Hình 3.3c cho thấy pha khi dòng điện as giảm về 0 trước khi dòng điện pha bs đạt đến giá trị cuối cùng, I . Trong trường hợp này, dòng điện không chuyển mạch, dòng điện pha cs , i_{cs} , trở nên nhỏ hơn I , dẫn đến một giảm mô-men xoắn. Hình 3.3b cho thấy một trường hợp lý tưởng trong đó pha khi dòng điện as giảm xuống 0 đồng thời với dòng điện pha bs đạt đến giá trị cuối cùng I . Trong trường hợp này, dòng điện không chuyển mạch không đổi và do đó dẫn đến mô-men xoắn không đổi.

Vì lý do này, bất cứ khi nào dòng điện cuộn dây được chuyển từ pha này sang pha khác, một gợn sóng trong mô-men xoắn đầu ra sẽ được tạo ra. Do đó, gợn sóng của mô-men xoắn này xảy ra sáu lần trong mỗi chu kỳ. Độ lớn của gợn

mô-men xoắn phụ thuộc vào mức dòng điện vận hành và tốc độ vận hành. Điều này cũng khác nhau tùy theo kỹ thuật điều chế độ rộng xung (PWM) được sử dụng trong biến tần điều khiển. Các gợn mô-men xoắn chuyển mạch tạo ra nhiều và làm suy giảm các đặc tính kiểm soát tốc độ, đặc biệt là ở tốc độ thấp. Do đó, nhiều phương pháp để giảm độ đập mạch mô-men xoắn này đã được phát triển [17 – 21]. Ví dụ, *Hình 3.3c* cho thấy gợn sóng của dòng điện pha (do đó, mô-men xoắn) được loại bỏ bằng cách sử dụng bù gợn sóng chuyển mạch trong đó điện áp đầu vào của động cơ được điều chỉnh để cân bằng tốc độ thay đổi của dòng điện trong quá trình chuyển mạch [21].

3.5 Kỹ thuật điều chế độ rộng xung – PWM

Trong truyền động động cơ BLDC, có hai kỹ thuật PWM thông thường để tạo điện áp đặt vào động cơ như trong *Hình 3.4*: phương pháp chuyển mạch lưỡng cực và phương pháp chuyển mạch đơn cực [22], [23]. Các kỹ thuật này tương tự như các kỹ thuật PWM của mạch cầu H cho truyền động động cơ DC. Sự giống nhau này là do thực tế là các công tắc chỉ có hai pha được điều khiển trong biến tần ba pha cho động cơ BLDC. Tuy nhiên, có một số biến thể cho phương pháp chuyển mạch đơn cực.



Hình 3.4 Kỹ thuật PWM. (a) chuyển mạch lưỡng cực và (b) chuyển mạch đơn cực.

3.5.1 Phương pháp chuyển mạch lưỡng cực

Trong phương pháp chuyển mạch lưỡng cực, tín hiệu PWM được áp dụng cho tất cả các chuyển mạch của hai pha như trong *Hình 3.4a*. Ngược lại, trong phương pháp chuyển mạch đơn cực như trong *Hình 3.4b*, tín hiệu PWM chỉ được áp dụng cho các công tắc của một pha trong khi một công tắc của pha kia được giữ ở trạng thái ON. Phương pháp lưỡng cực đơn giản và có thể cho đáp ứng tức thời tốt hơn vì $+V_{DC}$ hoặc $-V_{DC}$ được áp dụng trên cuộn dây pha. Tuy nhiên, dòng điện đập mạch (do đó, đập mạch mô-men xoắn) và tổn thất chuyển mạch lớn hơn so với phương pháp chuyển mạch đơn cực.

3.5.2 Phương pháp chuyển mạch đơn cực

Trong phương pháp chuyển mạch đơn cực, tổn thất chuyển mạch có thể giảm do tín hiệu PWM được áp dụng cho các chuyển mạch chỉ một pha. Ngoài ra, do điện áp đặt vào các cuộn dây pha là 0 và $+V_{DC}$ hoặc 0 và $-V_{DC}$, độ gợn dòng điện bằng một nửa so với phương pháp chuyển mạch lưỡng cực. Do những ưu điểm này, phương pháp chuyển mạch đơn cực được sử dụng rộng rãi hơn cho truyền

động động cơ BLDC. Tuy nhiên, phương pháp này phức tạp và có phản ứng chậm hơn so với phương pháp chuyển mạch lưỡng cực. Ngoài ra, dòng điện ngược có thể xảy ra trong cuộn dây pha không hoạt động. Do đó, phương pháp này ít thuận lợi hơn đối với các hệ truyền động servo chính xác.

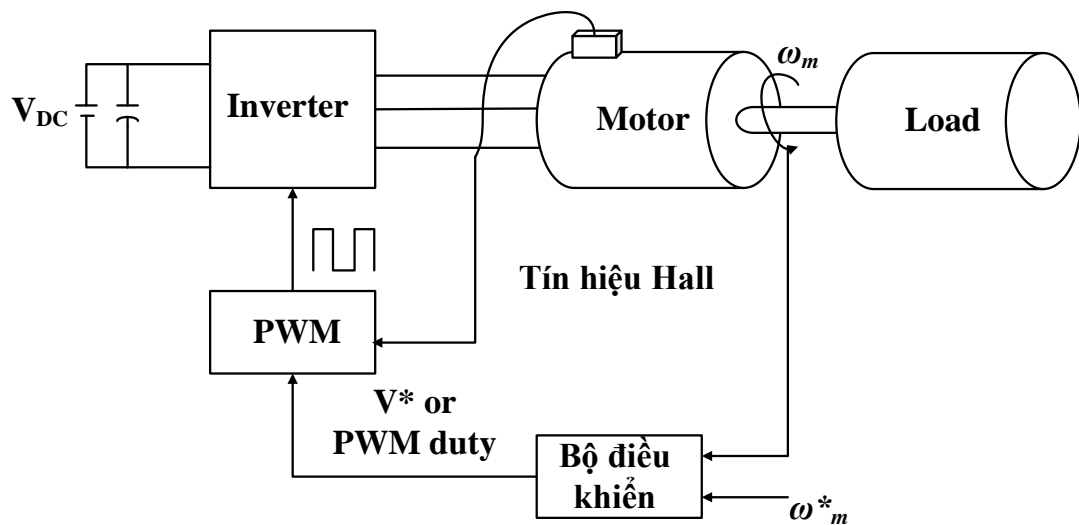
3.6 Điều khiển động cơ BLDC

Như có thể thấy trong Chương 2, chúng ta có thể vận hành động cơ BLDC một cách dễ dàng bằng cách đảo ngược dòng điện pha phù hợp dựa trên thông tin về vị trí của rôto. Tương tự như động cơ DC, tốc độ hoạt động của động cơ BLDC tỷ lệ thuận với điện áp đặt vào động cơ và do đó tốc độ của nó có thể được kiểm soát bằng cách điều chỉnh điện áp đặt vào [2].

Hệ thống điều khiển tốc độ đơn giản nhất để điều khiển tốc độ của động cơ BLDC được thể hiện trong *Hình 3.5*. Bộ điều khiển tích phân tỷ lệ (PI) thường được sử dụng để điều khiển tốc độ. Đầu ra của bộ điều khiển tốc độ PI này xuất ra điện áp tham chiếu V^* động cơ (giá trị duty cycle của xung PWM) dưới dạng

$$V^* = \left(K_P + \frac{K_I}{s} \right) \cdot (\omega_m^* - \omega_m) \quad PT 22$$

trong đó K_P và K_I lần lượt là các hằng số tỷ lệ và tích phân của bộ điều khiển tốc độ PI.



Hình 3.5 Cấu trúc điều khiển tốc độ của động cơ BLDC

Điện áp tham chiếu này được tạo ra bằng kỹ thuật PWM và sau đó được áp dụng cho động cơ BLDC. Hệ thống kiểm soát tốc độ này tuy đơn giản nhưng lại gặp vấn đề lớn. Trong phương pháp này, dòng điện động cơ khó kiểm soát trong một phạm vi thích hợp. Điều này là do khi lệnh tốc độ được thay đổi, tham chiếu điện áp có thể bị thay đổi phần lớn. Do đó, chúng ta không thể mong đợi có được phản ứng động tốt của điều khiển tốc độ. Hơn nữa, điều này có thể tạo ra dòng điện quá độ lớn hơn dòng định mức, có thể dẫn đến hư hỏng hệ thống truyền động.

3.7 Tổng kết chương 3

Tổng kết lại, chương 3 đã đi vào phân tích mô hình toán học và hàm truyền của động cơ và phân tích hiện tượng đập mạch mô-men của động cơ BLDC trong quá trình chuyển mạch. Sau đó, đưa ra một số kỹ thuật điều khiển và điều chế tín hiệu đóng mở van bán dẫn để điều khiển động cơ từ đó đưa ra được các ưu và nhược điểm của từng phương pháp. Cuối cùng, đưa ra được cấu trúc điều khiển tốc độ trong hệ truyền động của tủ lưu trữ thông minh – cũng là cấu trúc truyền động động cơ BLDC. Qua 3 chương đã trình bày ở trên, nội dung của đồ án đã đưa ra các cơ sở cần về nguyên lý hoạt động cũng như các vận hành đối với hệ thống truyền động đề xuất về mặt lý thuyết. Các chương tiếp theo sẽ đi vào trình bày về thiết kế mạch điều khiển trong thực về và một số thành phần của phần cứng và phần mềm hỗ trợ trong quá trình vận hành hệ thống tủ lưu trữ thông minh.

CHƯƠNG 4. THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC

4.1 Đặt vấn đề

Để thực hiện điều khiển động cơ BLDC thì chúng ta thực hiện điều khiển sự đóng cắt của các van trong bộ biến đổi để cấp điện cho từng cặp van tương ứng. Vì thế có hai cách để thay đổi điện áp đặt lên van đó là thay đổi điện áp một chiều hoặc thay đổi điện áp cấp cho cuộn dây stator của động cơ.

Để điều khiển động cơ BLDC hiện nay với công nghệ bán dẫn ngày càng phát triển nên các nhà sản xuất IC có thể tích hợp nhiều chức năng trên một IC bán dẫn vì thế nên việc nghiên cứu điều khiển các loại động cơ gặp nhiều thuận lợi hơn trước. Có rất nhiều loại vi xử lý khác nhau của nhiều hãng khác nhau sản xuất nhưng mỗi loại lại có sự khác nhau về cấu trúc vào ra và chức năng của các chân cũng khác nhau. Vì vậy khi lựa chọn vi xử lý cần phải để ý đến mục đích của việc điều khiển động cơ là như thế nào tức là điều khiển cho động cơ loại công suất nào, chủng loại của động cơ. Đối với động cơ BLDC dùng phương pháp chuyển mạch hai cực tính để cấp điện cho các cuộn dây của động cơ nên chúng ta có thể thực hiện điều khiển động cơ thông qua việc điều chế độ rộng xung trong khoảng thời gian mà các van dẫn để thay đổi điện áp đặt lên động cơ. Việc điều chế độ rộng xung là hoàn toàn có thể làm được. Với động cơ BLDC sử dụng là loại DC24V 120W có công suất nhỏ, do đó chúng ta lựa chọn van MOSFET.

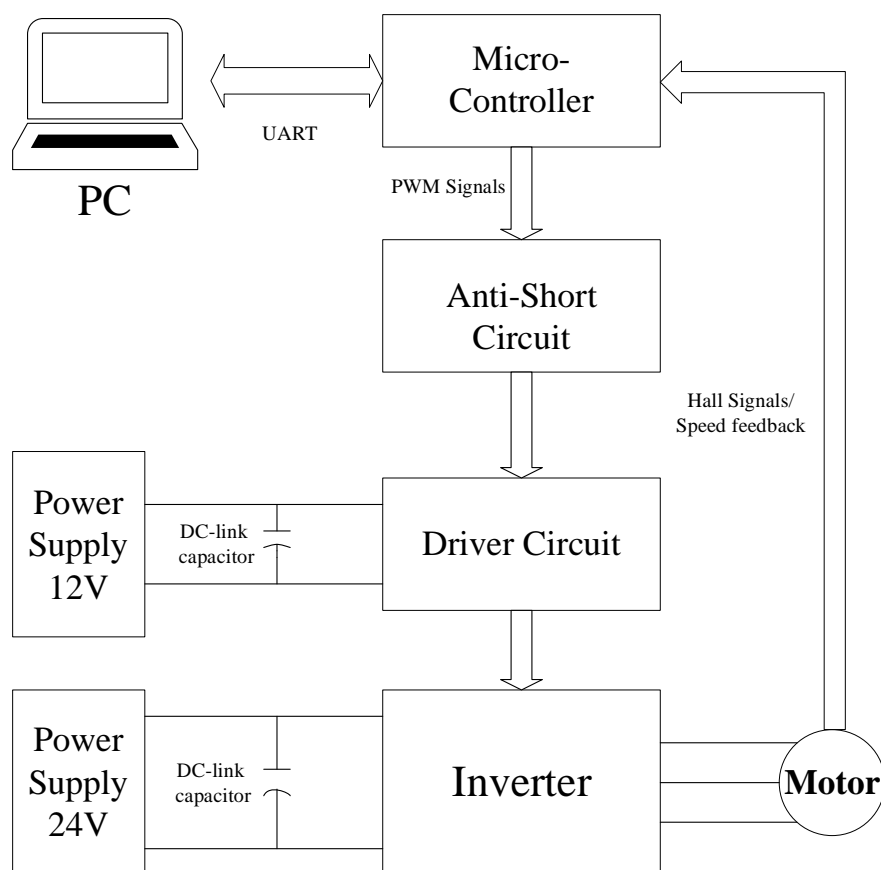
Đối với động cơ BLDC 120W thì các van của bộ biến đổi được sử dụng cấp dòng lớn. Vì vậy các tín hiệu điều khiển từ các loại vi xử lý đưa ra là không đủ điện áp để mở các van nên để thực hiện được truyền động cho động cơ thì ngoài mạch điều khiển dùng vi xử lý thì cần phải có thêm mạch đệm để kích mở van MOSFET. Vì vậy trong phần này sẽ có hai vấn đề được trình bày đó là: Thiết kế mạch điều khiển và thiết kế mạch mở van mosfet.

4.2 Cấu trúc tổng thể của hệ thống

Với hệ thống truyền động tử thông minh sử dụng động cơ truyền động chính là BLDC motor, cấu trúc tổng thể được đề xuất cho hệ thống được thể hiện trong Hình 4.1 bên dưới.

Với hệ thống được đề xuất gồm các thành phần chính sau:

- PC/Monitor: hiển thị và giám sát tốc độ của hệ thống qua cổng truyền thông UART.
- Power Supply 24V/12V.
- DC-Link Capacitor.
- Anti-Short Circuit.
- Driver Circuit.
- Inverter.
- BLDC Motor.



Hình 4.1 Cấu trúc tổng thể của hệ thống.

4.3 Động cơ BLDC 90ZWN24-120P

Đặc tính động cơ không chổi than BLDC 90ZWN24-120P đã được trình bày trong hình 2.1:

- Số đôi cực: 2
- Điện áp định mức: 24V
- Dòng điện định mức: 6,8A
- Momen xoắn: 7800g.cm
- Công suất định mức: 120W
- Tốc độ định mức: 1500v/phút

Bảng 4.1 Đặc tính động cơ BLDC 90ZWN24-120P

Điều kiện làm việc	Đặc tính kỹ thuật	Điều kiện bảo quản
Độ cao: $\leq 1000\text{m}$ Nhiệt độ môi trường xung quanh: $-25^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$ Độ ẩm tương đối: 90% (khi nhiệt độ là 20°C)	Độ bền điện môi cách điện: $\leq 60V_{DC}$ 500 v/phút, $>60V_{DC}$ 1500V/phút. Kháng cách điện không nhỏ hơn 1000M Ω Nhiệt độ tăng: $\leq 75\text{K}$ Tiếng ồn: $\leq 40\text{dB}$	Nhiệt độ không khí từ $-10^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$ Độ ẩm tương đối $<90\%$. Thông gió tốt

4.4 Thiết kế chế tạo bộ nghịch lưu 3 pha

4.4.1 Thiết kế, chế tạo mảng mạch lực và driver cho bộ nghịch lưu

4.4.1.1. Cơ sở nguyên lý

Động cơ BLDC có công suất $120W$, dòng điện định mức $I_{dm} = 6.8A$, điện áp định mức $V_{dm} = 24V$.

Chỉ tiêu về dòng điện: động cơ điện có các chế độ làm việc mà dòng điện lớn hơn dòng điện mức, chọn hệ số dự trữ dòng điện khi khởi động 2.5 – chế độ khởi động.

Ta chọn hệ số dự trữ dòng điện với làm mát bằng gió cho van $k_{lv} = 4$. Dòng điện đỉnh qua van MOSFET với hệ số dự trữ 4 là:

$$I_v = k_{lv} \cdot I_{tbv} = 4 * 6.8 = 27.2 A \quad PT\ 23$$

Dòng trung bình qua van MOSFET được tính theo công thức sau:

$$I_{tbv} = \frac{1}{T} \int_0^T i_v(t). dt \quad PT\ 24$$

Dòng trung bình qua van Diode được tính theo công thức sau:

$$I_{tbD} = \frac{1}{T} \int_0^T i_D(t). dt \quad PT\ 25$$

Vì dòng điện trung bình qua các van ta thấy giá trị dòng trung bình qua các van đều nhỏ hơn hoặc bằng $I_{dm} = 6.8A$. Vậy để tính chọn van ta lấy luôn giá trị $I_{dm} = 6.8A$ làm giá trị dòng điện tính toán cho các van.

Sử dụng điện áp $V_{DC} = 24V$ làm nguồn cấp cho bộ chỉnh lưu, về sơ bộ (chưa tính sụt áp trên các van) thì điện áp cấp cho phần ứng động cơ xem như lý tưởng bằng $V_{DC} = 24V$. Điện áp ngược mà van phải chịu chính là điện áp trên tụ DC-Link.

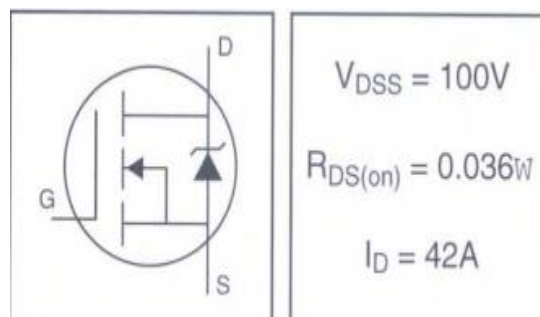
Vì vậy, điện áp ngược lớn nhất mà các van phải chịu lớn nhất là

$$V_{ng,max} = k_u * V_{DC} = 2 * 24 = 48(V) \quad PT\ 26$$

Với hệ số dự trữ điện áp $k_u = 2$.

Vậy dòng điện và điện áp dùng để chọn van là: $I_v > 27.2A$, $V_{ng,max} = 48V$.

Từ các thông số trên, lựa chọn van MOSFET IRFP150NPBF-ND [24] như trong hình 4.2.



Hình 4.2 Van MOSFET IRFP150NPBF.

Thông số của van MOSFET IRFP150NPBF được thể hiện trong bảng 4.2

Bảng 4.2 Thông số van Mosfet IRFP150NPBF

Tham số	Ký hiệu	Điều kiện	Giá trị
Điện áp cực D-S	V_{DSS}		100V
Điện áp cực G-S	V_{GS}		$\pm 20V$
Nhiệt độ hoạt động	T_J		$-55^{\circ}C \sim 175^{\circ}C$
Dòng điện chế độ làm việc liên tục	I_D	$T_C = 25^{\circ}C$ $T_C = 100^{\circ}C$	42A 30A
Dòng điện peak	I_{DM}		140A
Điện tích cực gate (Max)	Q_G		110nC

4.4.1.2. Tính toán tụ DC-Link phía mạch lực

Tụ điện trên bus DC-Link được tính theo công thức sau:

$$C \geq \frac{I \cdot \Delta U}{f_{sw} \Delta V_{max}} \quad PT 27$$

Trong đó, ΔV_{max} : biên độ dao điện áp lớn nhất trên tụ C.

ΔU : biên độ dao động điện áp chuyển mạch trên tụ C.

I : biên độ dòng điện đầu ra.

f_{sw} : tần số chuyển mạch.

Chọn: $\Delta U = 2.5V$, $\Delta V_{max} = 5\%V_{DC} = 5\% * 24 = 1.2V$

Giá trị tụ tính được là

$$C \geq \frac{I \cdot \Delta U}{f_{sw} \Delta V_{max}} = \frac{6.8 * 2.5}{20000 * 1.2} = 780\mu F \quad PT 28$$

Chọn tụ hóa có giá trị 1000 μF , 63V.

4.4.1.3. Thiết kế mạch khuếch đại xung

- Công suất Driver:

Công suất driver cần cung cấp được tính theo công thức sau:

$$P = E \cdot f_s \quad PT\ 29$$

Với $E = Q_G \cdot (V_{G(on)} - V_{G(off)})$. Đối với van MOSFET được lựa chọn $V_{G(on)} = 12V$, $V_{G(off)} = 0V$. $Q_G = 80nC$ là điện tích cần thiết. (Tra theo datasheet van IRFP150NPBF [24]). Thay vào công thức 29, ta tính được công suất driver như sau:

$$P = Q_G \cdot (V_{G(on)} - V_{G(off)}) \cdot f_s = 80 \cdot 10^{-9} \cdot 12 \cdot 20000 = 0.02W \quad PT\ 30$$

- Dòng điện cực Gate

Điện tích Q_G được tính theo công thức sau:

$$Q_G = \int i \cdot dt \quad PT\ 31$$

Với $Q_{GD} = i_{GD} \cdot t_s$, $Q_{GS} = i_{GS} \cdot t_s$, t_s là chu kỳ phát xung.

Từ đây, suy ra tổng điện tích Q_G bằng:

$$Q_G = Q_{GD} + Q_{GS} = (i_{GD} + i_{GS}) \cdot t_s \quad PT\ 32$$

Tra datasheet van IRFP150NPBF [24], có $Q_G = 80nC$, tần số phát xung $20kHz$. Như vậy, dòng điện trung bình cực gate của van là:

$$I_G = I_{GD} + I_{GS} = Q_G \cdot f_s = 80 \cdot 10^{-9} \cdot 20000 = 1.6mA \quad PT\ 33$$

Dòng điện đỉnh I_G được tính như sau:

$$I_{G,max} = \frac{Q}{t} \quad PT\ 34$$

Tra datasheet van ta được $t_r = 500ns$, $t_f = 500ns$.

Dòng điện $I_{G(on)}$ của gate driver cho van là:

$$I_{G(on)} = \frac{Q}{t_r} = \frac{80}{500} = 0.16A \quad PT\ 35$$

Dòng điện $I_{G(off)}$ của gate driver cho van là:

$$I_{G(off)} = \frac{Q}{t_f} = \frac{80}{500} = 0.16A \quad PT\ 36$$

Từ dòng I_G ta tính được điện trở R_G theo công thức sau:

$$R_G = \frac{V_{G(on)} - V_{G(off)}}{I_G} - R_{G,int} \quad PT\ 37$$

Với $R_{G,int}$ điện trở nội trong van Mosfet. Với van IRFP150NPBF, $R_{G,int} = 3.6\Omega$.

Tra theo datasheet của van IRFP150NPBF, thực hiện kiểm tra thời gian t_r , t_f của van theo mạch được thể hiện trong Hình 4.3 bên dưới:

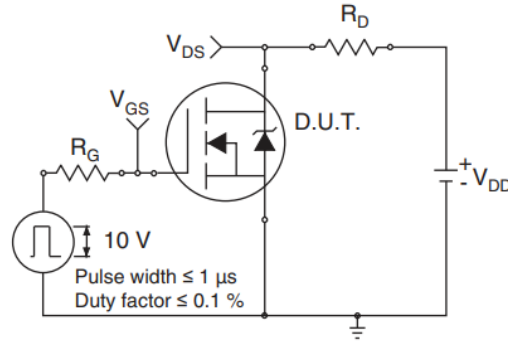


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

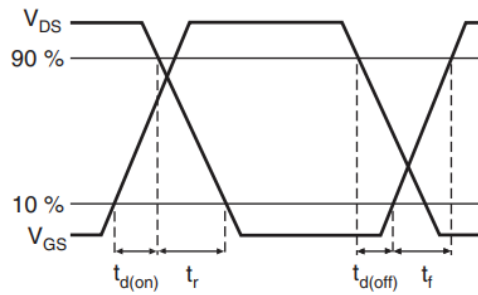


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

Hình 4.3 Thời gian quá độ của van IRFP150NBFP.

Với điều kiện $R_{G,ext} = 3.6\Omega$, $V_{G,on-off} = 10V$, $V_{DD} = 55V$ thì thời gian $t_r = 56ns$, điện tích cần thiết để mở van với $V_{G,on-off} = 10V$ và tra theo datasheet là $73nC$.

Thay tương tự vào các công thức (35-37) thu được $R_{G,int} \approx 11.3\Omega$.

Điện trở $R_{G,(on)}$ của gate driver cho van là

$$R_{G,(on)} = \frac{V_{G,(on)} - V_{G,(off)}}{I_{G,(on)}} - R_{G,int} = \frac{12}{0.16} - 11.3 = 64\Omega \quad PT 38$$

Điện trở $R_{G,(off)}$ của gate driver cho van là

$$R_{G,(off)} = \frac{V_{G,(on)} - V_{G,(off)}}{I_{G,(off)}} - R_{G,int} = \frac{12}{0.16} - 11.3 = 64\Omega \quad PT 39$$

Chọn điện trở ngoài cực gate $R_G = 75\Omega$.

- Lựa chọn driver

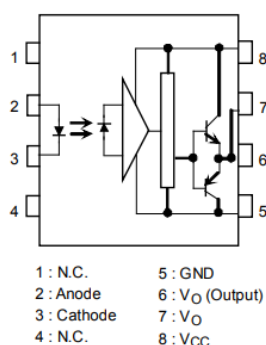
Mạch điều khiển Mosfet bao gồm khối phân phối xung điều khiển, khuếch đại xung đóng/mở IGBT, bảo vệ quá áp và quá dòng điện trên Mosfet. Ngoài chức năng tin cậy, ổn định thì mạch điều khiển các van Mosfet phải đảm bảo chất lượng điều khiển tốt đặc biệt thể hiện ở thời gian đóng/mở Mosfet (đặc tính động). Mạch

driver được thiết kế sử dụng cho đề tài đồ án này sử dụng IC TLP250, mạch driver có các đặc điểm được thể hiện trong *bảng 4.3* các thông số kỹ thuật của IC [25], sơ đồ nguyên lý các chân của IC TLP 250 được thể hiện trong *hình 4.4*:

Bảng 4.3 Thông số kỹ thuật của IC TLP 250

Dải điện áp	10 – 35V
Ngưỡng đầu vào	$I_F = 5mA(max)$
Dòng cung cấp	$11mA(max)$
Điện áp cách ly	2500Vrms
Thời gian chuyển mạch	$t_{pLH}/t_{pHL} = 0.5\mu s$
Dòng điện đầu ra	$\pm 1.5A(max)$
Tần số hoạt động	25kHz(rating)
Phạm vi nhiệt độ hoạt động	-20 to 85°C
Phạm vi nhiệt độ lưu trữ	-55 to 125°C

Pin Configuration (top view)



Hình 4.4 Sơ đồ nguyên lý các chân của IC TLP250.

Bảng 4.4 Bảng chân lý IC TLP250.

		Tr1	Tr2
Input Led	On	On	Off
	Off	Off	On

TLP250 là IC điều khiển IGBT / Mosfet cách ly. Đầu vào có một diode phát sáng, đầu ra nhận tín hiệu biến đổi thông qua bộ tách sóng quang tích hợp. Do đó, có tính năng chính là cách ly điện giữa mạch lực và mạch điều khiển, truyền tín hiệu điện quang học bằng ánh sáng. Có thể sử dụng để điều khiển terminal gate của bộ chuyển mạch điện áp cao ở cả hai cấu hình high-side và low-side. Có package DIP 8 chân. Mô tả cấu hình chân chi tiết của IC TLP250 được thể hiện trong *Bảng 4.5* bên dưới, các thông số tối hạn của IC TLP250 được thể hiện trong *Bảng 4.6*:

Bảng 4.5 Mô tả chi tiết cấu hình các chân của IC TLP250

STT	Chân	Mô tả cấu hình chân
1	NC	Không có kết nối – Không được sử dụng
2	Anode	Cực dương của diode LED
3	Cathode	Cực âm của đèn LED
4	NC	Không có kết nối – Không được sử dụng
5	GND	Kết nối với đất của nguồn điện
6	V_o	Đầu ra
7	V_o	Đầu ra
8	V_{CC}	Kết nối với cực dương của nguồn điện

Bảng 4.6 Các thông số tối hạn của IC TLP250

Ký hiệu	Tham số	Min	Max	Đơn vị
T_{opr}	Nhiệt độ hoạt động	-20	85	°C
$ I_{OPH/OPL} $	Dòng điện đỉnh đầu ra		1.5	A
V_{CC}	Điện áp cung cấp		35	V
V_o	Điện áp đầu ra cực Gate		V_{CC}	V
P_C	Công suất tổn thất IC đầu ra		800	mW
P_D	Công suất tổn thất IC đầu vào		40	mW

Khi lựa chọn điện trở giá trị R_G thì cần phải xem xét đến công suất tiêu tán trên driver TLP250 phải nằm trong giới hạn cho phép.

Công suất tiêu tán bên phía đầu ra TLP250 bằng tổng công suất tiêu tán của driver và chuyển mạch:

$$\begin{aligned}
 P_O &= P_{O,driver} + P_{O,switching} = V_{CC} \cdot \frac{I_{CCH} + I_{CCL}}{2} + E \cdot f_{sw} & PT\ 40 \\
 &= 12 \cdot \frac{11 + 11}{2} \cdot 10^{-3} + 0.02 = 0.134W
 \end{aligned}$$

Không xét đến công suất tiêu tán phía đầu vào do các tín hiệu điều khiển được lấy trực tiếp từ phía vi điều khiển.

So sánh với các giá trị tối hạn thì các giá trị đều nằm trong dải cho phép.

- Lựa chọn IC nguồn cấp cho driver phải đảm bảo công suất lớn hơn dải giá trị tính toán ở trên.

Chọn nguồn cách ly B1212S-2W đảm bảo công suất cấp cho driver và các giá trị về điện áp và dòng điện phù hợp với van Mosfet được dùng.

- IC nguồn B1212S-2W.

Module nguồn cách ly B1212S-2W DC-DC (12V-12V) trong hình 4.5 Module nguồn cách ly dùng cho các mạch nhạy cảm cần cách ly như mạch điều khiển, mạch âm thanh, mạch thu phát tín hiệu... Mạch cách ly hoàn toàn cả GND và V+. Hiệu suất của mạch lên đến 80%. Có bảo vệ ngăn mạch hoạt động ở dải...



Hình 4.5 Module nguồn cách ly B1212S-2W.

Các tính năng và thông số kỹ thuật của Module nguồn cách ly B1212S-2W được thể hiện trong Bảng 4.7 bên dưới [26] .

Tham số	Trạng thái	Min	Typ	Max	Units
Nhiệt độ hoạt động	All	-40	--	+85	°C
Lưu trữ		-55	--	+125	°C
Độ ẩm bảo quản		--	--	+95	%
Làm mát	Không khí	--	--	--	--
Điện áp cách ly	$1mA \leq 1minute$	1000	--	--	VDC
Điện trở cách ly	500VDC	1000	--	--	MΩ
Tần số chuyển mạch		--	100	110	kHz
Điện áp đầu vào V_{in}			12		VDC
Điện áp đầu ra V_o			12		VDC
Dòng điện đầu vào V_{in}			167		mA

- Tính toán tụ DC-Link phía nguồn điều khiển

Tương tự như khi tính toán với tụ DC-Link phía mạch lực, thực tế sau quá trình quá độ của van Mosfet thì van được giữ bằng áp. Nên có thể chọn giá trị tụ DC-Link có giá trị $22\mu F$.

4.4.1.4. Tính toán mạch bảo vệ snubber

SiC MOSFET đang trở nên phổ biến hơn trong các ứng dụng yêu cầu chuyển mạch nhanh và hiệu quả, chẳng hạn như các ứng dụng cung cấp điện. Mặt khác, khả năng chuyển đổi nhanh gây ra dv/dt và di/dt cao, kết hợp với độ tự cảm của

dây dẫn, dẫn đến điện áp và/hoặc dòng điện tăng vọt giữa các cực nguồn và cực máng của MOSFET. Điện áp và dòng điện đột biến phải được kiểm soát để không vượt quá điện áp/dòng điện định mức tối đa của thiết bị. [27]

Mạch trợ giúp đóng mở (snubber circuit) có thể đem lại nhiều khả năng cho van:

- Giảm hoặc triệt tiêu các xung quá áp hoặc quá dòng.
- Hạn chế dv/dt và di/dt .
- Đưa điểm làm việc của van về vùng an toàn (SOA).
- Truyền năng lượng phát nhiệt của van sang điện trở ngoài hoặc sang hướng khác có lợi.
- Giảm tổn hao công suất trong quá trình đóng cắt.
- Giảm phát sóng vô tuyến ra xung quanh do dập tắt nhanh các dao động điện từ.

Mạch RC mắc song song với van sẽ giúp giảm tổn thất trong quá trình đóng cắt và giảm xung áp trên van. R_s được chọn sao cho $I_0 = V/R_s$. Như vậy khi van khóa dòng có thể chuyển sang mạch trợ giúp mà điện áp trên van không vượt quá mức điện áp V . Tụ điện C_s được chọn sao cho dao động sinh ra khi chuyển mạch là tắt dần. Chọn tụ C_s bằng hoặc lớn hơn hai lần tụ ký sinh của phần tử tương đương.

Tra datasheet của van, chọn giá trị điện trở, tụ điện lần lượt bằng 10Ω , và $470pF$.

Công suất tiêu tán trên trở R_s được xác định bằng năng lượng tích trữ trong tụ C_s :

$$W_C = \frac{1}{2} C_s V^2 \quad PT\ 41$$

Năng lượng này tiêu tán trên R_s trong quá trình đóng cắt. Với tần số đóng cắt là $f_s = 20kHz$ thì công suất tiêu tán trên trở R_s là:

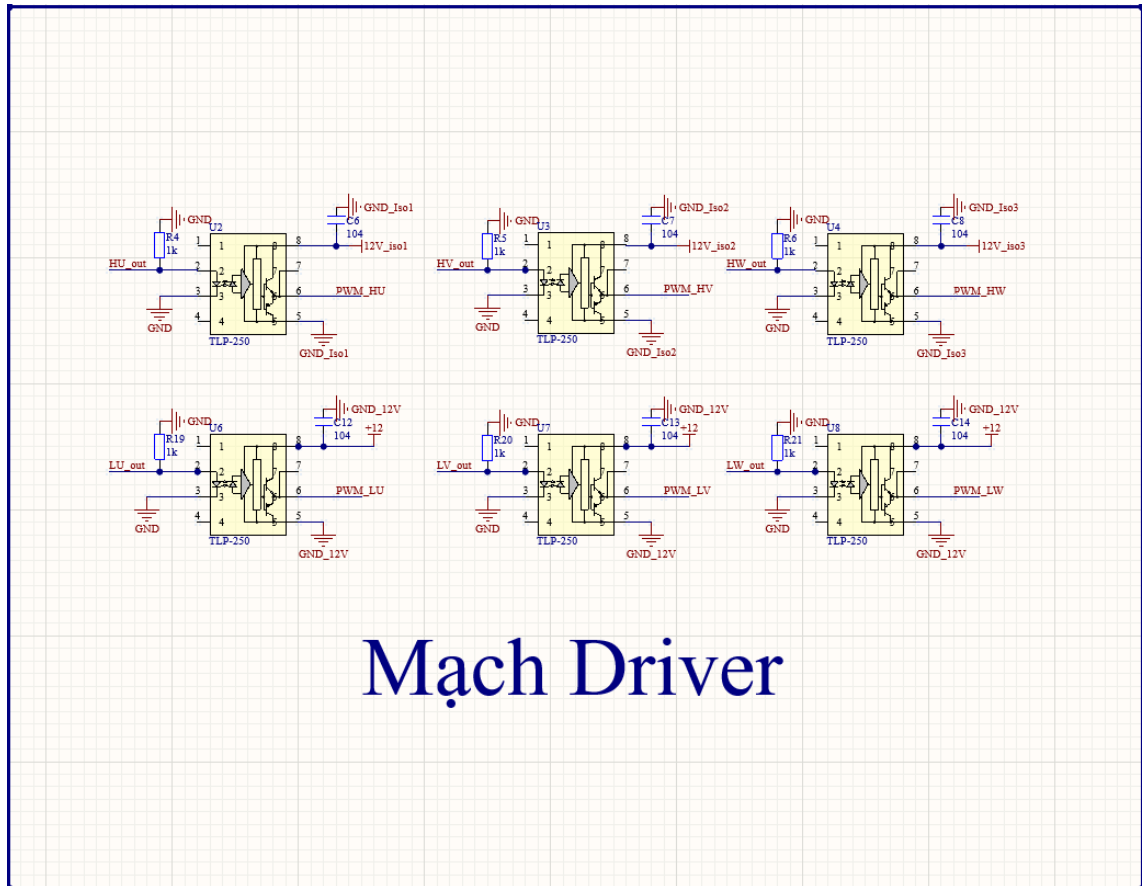
$$P_R = \frac{1}{2} C_s V^2 \cdot f_s = 2.7mW \quad PT\ 42$$

4.5 Thiết kế, chế tạo mảng mạch lực

Trên các cơ sở trên mạch nguyên lý được thiết kế trên phần mềm Altium.

4.5.1 Mạch lái van

Mạch driver có nhiệm vụ cách ly/khuếch giữa mạch điều khiển và mạch lực. Mạch driver lái các Mosfet được thể hiện trong hình 4.7 bên dưới:



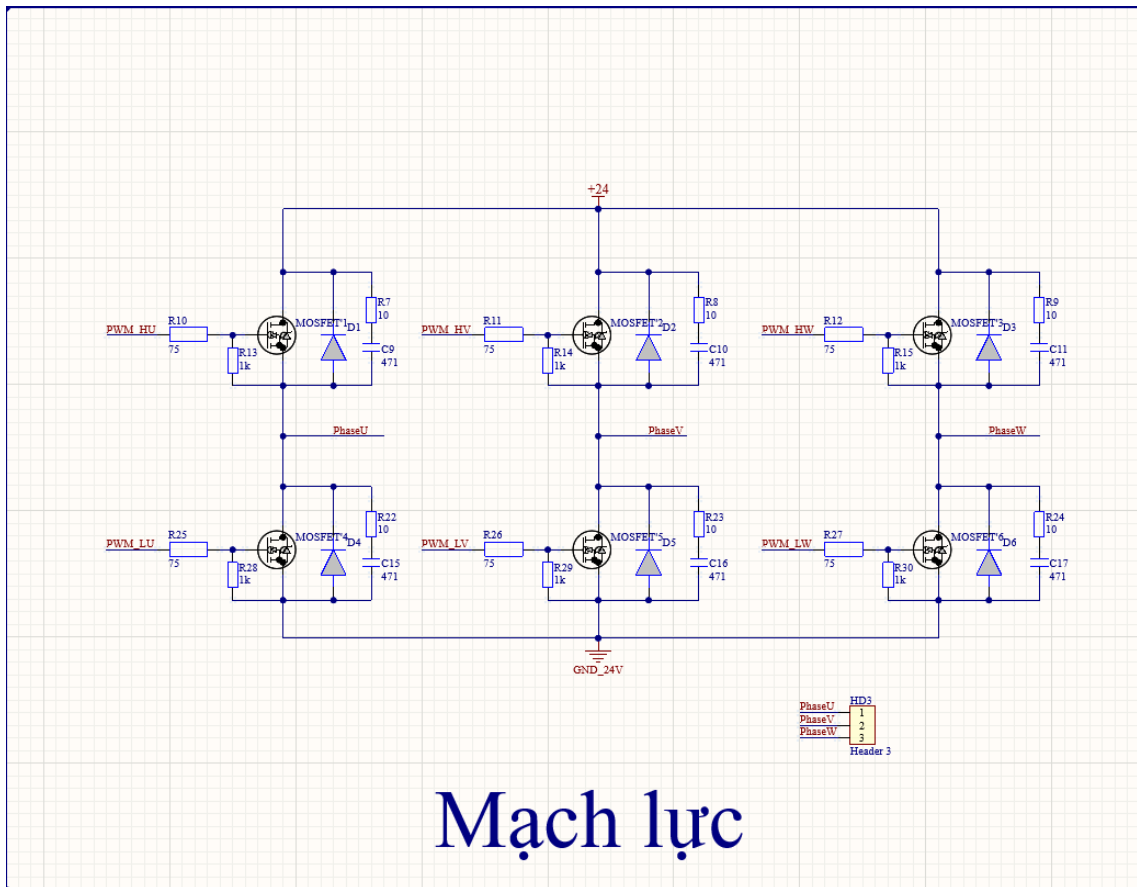
Mạch Driver

Hình 4.6 Mạch driver lái các van Mosfet.

Mạch Driver bao gồm 6 IC TLP250, có khả năng cách ly giữa phần mạch lực và mạch điều khiển; khuếch đại tín hiệu điều khiển đóng/mở các van Mosfet.

4.5.2 Mạch lực các van Mosfet

Trên hình 4.7, thể hiện mạch nguyên lý mạch lực.

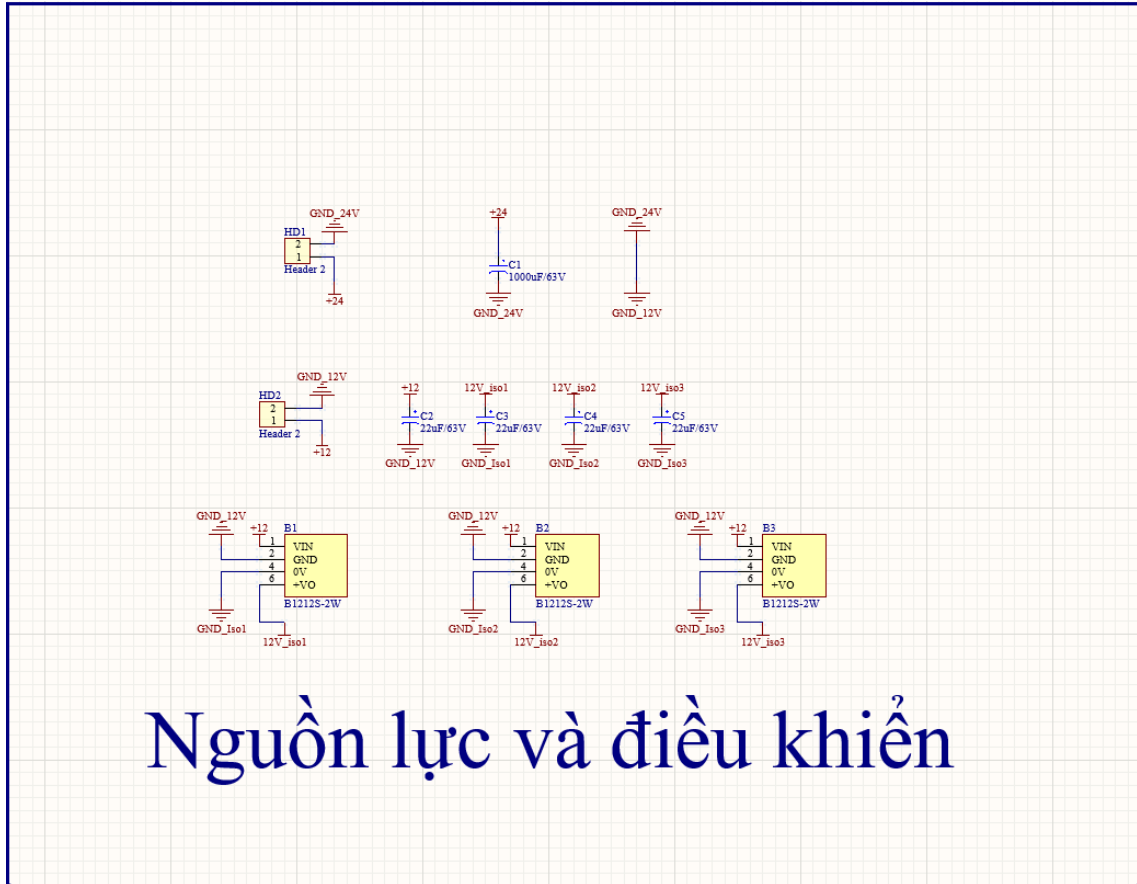


Hình 4.7 Mạch nguyên lý mạch lực

Mạch lực bao gồm mạch 6 van Mosfet, Diode, snubber circuit, điện trở cực G. Đầu ra được nối với động cơ BLDC. Tất cả giá trị của các phần tử thể hiện trong mạch nguyên lý được lấy từ phần tính toán và lựa chọn ở các phần trên.

4.5.3 Nguồn cấp cho phần lực và điều khiển

Trên hình 4.8 thể hiện các nguồn cấp cho phần lực và điều khiển



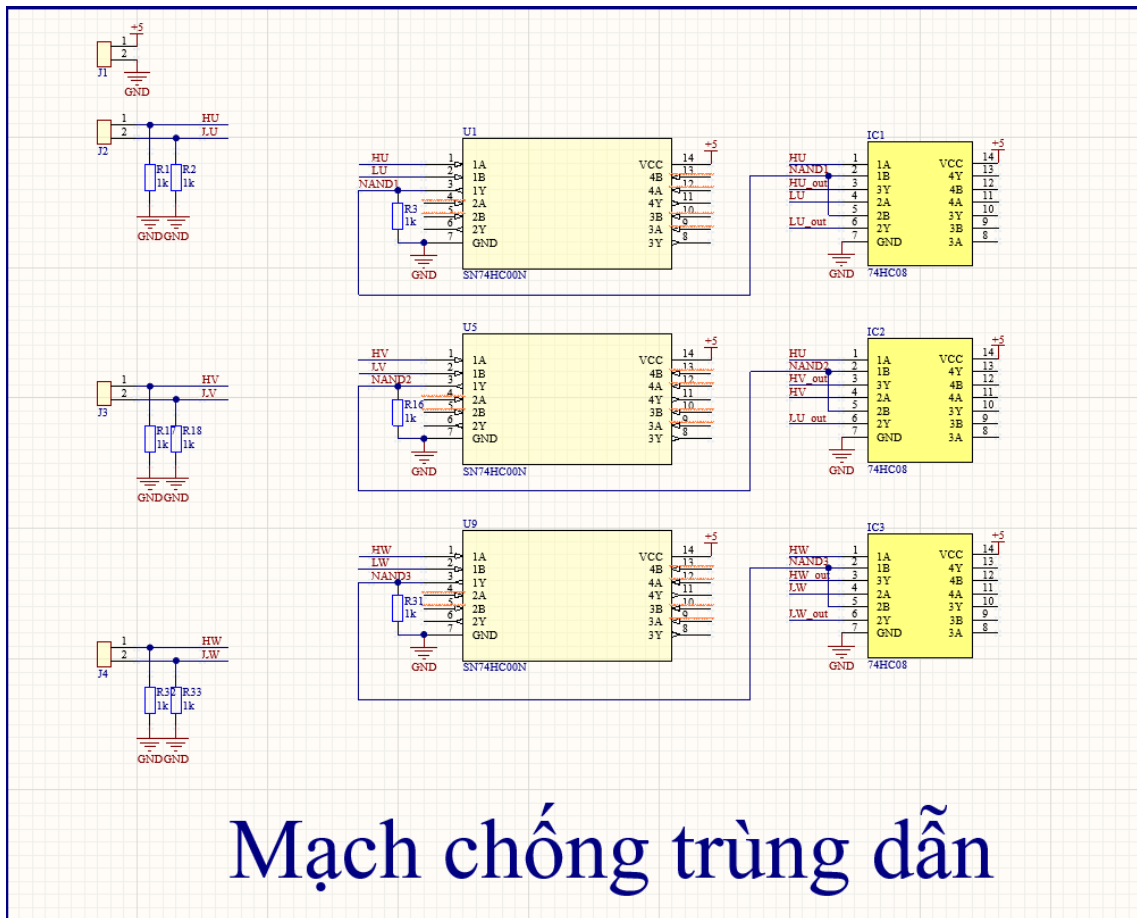
Nguồn lực và điều khiển

Hình 4.8 Nguồn cho mạch lực và điều khiển

Tất cả giá trị của các phần tử thể hiện trong mạch nguyên lý được lấy từ phân tích toán và lựa chọn ở các phần trên.

4.6 Mạch chống trùng dẫn

Trên hình 4.9, thể hiện mạch nguyên lý chống trùng dẫn.



Hình 4.9 Mạch chống trùng dẫn

Mạch được thiết kế nhằm để bảo vệ van chống trùng dẫn, có thể do nhầm lẫn trong quá trình lập trình xuất các xung điều khiển từ vi điều khiển, hay nhầm lẫn trong quá trình cắm dây. Ví dụ, với tín hiệu HU , LU nếu đầu ra cùng là mức cao (1) thì HU_{out} , LU_{out} sẽ có giá trị là mức thấp (0). Phương trình logic của mạch được biểu diễn như sau:

$$H_{out} = H \cdot \overline{H} \cdot \overline{L}$$

$$L_{out} = L \cdot \overline{H} \cdot \overline{L}$$

PT 43

4.7 Module IC TXS0108E và nguồn 5V

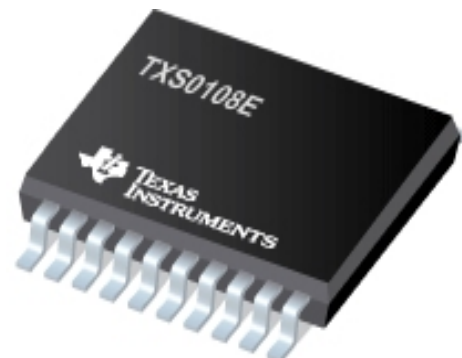
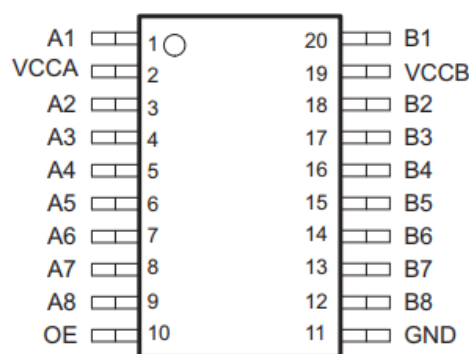
Chọn nguồn 5VDC làm nguồn cấp cho các cảm biến Hall.

Vi điều khiển sẽ nhận tín hiệu phản hồi vị trí của rotor từ các cảm biến được cách ly qua IC TXS0108E, ngoài chức năng bảo vệ nó còn có giúp quá trình điều khiển Driver một cách hiệu quả hơn. Vì vi điều khiển chỉ chịu được mức điện áp 3,3V (với mức cao) nên khi có điện áp từ Hall là 5V (mức cao) thì IC TXS0108E sẽ đưa ra điện áp 3,3V (mức cao) để trả về vi điều khiển. Đồng thời khi vi điều khiển gửi tín hiệu mức cao là 3,3V thì nó đưa ra tín hiệu 5V. Vừa bảo vệ vừa giúp việc điều khiển dễ dàng hơn vì đầu ra (mức cao) của Hall là 5V và của vi điều khiển là 3,3V. *Hình 4.10 IC TXS0108E*

IC TXS0108E một thiết bị hai chiều để chuyển đổi tín hiệu giữa các mức logic 3.3V và 5V.

Thông số kỹ thuật IC TXS0108E [27]:

- 8 kênh có thể chuyển đổi tối đa 8 tín hiệu logic.
- Các chân đầu ra A: cho ra tín hiệu mức thấp 1.2V đến 3.6V và các chân đầu ra B: cho ra tín hiệu mức cao 1.65V đến 5.5V ($V_{CCA} \leq V_{CCB}$).
- Mỗi kênh hoạt động độc lập với nhau.
- Giao diện giao tiếp chuẩn I2C.



Hình 4.10 IC TXS0108E

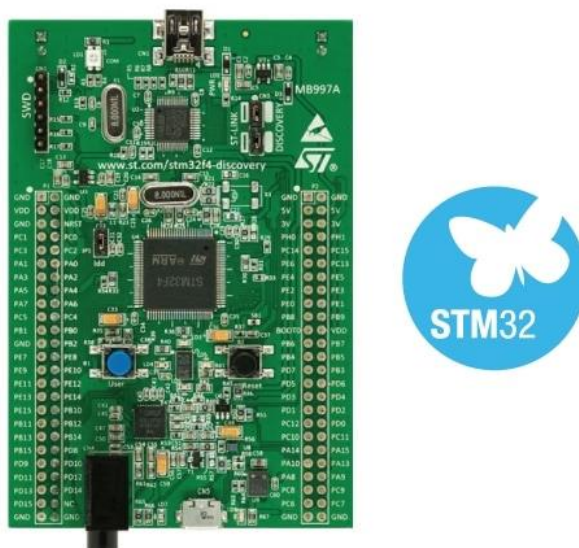
4.8 Bộ vi điều khiển

Bộ công cụ Discovery STM32F4DISCOVERY tận dụng khả năng của bộ vi điều khiển hiệu suất cao STM32F407, để cho phép người dùng phát triển các ứng dụng âm thanh một cách dễ dàng. Nó bao gồm một công cụ gỡ lỗi nhúng ST-LINK/V2-A, một gia tốc kế kỹ thuật số ST-MEMS, một micro kỹ thuật số, một DAC âm thanh với trình điều khiển loa lớp D tích hợp, đèn LED, nút ấn và đầu nối USB OTG Micro-AB [28]. *Hình 4.11* mô tả kit STM32F4DISCOVERY

Thông số kỹ thuật:

- Vi điều khiển chính: STM32F407VGT6 microcontroller featuring 32-bit ARM Cortex-M4F core, 1 MB Flash, 192 KB RAM in an LQFP100 package.
- Tích hợp sẵn mạch nạp và Debug ST-LINK/V2 with selection mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2 (with SWD connector for programming and debugging).

- Nguồn cấp từ cổng Mini USB qua các IC nguồn chuyển thành 3v3 để cấp cho MCU.
- Có sẵn các chân nguồn: 3 V and 5 V.
- Có sẵn cảm biến gia tốc: LIS302DL, ST MEMS motion sensor, 3-axis.
- Có sẵn bộ xử lý âm thanh: MP45DT02, ST MEMS audio sensor, omni-directional digital microphone.
- Có sẵn bộ: CS43L22, audio DAC with integrated class D speaker driver. Có sẵn 8 Led.
- Có Led thông báo trạng thái nguồn.
- Có nút nhấn và nút Reset tích hợp.
- Có cổng Micro USB OTG DSP Application.



Hình 4.11 KIT STM32F407 Discovery.

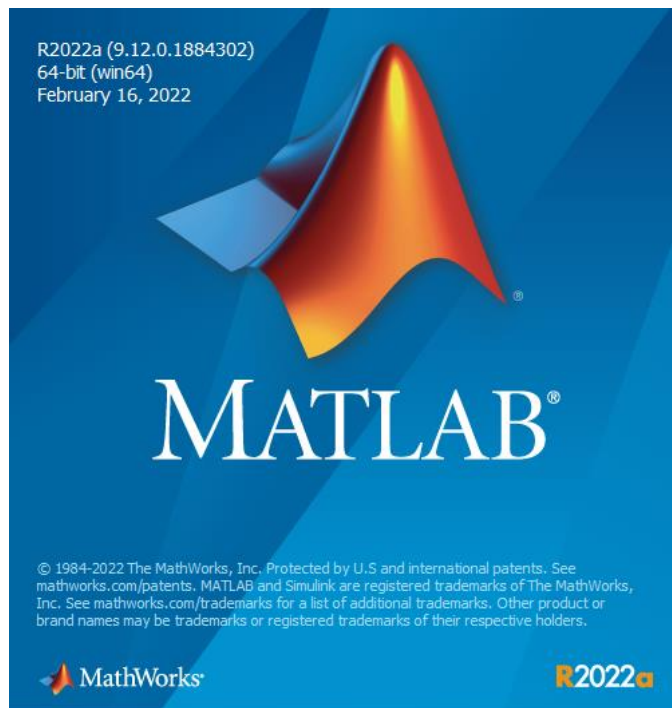
4.9 Các phần mềm được sử dụng trong đồ án

- Matlab R2022a.
- Altium Designer 21.3.2
- STM32 CubeIDE.
- Arduino IDE.

4.9.1 Matlab R2022a

MATLAB được biết đến là phần mềm tính toán số học, ma trận, vẽ đồ thị hàm số, biểu đồ thông tin và thực hiện các thuật toán vô cùng cao cấp. Ngoài ra, ứng dụng này còn có khả năng liên kết với những chương trình viết trên nhiều ngôn ngữ lập trình khác.

MATLAB là từ viết tắt của Matrix Laboratory (tạm dịch là Thư viện Ma trận) được phát hành bởi công ty MathWorks – một trong những công ty nổi tiếng nhất về lĩnh vực sản xuất phần mềm lập trình và tính toán thông minh. Sở hữu nhiều tính năng tính toán vượt trội, MATLAB được ứng dụng trong rất nhiều ngành công nghiệp hiện nay sau 41 năm sáng tạo và phát triển. Phần mềm MATLAB R2022a như trong hình 4.12.



Hình 4.12 Phần mềm MATLAB R2022a.

Bằng các tính năng đa dạng, phần mềm MATLAB có thể được ứng dụng trong nhiều trường hợp. Một vài ví dụ có thể kể đến như:

- Thiết kế, mô phỏng và thử nghiệm hệ thống lái xe tự động.
- Phân tích, lập mô hình dữ liệu và hệ thống sinh học.
- Thiết kế, kiểm tra và triển khai các hệ thống điều khiển.
- Khám phá dữ liệu, phân tích dự đoán để áp dụng trong máy học (Machine learning).
- Phát triển và triển khai phần mềm giám sát và dự đoán bảo trì.

Đó chỉ là một trong số rất nhiều ứng dụng có thể thực hiện bởi MATLAB. Đối với trong phạm vi đồ án tốt nghiệp, phần mềm Matlab R2022a được sử dụng để mô phỏng nguyên lý hoạt động của hệ truyền động động cơ BLDC. Từ cơ sở mô phỏng nguyên lý hoạt động có thể ứng dụng vào khi triển khai thực nghiệm trên mạch thật.

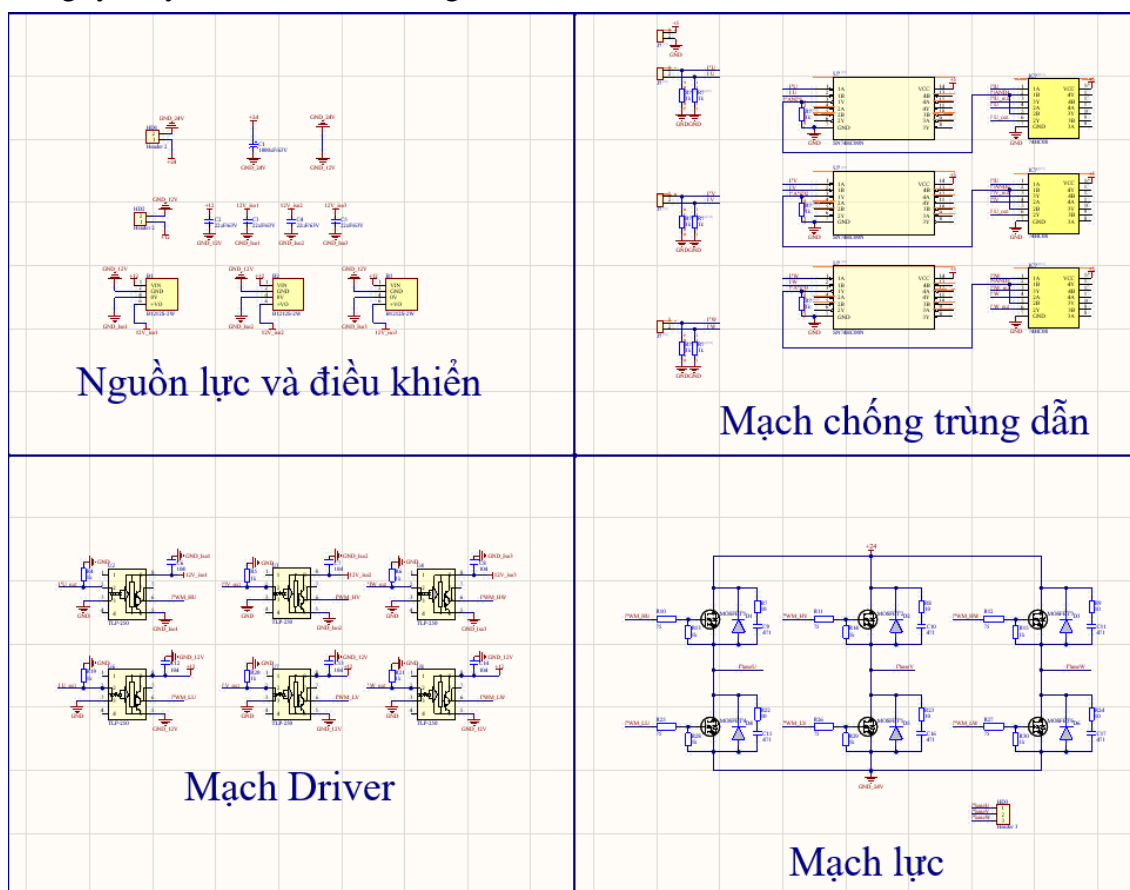
4.9.2 Altium Designer 21.3.2

Altium Designer là phần mềm thiết kế PCB (Bo mạch điện tử) chuyên nghiệp giúp bạn kết nối liền mạch với mọi khía cạnh của thiết kế. Altium Designer là một trong những phần mềm tự động hóa thiết kế PCB và điện tử cho các bo mạch in tốt và phổ biến nhất hiện nay. Nó được phát triển bởi công ty phần mềm Altium Limited có trụ sở tại Úc.

Các tính năng Altium Designer:

- Phân tích các mạch tương tự sử dụng Spice.
- Có công cụ hoàn hảo với khả năng mô phỏng và gỡ lỗi mã và thiết kế FPGA VHDL.
- Khả năng hình thành ba chiều mạch.
- Đo 3D như Solid Work.
- Tạo outputs, drawing như những bản vẽ kỹ thuật chuyên nghiệp .
- Hỗ trợ mạnh mẽ việc thiết kế tự động hóa.

Trong phạm vi đồ án, phần mềm Altium Designer 21.3.2 được sử dụng để vẽ mạch nguyên lý được thể hiện trong *Hình 4.13*.



Hình 4.13 Mạch nguyên lý vẽ bằng phần mềm Altium Designer 21.3.2.

4.9.3 STM32 CubeIDE

STM32CubeIDE là một nền tảng phát triển C/C++ tiên tiến với các tính năng cấu hình ngoại vi, tạo mã, biên dịch mã và gỡ lỗi cho các bộ vi điều khiển và bộ vi xử lý STM32. Nó dựa trên khung Eclipse®/CDT™ và chuỗi công cụ GCC để phát triển và GDB để gỡ lỗi. Nó cho phép tích hợp hàng trăm plugin hiện có để hoàn thiện các tính năng của Eclipse® IDE. STM32CubeIDE tích hợp cấu hình STM32 và các chức năng tạo dự án từ STM32CubeMX để cung cấp trải nghiệm công cụ tất cả trong một và tiết kiệm thời gian cài đặt và phát triển. Sau khi chọn một MCU hoặc MPU STM32 trống, hoặc bộ vi điều khiển hoặc bộ vi xử lý được cấu hình sẵn từ việc chọn bảng hoặc chọn một ví dụ, dự án sẽ được tạo và tạo mã khởi tạo. Bất cứ lúc nào trong quá trình phát triển, người dùng có thể quay lại quá trình khởi tạo và cấu hình của thiết bị ngoại vi hoặc phần mềm trung gian và tạo lại mã khởi tạo mà không ảnh hưởng đến mã người dùng. STM32CubeIDE bao gồm các bộ phân tích ngăn xếp và xây dựng cung cấp cho người dùng thông tin hữu ích về tình trạng dự án và yêu cầu bộ nhớ. Hình 4.14 thể hiện phần mềm STM32CubeIDE

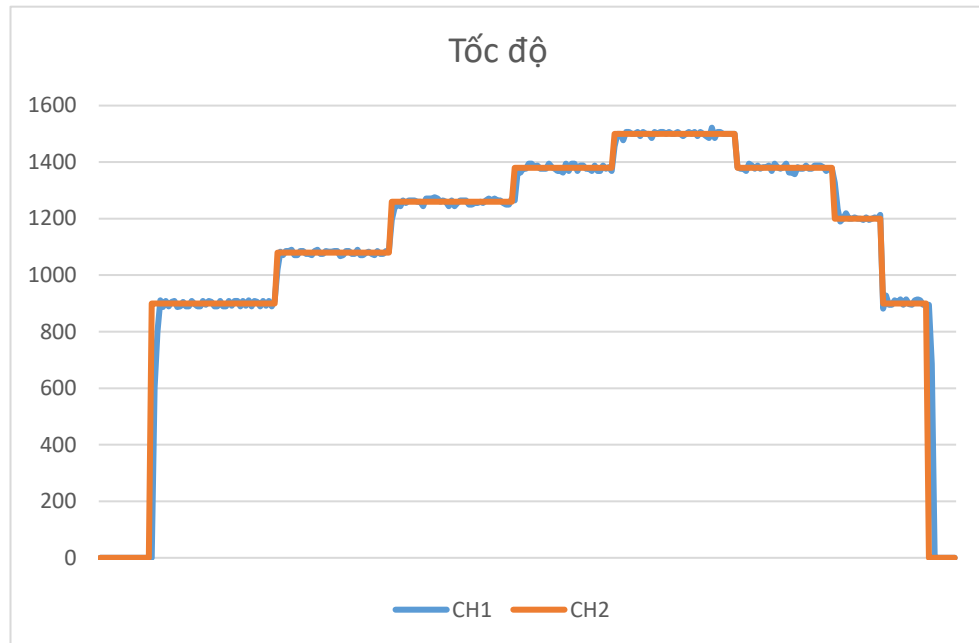


Hình 4.14 Phần mềm STM32 CubeIDE.

STM32CubeIDE cũng bao gồm các tính năng sửa lỗi tiêu chuẩn và nâng cao bao gồm chế độ xem các thanh ghi lỗi CPU, bộ nhớ và các thanh ghi ngoại vi, cũng như theo dõi biến số trực tiếp, giao diện Trình xem dây nối tiếp hoặc bộ phân tích lỗi.

4.9.4 Excel

Data Streamer là cách truyền dữ liệu hai chiều cho Excel mà phát trực tuyến dữ liệu trực tiếp từ bộ vi điều khiển vào Excel và gửi dữ liệu từ Excel trở lại bộ vi điều khiển.



Hình 4.15 Chức năng Data Streamer trong phần mềm Excel.

Trong đồ án này, chức năng Data Streamer của Excel được dùng để giao tiếp với vi điều khiển. Truyền/nhận giá trị tốc độ đặt và tốc độ thực để hiển thị biểu đồ tốc độ trên màn hình. Trên hình 4.15, chức năng Data Streamer hiển thị giá trị tốc độ đặt và phản hồi của động cơ.

4.10 Tổng kết chương 4

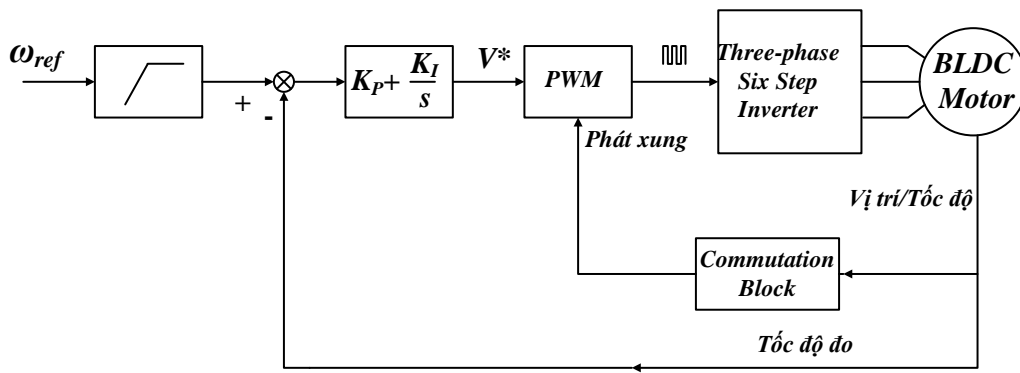
Chương 4 đã trình bày các thành phần quan trọng nhất trong hệ thống điều khiển chuyển động của hệ thống lưu trữ thông minh. Phần cứng của hệ chuyển động về cơ bản gồm có: động cơ một chiều không chổi than (BLDC), Driver điều khiển động cơ và mạch điều khiển động cơ. Sau khi đã nghiên cứu hệ truyền động của động cơ BLDC từ đó ta lựa chọn được phương pháp điều khiển động cơ và cách thức điều khiển. Qua các chương đã trình bày, đã đủ cơ sở cần thiết về lý thuyết hoạt động, phương thức truyền động của hệ truyền động tu lưu trữ thông minh; các tính toán cần thiết cho thiết kế mạch lực và mạch điều khiển cho hệ truyền động đề xuất. Chương 5, từ cơ sở trên, nội dung đồ án sẽ trình bày các quá trình thực nghiệm, kết quả thực nghiệm và đánh giá kết quả thực nghiệm.

CHƯƠNG 5. THỰC NGHIỆM

5.1 Đặt vấn đề

Từ các cơ sở các nội dung đã trình bày trong các chương trên, chương 5 sẽ tiến hành thực nghiệm để kiểm nghiệm các tính toán lý thuyết và xác nhận khi được vận hành trong thực tế với các kịch bản kiểm nghiệm khác nhau. Sơ đồ khối của hệ điều chỉnh tốc độ động cơ được đề xuất và chương trình điều khiển trên nền tảng vi xử lý sẽ được xây dựng và trình bày trong phần đầu của chương. Nội dung tiếp theo sẽ tiến hành thực nghiệm và đưa ra các đánh giá dựa trên mô hình thử nghiệm. Và cuối cùng sẽ đánh giá tính khả thi khi được ứng dụng vào hệ thống tủ lưu trữ thông minh.

5.2 Xây dựng sơ đồ khối và chương trình điều khiển



Hình 5.1 Sơ đồ khối cấu trúc điều khiển tốc độ.

Sơ đồ khối điều khiển tốc độ đơn giản nhất để điều khiển tốc độ của động cơ BLDC được thể hiện trong Hình 5.1. Bộ điều khiển tích phân tỷ lệ (PI) được sử dụng để điều khiển tốc độ. Đầu ra của bộ điều khiển tốc độ PI này xuất ra điện áp tham chiếu V^* (hoặc giá trị duty cycle của xung PWM).

Khâu quán tính bậc nhất sau tốc độ đặt ω_{ref} để đặt thời gian tăng tốc và giảm tốc cho hệ thống, chọn $T = 0.25s$. Thời gian trích mẫu của hệ thống $\tau = 50\mu s$, thời gian trích mẫu tốc độ bằng $1ms$.

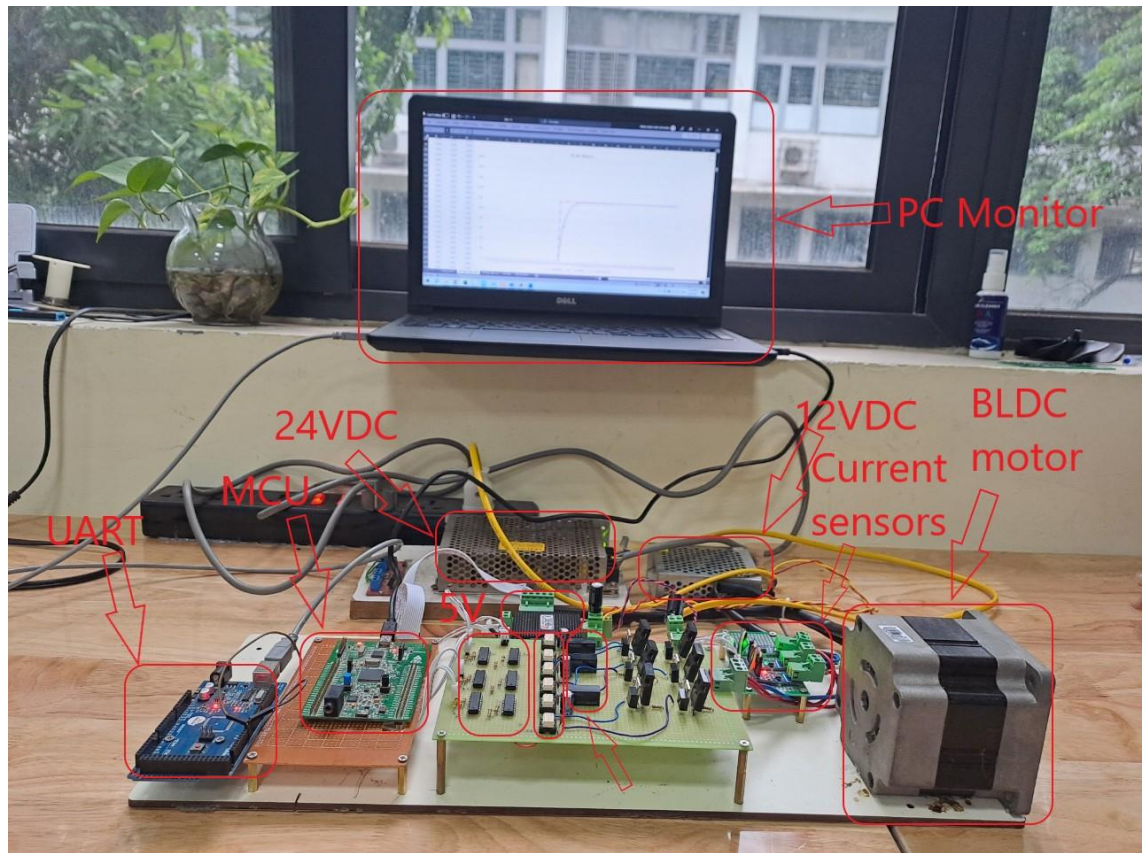
Từ sơ đồ khối, chương trình điều khiển có thể được lập trình trên phần mềm STM32 IDE.

5.3 Mô hình thử nghiệm

5.3.1 Mục đích thử nghiệm:

- Xây dựng mô hình để kiểm tra hoạt động của bộ biến đổi và các mạch liên quan.
- Kiểm nghiệm hoạt động của các phần tử trong mạch giữa tính toán lý thuyết và thực tế.
- Đánh giá hoạt động của mô hình.

Cấu trúc hệ thống thực nghiệm của hệ thống bao gồm board mạch lực gồm mạch driver và van MOSFETs, board mạch đo lường và điều khiển, *Hình 5.2* là hệ thống thử nghiệm thực tế.



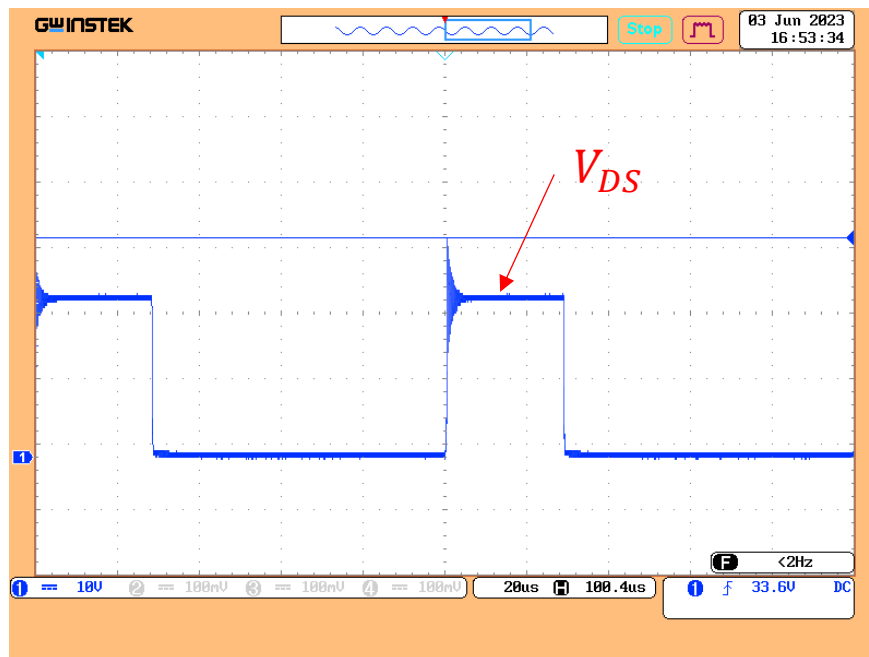
Hình 5.2 Mô hình thử nghiệm

5.3.2 Kết quả thử nghiệm

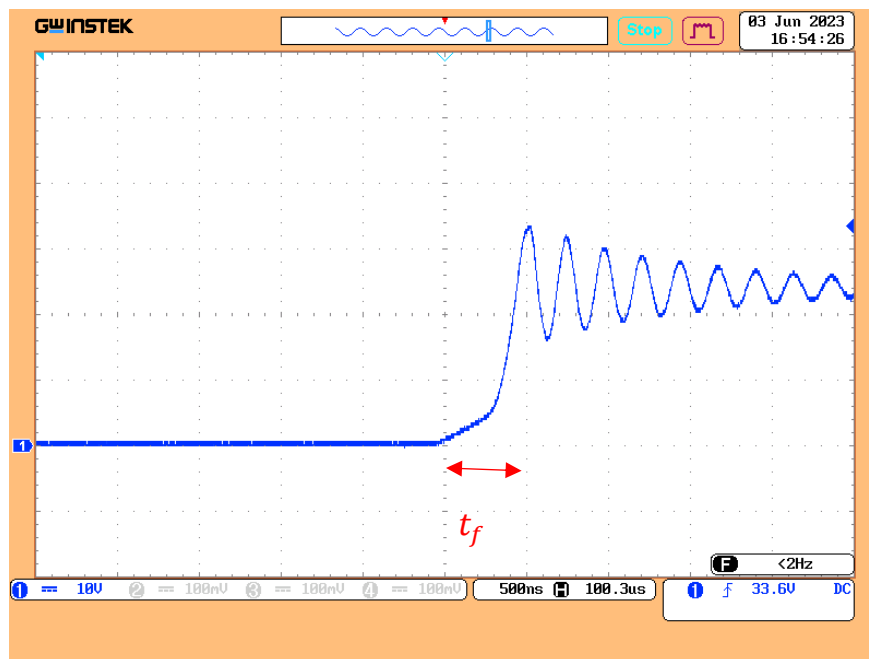
Hệ thống mô hình thử nghiệm được thực hiện để kiểm nghiệm chương trình điều khiển, phương án thiết kế mạch được đề xuất và các đáp ứng về tốc độ.

5.3.2.1. Kiểm nghiệm nguyên lý mạch

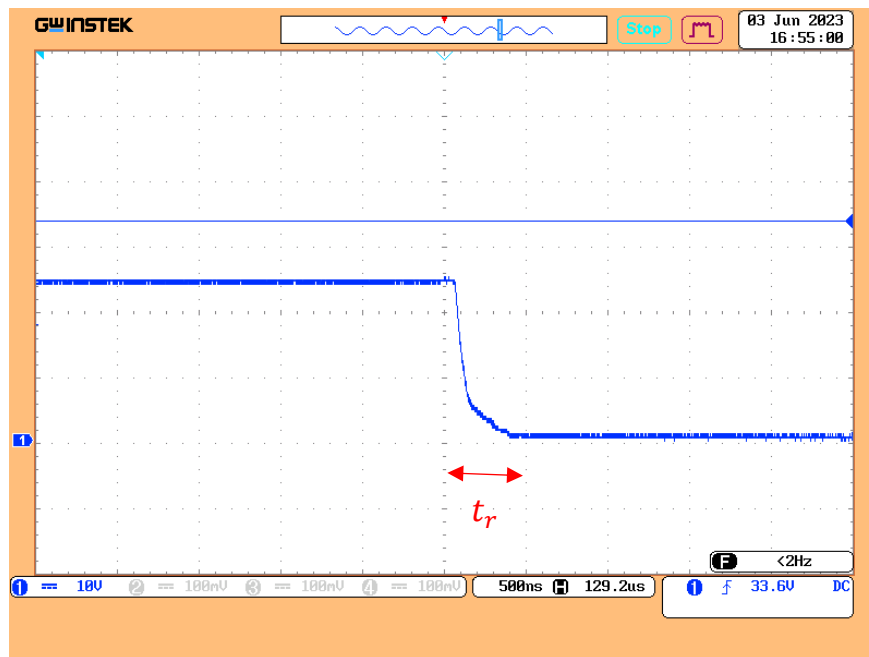
Hình 5.3-5.5, thể hiện hình dạng điện áp cực D-S, V_{DS} với trường hợp chỉ có điện trở cực G, $R_G = 75\Omega$ và không có mạch trợ giúp đóng mở van (snubber circuit).



Hình 5.3 Điện áp cực DS



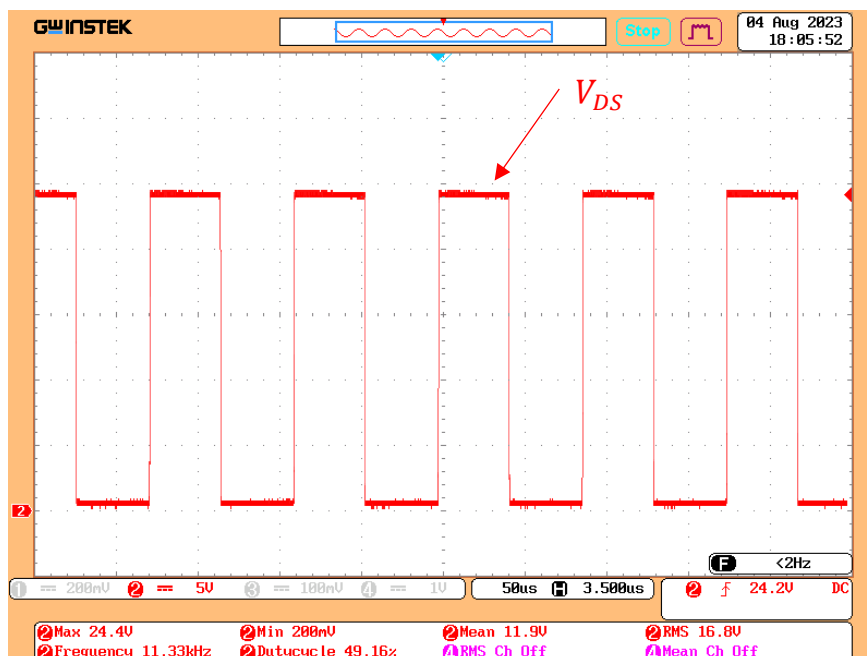
Hình 5.4 Điện áp cực DS khi OFF



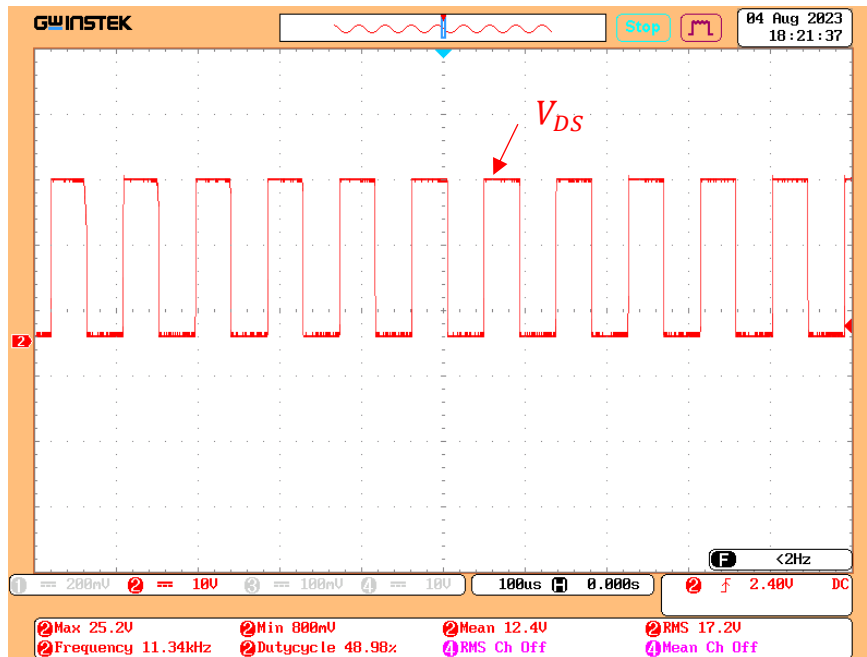
Hình 5.5 Điện áp cực DS khi ON

Kết quả cho thấy thời gian ON/OFF của van xấp xỉ bằng $500ns$, có điện áp peak bằng $33.6V$ và dao động tần số cao khi van OFF.

Hình 5.6-5.7, thể hiện hình dạng điện áp cực D-S của van trên và dưới, V_{DS} với trường hợp chỉ có điện trở cực G, $R_G = 75\Omega$ và có mạch trợ giúp đóng mở van (snubber circuit).



Hình 5.6 Điện áp cực D-S van trên



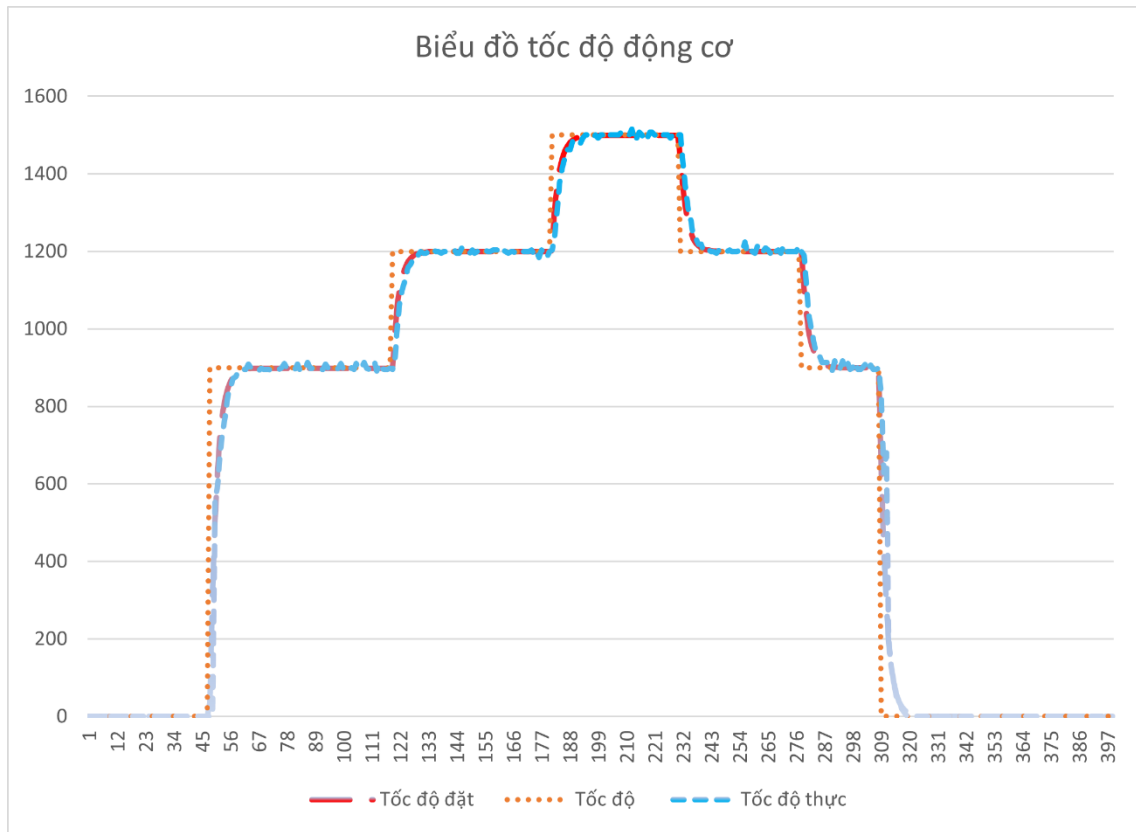
Hình 5.7 Điện áp cực D-S van dưới

Kết quả cho thấy thời gian *ON/OFF* của van vẫn như trường hợp trên xấp xỉ bằng $500ns$, không còn peak điện áp và dao động trên DS đối với cả van trên và dưới.

Kết quả thực nghiệm này đã xác nhận các tính toán lý thuyết ở các chương trên. Tiếp theo sẽ tiến hành kiểm nghiệm với trường hợp mạch và động cơ được trang bị vào hệ thống tủ lưu trữ thông minh. Thực nghiệm sẽ kiểm nghiệm khả năng di chuyển của hệ thống tủ với các trường hợp đặt tốc độ khác nhau và đánh giá lại hoạt động của mạch.

5.3.2.2. Kiểm nghiệm chương trình điều khiển

Chương trình điều khiển được kiểm nghiệm bằng cách theo dõi các đáp ứng về tốc độ của động cơ khi thay đổi tốc độ đặt. Các đáp ứng về tốc độ khi tăng tốc và giảm tốc được thể hiện trong hình 5.8.



Hình 5.8 Biểu đồ tốc độ động cơ.

Phương án kiểm nghiệm: Thay đổi tốc độ động cơ để kiểm nghiệm chương trình điều khiển. Các thông số thực nghiệm được thể hiện trong bảng 5.1.

Kết quả kiểm nghiệm về đáp ứng tốc độ biểu diễn trong Hình 5.9, với trục đứng thể hiện giá trị tốc độ (đơn vị: vòng/phút – rpm), trục ngang thể hiện giá trị thời gian (đơn vị: $10^{-1}s$). Lần lượt tăng tốc động cơ từ 0 (rpm) lên 900 (rpm), 1200 (rpm) và 1500 (rpm), sau đó giảm tốc động cơ về 1200 (rpm), 900 (rpm), và 0 (rpm).

Bảng 5.1 Thông số thực nghiệm

Ký hiệu	Tham số	Giá trị	Đơn vị
τ	Thời gian trích mẫu	50	μs
f	Tần số trích mẫu	20	kHz
T	Thời gian tăng/giảm tốc	0.25	s
	Thời gian trích mẫu tốc độ	1	ms
K_p	Hằng số tỷ lệ (khâu PID)	0.02	
K_I	Hằng số tích phân (khâu PID)	0.6	
K_D	Hằng số vi phân (khâu PID)	0	

Đánh giá kết quả: Động cơ đáp ứng với các giá trị tốc độ đặt khi tăng tốc và giảm tốc. Thời gian tăng tốc và giảm tốc đúng với thời gian đặt.

5.3.2.3. Đánh giá, nhận xét

- Mô hình động cơ hoạt động ổn định ở cả chế độ tăng tốc, giảm tốc.
- Các thông số tính toán lý thuyết đúng với thực tế.

- Mô hình thử nghiệm đạt yêu cầu thiết kế.

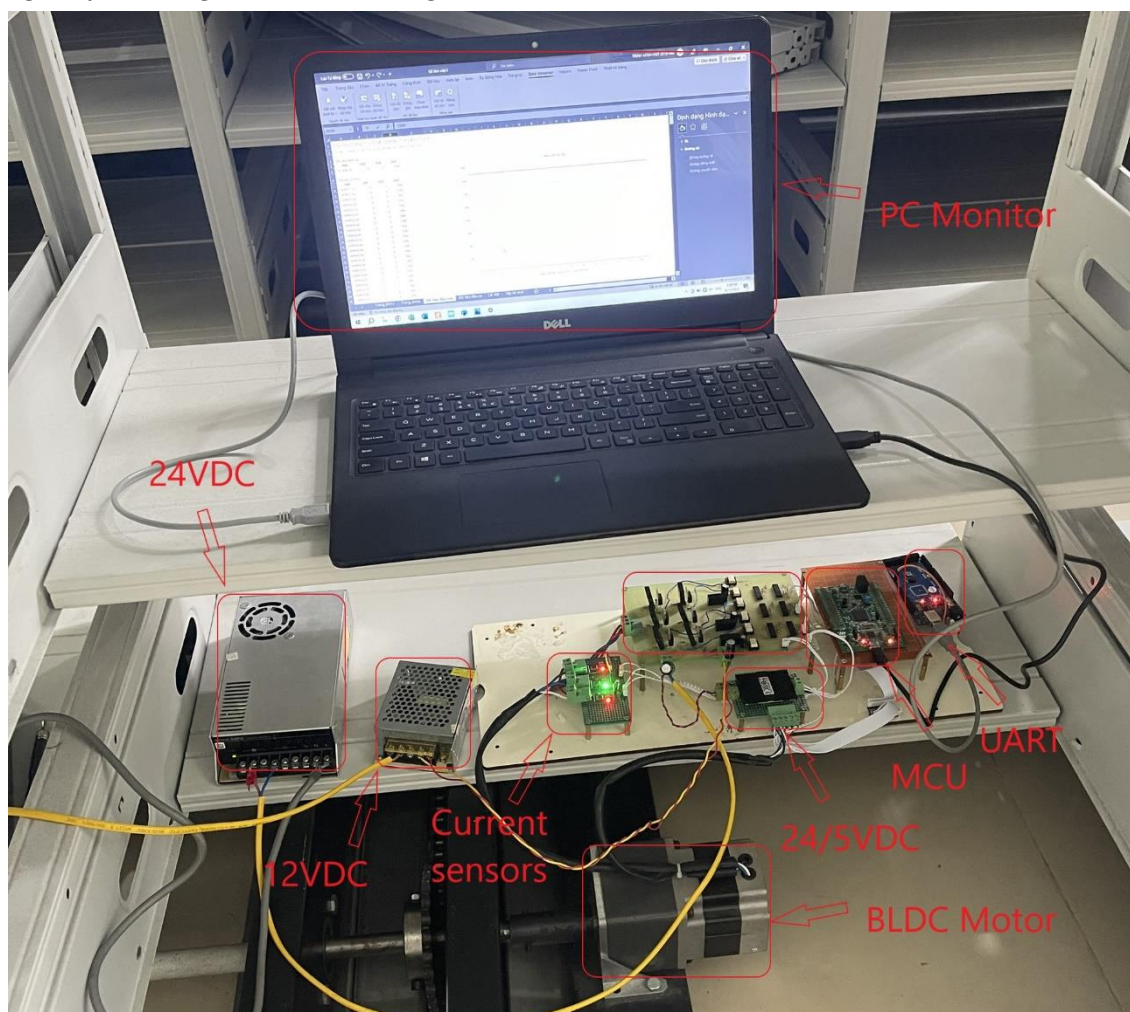
Từ kết quả thử nghiệm, phần kế tiếp sẽ tiến hành thực nghiệm ứng dụng vào hệ thống tủ lưu trữ thông minh.

5.4 Hệ truyền động tủ lưu trữ thông minh

5.4.1 Mục đích thử nghiệm

- Kiểm tra hoạt động của hệ truyền động tủ lưu trữ thông minh.
- Đánh giá, nhận xét kết quả truyền động.
- Đánh giá phần thiết kế mạch.

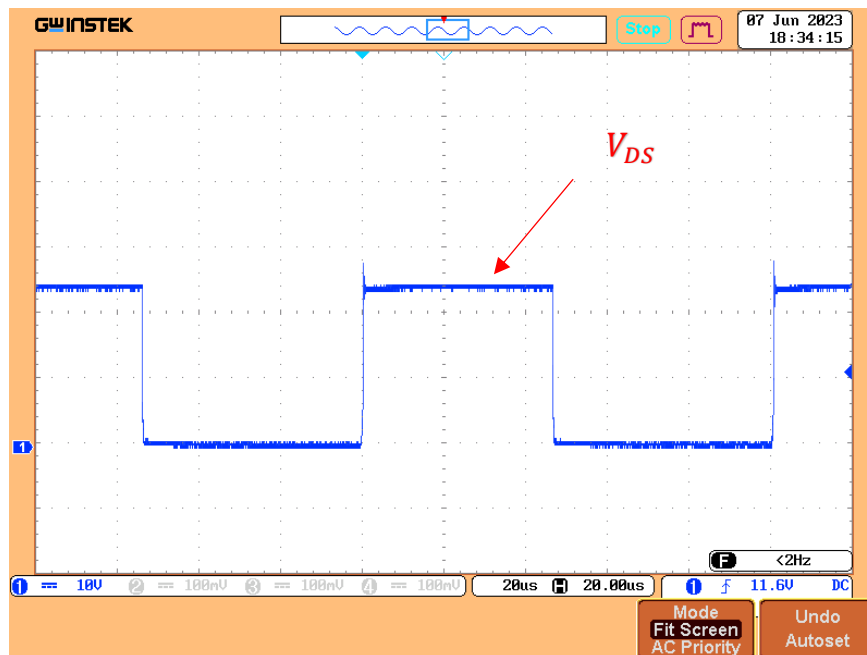
Cấu trúc hệ thống truyền động của hệ thống bao gồm board mạch lực gồm mạch driver và van Mosfets, board mạch đo lường và điều khiển, *Hình 5.9* là hệ thống truyền động tủ lưu trữ thông minh thực tế.



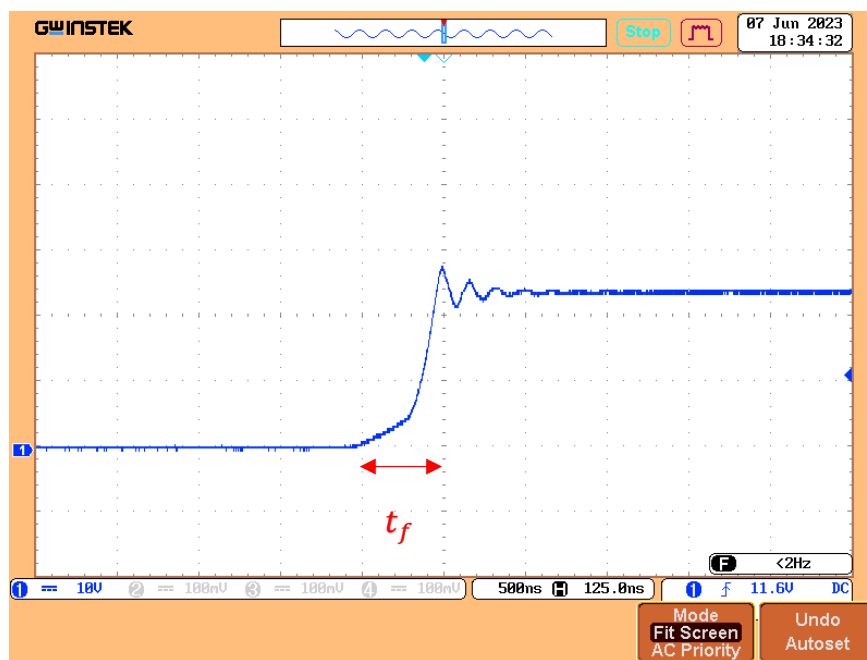
Hình 5.9 Hệ thống truyền động tủ lưu trữ thông minh.

5.4.2 Kết quả thực nghiệm

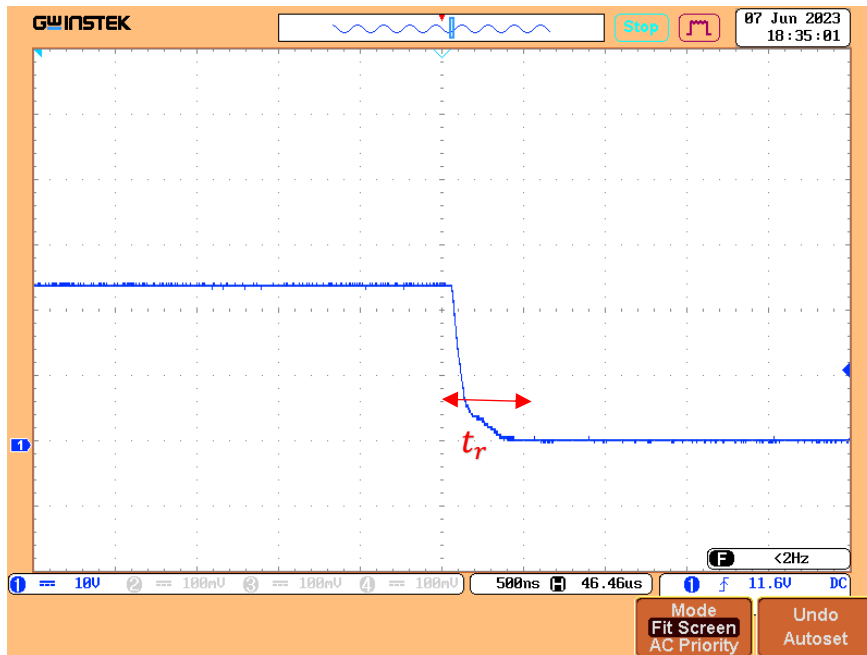
Hình 5.10-5.12 biểu diễn dạng sóng điện áp cực D-S khi van ON-OFF.



Hình 5.10 Dạng sóng điện áp cực D-S.



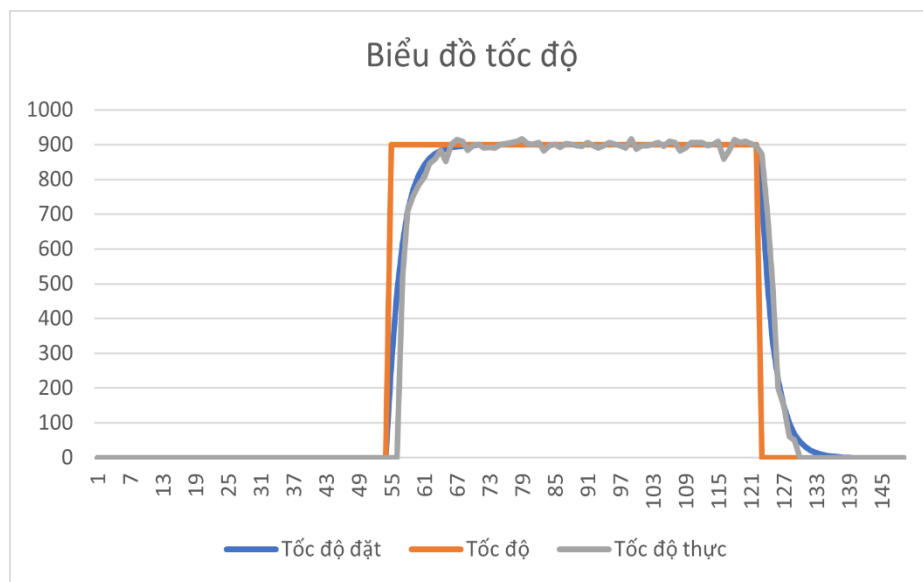
Hình 5.11 Dạng sóng điện áp D-S khi OFF



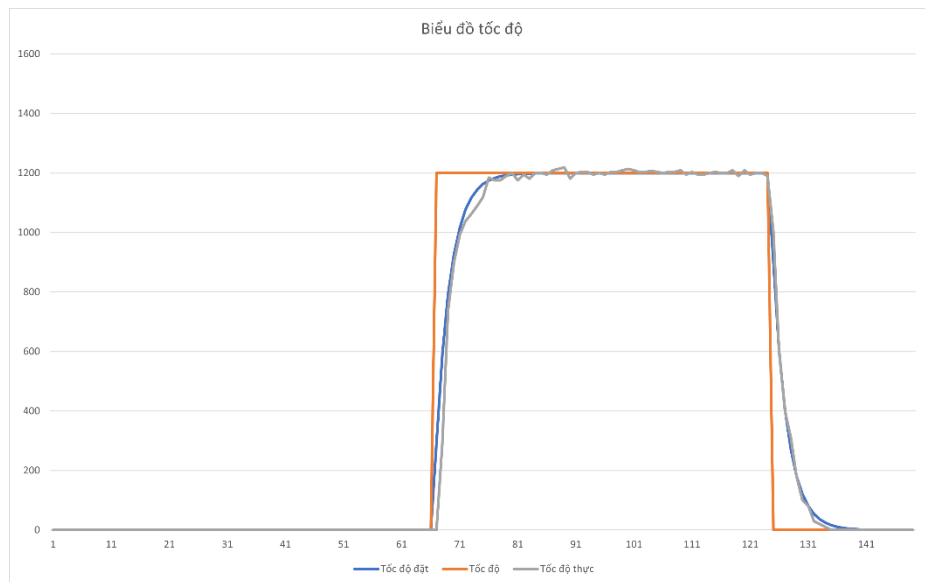
Hình 5.12 Dạng sóng điện áp D-S khi ON

Điện áp đỉnh cực D-S khoảng 28V, thời gian rise/fall của van nằm trong giá trị tính toán 500ns, dao động khi van OFF tắt dần nhanh, đánh giá về điện áp peak và dao động vẫn đảm bảo sự hoạt động ổn định của mạch.

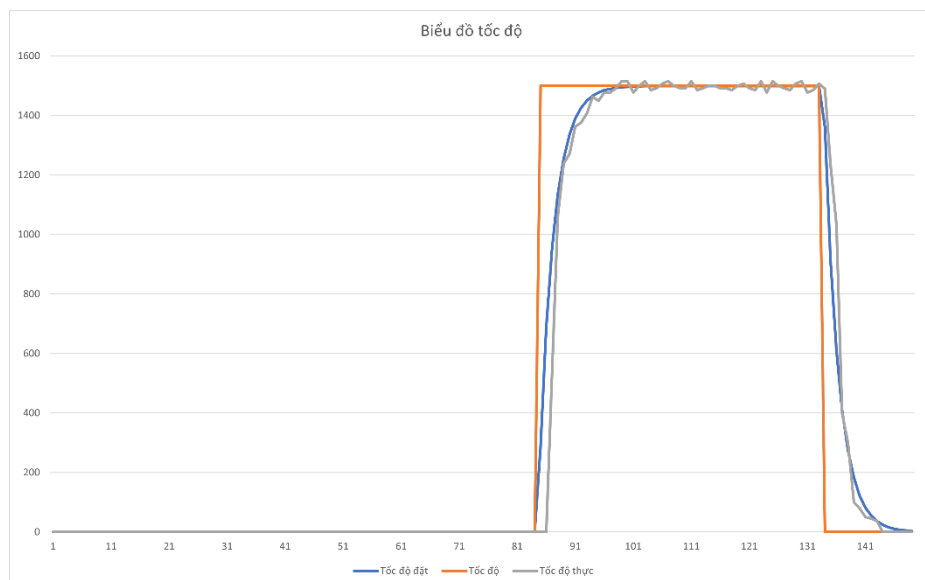
Hình 5.13-5.15 thể hiện đáp ứng về tốc độ với các trường hợp khi tăng tốc hệ thống từ 0 lên 900 (rpm), 1200 (rpm) và 1500 (rpm). Hình 5.16-5.19 biểu diễn dạng dòng điện 3 pha U,V,W với trường hợp tốc độ truyền động 900 (rpm). Dòng điện trung bình tại các pha khoảng 1A, dòng điện đỉnh khoảng 2A.



Hình 5.13 Đáp ứng tốc độ của hệ thống tại 900 rpm

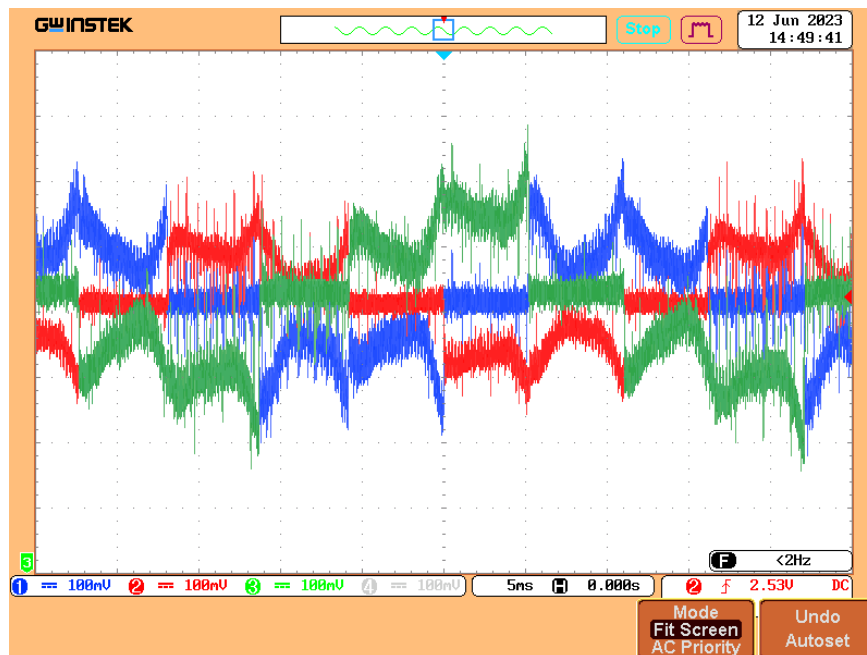


Hình 5.14 Đáp ứng tốc độ tại 1200 rpm

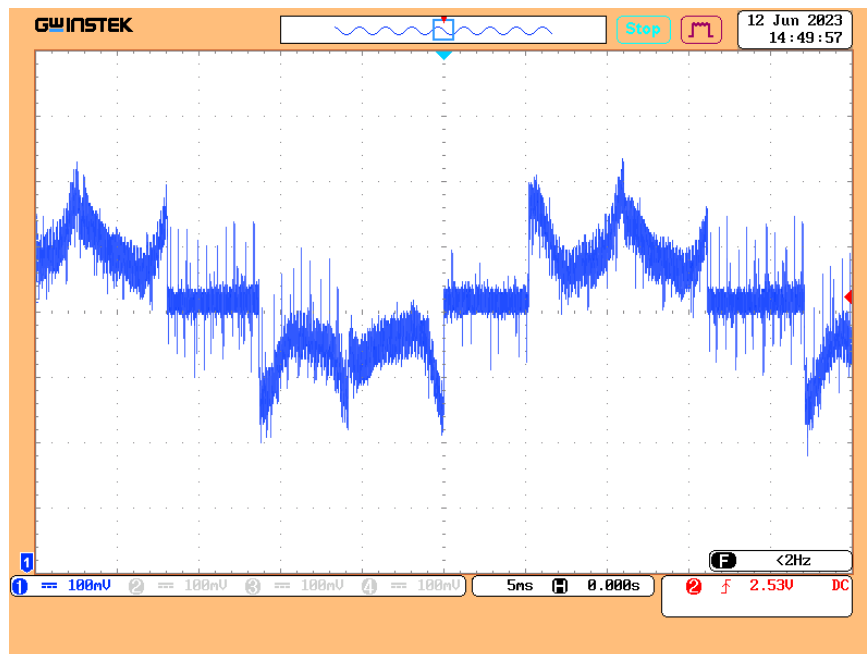


Hình 5.15 Đáp ứng tốc độ tại 1500 (rpm)

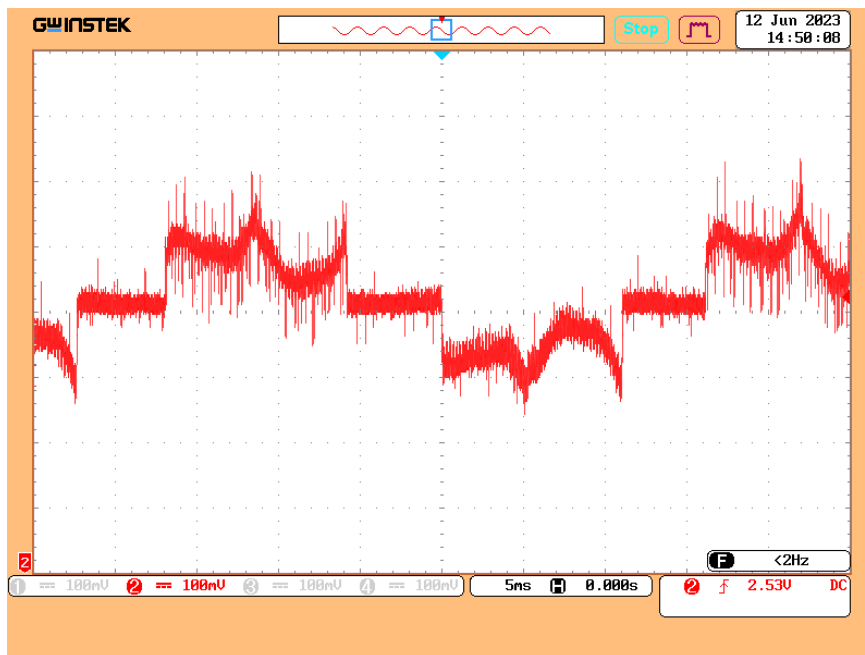
Quá trình kiểm tra các đáp ứng về tốc độ của hệ thống được thực hiện khi cho tủ di chuyển vào với tốc độ động cơ 900 rpm – hình 5.13, tủ nhận lệnh di chuyển ra với tốc độ động cơ 1200 rpm – hình 5.14, và cho hệ thống di chuyển vào với tốc độ động cơ 1500 rpm – hình 5.15. Quan sát các đáp ứng tốc độ giữa tốc độ đặt và phản hồi và nhận lệnh chiều quay cho thấy hệ thống đáp ứng các yêu cầu về truyền động đã đặt ra.



Hình 5.16 Dòng điện 3 pha U,V,W



Hình 5.17 Dòng điện pha U



Hình 5.18 Dòng điện pha V



Hình 5.19 Dòng điện pha W

Đánh giá: từ các kết quả về đáp ứng về tốc độ, điện áp và dòng điện cho thấy bộ biến đổi hoạt động ổn định và hiệu suất cao khi ứng dụng cho hệ thống đề xuất. Hình dạng dòng điện các pha giống với lý thuyết tuy nhiên vẫn còn đập mạch dòng điện lớn giữa các quá trình chuyển mạch.

CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU

6.1 Kết luận

Đồ án “**Thiết kế và điều khiển hệ thống truyền động tải lưu trữ thông minh sử dụng động cơ một chiều không chổi than**” đã trình bày và giải quyết được các nội dung sau:

1. Nghiên cứu, tìm hiểu về hệ thống lưu trữ thông minh, biết được vị trí của đề tài trong dự án. Từ đó, hiểu được mục đích và các nhiệm vụ cần làm trong đề tài.
2. Tìm hiểu, phân tích hệ truyền động động cơ BLDC và đưa ra được cấu trúc thiết kế tổng thể và thiết kế phần cứng cho hệ thống đáp ứng được các yêu cầu về tính năng đã xây dựng.
3. Thiết kế mạch lực cho hệ thống
4. Thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống.
5. Định hướng phát triển phần mềm cho hệ thống.
6. Phát triển phần mềm trên cơ sở xây dựng, phát triển các thuật toán cho các nhiệm vụ.
7. Đưa ra một số kết quả đạt khi thực nghiệm chương trình.

Trong quá trình thực hiện đồ án, do kinh nghiệm của bản thân còn hạn chế thời gian nghiên cứu còn hạn chế nên đồ án vẫn còn nhiều thiếu sót. Vì vậy, rất mong nhận được những phản hồi, đánh giá của các thầy, cô trong hội đồng để em có thể khắc phục, hoàn thiện luận văn của mình.

6.2 Hướng nghiên cứu

Định hướng phát triển đồ án trong tương lai:

1. Tiếp tục nghiên cứu, hoàn thiện để các thuật toán hoạt động tối ưu hơn để mạch truyền động vận hành ổn định và an toàn hơn.
2. Xây dựng và phát triển thêm các tính năng cho mạch điều khiển động cơ nhằm đáp ứng những cái tiến của hệ thống lưu trữ thông minh trong tương lai.
3. Xây dựng cấu trúc điều khiển động cơ BLDC 2 mạch vòng, giảm momen/dòng điện đập mạch.
4. Thiết kế điều khiển sử dụng bộ điều khiển trượt.
5. Thiết kế các mạch chống nhiễu cho động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] “[Online]. Available: <https://nlv.gov.vn/bao-quan-tai-lieu/huong-dan-bao-quan-tai-lieu-luu-tru.html>,” [Trực tuyến].
- [2] Sang-Hoon Kim, “Brushless direct current motors,” in *Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors*, 1st ed, Elsevier, 2017,.
- [3] G. Bauerlein, A brushless DC motor with solid-state commutation, IRE Natl. Conv..
- [4] T.M. Jahns, W.L. Soong, Pulsating torque minimization technique for permanent.
- [5] P. Pillay, R. Krishnan, Modeling, simulation, and analysis of permanent-magnet.
- [6] Q. D. Nguyen, V. T. Tran, Q. D. Pham, V. N. Giap và M. H. Trinh, “Design brushless DC motor control by using proportional-integral strategy for a smart storage cabinet system,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, Các tập %1 của %2Vol 14, No 2, pp. 708-718, 2023-06-01.
- [7] “Trivedi, M. S., & Keshri, R. K. (2020). Evaluation of predictive current control techniques for PM BLDC motor in stationary plane. IEEE Access, 8, 46217-46228.”.
- [8] “Buja, G., Bertoluzzo, M., Keshri, R. K., & Menis, R. (2013, November). Stationary plane based investigation of the behavior of PM BLDC drives. In *IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 6632-6637). IEEE.”.
- [9] “Jiang, W., Huang, H., Wang, J., Gao, Y., & Wang, L. (2016). Commutation analysis of brushless DC motor and reducing commutation torque ripple in the two-phase stationary frame. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(6), 4675-4682.”.
- [10] Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives.
- [11] “ R. Hanitsch and A. Meyna, Digital control for brushless DC motors, *Elektrotechnische Zeitschrift ETZ A*, 97(4), 204–211, 1976.”.
- [12] “N. A. Demerdash and T. W. Nehl, Dynamic modeling of brushless DC motor-power conditioner unit for electromechanical actuator application, *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp. 333–343, 1979.”.
- [13] “D. B. Rezin and M. Lajoie-Mazenc, Modelling of a brushless DC motor with solid parts involving eddy currents, *Conference Record of the IEEE Industry Applications Society*, pp. 488–493, 1983”.

- [14] “T. W. Nehl, F. A. Fouad, N. A. Demerdash, et al., Dynamic simulation of radially oriented permanent magnet type electronically operated synchronous machines with parameters obtained from finite element field solutions, IEEE Transactions on Industry Appl”.
- [15] “A. Boglietti, M. Chiampi, and D. Chiarabaglio, Computer aided analysis of a DC brushless motor by means of a finite element technique, Fourth International Conference on Electrical Machines and Drives (Conf. Publ. no. 310), pp. 38–42, 1989.”.
- [16] “Xiang, Wen & Zhen-qiang, Li., “Brushless DC motor speed control strategy of simulation research,” MATEC Web of Conferences,”.
- [17] “Carlson, R., Lajoie-Mazenc, M., & Fagundes, J. C. D. S. (1992). Analysis of torque ripple due to phase commutation in brushless DC machines. IEEE Transactions on Industry Applications, 28(3), 632-638.”.
- [18] “C. Berendsen, G. Champenois, A. Bolopion, Commutation strategies for brushless DC motors: influence on instant torque, IEEE Trans. Power Electron. 8 (2) (1993)”.
- [19] “K-W Lee, et al., Current control algorithm to reduce torque ripple in brushless DC motors, in: Conf. Rec. ICPE’98, vol. 1, Seoul, Korea, October 1998, pp. 380-385.”.
- [20] “J.H. Song, I. Choy, Commutation torque ripple reduction in brushless DC motor drives using a single DC current sensor, IEEE Trans. Power Electron. 19 (2) (Mar., 2004) 312-319.”.
- [21] “K.-J. Kwun, S.-H. Kim, A current control strategy for torque ripple reduction on brushless DC motor during commutation, Trans. Korean Inst. Power Electron. 9 (4) (Jun. 2002) 195-202.”.
- [22] “Z. Xiangjun. C. Boshi, The different influences of four PWM modes on the commutation torque ripples in sensorless brushless DC motors control system, in: Proc. the”.
- [23] “U. Vinatha, S. Pola, K.P. Vittal, A novel PWM scheme to eliminate the diode freewheeling in the inactive in BLDC motor, in: Conf. Rec. IEEE PESC’2004, pp. 2282-2286.”.
- [24] [Trực tuyển]. Available: <https://www.infineon.com/dgdl/irfp150npbf.pdf?fileId=5546d462533600a4015356286d121fd6>.
- [25] “https://toshiba.semicon-storage.com/info/datasheet_en_20190617.pdf?did=16821”.
- [26] “<http://www.datasheet-pdf.com/PDF/B1212S-2W-Datasheet-REICU-1320556>”.

- [27] “https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/applinote/discrete/sic/mosfet/sic-mos_snubber_circuit_design_an-e.pdf”.
- [28] “https://www.ti.com/lit/ds/symlink/txs0108e.pdf?ts=1685078010012&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F”.
- [29] “<https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32f4discovery.html>”.