

BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG



ISO 9001:2008

**TÌM HIỂU ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI  
THAN (BLDC)**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY

NGÀNH ĐIỆN CÔNG NGHIỆP

HẢI PHÒNG -2015

**BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**



**ISO 9001:2008**

**TÌM HIỂU ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỖI  
THAN (BLDC)**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY**

**NGÀNH ĐIỆN CÔNG NGHIỆP**

Sinh viên: Lê Quang Tuyển  
Người hướng dẫn: GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

**HẢI PHÒNG - 2015**

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM  
ĐỘC LẬP – TỰ DO – HẠNH PHÚC

-----oo-----

BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HÀI PHÒNG

## NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên : Lê Quang Tuyền - mã số :1112102007

Lớp : ĐC 1501- Ngành Điện Công Nghiệp

Tên đề tài : Tìm hiểu động cơ một chiều không chổi than .

## NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp (về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp:.....

## **CÁC CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

Người hướng dẫn thứ nhất

Họ và tên : Thân Ngọc Hoàn  
Học hàm, học vị : GS.TSKH  
Cơ quan công tác : Trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng  
Nội dung hướng dẫn : Toàn bộ đề tài

Người hướng dẫn thứ hai

Họ và tên :  
Học hàm, học vị :  
Cơ quan công tác :  
Nội dung hướng dẫn :

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày 10 tháng 04 năm 2015.  
Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày 06 tháng 07 năm 2015.

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N.  
Sinh viên

Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N.  
Cán bộ hướng dẫn Đ.T.T.N.

Lê Quang Tuyển

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

Hải Phòng, ngày ..... tháng ... năm 2015

HIỆU TRƯỞNG

GS.TS.NGƯT Trần Hữu Nghị

## **PHẦN NHẬN XÉT TÓM TẮT CỦA CÁN BỘ HƯỚNG DẪN**

1. Tình thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. Đánh giá chất lượng của Đ.T.T.N (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T.T.N, trên các mặt lí luận thực tiễn, tính toán giá trị sử dụng, chất lượng các bản vẽ).

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. Cho điểm của cán bộ hướng dẫn :  
*(Điểm ghi bằng số và chữ)*

Ngày ... tháng ... năm 2015  
Cán bộ hướng dẫn chính.  
*(Kí và ghi rõ họ tên)*

## **NHẬN XÉT ĐÁNH GIÁ CỦA NGƯỜI CHẤM PHẢN BIỆN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

1. Đánh giá chất lượng đề tài tốt nghiệp về các mặt thu nhập và phân tích số liệu ban đầu, cơ sở lí luận chọn phương án tối ưu, cách tính toán chất lượng thuyết minh và bản vẽ, giá trị lí luận và thực tiễn đề tài.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Cho điểm của cán bộ chấm phản biện.

*(Điểm ghi bằng số và chữ)*

Ngày ... tháng ... năm 2015  
Người chấm phản biện.  
*(Kí và ghi rõ họ tên)*

## MỤC LỤC

<b>LỜI MỞ ĐẦU.....</b>	<b>1</b>
<b>CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KHÔNG CHỐI THAN.....</b>	<b>3</b>
1.1. GIỚI THIỆU VỀ ĐỘNG CƠ BLDC.....	3
1.2. CẤU TẠO ĐỘNG CƠ BLDC.....	5
1.2.1. Stato.....	6
1.2.2. Roto.....	8
1.2.3. Cảm biến vị trí Hall sensor.....	10
1.2.4. Bộ phận chuyên mạch điện tử (Electronic commutator) .....	11
1.3. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.....	12
1.4. CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN DÙNG ĐỘNG CƠ BLDC.....	13
1.4.1. Truyền động không đảo chiều (truyền động một cực tính) .....	14
1.4.2. Truyền động có đảo chiều (truyền động hai cực tính) .....	14
1.5. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM VỀ ĐIỆN CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.....	15
1.5.1. Momen điện từ.....	15
1.5.2. Đặc tính cơ và đặc tính làm việc của động cơ BLDC.....	15
1.5.3. Sức phản điện động.....	16
<b>CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC.....</b>	<b>17</b>
2.1. MÔ HÌNH TOÁN HỌC.....	17
2.1.1. Mô hình toán học .....	17
2.1.2. Momen điện từ.....	20
2.1.3. Phương trình động học của động cơ BLDC.....	20
2.1.4. Phương trình đặc tính cơ của động cơ một chiều không chổi than	

.....	21
2.1.5. Sơ đồ cấu trúc của động cơ BLDC.....	22
2.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC. ....	23
2.2.1. Phương pháp điều khiển bằng tín hiệu cảm biến Hall-phương pháp 6 bước.....	24
2.2.2. Điều khiển bằng phương pháp PMW. .....	30
2.2.3. Điều khiển điện áp hình sin. .....	31
2.2.4. Điều khiển động cơ BLDC không sử dụng cảm biến(sensorless control).....	32
2.2.5.    Điều khiển vòng kín động cơ BLDC.	33
<b>CHƯƠNG 3. THỰC HIỆN ĐIỀU KHIỂN CHO ĐỘNG CƠ BLDC..</b>	<b>37</b>
3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ. .....	37
3.1.1. Giới thiệu về vi điều khiển DSPIC30F4011.....	38
3.1.1.1. Ngắt của DSPIC30F4011.....	40
3.1.1.2. Cổng vào ra của DSPIC30F4011.....	41
3.1.1.3. Các bộ định thời.....	41
3.1.1.4. Module chuyển đổi tương tự - số ADC 10bit.....	43
3.1.1.5. Module PWM điều khiển động cơ.....	46
3.1.2. Thiết kế mạch điều khiển Động cơBLDCdùng DSPIC30F4011....	47
3.1.2.1. Module xử lý trung tâm.....	47
3.1.2.2. Hệ thống phản hồi dòng điện.....	49
3.1.2.3. Mạch phản hồi tốc độ.....	50
3.1.2.4. Một số cấu trúc khác.....	51
3.1.3. Thiết kế mạch đếm cho bộ nghịch lưu.....	55
3.1.3.1. IC HCPL 316J.....	55
3.1.3.2. Mạch đếm cho mỗi van IGBT.....	56
3.1.3.3. Nguồn cấp cho từng module của mạch đếm.....	56

3.1.3.4. Mạch đệm của cả 6 van IGBT .....	57
3.1.4. Viết chương trình điều khiển cho động cơ.....	57
3.1.4.1. Lập trình cho mạch vòng hở.....	58
3.1.4.2. Chương trình mạch vòng kín .....	60
3.2.THIẾT KẾ MẠCH LỰC CHO ĐỘNG CƠ BLDC.....	61
3.2.1. Giới thiệu về các bộ biến đổi cho động cơBLDC.....	61
3.2.2. Biến áp tự ngẫu.....	62
3.2.3. Mạch chỉnh lưu.....	62
3.2.4. Mạch nghịch lưu.....	65
3.2.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của IGBT.....	65
3.2.4.2. Đặc tính đóng cắt của van IGBT.....	65
3.2.4.3. Lựa chọn mạch nghịch lưu.....	68
3.2.5. Tính toán tham số mạch lực.....	70
3.2.5.1. Tính chọn mạch chỉnh lưu.....	70
3.2.5.2. Tính chọn mạch nghịch lưu.....	71
3.2.5.3. Tính chọn tụ lọc.....	72
<b>CHƯƠNG 4. TÌM HIỂU PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG CẤU TRÚC HỆ TRUYỀN ĐỘNG VÀ MÔ PHỎNG.....</b>	<b>73</b>
4.1. TỔNG HỢP CÁC BỘ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ VÀ DÒNG ĐIỆN CHO ĐỘNG CƠ BLDC .....	73
4.1.1. Mô hình 1 pha của động cơ một chiều không chổi than.....	73
4.1.2.Tổng hợp các bộ điều chỉnh của Động cơ BLDC.....	74
4.1.3. Mô hình hệ thống điều khiển 1 pha Động cơ BLDC.....	76
4.1.4. Hàm truyền đạt của các khối chức năng trong mô hình hệ điều khiển.....	77
4.1.4.1. Khối bộ biến đổi.....	77
4.1.4.2. Khâu đo dòng điện - phản hồi dòng .....	78
4.1.4.3. Khâu đo tốc độ - phản hồi tốc độ.....	79

4.1.5. Tổng hợp mạch vòng dòng điện.....	79
4.1.6. Tổng hợp mạch vòng tốc độ.....	81
4.1.7. Mô phỏng mô hình một pha của động cơ BLDC.....	84
4.2. Xây dựng và mô phỏng mô hình 3 pha của động cơ BLDC .....	87
4.2.1. Xây dựng tổng quan mô hình hệ điều khiển động cơ BLDC .....	88
4.2.2. Mô hình động cơ BLDC .....	89
4.2.2.1. Phần mạch điện.....	90
4.2.2.2. Phần tính toán momen.....	91
4.2.2.3. Khối tạo dạng sức phản điện động.....	92
4.2.3. Mô hình bộ chuyển mạch điện tử - nghịch lưu nguồn áp.....	95
4.2.4. Khối Bộ điều khiển .....	96
4.2.4.1. Khối Rw .....	97
4.2.4.2. Khối tạo dạng dòng điện .....	97
4.2.4.3. Khối Ri .....	98
4.2.4.4. Khối Pulse Generator.....	99
4.2.5. Một số khối chức năng khác.....	100
4.2.5.1. Khối phản hồi tốc độ.....	100
4.2.5.2. Khối phản hồi dòng điện .....	100
4.2.6. Một số chương trình phục vụ cho mô hình hệ điều khiển.....	100
4.2.7. Mô phỏng mô hình hoàn chỉnh hệ thống điều khiển động cơ BLDC.....	101
4.2.8. Kết quả mô phỏng hệ thống điều khiển Động cơ BLDC.....	102
4.2.9. Nhận xét kết quả mô phỏng.....	104
<b>KẾT LUẬN.....</b>	<b>105</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>106</b>

## LỜI MỞ ĐẦU

Ngày nay, thế giới đang chứng kiến sự thay đổi to lớn của nền sản xuất công nghiệp do việc áp dụng những thành tựu của cuộc cách mạng khoa học công nghệ. Cùng với sự thay đổi của nền sản xuất công nghiệp, ngành khoa học công nghệ về tự động hóa cũng có những bước phát triển vượt bậc và trở thành ngành mũi nhọn của thế giới.

Các hệ thống tự động hóa sử dụng động cơ điện truyền thống thường được thiết kế với những phần tử tương tự tương đối rẻ tiền. Điểm yếu của các hệ thống tương tự là chúng nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ và tuổi thọ của các thành phần. Một nhược điểm nữa của các hệ thống này là khó mở rộng và nâng cấp. Các cấu trúc điều khiển số khắc phục được tất cả những nhược điểm của các cấu trúc truyền động tương tự và bằng cách sử dụng các bộ xử lý có thể lập trình được việc nâng cấp trở nên rất dễ dàng do được thực hiện bằng phần mềm. Các bộ xử lý tín hiệu số tốc độ cao cho phép chúng ta thực hiện được những bài toán điều khiển số yêu cầu độ phân giải cao, tốc độ và khối lượng tính toán lớn chẳng hạn như các bài toán điều khiển thời gian thực. Ngoài ra, chúng còn cho phép tối thiểu hóa các thời gian trễ trong mạch vòng điều khiển. Những điều khiển hiệu suất cao này còn cho phép giảm được dao động momen, giảm đáng kể tổn thất công suất như tổn thất công suất do các điều hoà bậc cao gây ra trong rotor. Các dạng sóng liên tục cho phép tối ưu hóa các phần tử công suất và các bộ lọc đầu vào.

Những tiến bộ gần đây trong ngành Vật liệu từ (Nam châm vĩnh cửu), ngành điện tử công suất, trong chế tạo các bộ xử lý tín hiệu số tốc độ cao, kỹ thuật điều khiển hiện đại đã ảnh hưởng đáng kể đến việc mở rộng ứng dụng của các hệ truyền động động cơ một chiều không chổi than kích thích vĩnh cửu nhằm đáp ứng nhu cầu về sản xuất hàng hoá, thiết bị, các bộ xử lý của thị trường cạnh tranh khắp thế giới.

Động cơ một chiều không chổi than là loại động cơ có rất nhiều ưu điểm

nên gần đây đã được chú ý nghiên cứu và đưa vào sử dụng rộng rãi nhất là trong các hệ thống tự động có yêu cầu cao về độ tin cậy trong các điều kiện làm việc đặc biệt: môi trường chân không, nhiệt độ thay đổi, va đập mạnh, dễ cháy nổ,... Do không có bộ phận đổi chiều cơ khí sử dụng vành gót, chổi than nên động cơ này khắc phục được hầu hết các nhược điểm của động cơ một chiều thông thường. Hiệu suất cao do giảm được tổn thất công suất, không cần bảo dưỡng và quán tính rotor nhỏ của động cơ một chiều không chổi than đã làm tăng nhu cầu sử dụng động cơ này trong những ứng dụng rô bốt và servo công suất lớn. Việc phát minh ra các thiết bị công suất hiện đại như MOSFET, IGBT, GTO và nam châm vĩnh cửu đất hiếm năng lượng cao đã tăng cường các ứng dụng của động cơ này trong các truyền động có yêu cầu điều chỉnh tốc độ.

Trong quá trình học tập tại trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng. Với sự giúp đỡ của nhà trường và khoa Điện Dân Dụng và Công Nghiệp em đã được nhận đề tài tốt nghiệp là "**Tìm hiểu động cơ điện một chiều không chổi than**".

Đồ án gồm các nội dung sau:

Chương 1: Tổng quan về động cơ một chiều không chổi than.

Chương 2: Mô hình toán học và phương pháp điều khiển động cơ.

Chương 3: Vấn đề điều khiển cho động cơ

Chương 4: Tìm hiểu phương pháp xây dựng cấu trúc hệ truyền động và mô phỏng .

Em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn tận tình của thầy giáo Thầy giáo GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn, cùng với các thầy cô giáo trong khoa đã giúp đỡ em hoàn thành đồ án này.

Em mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy cô giáo và các bạn.

Hải Phòng, ngày ... tháng ... năm 2015

Sinh viên

Lê Quang Tuyền

## **CHƯƠNG 1.**

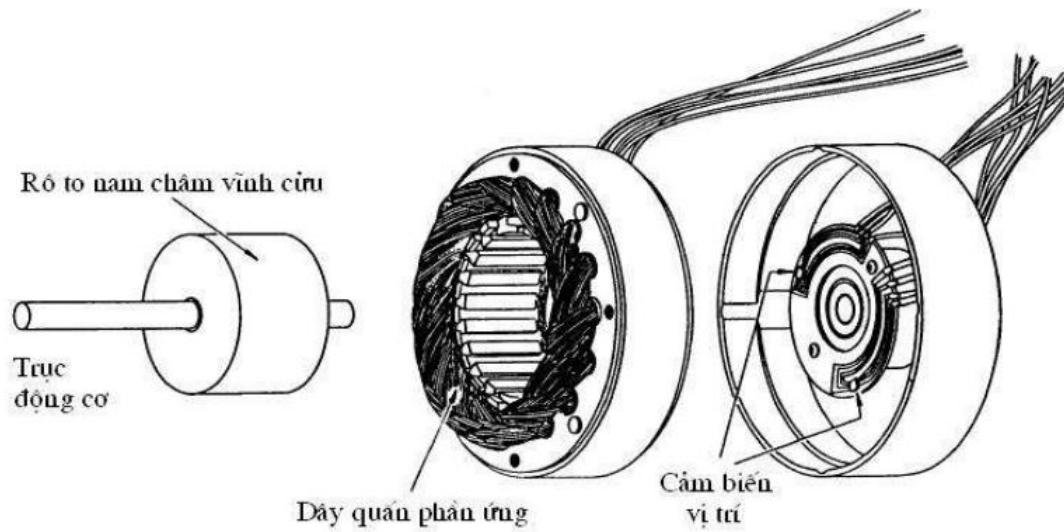
### **TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KHÔNG CHỔI THAN (BLDC)**

#### **1.1. GIỚI THIỆU VỀ ĐỘNG CƠ BLDC**



Động cơ một chiều (ĐCMC) thông thường có hiệu suất cao và các đặc tính của chúng thích hợp với các truyền động servo. Tuy nhiên, hạn chế duy nhất là trong cấu tạo của chúng cần có cỗ góp và chổi than, những thứ dễ bị mòn và yêu cầu bảo trì, bảo dưỡng thường xuyên. Để khắc phục nhược điểm này người ta chế tạo loại động cơ không cần bảo dưỡng bằng cách thay thế chức năng của cỗ góp và chổi than bởi cách chuyển mạch sử dụng thiết bị bán dẫn (chẳng hạn như biến tần sử dụng transistor công suất chuyển mạch theo vị trí rotor). Những động cơ này được biết đến như là động cơ đồng bộ kích thích bằng nam châm vĩnh cửu hay còn gọi là động cơ một chiều không chổi than BLDC (Brushless DC Motor). Do không có cỗ góp và chổi than nên động cơ này khắc phục được hầu hết các nhược điểm của động cơ một chiều có vanh góp thông thường.

## So sánh BLDC với động cơ một chiều thông thường:



**Hình 1.1:** Các thành phần cơ bản của động cơ BLDC

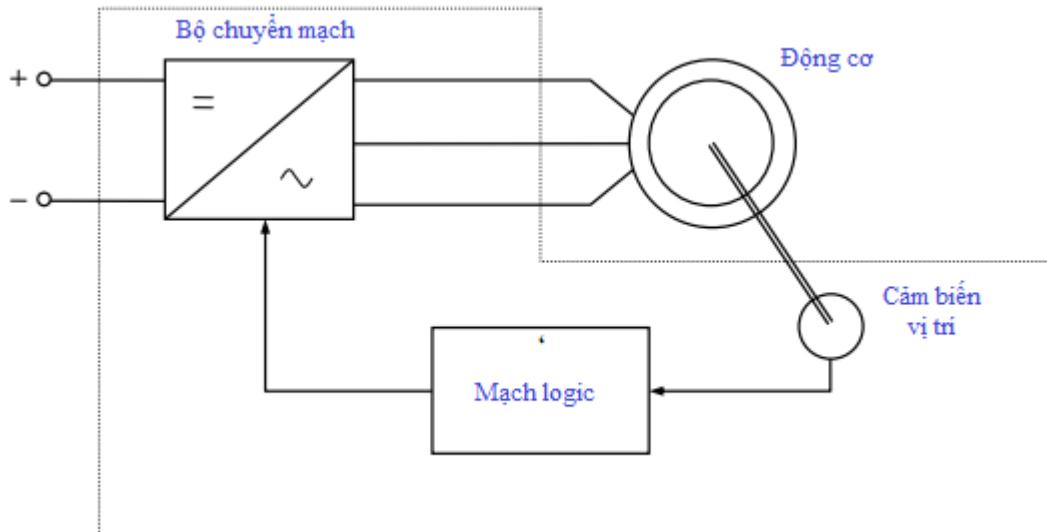
Mặc dù người ta nói rằng đặc tính tĩnh của động cơ BLDC và DCMC thông thường hoàn toàn giống nhau, thực tế chúng có những khác biệt đáng kể ở một vài khía cạnh. Khi so sánh hai loại động cơ này về mặt công nghệ hiện tại, ta thường đề cập tới sự khác nhau hơn là sự giống nhau giữa chúng. Bảng 1.1 so sánh ưu nhược điểm của hai loại động cơ này. Khi nói về chức năng của động cơ điện, không được quên ý nghĩa của dây quấn và sự đổi chiều. Đổi chiều là quá trình biến đổi dòng điện một chiều ở đầu vào thành dòng xoay chiều và phân bố một cách chính xác dòng điện này tới mỗi dây quấn ở phần ứng động cơ. Ở động cơ một chiều thông thường, sự đổi chiều được thực hiện bởi cỗ gò và chổi than. Ngược lại, ở động cơ một chiều không chổi than, đổi chiều được thực hiện bằng cách sử dụng các thiết bị bán dẫn như transistor, MOSFET, GTO, IGBT.

**Bảng 1.1:** So sánh động cơ BLDC với ĐCMC thông thường

Nội dung	ĐCMC thông thường	ĐCMC không chổi than
Cấu trúc cơ khí	Mạch kích từ nằm trên stato	Mạch khích từ nằm trên roto
Tính năng đặc biệt	Đáp ứng nhanh và dễ điều khiển	Đáp ứng chậm hơn. Dễ bảo dưỡng (thường không yêu cầu bảo dưỡng)
Sơ đồ nối dây	Nối vòng tròn. Đơn giản nhất là nối $\Delta$	Cao áp :Ba pha nối Y hoặc $\Delta$ .Bình thường :Dây cuốn 3 pha nối Y có điểm trung tính nối đất hoặc 4 pha. Đơn giản nhất :nối 2 pha
Phương pháp đổi chiều	Tiếp xúc cơ khí giữa chổi than và cỗ góp	Chuyên mạch điện tử sử dụng thiết bị bán dẫn như trasitor,IGBT...
Phương pháp xác định vị trí roto	Tự động xác định bằng chổi than	Sử dụng cảm biến vị trí :phản tử Hall, cảm biến quang học (otical encoder)
Phương pháp đảo chiều	Đảo chiều điện áp nguồn (cấp cho phản ứng hoặc mạch kích từ)	Sắp xếp lại thứ tự của các tín hiệu logic

## 1.2. CẤU TẠO ĐỘNG CƠ BLDC.

Cấu tạo của động cơ một chiều không chổi than rất giống một loại động cơ xoay chiều đó là động cơ xoay chiều đồng bộ kích thích bằng nam châm vĩnh cửu. Hình 1.1 minh họa cấu tạo của động cơ một chiều không chổi than ba pha điển hình:



**Hình 1.2:** Sơ đồ khái niệm động cơ BLDC

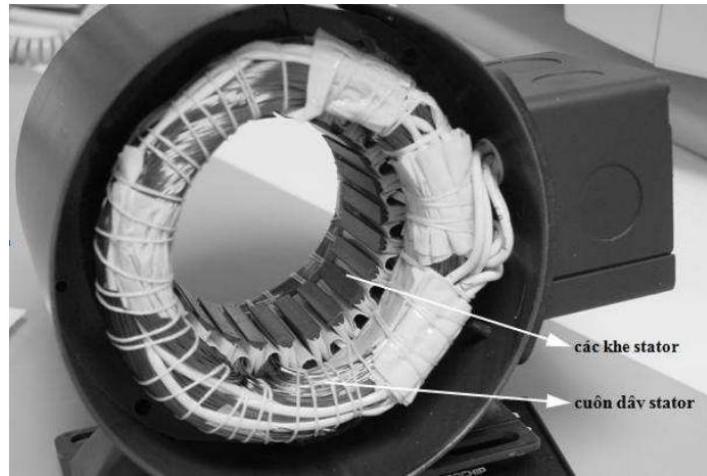
Dây quấn stator tương tự như dây quấn stator của động cơ xoay chiều nhiều pha và rotor bao gồm một hay nhiều nam châm vĩnh cửu. Điểm khác biệt cơ bản của động cơ một chiều không chổi than so với động cơ xoay chiều đồng bộ là nó kết hợp một vài phương tiện để xác định vị trí của rotor (hay vị trí của cực từ) nhằm tạo ra các tín hiệu điều khiển bộ chuyển mạch điện tử như biểu diễn trên hình 1.2. Từ hình 1.2 ta thấy rằng động cơ một chiều không chổi than chính là sự kết hợp của động cơ xoay chiều đồng bộ kích thích vĩnh cửu và bộ đổi chiều điện tử chuyển mạch theo vị trí rotor.

Việc xác định vị trí rotor được thực hiện thông qua cảm biến vị trí, hầu hết các cảm biến vị trí rotor (cực từ) là phần tử Hall, tuy nhiên cũng có một số động cơ sử dụng cảm biến quang học. Mặc dù hầu hết các động cơ chính thống và có năng suất cao đều là động cơ ba pha, động cơ một chiều không chổi than hai pha cũng được sử dụng khá phổ biến vì cấu tạo và mạch truyền động đơn giản.

### 1.2.1. Stato.

Khác với động cơ một chiều thông thường, stator của động cơ một chiều không chổi than chứa dây quấn phản ứng. Dây quấn phản ứng có thể là hai pha, ba pha hay nhiều pha nhưng thường là dây quấn ba pha (hình 1.3).

Dây quấn ba pha có hai sơ đồ nối dây, đó là nối theo hình sao Y hoặc hình tam giác  $\Delta$ .

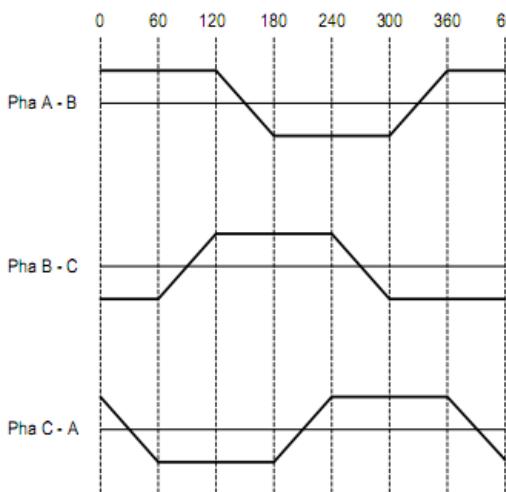


**Hình 1.3:** Stato của động cơ BLDC

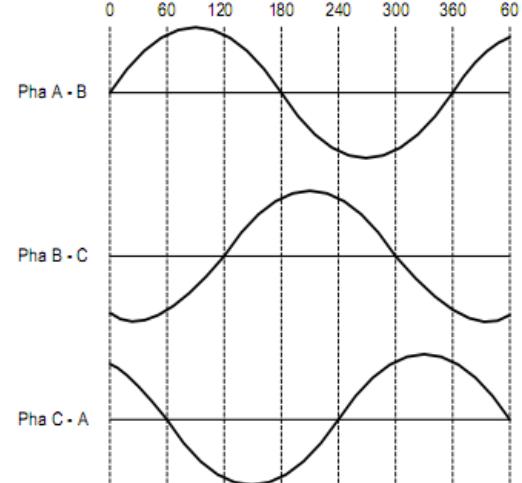
Stator của động cơ BLDC được cấu tạo từ các lá thép kỹ thuật điện với các cuộn dây được đặt trong các khe cắt xung quanh chu vi phía trong của stator. Theo truyền thống cấu tạo stator của động cơ BLDC cũng giống như cấu tạo của các động cơ cảm ứng khác. Tuy nhiên, các bối dây được phân bố theo cách khác. 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 bối dây nối liền với nhau. Các bối 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 chấn 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 bối dây trong cuộn dây stator tạo nên sự khác nhau của hình dáng sức phản điện động. Động cơ BLDC có 2 dạng sức phản điện động là dạng hình sin và dạng hình thang. Cũng chính vì sự khác nhau này mà tên gọi của động cơ cũng khác nhau, đó là động cơ BLDC hình sin và động cơ BLDC hình thang. Dòng điện pha của động cơ tương ứng cũng có dạng hình sin và hình thang. Điều này làm cho momen của động cơ hình sin phẳng hơn nhưng đắt hơn vì phải có thêm các bối dây

mắc liên tục. Còn động cơ hình thang thì rẻ hơn nhưng đặc tính momen lại nhấp nhô do sự thay đổi điện áp của sức phản điện động là lớn hơn.



a) *Sức điện động hình thang*



b) *sức điện động nam châm vĩnh cửu*

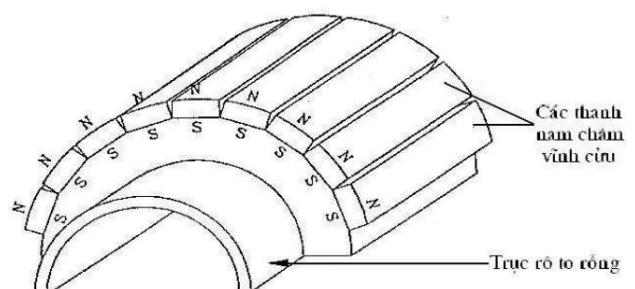
**Hình 1.4:** Các dạng sức điện động của động cơ BLDC

Động cơ một chiều không chổi than thường có các cấu hình 1 pha, 2 pha và 3 pha. Tương ứng với các loại đó thì stator có số cuộn dây là 1, 2 và 3. Phụ thuộc vào khả năng cấp công suất điều khiển, có thể chọn động cơ theo tỷ lệ điện áp. Động cơ nhỏ hơn hoặc bằng 48V được dùng trong máy tự động, robot, các chuyển động nhỏ... Các động cơ trên 100V được dùng trong các thiết bị công nghiệp, tự động hóa và các ứng dụng công nghiệp.

### 1.2.2. Roto.

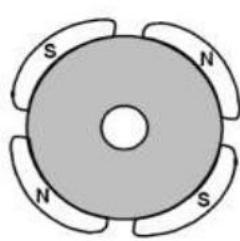
Được gắn vào trực động cơ và trên bề mặt rotor có dán các thanh nam châm vĩnh cửu. Ở các động cơ yêu cầu quán tính của rotor nhỏ, người ta thường chế tạo trực của động cơ có dạng hình trụ rỗng.

Rotor được cấu tạo từ các nam châm vĩnh cửu. Số lượng đôi cực dao động từ 2 đến 8 với các cực Nam (S) và Bắc (N) xếp xen kẽ nhau.



**Hình 1.5:** Roto của động cơ BLDC

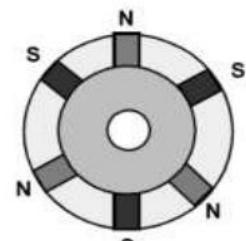
Dựa vào yêu cầu về mật độ từ trường trong rotor, chất liệu nam châm thích hợp được chọn tương ứng. Nam châm Ferrite thường được sử dụng. Khi công nghệ phát triển, nam châm làm từ hợp kim ngày càng phổ biến. Nam châm Ferrite rẻ hơn nhưng mật độ thông lượng trên đơn vị thể tích lại thấp. Trong khi đó, vật liệu hợp kim có mật độ từ trên đơn vị thể tích cao và cho phép thu nhỏ kích thước của rotor nhưng vẫn đạt được momen tương tự. Do đó, với cùng thể tích, momen của rotor có nam châm hợp kim luôn lớn hơn rotor nam châm Ferrite.



Rotor lõi tròn với nam châm đặt trên chu vi



Rotor lõi tròn với nam châm hình chữ nhật được đặt trong rotor



Rotor lõi tròn, nam châm hình chữ nhật chèn vào trong lõi rotor

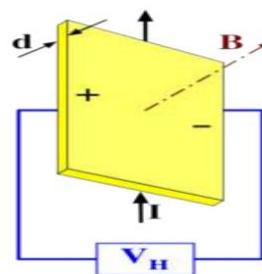
**Hình 1.6:** Các dạng Rotor của động cơ một chiều không chổi than

### 1.2.3. Cảm biến vị trí Hall sensor.

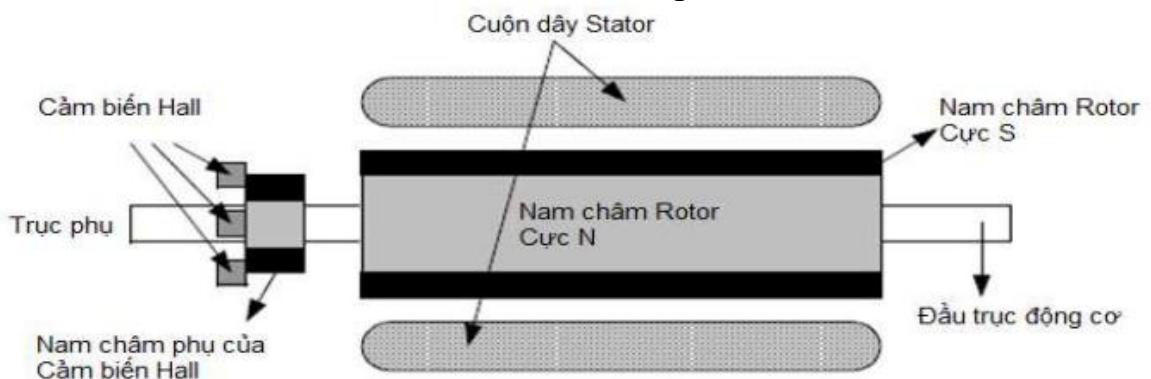
Không giống như động cơ một chiều dùng chổi than, chuyển của động cơ một chiều không chổi than được điều khiển bằng điện tử. Tức là các cuộn dây của stator sẽ được cấp điện nhờ sự chuyển mạch của các van bán dẫn công suất. Để động cơ làm việc, cuộn dây của stator được cấp điện theo thứ tự. Tức là tại một thời điểm thì không ngẫu nhiên cấp điện cho cuộn dây nào cả mà phụ thuộc vào vị trí của rotor động cơ ở đâu để cấp điện cho đúng. Vì vậy điều quan trọng là cần phải biết vị trí của rotor để tiến tới biết được cuộn dây stator tiếp theo nào sẽ được cấp điện theo thứ tự cấp điện. Vị trí của rotor được đo bằng các cảm biến sử dụng hiệu ứng Hall được đặt ẩn trong stator.

Hầu hết tất cả các động cơ một chiều không chổi than đều có cảm biến Hall đặt ẩn bên trong stator, ở phần đuôi trực (trục phụ) của động cơ.

Mỗi khi các cực nam châm của rotor đi qua khu vực gần các cảm biến Hall, các cảm biến sẽ gửi ra tín hiệu cao hoặc thấp ứng với khi cực Bắc hoặc cực Nam đi qua cảm biến. Dựa vào tổ hợp của các tín hiệu từ 3 cảm biến Hall, thứ tự chuyển mạch chính xác được xác định. Tín hiệu mà các cảm biến Hall nhận được sẽ dựa trên hiệu ứng Hall. Đó là khi có một dòng điện chạy trong một vật dẫn được đặt trong một từ trường, từ trường sẽ tạo ra một lực nén ngang lên các điện tích di chuyển trong vật dẫn theo hướng đẩy chúng về một phía của vật dẫn. Số lượng các điện tích bị đẩy về một phía sẽ cân bằng với mức độ ảnh hưởng của từ trường. Điều này dẫn đến xuất hiện một hiệu điện thế giữa 2 mặt của vật dẫn. Sự xuất hiện của hiệu điện thế có khả năng đo được này được gọi là hiệu ứng Hall, lấy tên người tìm ra nó vào năm 1879.



**Hình 1.7:** Hiệu ứng Hall



**Hình 1.8:** Động cơ BLDC cấu trúc nằm ngang

Trên hình 1.8 là mặt cắt ngang của động cơ một chiều không chổi than với rotor có các nam châm vĩnh cửu. Cảm biến Hall được đặt trong phần đứng yên của động cơ. Việc đặt cảm biến Hall trong stator là quá trình phức tạp vì bất cứ một sự mất cân đối sẽ dẫn đến việc tạo ra một sai số trong việc

xác định vị trí rotor. Để đơn giản quá trình gắn cảm biến lên stator, một vài động cơ có các nam châm phụ của cảm biến Hall được gắn trên rotor, thêm vào so với nam châm chính của rotor. Đây là phiên bản thu nhỏ của nam châm trên rotor. Do đó, mỗi khi rotor quay, các nam châm cảm biến rotor đem lại hiệu ứng tương tự như của nam châm chính. Các cảm biến Hall thông thường được gắn trên mạch in và cố định trên nắp đậy động cơ. Điều này cho phép người dùng có thể điều chỉnh hoàn toàn việc lắp ráp các cảm biến Hall để cẩn chỉnh với nam châm rotor, đem lại khả năng hoạt động tối đa.

Dựa trên vị trí vật lý của cảm biến Hall, có 2 cách đặt cảm biến .Các cảm biến Hall có thể được đặt dịch pha nhau các góc  $60^0$  hoặc  $120^0$  tùy thuộc vào số đôi cực. Dựa vào điều này, các nhà sản xuất động cơ định nghĩa các chu trình chuyển mạch mà cần phải thực hiện trong quá trình điều khiển động cơ.

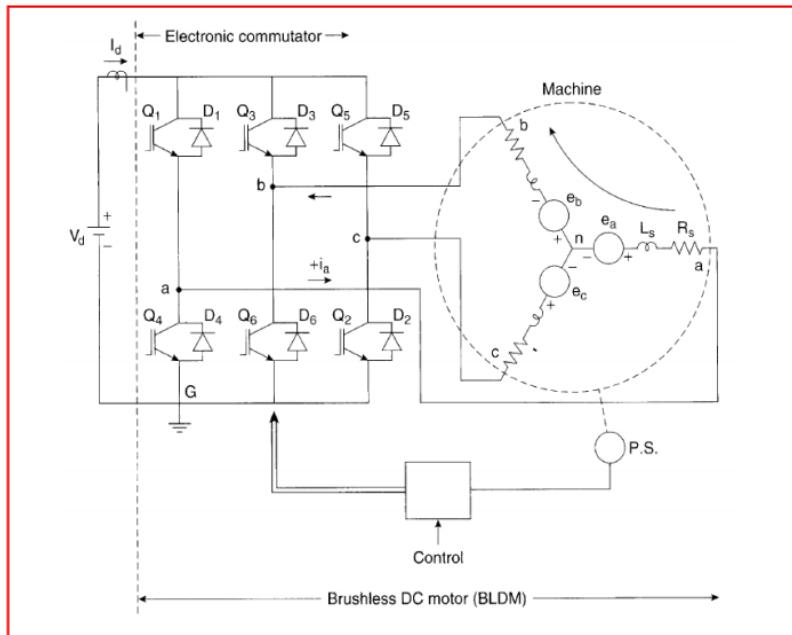
Các cảm biến Hall cần được cấp nguồn .Điện áp cấp có thể từ 4 đến 24V Yêu cầu dòng từ 5 đến 15mA .Khi thiết kế bộ điều khiển, cần để ý đến đặc điểm kỹ thuật tương ứng của từng loại động cơ để biết được chính xác điện áp và dòng điện của các cảm biến Hall được dùng. Đầu ra của các cảm biến Hall thường là loại open-collector, vì thế ,cần ó điện trở treo ở phía bô điều khiển nếu không có điện trở treo thì tín hiệu mà chúng ta có được không phải là tín hiệu xung vuông mà là tín hiệu nhiễu.

#### **1.2.4. Bộ phận chuyển mạch điện tử (Electronic commutator)**

Ở động cơ một chiều không chổi than vì dây quấn phần ứng được bố trí trên stator đứng yên nên bộ phận đổi chiều dễ dàng được thay thế bởi bộ đổi chiều điện tử sử dụng transistor công suất chuyển mạch theo vị trí roto.

Do trong cấu trúc của động cơ một chiều không chổi than cần có cảm biến vị trí rotor. Khi đó bộ đổi chiều điện tử có thể đảm bảo sự thay đổi chiều của dòng điện trong dây quấn phần ứng khi rotor quay giống như vành gót và chổi than của động cơ một chiều thông thường.

### 1.3. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.

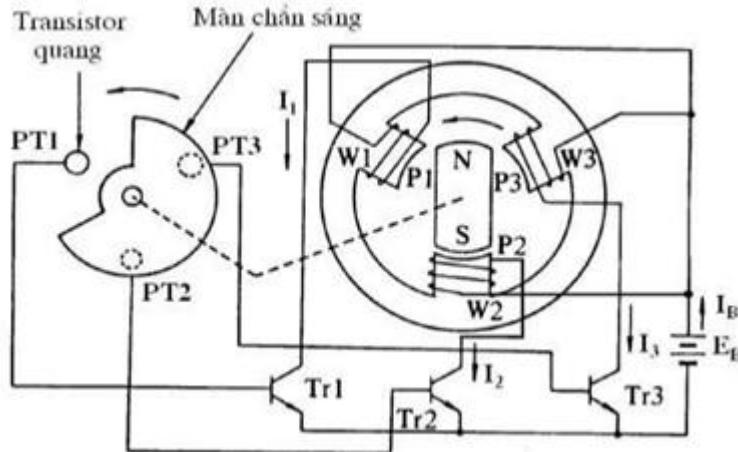


**Hình 1.9:** Sơ đồ cấp điện cho các cuộn dây stator

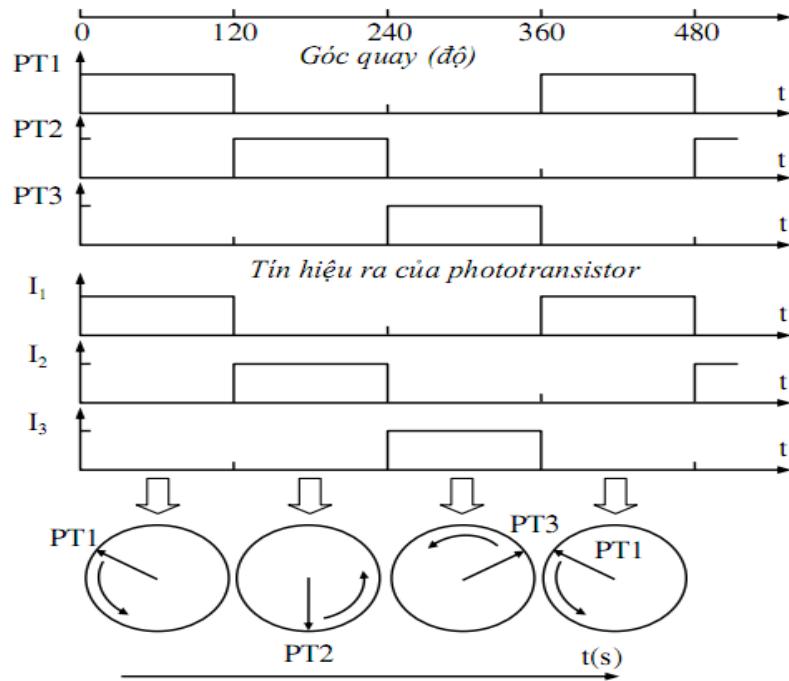
Để động cơ BLDC hoạt động thì cần biết được vị trí chính xác của rotor để điều khiển quá trình đóng ngắt các khóa bán dẫn, cấp nguồn cho các cuộn dây stator theo trình tự hợp lí. Mỗi trạng thái chuyển mạch có một trong các cuộn dây (như pha A) được cấp điện dương (dòng đi vào trong cuộn dây pha A), cuộn dây thứ 2 (pha B) được cấp điện âm (dòng từ cuộn dây đi ra pha B) và cuộn dây thứ 3 (pha C) không cấp điện. Momen được sinh ra do tương tác giữa từ trường tạo ra bởi những cuộn dây của stator với nam châm vĩnh cửu. Một cách lí tưởng, momen lớn nhất xảy ra khi 2 từ trường lệch nhau  $90^0$  và giảm xuống khi chúng di chuyển. Để giữ động cơ quay, từ trường tạo ra bởi những cuộn dây stator phải quay “đồng bộ” với từ trường của rotor một góc  $\alpha$ .

## 1.4. CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN DÙNG ĐỘNG CƠ BLDC

### 1.4.1. Truyền động không đảo chiều (truyền động một cực tính)



**Hình 1.10:** minh họa nguyên lý làm việc của BLDC truyền động một cực



**Hình 1.11:** Thứ tự chuyển mạch và chiều quay của từ trường stator

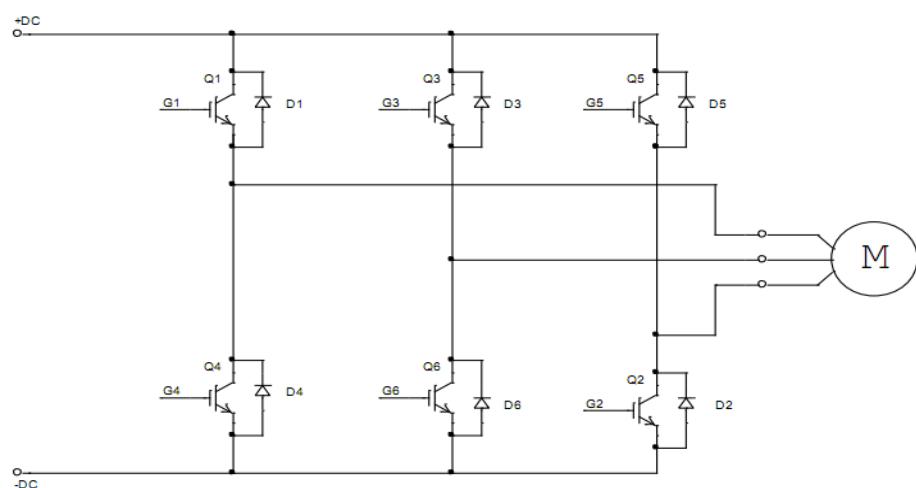
Hình 1.10 minh họa một động cơ BLDC ba pha đơn giản, động cơ này sử dụng cảm biến quang học làm bộ phận xác định vị trí rotor. Như biểu diễn trên hình 1.11, cực Bắc của rotor đang ở vị trí đối diện với cực lõi P2 của stator, phototransistor PT1 được chiếu sáng, do đó có tín hiệu đưa đến cực gốc (Base) của transistor Tr1 làm cho Tr1 mở. Ở trạng thái này, cực Nam

được tạo thành ở cực lồi P1 bởi dòng điện  $I_1$  chảy qua cuộn dây W1 đã hút cực Bắc của rotor làm cho rotor chuyển động theo hướng mũi tên.

Khi cực Bắc của rotor di chuyển đến vị trí đối diện với cực lồi P1 của stator, lúc này màn chắn gắn trên trục động cơ sẽ che PT1 và PT2 được chiếu sáng, Tr2 mở, dòng  $I_2$  chảy qua Tr2. Khi dòng điện này chảy qua dây quấn W2 và tạo ra cực Nam trên cực lồi P2 thì cực Bắc của rotor sẽ quay theo chiều mũi tên đến vị trí đối diện với cực lồi P2. Ở thời điểm này, màn chắn sẽ che PT2 và phototransistor PT3 được chiếu sáng. Lúc này chiều của dòng điện có chiều từ W2 sang W3. Vì vậy, cực lồi P2 bị khử kích thích trong khi đó cực lồi P3 lại được kích hoạt và tạo thành cực lồi. Do đó, cực Bắc của rotor di chuyển từ P2 sang P3 mà không dừng lại. Bằng cách lặp lại các chuyển mạch như vậy theo thứ tự cho ở hình 1.11, rotor nam châm vĩnh cửu của động cơ sẽ quay theo chiều xác định một cách liên tục.

#### 1.4.2. Truyền động có đảo chiều (truyền động hai cực tính)

Ở động cơ một chiều không chổi than, dây quấn phần ứng được quấn trên stator là phần đứng yên nên có thể dễ dàng thay thế bộ chuyển mạch cơ khí (trong động cơ điện một chiều thông thường dùng chổi than) bằng bộ chuyển mạch điện tử dùng các bóng transistor công suất được điều khiển theo vị trí tương ứng của rotor.



**Hình 1.12:** Chuyển mạch hai cực tính của động cơ BLDC

Về bản chất chuyển mạch hai cực tính là bộ nghịch lưu độc lập cói 6 van chuyển mạch được bố trí trên hình 1.12. Trong đó 6 chuyển mạch là các van công suất, đối với các loại động cơ công suất bé thì các van chuyển mạch có thể dùng van MOSFET còn các loại động cơ công suất lớn thì van chuyển mạch thường dùng van IGBT. Để thực hiện dẫn dòng trong những khoảng mà van không dẫn thì các diode được mắc song song với các van. Để điều khiển các van bán dẫn của chuyển mạch điện tử, bộ điều khiển cần nhận tín hiệu từ cảm biến vị trí rôt để đảm bảo sự thay đổi chiều dòng điện trong dây quấn phần ứng khi rotor quay giống như vành gót chổi than của động cơ một chiều thông thường.

## **1.5. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM VỀ ĐIỆN CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.**

### **1.5.1. Momen điện từ**

Momen điện từ của động cơ BLDC được xác định giống như của động cơ DC có chổi than:

$$T_d = C_{Tdc} \cdot f \cdot I_a = K_{Tdc} \cdot I_a \quad (1-1)$$

Trong đó :

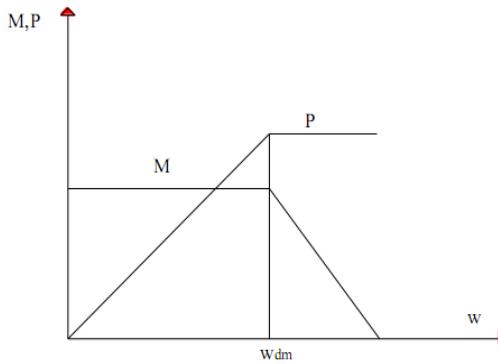
$C_{Tdc}$  là hằng số momen.

Hằng số momen được xác định theo công thức:

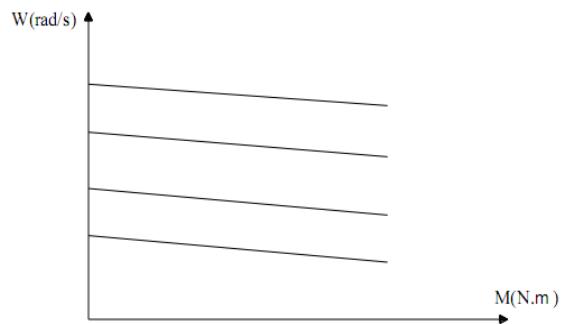
$$C_{Tdc} = \frac{C(E_{dc})}{2\pi} \quad (1-2)$$

### **1.5.2. Đặc tính cơ và đặc tính làm việc của động cơ BLDC**

Đặc tính cơ của động cơ BLDC giống đặc tính cơ của động cơ điện một chiều thông thường. Tức là mối quan hệ giữa momen và tốc độ là các đường tuyến tính nên rất thuận tiện trong quá trình điều khiển động cơ để truyền động cho các cơ cấu khác. Động cơ BLDC không dùng chổi than nên tốc độ có thể tăng lên do không có sự hạn chế đánh lửa. Vì vậy vùng điều chỉnh của động cơ BLDC có thể được mở rộng hơn.



a) Đặc tính làm việc của ĐCMCKCT



b) Đặc tính cơ của ĐCMCKCT

**Hình 1.13:** Đường đặc tính cơ và đặc tính làm việc của động cơ BLDC

### 1.5.3. Sức phản điện động

Khi động cơ một chiều không chổi than quay, mỗi một cuộn dây tạo ra một điện áp gọi là sức phản điện động chống lại điện áp nguồn cấp cho cuộn dây đó theo luật Lenz. Chiều của sức phản điện động này ngược chiều với điện áp cấp. Sức phản điện động phụ thuộc chủ yếu vào 3 yếu tố: Vận tốc góc của rotor, từ trường sinh ra bởi nam châm vĩnh cửu của rotor và số vòng trong mỗi cuộn dây của stator.

$$\text{EMF} = E \approx nlrB \cdot \omega \quad (1-3)$$

Trong đó:  $N$  là số vòng dây trên mỗi pha

$l$  là chiều dài rotor

$r$  là bán kính trong của rotor

$B$  là mật độ từ trường rotor

$\omega$  là vận tốc góc của động cơ

Trong động cơ BLDC từ trường rotor và số vòng dây stator là các thông số không đổi. Chỉ có duy nhất một thông số ảnh hưởng đến sức phản điện động là vận tốc góc hay vận tốc của rotor và khi vận tốc tăng, sức phản điện động cũng tăng. Trong các tài liệu kỹ thuật của động cơ có đưa ra một thông số gọi là hằng số sức phản điện động có thể được sử dụng để ước lượng sức phản điện động ứng với tốc độ nhất định.

## CHƯƠNG 2.

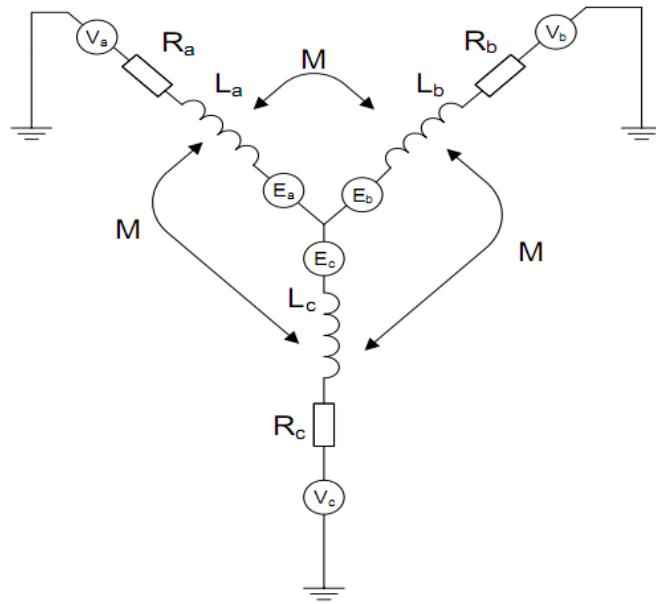
# MÔ HÌNH TOÁN HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC

### 2.1. 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 thiết kế. Đối với động cơ, mô tả toán học đóng vai trò quan trọng vì mọi khảo sát và toán bằng lý thuyết đều dựa trên mô hình toán học. Vì vậy mô hình toán học là chìa khoá để mở ra mọi vấn đề trong quá trình tính toán thiết kế cho động cơ.

#### 2.1.1. Mô hình toán học

Để thực hiện xây dựng mô hình toán học thì phải ước lượng động cơ về các phần tử điện cơ bản. Hình 2.1 trình bày mô hình mạch điện trong động cơ bao gồm 3 cuộn dây stator 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 hỗn cảm giữa các cuộn dây với nhau, sự hỗn cảm giữa các cuộn dây được thể hiện qua đại lượng  $M$ . 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 hai 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.



**Hình 2.1:** Mô hình mạch điện của động cơ BLDC

Từ mô hình mạch điện của động cơ thì phương trình điện áp của một pha:

$$\begin{aligned} V_a &= R_a + L_a \frac{di}{dt} + e_a \\ V_b &= R_b + L_b \frac{di}{dt} + e_b \\ V_c &= R_c + L_c \frac{di}{dt} + e_c \end{aligned} \quad (2-1)$$

Đặt s là toán tử laplace khi đó  $di/dt = i.s$

Phương trình điện áp của ba pha:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + S \cdot \begin{bmatrix} L_{a} & L_{ba} & L_{ca} \\ L_{ab} & L_b & L_{cb} \\ L_{ac} & L_{bc} & L_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

Trong đó  $L_a, L_b, L_c$  là điện cảm của các cuộn dây động cơ.  $L_{ab}, L_{bc}, L_{ca}$  là hổ cảm giữa các cuộn dây tương ứng.  $R_a, R_b, R_c$  là điện trở của cuộn dây stator động cơ. Do các pha là đối xứng nên các giá trị điện trở, điện cảm, hổ của ba cuộn dây là bằng nhau. Khi đó:

$$R_a = R_b = R_c = R$$

$$L_a = L_b = L_c = L$$

$$L_{ab} = L_{ca} = L_{cb} = M$$

Do đó:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + S \cdot \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

Trên hình 2.1 các cuộn dây của stator đấu sao nên:

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (2-4)$$

$$\text{Suy ra: } M.i_a + M.i_b = -M.i_c \quad (2-5)$$

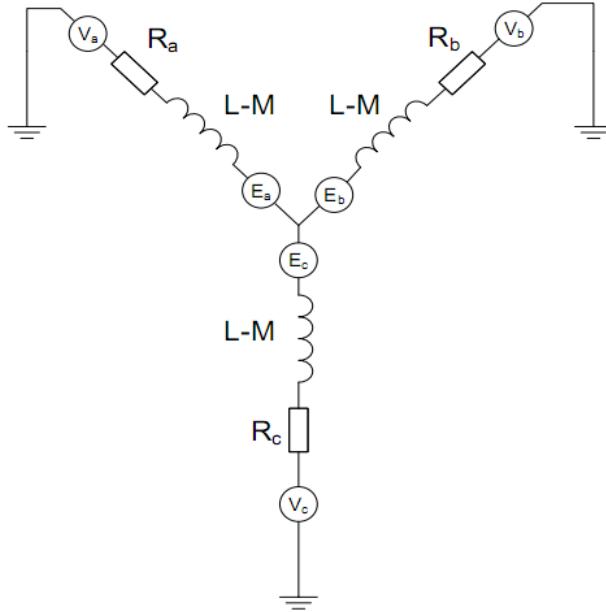
Kết hợp hai biểu thức (2.3) và (2.5), suy ra:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + S \cdot \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

Chuyển véc của biểu thức (2-6) để đưa dòng điện về một véc ta được:

$$S \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L-M} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L-M} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L-M} \end{bmatrix} \cdot \left[ \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \right] \quad (2-7)$$

Từ biểu thức (2-7) xây dựng được mô hình thu gọn của động cơ BLDC.



**Hình 2.2:** Mô hình thu gọn của động cơ BLDC

Đặt  $L-M = L_s$  là điện cảm cản tương đương của mỗi pha

Thay vào biểu thức (2-7) :

$$S. \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_s} \end{bmatrix} \cdot \left[ \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \right] \quad (2-8)$$

### 2.1.2. Momen điện từ

Momen điện từ của động cơ được tính thông qua các công suất cơ và công suất điện. Do trong động cơ ma sát sinh ra chủ yếu giữa trực động cơ và ô đõ nên lực ma sát này nhỏ.Thêm vào đó vật liệu chế tạo động cơ cũng là loại có điện trở suất cao nên có thể giả thiết bỏ qua các tổn hao sắt, tổn hao đồng... Vì vậy, công suất điện cấp cho động cơ cũng chính bằng công suất cơ trên đầu trực.

Với  $\omega$  là tốc độ của động cơ, công suất cơ được tính theo biểu thức:

$$P_c = M \cdot \omega \quad (2-9)$$

Công suất điện được tính theo biểu thức:

$$P_d = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (2-10)$$

Cân bằng công suất ở hai biểu thức trên:

$$M \cdot \omega = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (2-11)$$

$$\Rightarrow M = (e_a a \cdot i_a + e_b b \cdot i_b + e_c c \cdot i_c) / \kappa \quad (2-12)$$

### 2.1.3. Phương trình động học của động cơ BLDC

Momen quán tính :  $J_m$

Momen ma sát :  $M_f$

Ma sát thường tỷ lệ với tốc độ và được biểu hiện thông qua hệ số nhót D theo biểu thức:

$$M_f = D \cdot \omega_m$$

Momen tải của động cơ :  $M_c$

Momen quán tính của tải :  $J_c$

Như vậy, phương trình động học tổng quát của động cơ có dạng như sau:

$$M = (J_m + J_c) \frac{d\omega}{dt} + D \cdot \omega + M_c \quad (2-13)$$

Đặt  $J = J_m + J_c$  biến đổi phương trình (2.12) sẽ được:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - D \cdot \omega - M_c}{J} \quad (2-14)$$

Viết dưới dạng toán tử Laplace:

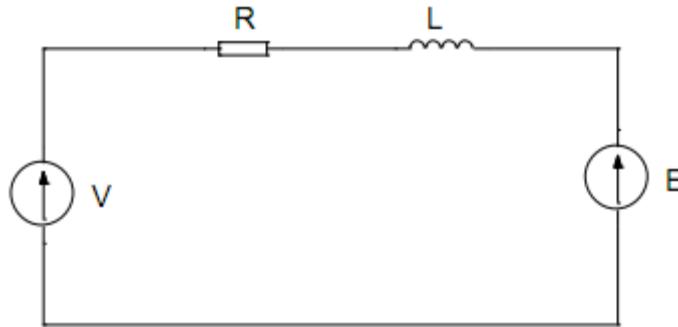
$$s \cdot \omega = \frac{M - D \cdot \omega - M_c}{j} \quad (2-15)$$

### 2.1.4. Phương trình đặc tính cơ của động cơ một chiều không chổi than

Đặc tính cơ của động cơ là mối quan hệ giữa tốc độ và momen của động cơ. Công suất cơ của động cơ là tích số giữa momen và tốc độ. Tuy vậy, ở cùng một giá trị công suất, mỗi loại động cơ khác nhau thì mối quan hệ giữa hai đại lượng này là khác nhau.

Xét sơ đồ một pha tương đương của động cơ trong hình 2.3 gồm nguồn cấp một chiều có độ lớn V, sức phản điện động là E, điện trở cuộn dây là R và dòng điện mỗi pha ở chế độ xác lập là I. Do tại một thời điểm trong động cơ luôn có 2 pha cùng dẫn nên phương trình cân bằng điện áp của động cơ ở thời điểm xác lập như sau:

$$V = 2.E + 2.R.I \quad (2-16)$$



**Hình 2.3:** Sơ đồ 1 pha tương đương của động cơ BLDC

Ta có biểu thức công suất điện:

$$P_d = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c = 2.E.I \quad (2-17)$$

Biểu thức về công suất cơ:

$$P_c = M \cdot \omega \quad (2-18)$$

Biểu thức về sức phản điện động:

$$E = K_e \cdot \omega \quad (2-19)$$

Nếu bỏ qua các tổn hao về momen như tổn hao do ma sát, tổn hao sắt từ, khe hở ... thì có thể coi công suất cơ xấp xỉ bằng công suất điện. Trong biểu thức về sức phản điện động trên, E là giá trị đo theo đinh - đinh. Vì vậy, biên độ của sức điện động phải là  $E/2$ . Cân bằng phương trình (2-17) và (2-18) kết hợp với biểu thức sức phản điện động, ta được:

$$M \cdot \omega = 2.E.I = 2 \cdot \frac{K_e \cdot \omega}{2} \cdot I = K_e \cdot I \quad \Rightarrow I = \frac{M}{K_e} \quad (2-20)$$

Nếu thay biểu thức sức điện động vào (2-15), ta sẽ có biểu thức của tốc độ như sau:

$$\omega = \frac{V - 2 \cdot R \cdot I}{K_e} \quad (2-21)$$

Từ hai biểu thức (2-20) và (2-21), ta sẽ có phương trình đặc tính cơ của động cơ BLDC:

$$\omega = \frac{V}{K_e} - \frac{2 \cdot R}{K_e^2} \cdot M \quad (2-22)$$

Giao điểm của đặc tính cơ với trục tốc độ chính là biểu thị của tốc độ không tải lý tưởng. Lúc đó, dòng điện bằng 0.

$$\omega_0 = \frac{V}{K_e} \quad (2-23)$$

Giao điểm của đường đặc tính cơ với trục momen là giá trị momen lớn nhất hay momen ngắn mạch (tương ứng với dòng điện ngắn mạch).

$$M_{mm} = \frac{V \cdot K_e}{2 \cdot R} \quad (2-24)$$

Có thể thấy, dạng của phương trình đặc tính cơ của động cơ một chiều thông thường với động cơ BLDC là giống nhau.

### 2.1.5. Sơ đồ cấu trúc của động cơ BLDC

Sơ đồ cấu trúc của động cơ BLDC mang tính tổng quát cho một động cơ 3 pha. Do trong động cơ BLDC hệ số nhót là rất nhỏ nên có thể bỏ qua thành phần D trong các phương trình tính toán. Xuất phát từ biểu thức (2-7), các phương trình điện được viết lại như sau:

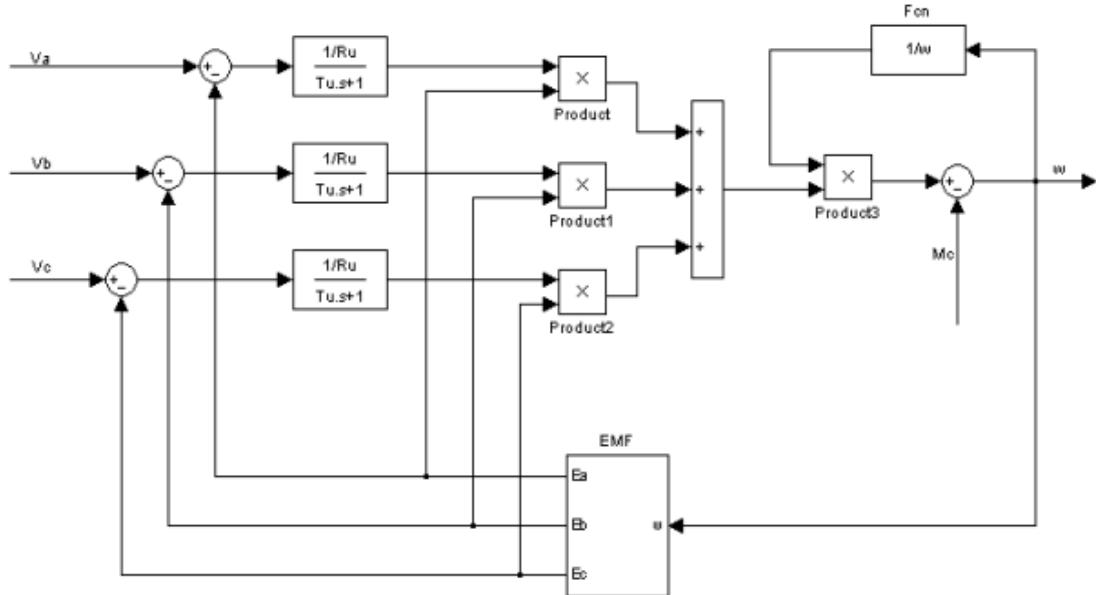
$$i_a = (V_a - e_a) \frac{1/R}{1 + T_u}$$

$$i_b = (V_b - e_b) \frac{1/R}{1 + T_u}$$

$$i_c = (V_c - e_c) \frac{1/R}{1 + T_u}$$

Trong đó  $T_u = L_u / R_u$  được gọi là hằng số thời gian điện tử của động cơ BLDC.

Từ 3 phương trình trên, kết hợp với các phương trình momen điện từ (2-11) và phương trình động học (2-14), bỏ qua ma sát trong động cơ, sơ đồ khối của động cơ BLDC được trình bày như trong hình 2.4.



**Hình 2.4:** Sơ đồ khối động cơ BLDC

## 2.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC.

Để điều khiển động cơ BLDC có hai phương pháp chính: phương pháp dùng cảm biến vị trí Hall (hoặc Encoder) và phương pháp điều khiển không cảm biến (sensorless control). Trong đó ta có hai phương pháp điều khiển điện áp ra từ bộ điều khiển đó là điện áp dạng sóng hình thang và dạng sóng hình sin. Cả hai phương pháp hình thang và hình sin đều có thể sử dụng cho điều khiển có cảm biến Hall và không cảm biến, trong khi phương pháp không cảm biến chỉ dùng phương pháp điện áp dạng sóng hình thang.

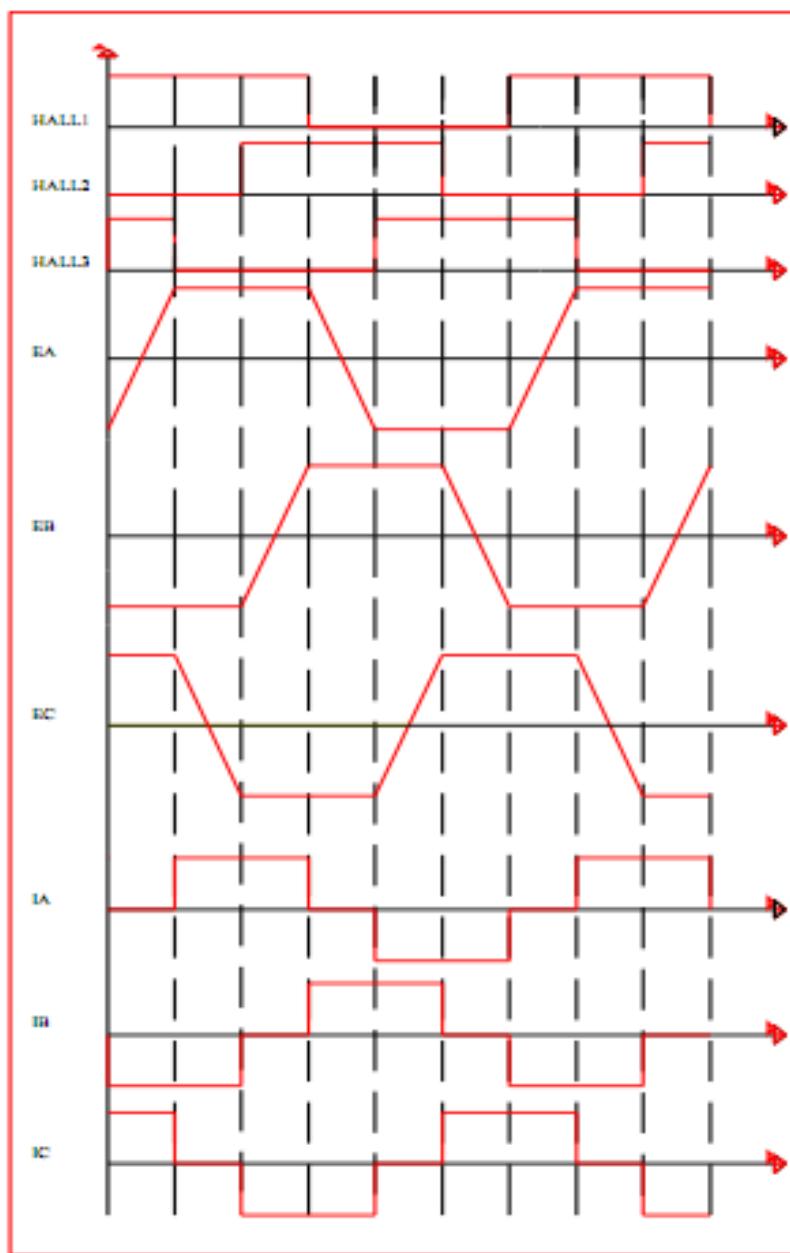
### 2.2.1. Phương pháp điều khiển bằng tín hiệu cảm biến Hall-phương pháp 6 bước

Hình 2.5 là một ví dụ về các tín hiệu của cảm biến Hall tương ứng với sức phản điện động của động cơ và dòng điện pha. Hình 2.6 chỉ ra thứ tự chuyển mạch tương ứng với các cảm biến Hall khi động cơ quay thuận chiều kim đồng hồ. Hình 2.7 là một ví dụ về các tín hiệu của cảm biến Hall tương ứng với sức

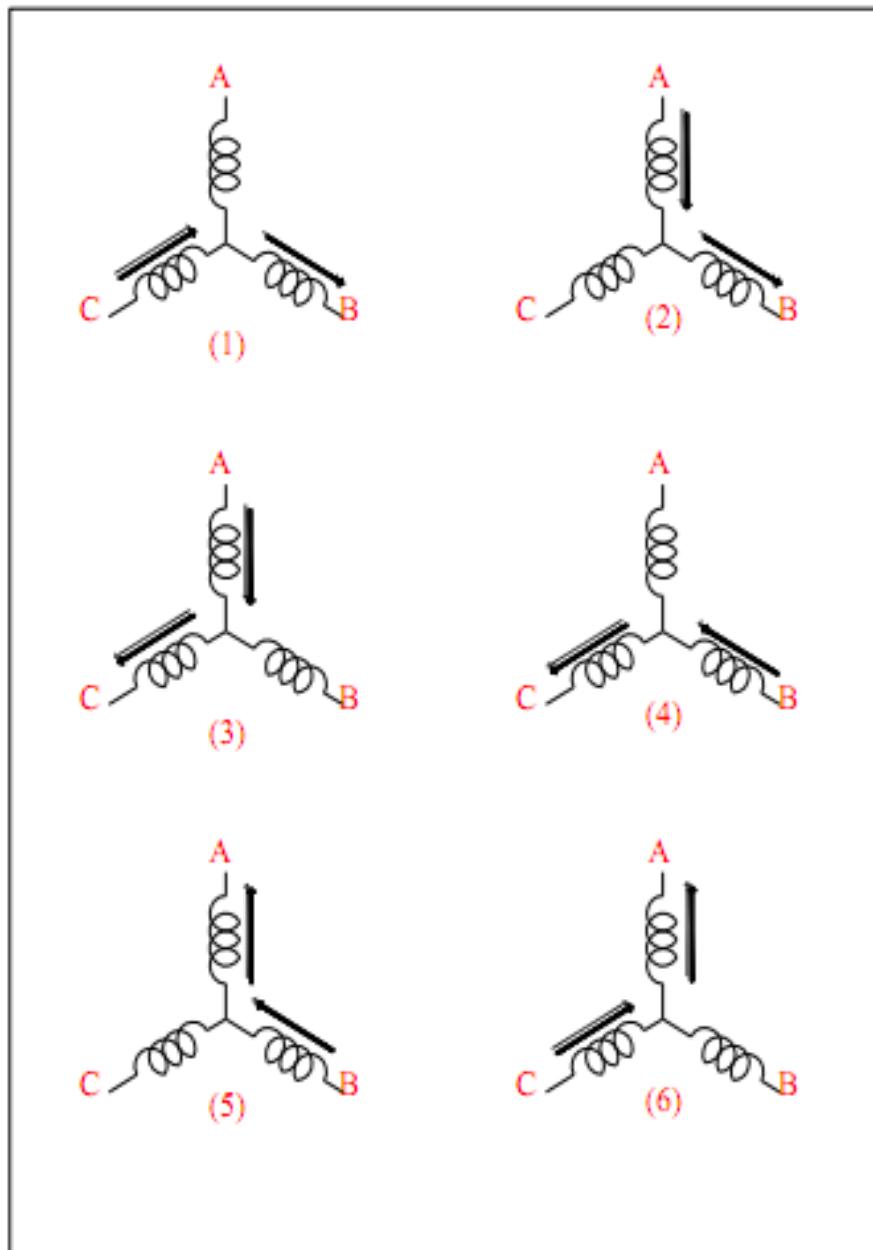
phản điện động của động cơ và dòng điện pha. Hình 2.8 chỉ ra thứ tự chuyển mạch tương ứng với các cảm biến Hall khi động cơ quay ngược chiều kim đồng hồ.

Cứ mỗi khi quay được  $60^0$  điện, một cảm biến Hall lại thay đổi trạng thái. Như vậy, có thể thấy, nó cần 6 bước để hoàn thành một chu kỳ điện. Đồng thời, cứ mỗi  $60^0$  điện, chuyển mạch dòng điện pha cần được cập nhật. Tuy nhiên, cũng chú ý là Một chu kỳ điện có thể không tương ứng với một vòng quay của rotor về cơ khí. Số lượng chu kỳ điện cần lặp lại để hoàn thành một vòng quay của động cơ được xác định bởi số cặp cực của rotor. Một chu kỳ điện được xác định bởi một cặp cực rotor. Do đó số lượng chu kỳ điện trên một chu kỳ cơ bằng số cặp cực rotor.

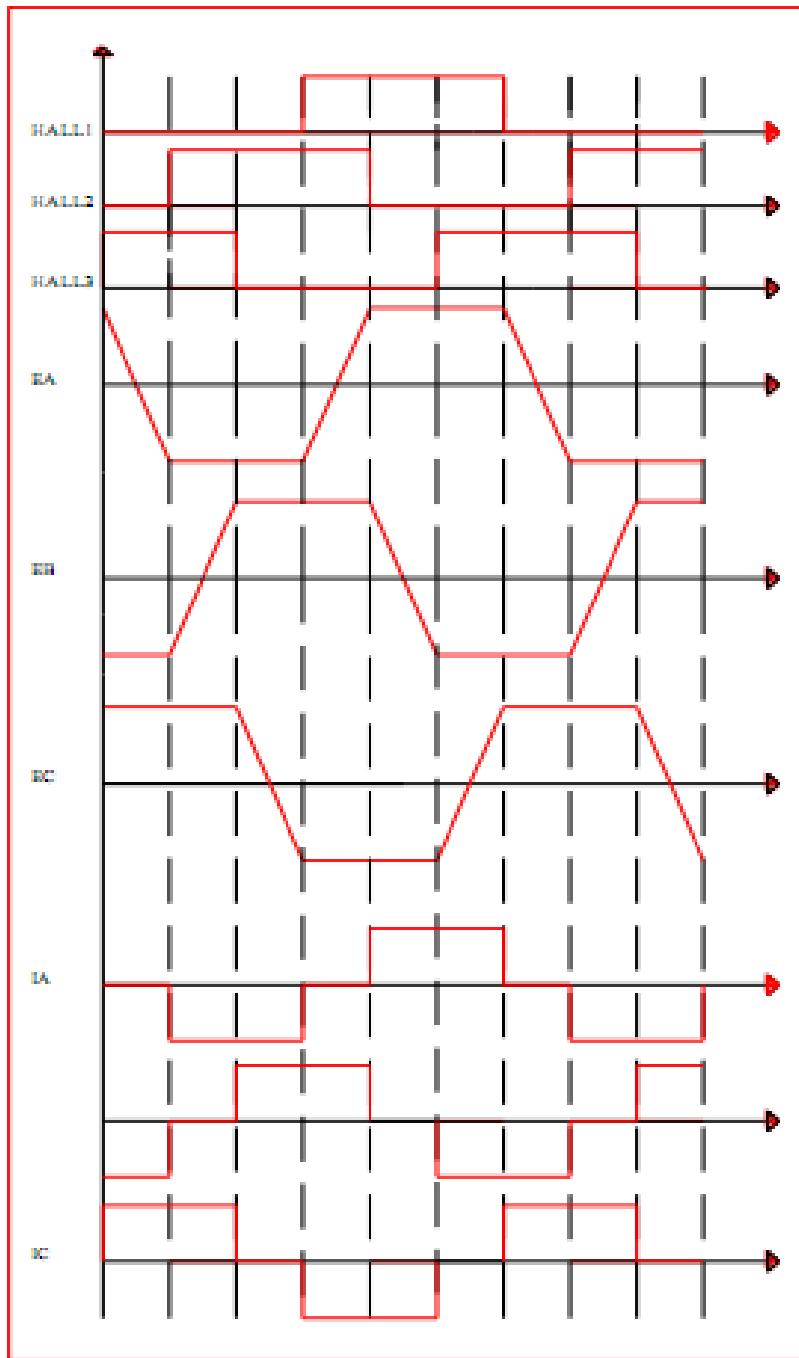
Không giống như các loại động cơ thông thường như động cơ một chiều và động cơ đồng bộ thì động cơ BLDC có đường súc phản điện động là hình thang còn dòng điện chảy trong các pha là dạng hình chữ nhật. Đặc tính sức phản điện động của ba cuộn dây lệch nhau  $2\pi/3$  do các cuộn dây stator được đặt lệch nhau  $2\pi/3$  và góc chuyển mạch của sức phản điện động là  $\pi/3$  vì thế trong thời gian này thì không cấp dòng cho cuộn dây stator tương ứng. Căn cứ vào dạng dòng điện của 3 pha của động cơ theo vị trí của cảm biến Hall để xác định được sơ đồ mở van cho bộ nghịch lưu. Do một chu kỳ có 6 lần cảm biến Hall thay đổi vị trí nên sẽ có 6 trạng thái mở van.



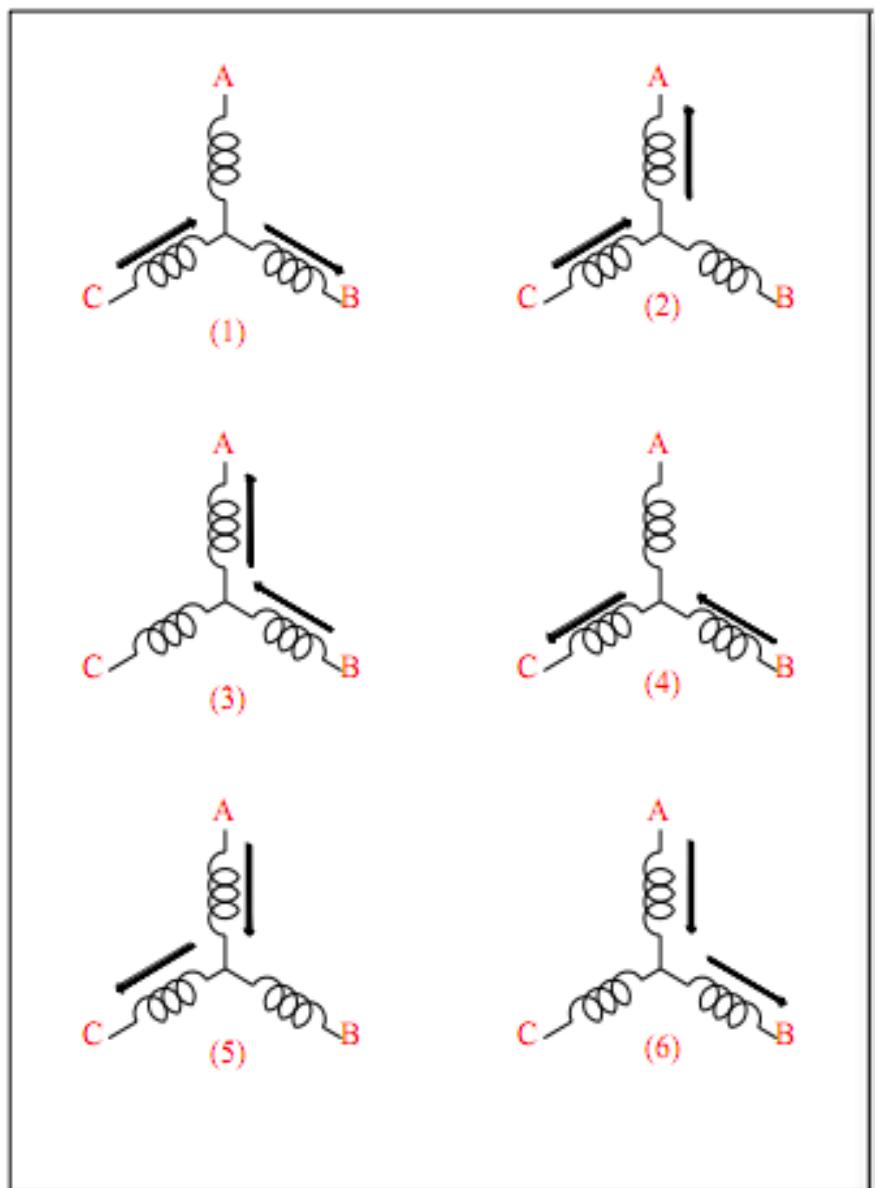
**Hình 2.5:** Tín hiệu cảm biến Hall, sức phản điện động và dòng điện pha trong chế độ quay thuận chiều kim đồng hồ



**Hình 2.6:** Thú tự cấp điện cho các cuộn dây tương ứng với các cảm biến Hall trong chế độ quay thuận chiều kim đồng hồ

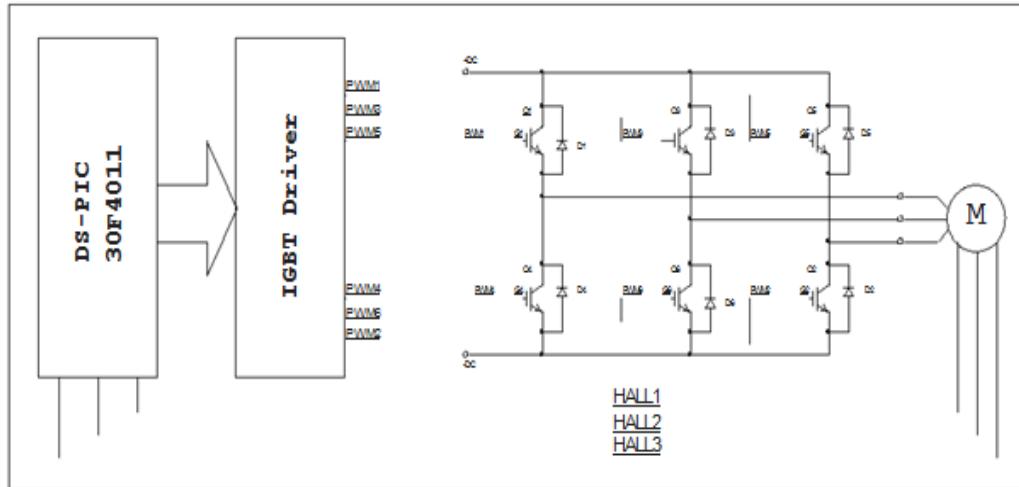


**Hình 2.7:** Tín hiệu cảm biến Hall, sức phản điện động và dòng điện pha trong chế độ quay ngược chiều kim đồng hồ



**Hình 2.8:** Thứ tự cấp điện cho các cuộn dây tương ứng với các cảm biến Hall trong chế độ quay ngược chiều kim đồng hồ

Hình 2.9 là sơ đồ khối của hệ điều khiển động cơ một chiều không chổi than. Hệ thống điều khiển có sử dụng vi điều khiển làm bộ điều khiển chính, phát xung PWM cho bộ đệm PWM - IGBT driver. Để phát xung PWM cho bộ đệm thì vi điều khiển phải thực hiện công việc lấy tín hiệu từ cảm biến Hall về và căn cứ vào bảng cảm biến Hall để phát xung mở van đúng theo thứ tự cấp điện.



**Hình 2.9:** Hệ điều khiển động cơ một chiều không chổi than

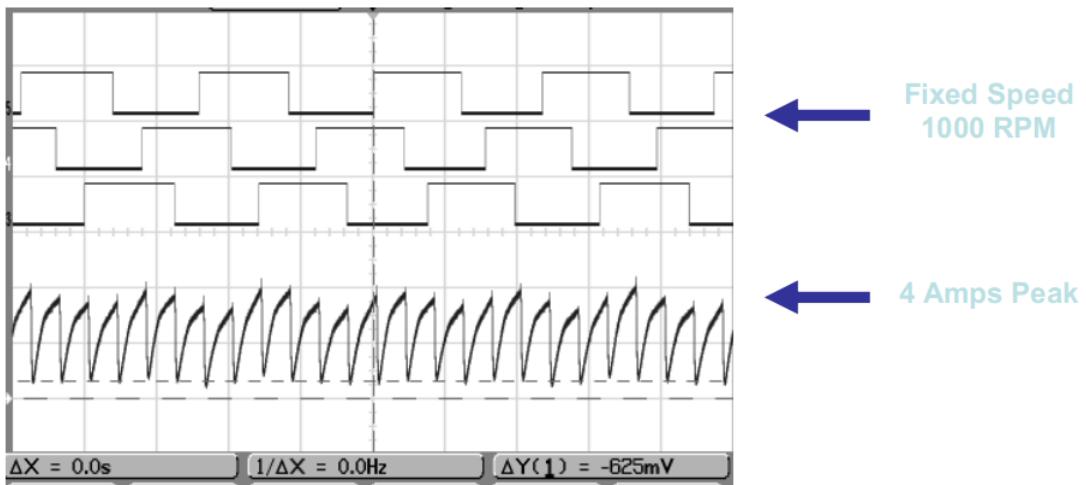
Bảng 1.2 và 1.3 là thứ tự chuyển mạch của các van dựa trên các đầu vào từ các cảm biến Hall A, B, C ứng với chiều quay của động cơ. Trong đó các cảm biến Hall đặt lệch nhau  $60^{\circ}$ .

**Bảng 2.1:** Thứ tự chuyển mạch khi động cơ quay theo chiều kim đồng hồ

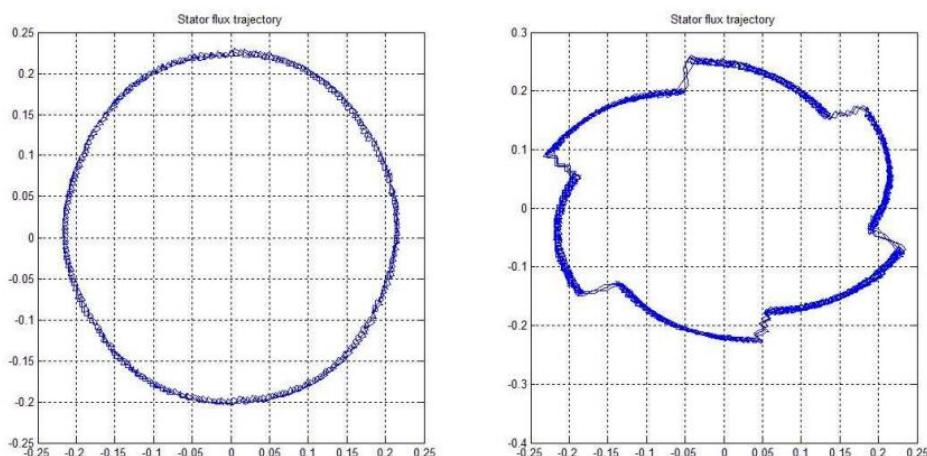
Thứ tự	Đầu vào từ cảm biến Hall			Các tín hiệu PWM		Dòng điện pha		
	A	B	C			A	B	C
1	1	0	1	PWM5(Q5)	PWM6(Q6)	-	-DC	+DC
2	1	0	0	PWM1(Q1)	PWM6(Q6)	+DC	-DC	-
3	1	1	0	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	+DC	-	-DC
4	0	1	0	PWM3(Q3)	PWM2(Q2)	-	+DC	-DC
5	0	1	1	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	-DC	+DC	-
6	0	0	1	PWM5(Q5)	PWM4(Q4)	-DC	-	+DC

**Bảng 2.2:** Thứ tự chuyển mạch khi động cơ quay ngược chiều kim đồng hồ

Thứ tự	Đầu vào từ cảm biến Hall			Các tín hiệu PWM		Dòng điện pha		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM5(Q5)	PWM6(Q6)	-	-DC	+DC
2	0	1	1	PWM5(Q5)	PWM4(Q4)	-DC	-	+DC
3	0	1	0	PWM3(Q3)	PWM4(Q4)	-DC	+DC	-
4	1	1	0	PWM3(Q3)	PWM2(Q2)	-	+DC	-DC
5	1	0	0	PWM1(Q1)	PWM2(Q2)	+DC	-	-DC
6	1	0	1	PWM1(Q1)	PWM6(Q6)	+DC	-DC	-



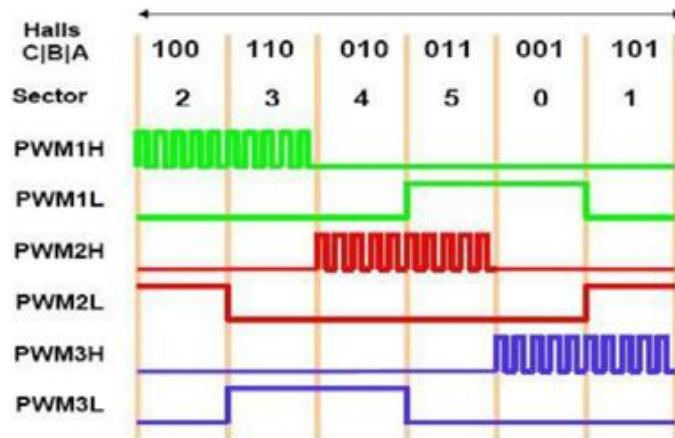
**Hình 2.10:** Giản đồ Hall sensor và dòng điện ngõ ra tổng



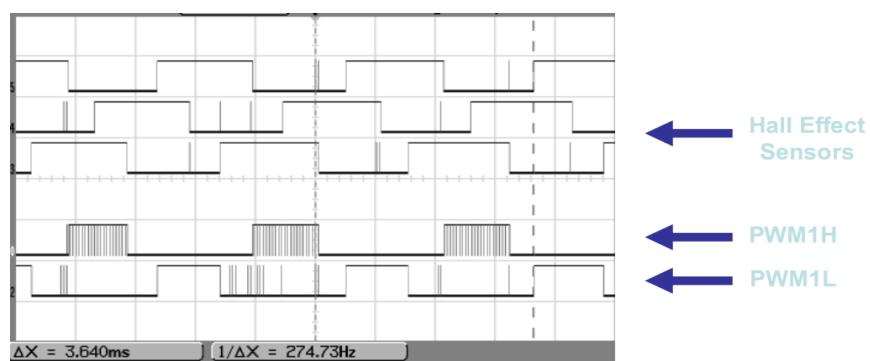
**Hình 2.11:** Quỹ đạo từ thông stator khi không tải và có tải

### 2.2.2 Điều khiển bằng phương pháp PMW.

Trên cơ sở điều khiển tốc độ động cơ BLDC bằng phương pháp điều chỉnh điện áp vào ta có thể áp dụng kỹ thuật PMW để điều khiển tốc độ động cơ. Đây cũng là phương pháp được sử dụng rộng rãi trong điều khiển điện áp hiện nay. Với phương pháp này điện áp cung cấp cho bộ khóa công suất không đổi, tuy nhiên điện áp ra khỏi bộ khóa đến động cơ thay đổi theo thuật toán điều khiển. Phương pháp PMW có thể dùng cho khóa trên, khóa dưới hay đồng thời cả hai khóa trên và dưới cùng lúc.



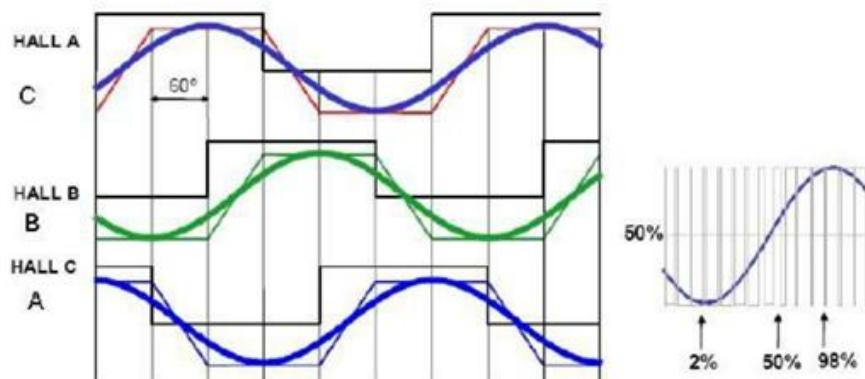
**Hình 2.12:** Giản đồ xung điều khiển PMW kênh trên BLDC Motor có điều chế PMW



**Hình 2.13:** BLDC motor có điều chế PWM

### 2.2.3. Điều khiển điện áp hình sin.

Kĩ thuật này còn được gọi là kiểu AC không chổi than (brushless AC). Kĩ thuật này làm giảm tiền ồn có thể nge thấy được, giảm gợn sóng momen do dạng sóng điện áp và dòng điện ra ít bị gợn sóng.



**Hình 2.14:** Giản đồ điều chế điện áp hình sin.

## 2.2.4. Điều khiển động cơ BLDC không sử dụng cảm biến (sensorless control).

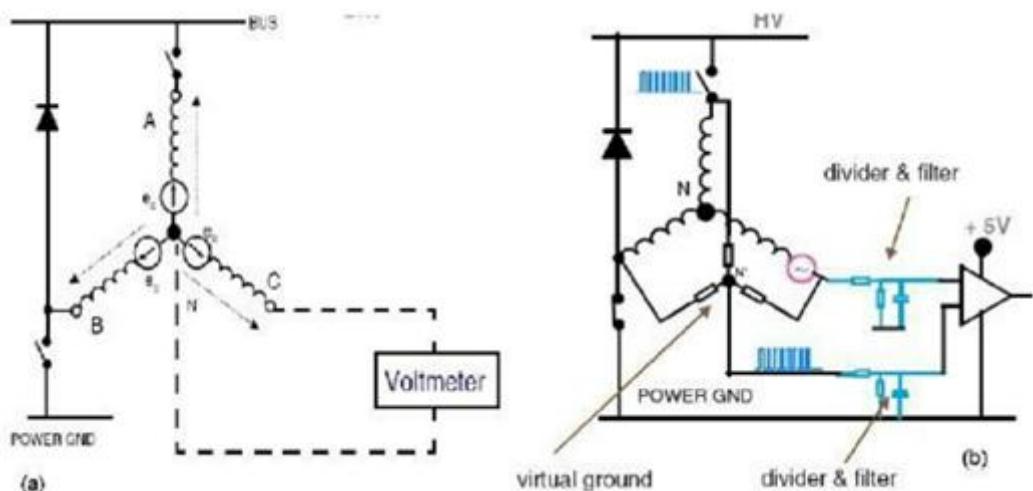
Đây là phương pháp sử dụng các ước lượng từ thông roto để điều khiển các khóa đóng cắt thay cho cảm biến Hall truyền thống. Do đó phương pháp này được gọi là phương pháp điều khiển không cảm biến (sensorless control). Cơ sở chính của điều khiển không cảm biến đối với động cơ BLDC là dựa vào thời điểm qua zezo của sức điện động cảm ứng trên các pha của động cơ. Tuy nhiên phương pháp này chỉ áp dụng được phương pháp điện áp hình thang.

Về cơ bản có hai kĩ thuật điều khiển không cảm biến:

- Một là xác định vị trí roto dựa vào sức điện động của động cơ, phương pháp này đơn giản, dễ dàng thực hiện và giá thành rẻ.
- Hai là ước lượng vị trí dùng các tông số của động cơ, các giá trị điện áp và dòng điện trên động cơ. Phương pháp này tính toán phức tạp, khó điều khiển, giá thành cao.

Phương pháp ước lượng vị trí roto dựa vào thời điểm qua zezo của sức điện động đòi chúng ta tạo ra một điểm trung tính để có thể đo và bắt điểm qua zezo của sức điện động. Điểm trung tính có thể là trung tính hoặc trung tính ảo.

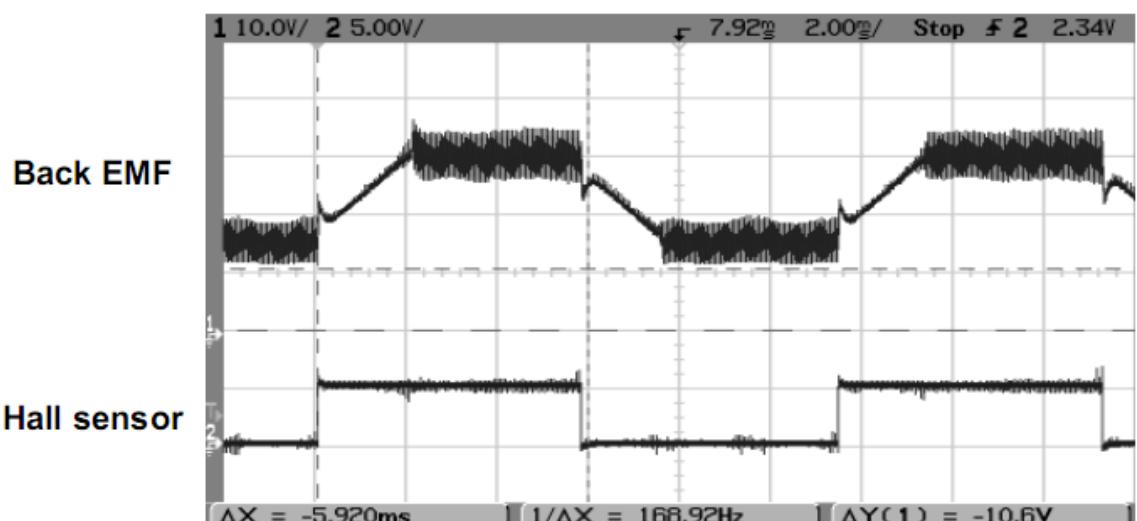
Điểm trung tính ảo trên lí thuyết có cùng điện thế với trung tính thật của các cuộn dây đầu hình Y. Tuy nhiên điểm trung tính không phải là điểm cố định. Điện áp của điểm trung tính có thể thay đổi từ 0 đến gần điện áp DC của nguồn. Trong khi điều chế PMW, tín hiệu PMW chồng chất lên điện áp trung tính, gây ra nhiễu rất lớn trên tín hiệu cảm biến, điều này gây trì hoãn không cần thiết cho tín hiệu cảm biến.



**Hình 2.15:** Đo điện áp cảm ứng bằng điểm trung tính

a. Điểm trung tính thật

b. Điểm trung tính ảo



**Hình 2.16:** EMF hồi tiếp v/s Hall sensors

## 2.2.5. Điều khiển vòng kín động cơ BLDC.

❖ **Hiệu chỉnh PID:**

Phương trình vi phân mô tả khâu hiệu chỉnh PID:

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Trong đó:

$K_P$ : Hệ số khâu tỉ lệ

$K_I$  : Hệ số khâu tích phân

$K_D$  : Hệ số khâu vi phân

### Thủ tục hiệu chỉnh PID

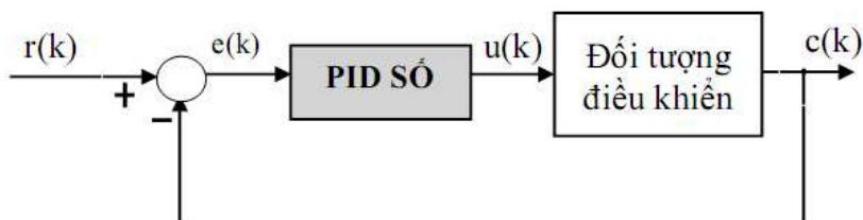
Khâu hiệu chỉnh khuếch đại tỷ lệ ( $K_P$ ) được đưa vào hệ thống nhằm làm giảm sai số xác lập, với đầu vào thay đổi theo hàm nắc sẽ gây ra vọt lô và trong một số trường hợp là không chấp nhận được đối với mạch động lực.

Khâu tích phân tỉ lệ (PI) có mặt trong hệ thống dẫn đến sai lệch tĩnh triệt tiêu(hệ vô sai). Muốn tăng độ chính xác của hệ thống ta phải tăng hệ số khuyếch đại, song với mọi hệ thống thực đều bị hạn chế và sự có mặt của khâu PI là bắt buộc.

Sự có mặt của khâu vi phân tỉ lệ (PD) làm giảm độ vọt lô, đáp ứng ra bớt nhấp nhô và hệ thống sẽ đáp ứng nhanh hơn.

Khâu hiệu chỉnh vi tích phân tỉ lệ (PID) kết hợp những ưu điểm của hai khâu PI và PD, có khả năng tăng độ dự trữ pha ở tần số cắt, khử chậm pha.Sự có mặt của khâu PID có thể dẫn đến sự dao động của hệ do đáp ứng quá độ bị vọt lô bởi hàm dirac  $\delta(t)$ . Các bộ hiệu chỉnh PID được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực công nghiệp dưới dạng thiết bị điều khiển hay thuật toán phần mềm.

#### ❖ PID rời rạc:



**Hình 2.17:** Sơ đồ khái niệm PID số

$$u(k) = u_P(k) + u_I(k)$$

$$u_P(k) = K_P \cdot e(k)$$

$$u_I(k) = u_I(k-1) + K_I \cdot T \cdot e(k) = u_I(k-1) + K'_I \cdot e(k)$$

PID số (phương pháp 1)

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Rời rạc hóa:

$$u(k) = u_P(k) + u_I(k) + u_D(k)$$

$$u_P(k) = K_P \cdot e(k)$$

$$u_I(k) = u_I(k-1) + K_I \cdot T \cdot e(k) = u_I(k-1) + K'_I \cdot e(k)$$

$$u_D(k) = K_D [e(k) - e(k-1)] / T = K'_D [e(k) - e(k-1)]$$

Trong đó T là tần số lấy mẫu

Rời rạc hóa- phương pháp gần đúng

$$u(k) = u_P(k) + u_I(k) + u_D(k)$$

$$u_P(k) = K_P \cdot e(k)$$

$$u_I(k) = K_I [e(k) + e(k-1)]$$

$$u_D(k) = K_D [e(k) - e(k-1)]$$

PID số - phương pháp 2

Đạo hàm hai vế

$$\frac{du(t)}{dt} = K_P \frac{de(t)}{dt} + K_I \cdot e(t) + \frac{d^2 e(t)}{dt^2}$$

$$\frac{u(k) - u(k-1)}{T} = u_P(k) + u_I(k) + u_D(k)$$

$$u_P(k) = K_P \frac{e(k) - e(k-1)}{T} = K_P (e(k) - e(k-1))$$

$$u_I(k) = K_I \cdot e(k)$$

$$u_D(k) = K_D \left( \frac{e(k) - e(k-1)}{T} - \frac{e(k-1) - e(k-2)}{T} \right)$$

$$= K_D (e(k) - 2 \cdot e(k-1) + e(k-2))$$

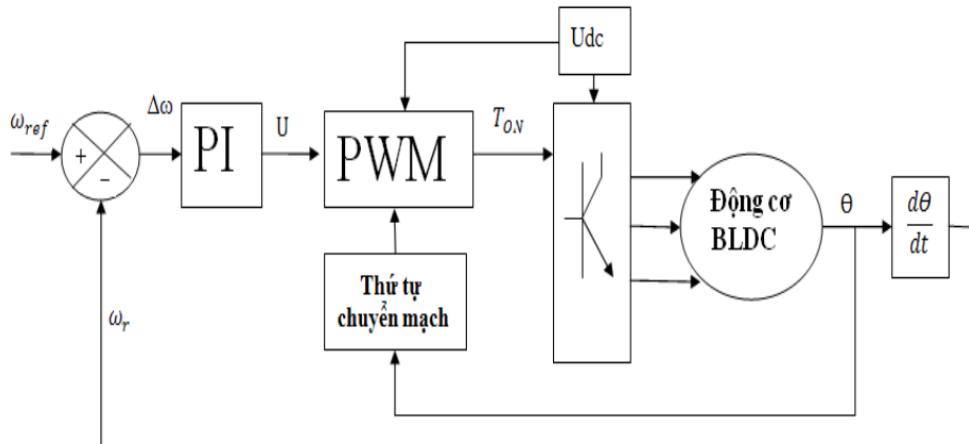
Hay:

$$u(k) = u(k-1) + (u'_P(k) + u'_I(k) + u'_D(k))$$

$$u_P(k) = K_P(e(k) - e(k-1))$$

$$u_I(k) = K_I \cdot e(k)$$

$$u_D(k) = K_D(u'_P(k) + u'_P(k-1))$$



**Hình 2.18:** Sơ đồ khái niệm điều khiển vòng kín tốc độ sử dụng khâu PI

Độ lỗi  $\Delta\omega$  là sự sai khác giữa tốc độ đặt  $\omega_r$  với tốc độ thực tế  $\omega_m$ , độ lỗi có thể có thể âm (hay dương) phụ thuộc vào tốc độ thực lớn hơn (hay nhỏ hơn) tốc độ đặt. Độ lỗi này được đưa qua khâu hiệu chỉnh PI để khuếch đại độ lỗi lên. Khuếch đại của độ lỗi được sử dụng để hiệu chỉnh lại độ rộng xung PWM của xung điều khiển. Tùy thuộc vào khả năng đáp ứng của từng loại động cơ, tùy thuộc vào từng loại tải mà ta hiệu chỉnh hệ số của các quá trình và thời gian lấy mẫu. Thông thường tốc độ PI được đưa lên cao nhất có thể, khi mà nó còn đủ khả năng xử lý các phép toán trong hàm hiệu chỉnh và các tác vụ cần thiết.

Để ứng dụng các phương pháp điều khiển nói trên vào mô hình thực nghiệm đòi hỏi phải có bộ điều khiển đáp ứng đủ chức năng, có thể dùng IC hay vi điều khiển,... cho bộ điều khiển.

## **CHƯƠNG 3.**

### **THỰC HIỆN ĐIỀU KHIỂN CHO ĐỘNG CƠ BLDC**

#### **3.1. 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 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 vì ở chương trước chúng ta đã giới

thiệu van cho bộ chuyển mạch nghịch lưu là IGBT. Đây là loại van có thể chịu được tần số đóng cắt khá lớn đủ để cho chúng ta có thể thực hiện điều chế độ rộng xung để thay đổi điện áp đặt vào động cơ.

Nhà sản xuất Microchip nổi tiếng đã sản xuất ra loại vi xử lý chuyên hỗ trợ cho việc điều khiển các loại động cơ như động cơ không đồng bộ, động cơ một chiều, động cơ từ trở hay động cơ không chổi than. Vì thế đối với động cơ mà đề tài nghiên cứu cũng có thể sử dụng loại vi xử lý này vì nó cung cấp sẵn cho các cổng ra điều chế độ rộng xung.

Loại vi xử lý 30F4011 thì có sẵn 6 đầu phát xung PWM và tích hợp các tính chất đặc biệt khác như ADC độ phân giải cao cùng các tính năng xử lý tốc độ cao nên việc điều khiển động cơ là có thể làm được vì vi xử lý phải nhanh thì mới đáp ứng kịp sự thay đổi của việc truyền động nhanh. Trong công nghiệp thì khi xây dựng các hệ thống thì việc xử lý thông tin phải đảm bảo tính thời gian thực.

Đối với động cơ BLDC 30kW thì các van của bộ biến đổi được sử dụng cấp dòng lớn cỡ vài trăm ampe. 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 30F4011 thì cần phải có thêm mạch đệm để kích mở van IGBT.

Vì vậy trong phần này sẽ có hai vấn đề được trình bày đó là:

- Thiết kế mạch điều khiển
- Thiết kế mạch đệm

### 3.1.1. Giới thiệu về vi điều khiển DSPIC30F4011

DSPIC30F4011 là bộ vi điều khiển xử lý tín hiệu số 16 bit có hiệu suất cao do hãng microchip sản xuất. Nó có một số đặc điểm chính sau:

+ Khởi điều khiển trung tâm CPU hiệu suất cao với tập lệnh rút gọn nâng cao tốc độ xử lý:

- Kiến trúc tập lệnh tối ưu cho ngôn ngữ C và các chế độ địa chỉ

linh hoạt nên việc làm việc đồng thời trên nhiều chân là rất tốt

- Có 83 lệnh cơ bản
- Các lệnh có độ rộng 24 bit, dữ liệu có độ lớn 16 bit
- 48Kb flash rom (16k từ lệnh) - 2Kb ram trên chip
- 1Kb eeprom dùng để chứa dữ liệu
- Có thể hoạt động với tốc độ 30 mips (triệu lệnh/s), tần số thạch anh đầu vào có thể từ 4-10MHz
- 30 nguồn ngắt, trong đó có 3 nguồn ngắt ngoài, 8 mức ưu tiên ngắt
- Mảng thanh ghi có thể làm việc 16 x 16 bit

+ Các đặc trưng về cơ chế xử lý tín hiệu số

- Thanh ghi chứa nạp lại cho hoạt động xử lý tín hiệu số
- Các chế độ địa chỉ hóa đảo bit và theo module
- 2 thanh chứa có độ rộng 40 bit để thực hiện tính toán.
- Bộ nhân số thực/số nguyên bằng phần cứng đơn chu kỳ 17bit x17bit
- Tất cả các lệnh xử lý tín hiệu số đều gói gọn trong 1 chu kỳ

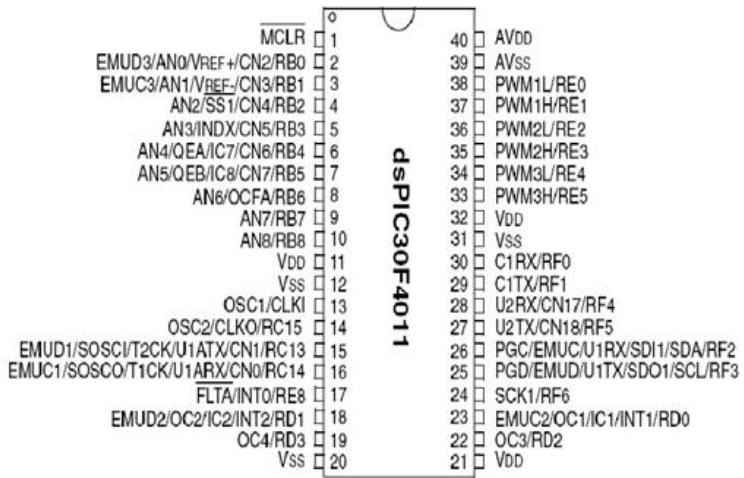
+ Các đặc điểm về ngoại vi

- Tín hiệu của các chân vào ra có cấp dòng điện lớn 25mA
- Module định thời có bộ chia trước lập trình được
- Các hàm so sánh/xuất PWM 16bit
- Hỗ trợ chế độ I2C để thực hiện kết nối các vi xử lý lại với nhau
- Module UART
- Module CAN

+ Các bộ A/D

- Bộ chuyển đổi tương tự - số 10bit với 4 đầu vào sample and hold

- Tốc độ chuyển đổi là 1 msps (triệu mẫu/s)
- 9 kênh đầu vào



**Hình 3.1:** Sơ đồ chân linh kiện vi điều khiển DSPIC30F4011

### 3.1.1.1. Ngắt của DSPIC30F4011

DSPIC30F4011 có tổng cộng 30 nguồn ngắt và 4 ngoại lệ ngắt (bảy bộ xử lý). Chúng được phân định nhờ 7 mức ưu tiên ngắt.

CPU có trách nhiệm tra trong bảng vector ngắt, tìm ra địa chỉ của vector ngắt của ngắt hiện thời rồi chuyển địa chỉ đó vào bộ đếm chương trình. Bộ điều khiển ngắt có trách nhiệm xử lý các ngắt và các bảy bộ xử lý. Các ngắt được cài đặt, sử dụng và điều khiển nhờ vào các thanh ghi chức năng đặc biệt sau:

- IFS0<15:0>, IFS1<15:0>, IFS2<15:0> với chức năng lưu giữ các cờ ngắt. Các cờ này được xóa bởi phần mềm.
- IEC0<15:0>, IEC1<15:0>, IEC2<15:0> lưu giữ bit điều khiển cho phép/không cho phép ngắt của tất cả các nguồn ngắt.
- IPC0<15:0>... IPC11<7:0> là 12 thanh ghi lưu giữ mức ưu tiên của tất cả các ngắt. Chúng được cài đặt do lập trình của người sử dụng.
- IPL <3:0> mức ưu tiên CPU hiện thời được lưu ở đây. IPL<3> có mặt trong thanh ghi CORCON còn các bit IPL <2:0> có mặt trong các thanh ghi

trạng thái SR.

- INTCON1<15:0>, INTCON2<15:0> chức năng điều khiển ngắt toàn cục được lưu giữ ở đây.

Mỗi một nguồn ngắt có thể được lập trình để gán cho nó 1 trong 7 mức ưu tiên ngắt thông qua thanh ghi ICPx. Mỗi một nguồn ngắt tương ứng với một vector ngắt trong bảng các vector ngắt. Mức ưu tiên 7 và 1 tương ứng là các mức ưu tiên cao nhất và thấp nhất.

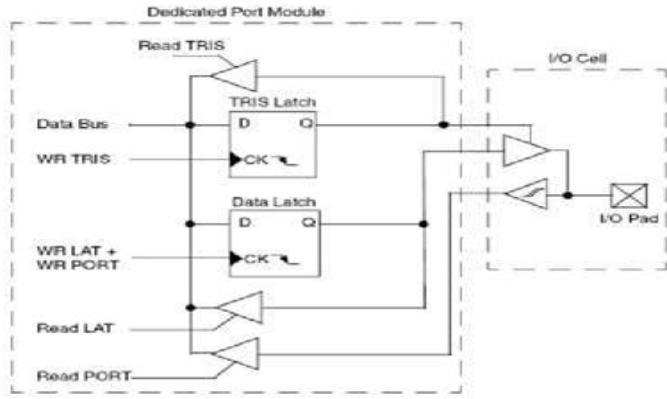
Có một đặc điểm trong DSPIC30F4011 về hoạt động ngắt. Bit NSTDIS (INTCON1<15>) được set để chặn các ngắt khác khi ngắt đó đang được phục vụ. Có nghĩa là khi một chương trình con dịch vụ ngắt đang được thực thi, nếu bit này được set lên sẽ có thể chặn các ngắt khác, kể cả khi các ngắt khác có mức ưu tiên cao hơn.

### 3.1.1.2. Cổng vào ra của DSPIC30F4011

DSPIC30F4011 có 5 cổng vào ra được đánh ký hiệu từ RB đến RF. Số lượng bit của các cổng là khác nhau, ví dụ cổng RB có 9 bit trong khi cổng RE có 6 bit. Các cổng vào ra này có thể chịu được dòng 25mA vào và xuất ra được 25mA, có nghĩa là tín hiệu xuất trực tiếp từ cổng đủ mạnh để có thể điều khiển LED trực tiếp.

Có 3 thanh ghi chính phục vụ cho cổng vào ra.

Thanh ghi TRISx (x là tên cổng) có nhiệm vụ điều khiển chiều đi của dữ liệu qua các chân cổng tức là thanh ghi này cài đặt cho một chân của cổng là đầu vào hay đầu ra. Quy ước, 1 là đầu vào và 0 là đầu ra.



**Hình 3.2:** Cấu trúc một chân của cổng vào ra

Thanh ghi PORTx có nhiệm vụ hốt dữ liệu khi ccoongr là đầu vào, một thao tác đọc thanh ghi PORTx sẽ cho biết trạng thái của port đó( khi đó là cổng vào).Thanh ghi LATx là thanh ghi chốt dữ liệu cho cổng ra. Để gửi dữ liệu ra bên ngoài, một thao tác ghi vào thanh ghi LATx được thực hiện.

Sau khi RESET hệ thống, tất cả các PORT đều được định nghĩa là cổng vào.

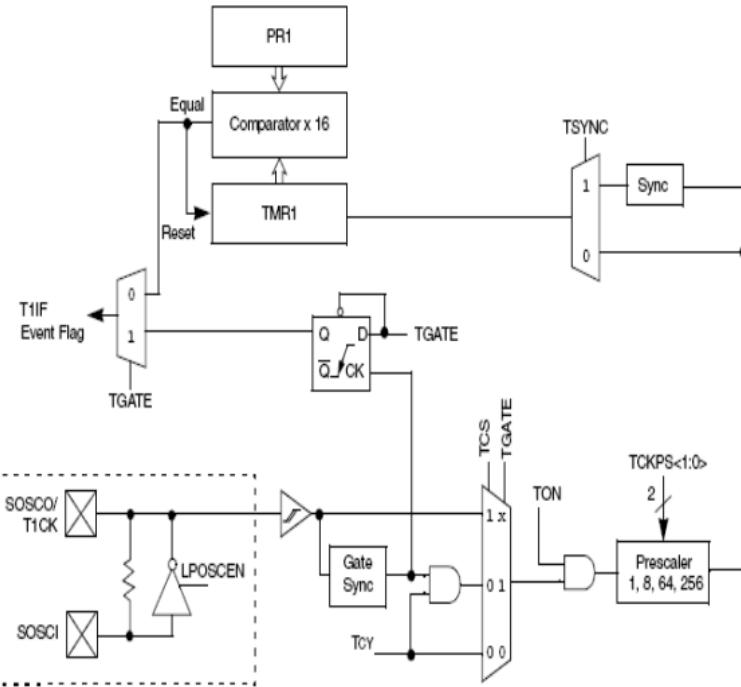
### 3.1.1.3. Các bộ định thời

DSPIC30F4011 có 5 bộ định thời , trong đó các bộ định thời được chia làm 3 loại :A,B,C. Mỗi kiểu định thời có một đặc trưng riêng.

Bộ định thời Timer1 là loại A . Module định thời 1 là bộ định thời 16 bit có thể làm nhiệm vụ cung cấp bộ đếm thời gian cho đồng hồ thời gian thực hoặc cũng có thể hoạt động như một bộ đếm / định thời tự do và theo khoảng. Bộ định thời 16 bit có các chế độ sau:

- Chế độ định thời 16 bit :khi ở chế độ này, bộ định thời sẽ tăng giá trị của nó lên 1 sau mỗi chu kỳ lệnh. Khi nội dung bộ định thời bằng với giá trị đặt trong thanh ghi PR1, giá trị của nó sẽ được reset về 0 và lại tiếp tục đếm từ đầu.
- Chế độ đếm không đồng bộ 16 bit: trong chế độ này ,giá trị của bộ định thời được tăng lên mỗi một khi phát hiện một sườn lên của xung clock bên ngoài đưa tới. Khi giá trị bộ định thời bằng với giá trị đặt trong

thanh ghi PR1, nó sẽ được reset về 0 và lại tiếp tục đếm từ đầu.



**Hình 3.3:** Cấu trúc của bộ định thời 1 (Timer1 - Định thời loại A)

Bộ định thời 16 bit có khả năng tạo ra ngắt cứ mỗi khi nội dung của nó bằng với nội dung của thanh ghi PR1. Khi đó, bit T1IF được set và một ngắt được tạo ra. Bit T1IF cần phải được xóa bởi phần mềm khi vào thủ tục ngắt.

Các bộ định thời 2/3 là các bộ định thời kiểu B, chúng là các module định thời 32 bit và có thể được cấu hình thành 2 bộ định thời 16 bit với các chế độ có thể lựa chọn được. Các bộ định thời này có thể được sử dụng bởi các module ngoại vi như module bắt đầu vào, module PWM. Các bộ định thời 32 bit có các chế độ làm việc như sau:

- 2 bộ định thời làm việc độc lập (bộ 2 và bộ 3) với các chế độ định thời
  - 16 bit (ngoại trừ chế độ đếm không đồng bộ)
  - Hoạt động ở chế độ định thời 32 bit
  - Hoạt động ở chế độ đếm đồng thời 32 bit
  - Ngoài ra, bộ định thời 2/3 còn hỗ trợ cho các hoạt động ADC, cài

đặt bộ chia trước, hoạt động định thời trong các chế độ ngủ và nguồn nghỉ...

Các bộ định thời 4/5 cũng là bộ định thời 32 bit và cũng được ghép từ 2 bộ định thời 16 bit. Tuy nhiên bộ định thời 4 là kiểu B trong khi bộ định thời 5 là kiểu C. Ở bộ định thời 5, chân cấp xung clock đưa vào là không có. Còn về các chế độ hoạt động các bộ 4/5 hoàn toàn giống với bộ 2/3 nhưng chỉ khác là hỗ trợ hoạt động của ADC và chúng có thể được sử dụng bởi các module ngoại vi như chụp đầu vào và so sánh đầu ra.

### **3.1.1.4. Module chuyển đổi tương tự - số ADC 10bit**

Các chip DSPIC có module ADC thuộc một trong hai dạng: 10-bit với tốc độ lên đến 1 MSPS (triệu mẫu/giây) hay 12-bit với tốc độ lên đến 200 ksps (nghìn mẫu/giây). Các module ADC được thiết kế nhằm phục vụ cho các mục đích khác nhau. Trong các DSPIC thuộc dòng điều khiển động cơ, module ADC là loại 10-bit với tốc độ cao, nhằm đáp ứng yêu cầu về tốc độ lấy mẫu của các bộ điều khiển truyền động điện. Các bộ ADC trong các DSPIC sử dụng thuật toán chuyển đổi successive approximation register - sar, do đó có thời gian chuyển đổi đã được xác định trước. Việc chuyển đổi tín hiệu từ dạng tương tự sang dạng số bao gồm hai giai đoạn: giai đoạn lấy mẫu tín hiệu và giai đoạn chuyển đổi, có thể bắt đầu giai đoạn lấy mẫu bằng tay hay tự động. Thời điểm chấm dứt lấy mẫu (và bắt đầu chuyển đổi) có thể do người dùng xác định (bằng cách tắt bit SAMP) hay được một ngoại vi nào đó xác định (một timer dành riêng, module MCPPWM, Timer 3, hay chân INT(0)). Như vậy thời gian lấy mẫu là khác nhau với các thiết lập khác nhau. Giai đoạn chuyển đổi dữ liệu cần có 12 xung clock cho module ADC, với một chu kỳ xung clock  $T_{AD}$  có thể được chọn là từ  $T_{cy/2}$  đến  $32T_{cy}$ .  $T_{cy}$  chính là thời gian của một chu kỳ máy.

Module ADC của DSPIC30F4011 có 4 bộ khuếch đại s/h (sample and

hold), được đánh địa chỉ là kênh 0 đến kênh 3. Có thể chỉ dùng kênh 0, hay dùng kênh 0 và 1, và cũng có thể dùng cả 4 kênh cho việc thu thập dữ liệu. Kênh 0 là kênh linh hoạt nhất trong việc chọn lựa các ngõ vào tương tự. Bộ đếm của module ADC có thể chứa được tối đa 16 kết quả.

Module ADC của DSPIC30F4011 có 6 thanh ghi 16 bit:

- A/D CONTROL REGISTER - ADCONx với x là số thứ tự từ 1 đến 3.

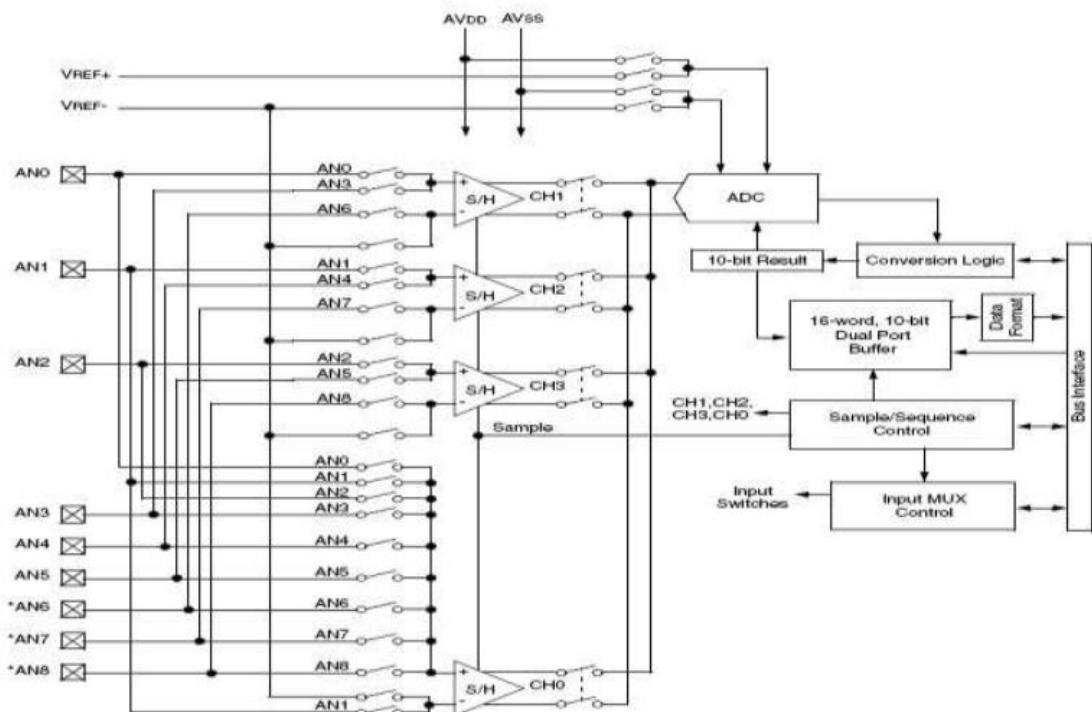
Thanh ghi này điều khiển hoạt động của

ADC.

- A/D INPUT SELECT REGISTER - ADCHS có nhiệm vụ chọn kênh cần chuyển đổi.

- A/D PORT CONFIGURATION REGISTER - ADPCFG cấu hình cho các PORT là đầu vào tương tự hay đầu vào số.

- A/D INPUT SCAN SELECTION REGISTER (ADCSSL) chọn đầu vào để quét



### **Hình 3.4 : Cấu trúc của module ADC 10bit trong DSPIC30F4011**

Sau khi chuyển đổi, kết quả sẽ được lưu vào các bộ đệm tên là ADCBUF0 đến ADCBUFF.

Hoạt động chuyển đổi của ADC module cần phải thiết lập theo các bước sau:

- Chọn các chân dùng làm ngõ vào analog bằng các bit ADPCFG<15:0>
- Chọn nguồn điện áp chuẩn bằng các bit ADCON2<15:13>
- Chọn tốc độ xung clock cho module ADC phù hợp với tốc độ dữ liệu và tốc độ của bộ xử lý bằng các bit ADCON3<5:0>
- Xác định bao nhiêu kênh S/H sẽ được dùng bằng các bit ADCON2<9:8> và ADPCFG<15:0>
- Xác định cách thức lấy mẫu bằng các bit ADCON1<3> và ADCSS1<15:0>
- Chọn thứ tự lấy mẫu/chuyển đổi thích hợp bằng các bit ADCON1<7:0> và ADCON3<12:8>
- Chọn cách biểu diễn kết quả chuyển đổi trong bộ đệm bằng các bit ADCON1<9:8>
- Chọn tốc độ tạo ngắt bằng các bit ADCON2<5:9>
- Bật module ADC bằng bit ADCON1<15>
- Nếu có sử dụng ngắt, cần thiết lập thêm cấu hình cho ngắt A/D
- Xóa bit ADIF
- Chọn độ ưu tiên cho ngắt A/D

Các bit ADCS<5:0> (ADCON3<5:0>) được dùng để thiết lập tốc độ xung clock cho module ADC. Giá trị của ADCS<5:0> được xác định từ công thức:

$$ADCS = \frac{2 \cdot T_{AD}}{T_{CY}} - 1$$

Giá trị được chọn của  $T_{AD}$  không được phép nhỏ hơn 83.33 ns.

#### **3.1.1.5. Module PWM điều khiển động cơ**

Đối với DSPIC30F4011 thì bộ PWM đã được tích hợp sẵn với 6 xung đồng bộ để ra chuyên để dùng điều khiển các thiết bị là:

- Điều khiển động cơ cảm ứng xoay chiều 3 pha
- Điều khiển động cơ từ trớ
- Điều khiển động cơ BLDC
- Nguồn lưu điện UPS

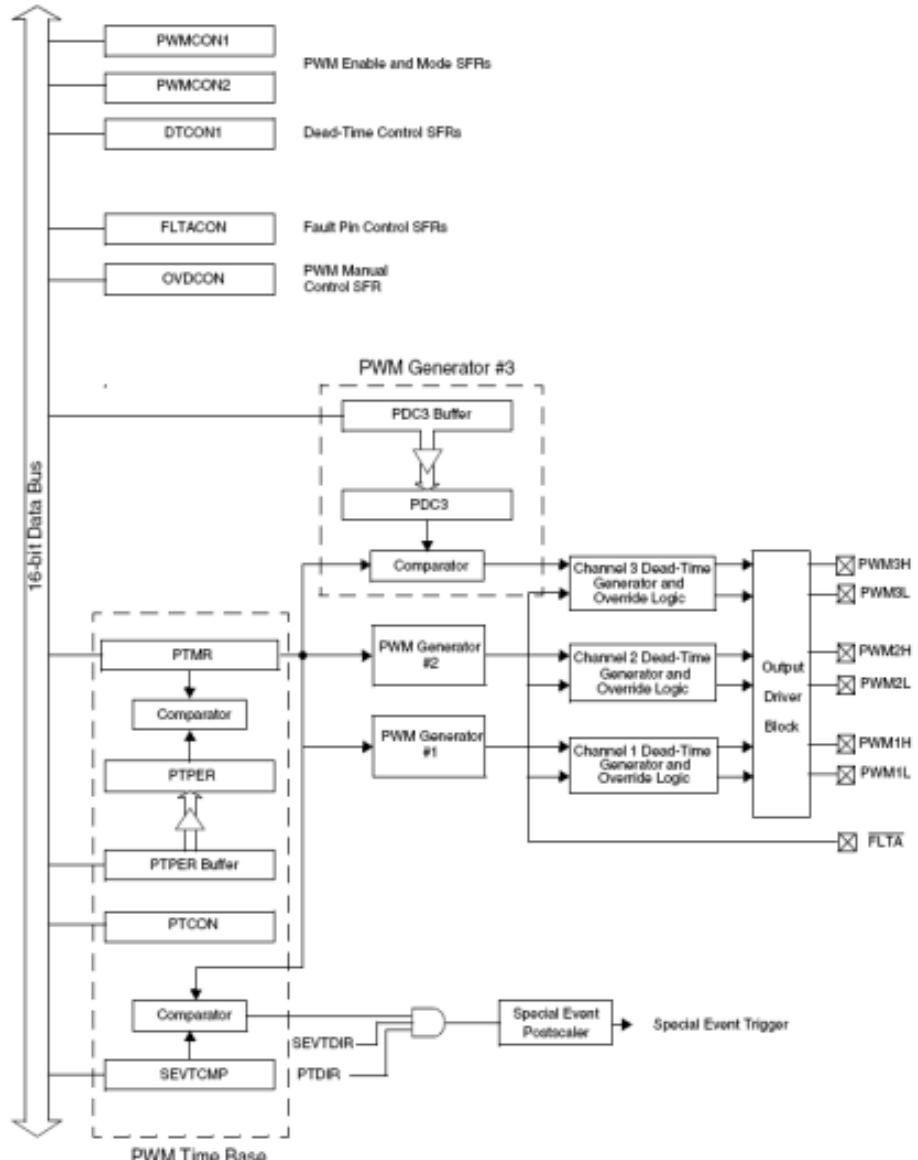
Để khởi tạo hoạt động của module PWM điều khiển động cơ theo trình tự sau:

- Xác định thời gian cho một chu kỳ xung bằng cách đặt một giá trị 15bit vào thanh ghi ngưỡng đếm chu kỳ xung PTPER, theo công thức:

$$\text{PTPER} = \frac{f_{cy}}{f_{PWM} \cdot \text{PTMRPrescale.1}} - 1 \text{ So sánh theo xung răng cửa sườn thăng}$$

$$\text{PTPER} = \frac{f_{cy}}{f_{PWM} \cdot \text{PTMRPrescale.2}} - 1 \text{ So sánh theo xung răng cửa sườn dốc}$$

- Thiết lập chế độ dùng các chân pwm bằng thanh ghi PWMCON1
- Thiết lập chế độ băm xung trong thanh ghi OVDCON
- Đặt giá trị phần trăm băm xung trong 3 thanh ghi PCDx



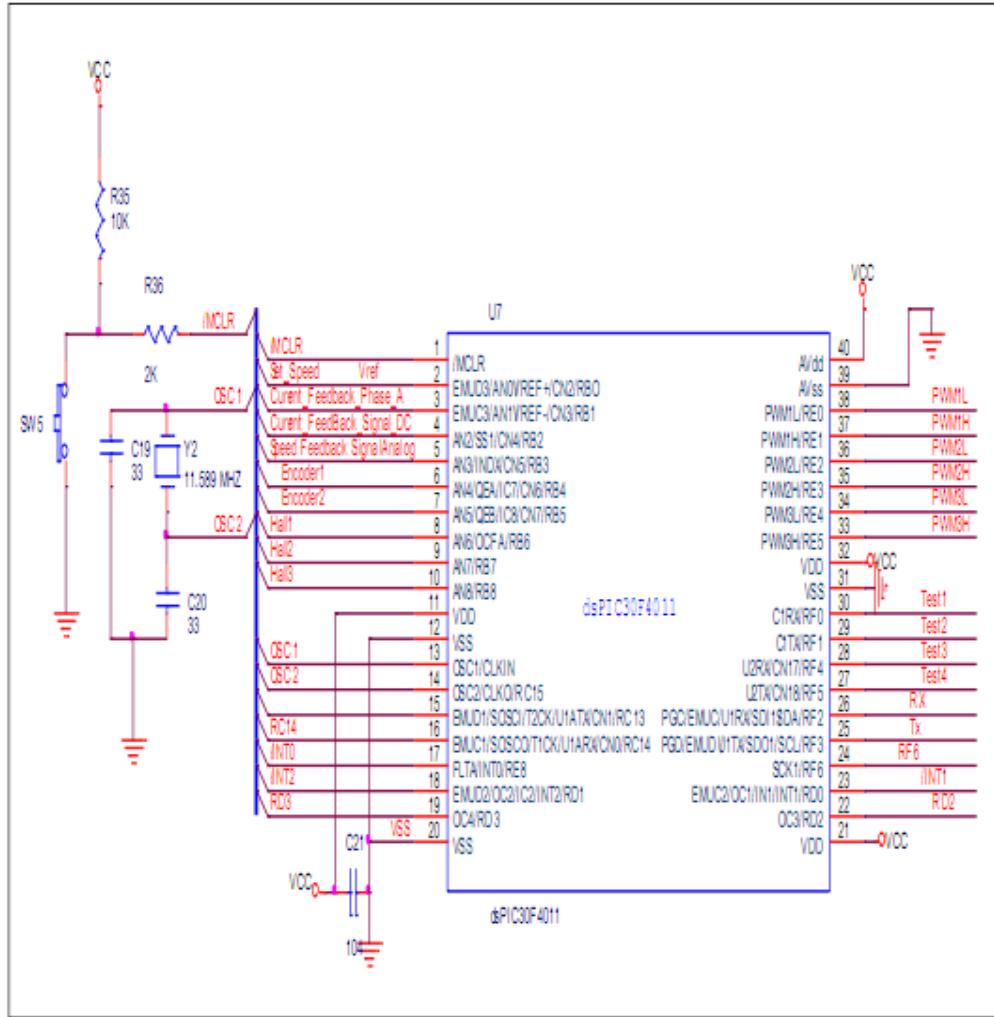
**Hình 3.5:** Cấu trúc của module PWM

### 3.1.2. Thiết kế mạch điều khiển động cơ BLDC dùng DSPIC30F4011

#### 3.1.2.1. Module xử lý trung tâm

Module xử lý trung tâm là trung tâm xử lý các tín hiệu và đưa ra các tín hiệu đặt cho các thiết bị khác. Vì thế vi xử lý đóng vai trò quan trọng trong mạch điều khiển.

Trong module này xử lý trung tâm gồm có vi điều khiển và các mạch RESET, mạch cấp xung clock. Xung clock ở đây được cấp bằng thạch anh tần số 11.589 MHz.



**Hình 3.6:** Cấu trúc module xử lý trung tâm

Để thuận tiện cho quá trình lập trình nên thực hiện phân công cổng vào ra theo bảng 3.1 để khi khai báo ban đầu để đặt cổng vào ra.

**Bảng 3.1:** Phân công địa chỉ vào ra cho các chân của vi điều khiển

STT	Chức năng	Tên chân	Nhiệm vụ	Số thứ tự chân
1	MCLR	MCLR	Chân reset hệ thống	1
2	Set_speed	AN0/RB0	Đặt tốc độ	2
3	Current Feedback phase A	AN1/RB1	Phản hồi dòng điện xoay chiều pha A	3
4	Current Feedback	AN2/RB2	Phản hồi dòng điện phía một chiều	4

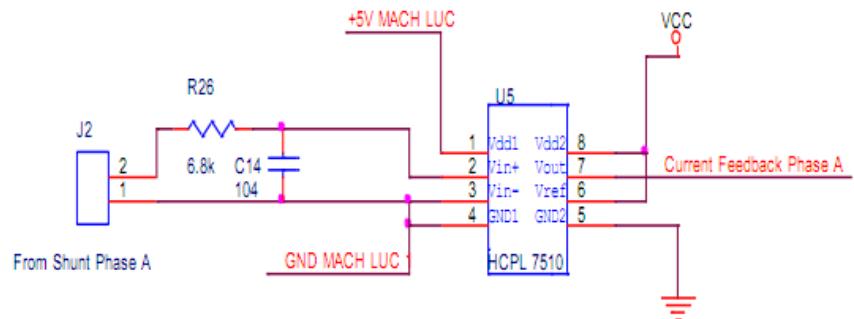
5	Encoder1	QEA	Phản hồi tốc độ động cơ	6
6	Encoder2	QEB		7
7	Hall1	RB6	Cảm biến Hall	8
8	Hall2	RB7		9
9	Hall3	RB8		10
10	INT(0)	RE8	Ngắt ngoài	16
11	INT(1)	RD1		17
12	INT(2)	RD0		23
13	TX	RF3	Giao tiếp máy tính	25
14	RX	RF2		26
15	Test1	RF5	Thủ chương trình	27
16	Test2	RF4		28
17	Test3	RF1		29
18	Test4	RF0		30
19	PWM3H	RE5	PWM	33
20	PWM3L	RE4		34
21	PWM2H	RE3		35
22	PWM2L	RE2		36
23	PWM1H	RE1		37
24	PWM1L	RE0		38
25		AN3/RB3	Phản hồi tốc độ phát bằng tốc	5

### 3.1.2.2. Hệ thống phản hồi dòng điện

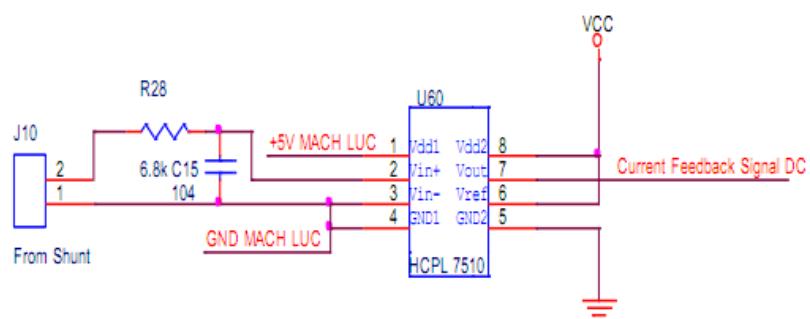
Để thực hiện điều khiển được động cơ chính xác chúng ta thực hiện hai mạch vòng phản hồi nên khi thiết kế mạch điều khiển phải có thành phần phản hồi dòng điện. Đối với dòng điện một chiều thì chúng ta dùng điện trở Shunt để thực hiện phản hồi từ mạch lực.

Điện trở Shunt có thông số là 200A/75mV. Do điện áp ra trên điện trở Shunt là rất bé nên để đưa vào cổng A/D của vi xử lý cần có một khung khuỷch đại tín hiệu để tín hiệu vào mạch điều khiển có thể nhận biết được.

Để thực hiện khâu khuỷch đại trên chúng ta dùng một IC tên là HCPL 7510

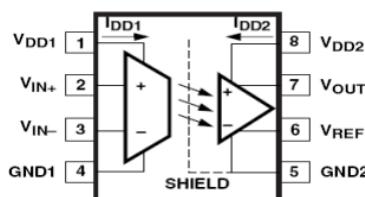


### PHAN HOI DONG



**Hình 3.7:** Cấu trúc mạch phản hồi dòng điện

Trong mạch phản hồi dòng điện thì để thực hiện khuỷch đại tín hiệu điện áp từ điện trở Shunt dùng một IC. Vai trò của IC là đưa ra điện áp chuẩn cho vi điều khiển có thể nhận biết được và do mức điện áp của vi điều khiển là 5V cho nên điện áp ra của IC cũng được đặt là 5V.



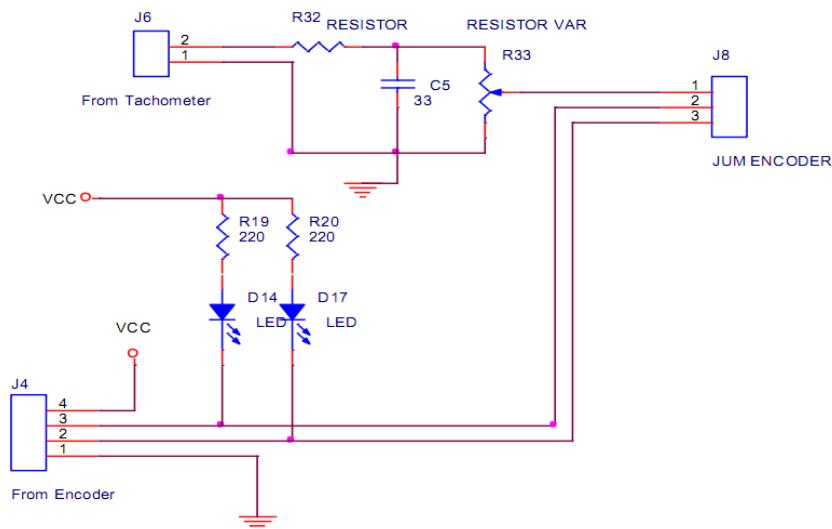
**Hình 3.8:** Cấu trúc của HCPL 7510

#### 3.1.2.3. Mạch phản hồi tốc độ

Để thực hiện phản hồi tốc độ thì có thể dùng hai cách để phản hồi tốc độ về mạch điều khiển:

- Dùng phát tốc nối đồng trực với động cơ
- Dùng encoder.

Vì vậy, để đảm bảo tính mỏ rộng của mạch điều khiển, cả 2 mạch nhận tín hiệu được thiết kế. Với phát tốc, có thể nhận trực tiếp tín hiệu về, thông qua chiết áp và tụ lọc. Tín hiệu phản hồi đưa vào chân ADC để chuyển thành dữ liệu số cho CPU xử lý. Còn với encoder, có thể đưa trực tiếp về vi điều khiển để đếm xung và tính ra tốc độ phản hồi.



**Hình 3.9:** Cấu trúc mạch phản hồi tốc độ

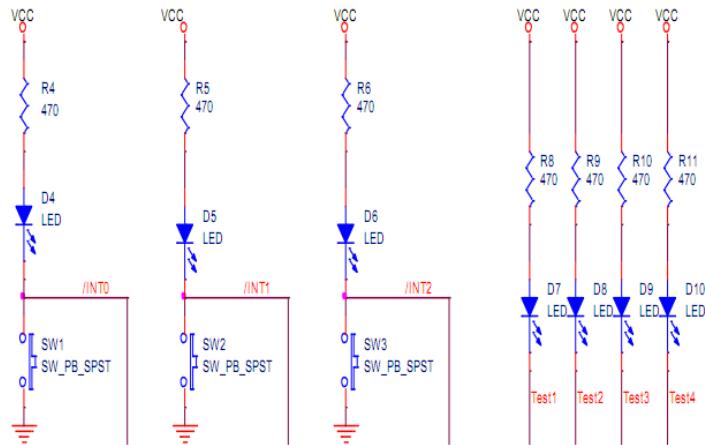
### 3.1.2.4. Một số cấu trúc khác

#### a. Mạch vào ra bằng nút ấn và đèn LED

Các đèn LED được sử dụng dùng để kiểm tra chương trình và hiện thị khi cần thiết. Trong một số trường hợp để phát hiện ra lỗi của chương trình để trong quá trình lập trình có thể nhanh chóng tìm ra chỗ sai mà không tốn nhiều thời gian và công sức. Dùng nút bấm để khởi động chương trình. Để dùng nút bấm khởi động chương trình thì trong quá trình lập trình sử dụng mức 1 của chân đưa vào ngắt nên khi đảo tín hiệu đưa vào thì nó là 0 khi đó có thể dừng được chương trình cho đến khi có bấm nút. Khi đó thì tín hiệu vào vi điều khiển là 0 nên sau khi đảo tín hiệu thì nó là 1 cho phép chương trình chạy. Sau đó phải có thêm vòng lặp cho lệnh tiếp tục thực

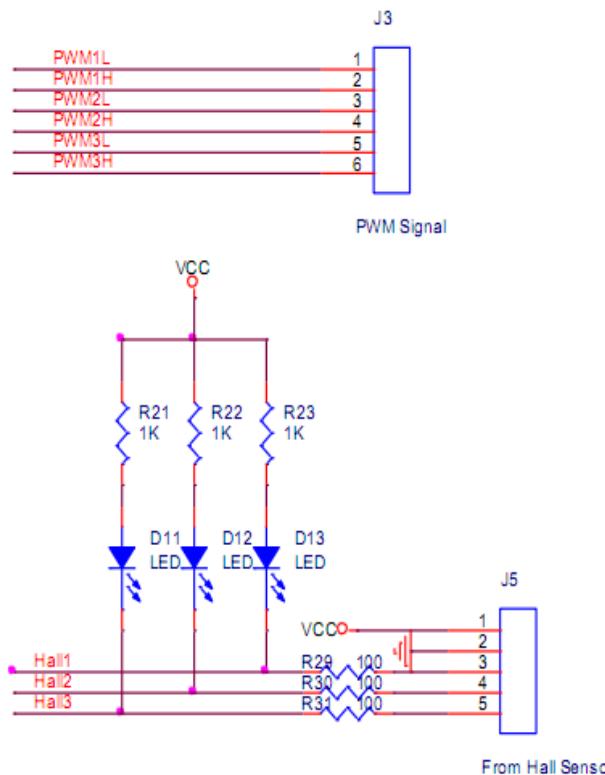
hiện.

Các đèn LED được dùng để hiện thị xem nút đã được bấm chưa, dùng để hiển thị kết quả khi biết chương trình đã chạy đến điểm mà chương trình đã đặt hay không.



**Hình 3.10:** Mạch ghép nối LED và nút ấn

### b. Mạch ghép nối với động cơ và phát xung PWM



**Hình 3.11:** Mạch xuất tín hiệu PWM và nhận tín hiệu từ cảm biến Hall

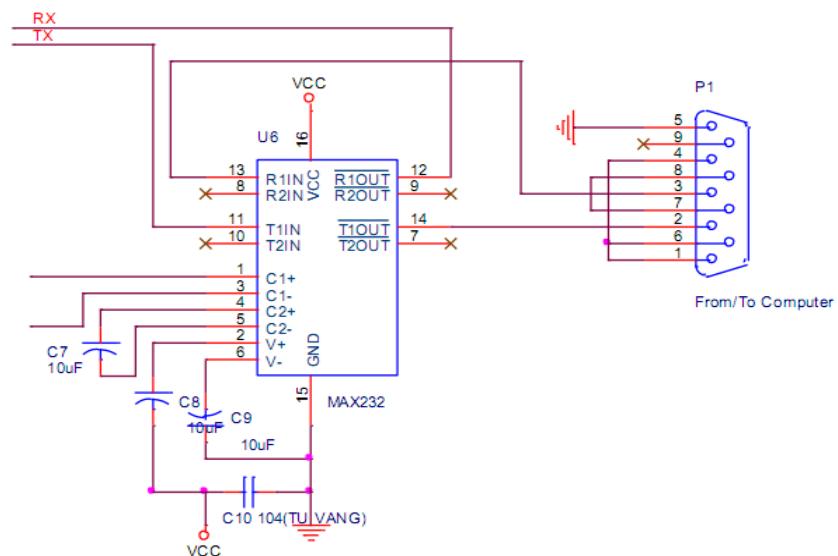
Các đèn LED dùng để nhận biết được sự thay đổi của tín hiệu Hall

xem có đúng với bảng giá trị hay không.

### c. Mạch truyền thông nối tiếp

Mạch có sử dụng max232 để thực hiện kết nối và cách ly mạch điều khiển với máy tính thông qua cổng com. Vì nếu không có IC cách ly thì các xung điện từ máy tính xuống có thể làm hỏng mạch điều khiển.

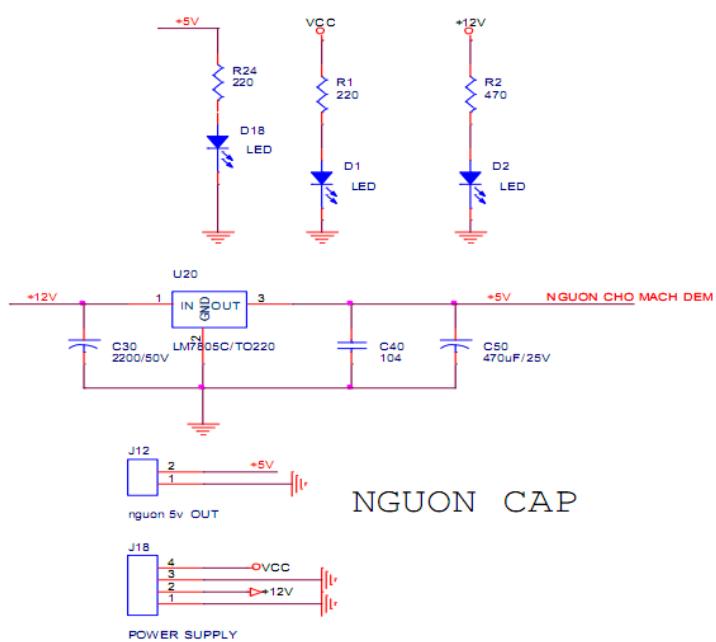
Dùng truyền thông nối tiếp để thực hiện đọc các tín hiệu từ mạch điều khiển lên để vẽ đồ thị tốc độ của động cơ hoặc có thể thực hiện điều khiển động cơ trực tiếp bằng máy tính.



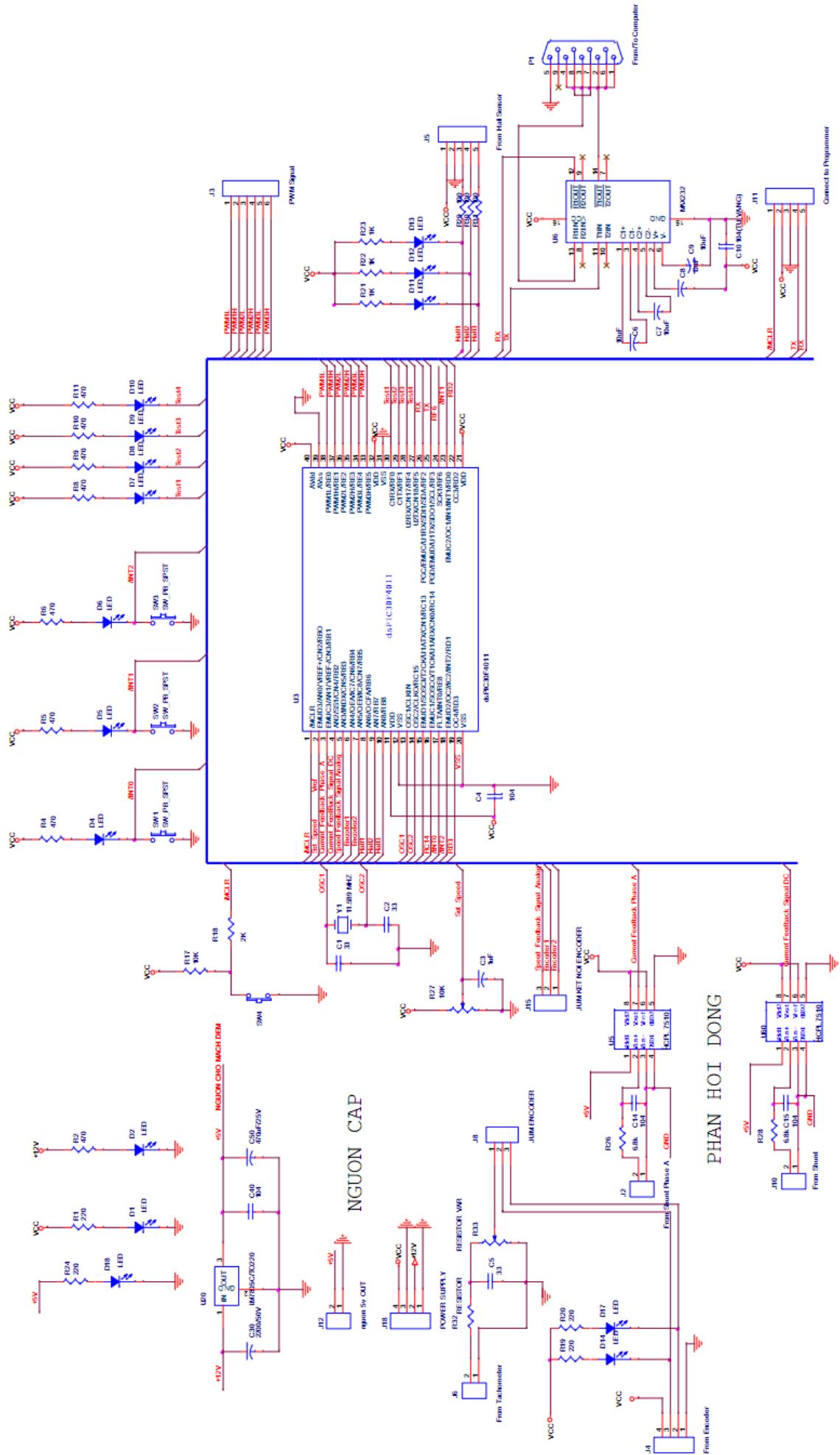
**Hình 3.12:** Mạch ghép nối cổng COM

### d. Nguồn cấp và các đèn báo.

Nguồn cấp thiết kế để cấp nguồn cho các phần tử trong mạch điều khiển



**Hình 3.13:** Nguồn cấp cho mạch điều khiển



**Hình 3.14 :** Mạch điều khiển động cơ

### 3.1.3. Thiết kế mạch đệm cho bộ nghịch lưu

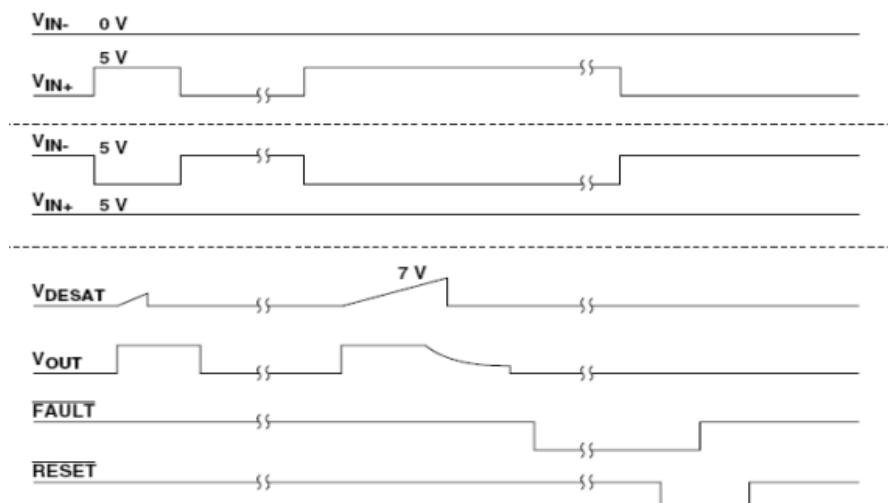
Do động cơ công suất lớn nên để thực hiện đóng cắt cho van thì phải dùng một bộ đệm để tăng điện áp và dòng điều khiển để thực hiện đóng cắt cho van.

Bộ đệm sử dụng IC HCPL316J đây là loại IC chuyên dùng cho bộ đệm của van vì nó chế độ bảo vệ tốt nên khi vận hành có thể tránh được nhiều trường hợp hỏng van do quá dòng.

#### 3.1.3.1. IC HCPL 316J



Hình 3.15: Cấu trúc của ICHCPL 316J



Hình 3.16: Đặc tính điện áp vào và các tín hiệu bảo vệ của ICHCPL 316J

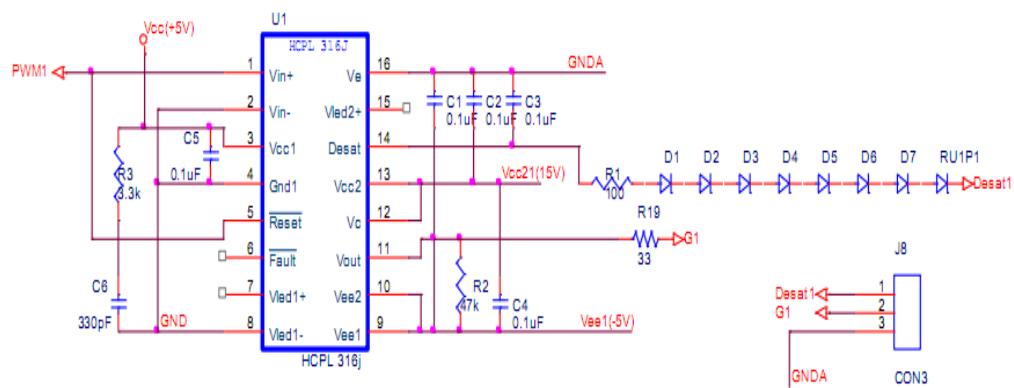
IC thực hiện bảo vệ qua tín hiệu điện áp gửi về qua chân DESAT và khi có hiện tượng quá dòng thì điện áp trên chân DESAT tăng lên lớn hơn điện áp ngưỡng thì tín hiệu ra của van được cắt và thực hiện báo lỗi ra chân Fault. Vai trò của HCPL 316J là kích tín hiệu điều

khiến để đóng mở các van IGBT, bảo vệ quá dòng cho các van và bảo vệ điện áp thấp.

### 3.1.3.2. Mạch đếm cho mỗi van IGBT

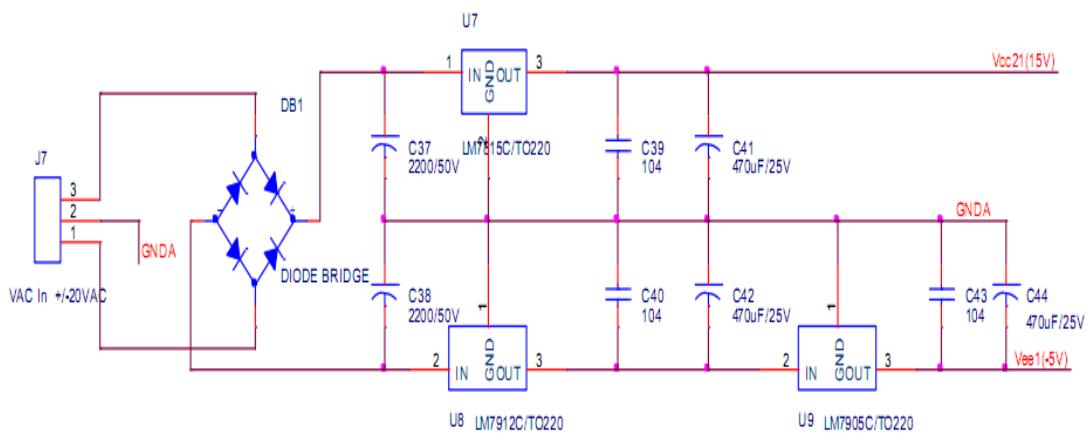
Do mạch nghịch lưu có 6 van nên mạch đếm tương ứng cũng có 6 IC đếm để kích dòng và điện áp để mở van. Do tính độc lập giữa các pha là cao vì nếu không sẽ xảy ngắt mạch nên nguồn cấp cho mỗi mạch IC đếm phải được làm riêng. Trong mạch sử dụng 6 biến áp một pha để cấp nguồn cho 6 IC đếm.

Sau đây là sơ đồ mạch điện của mạch đếm cho một van.



**Hình 3.17:** Module mạch đếm cho một van IGBT

### 3.1.3.3. Nguồn cấp cho từng module của mạch đếm



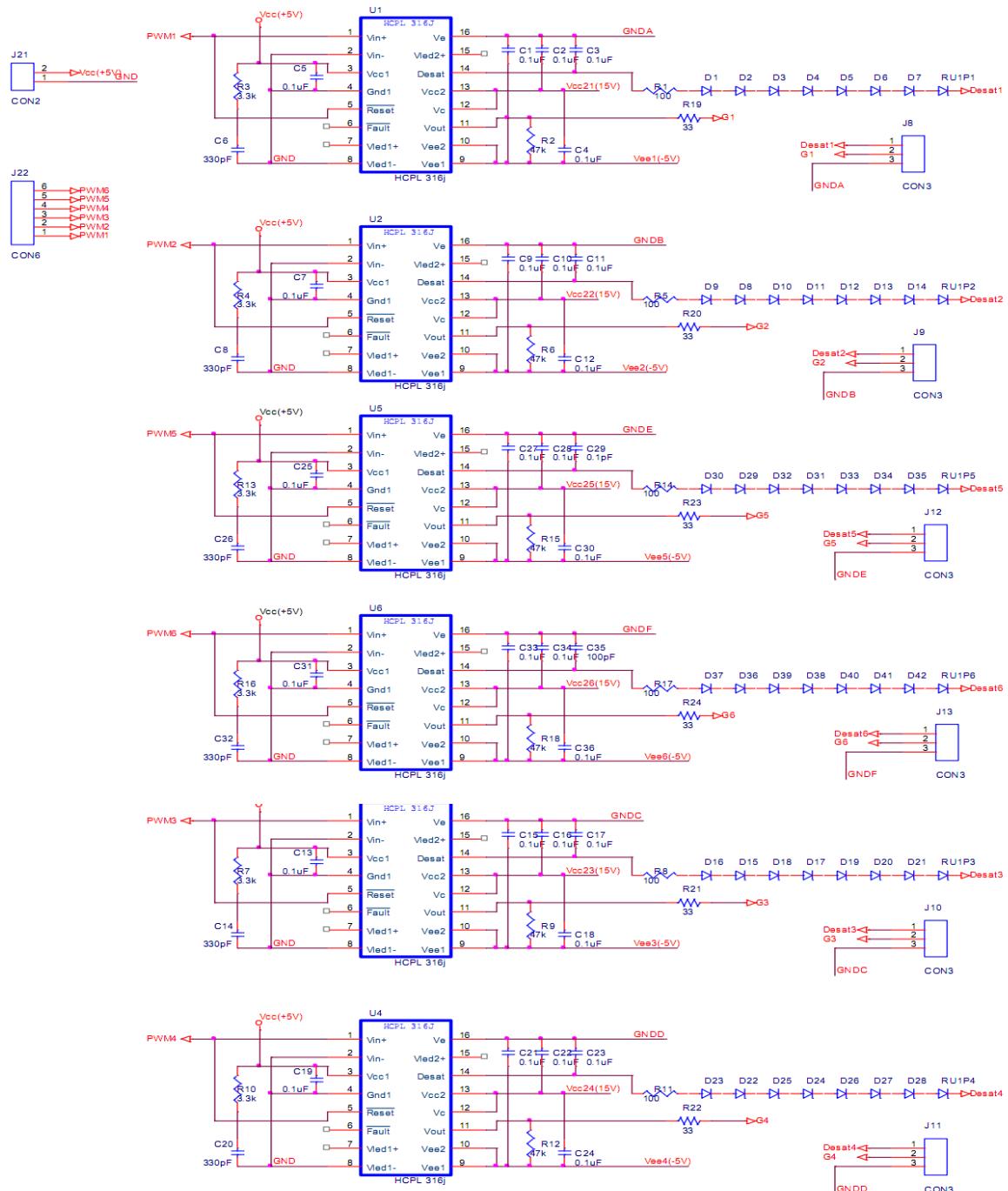
**Hình 3.18:** Nguồn cấp cho modul của mạch đếm cho van IGBT

Do mỗi van phải có nguồn cấp riêng để tránh trường hợp ngắt mạch cho van nên mỗi module mạch đếm được cấp một nguồn điện và các

nguồn được cách ly bằng biến áp ở bên ngoài.

### 3.1.3.4. Mạch đếm của cá 6 van IGBT

Sau khi thiết kế cho từng van thực hiện ghép 6 van lại ta được mạch đếm hoàn chỉnh như sau:



**Hình 3.19:** Mạch đếm cho 6 van IGBT

### **3.1.4. Viết chương trình điều khiển cho động cơ**

Chương trình điều khiển được viết bằng ngôn ngữ C trên phần mềm MPLAB và được biên dịch bằng C30 để chuyển sang file hex để nạp vào mạch điều khiển thông qua mạch nạp.

Chương trình điều khiển của động cơ được hình thành từ các module, các module này là các hàm đã được khai báo sẵn và chỉ cần đưa vào chương trình chính để thực hiện công việc của mình cần. Quá trình lập chương trình cho động cơ được tiến hành qua các bước:

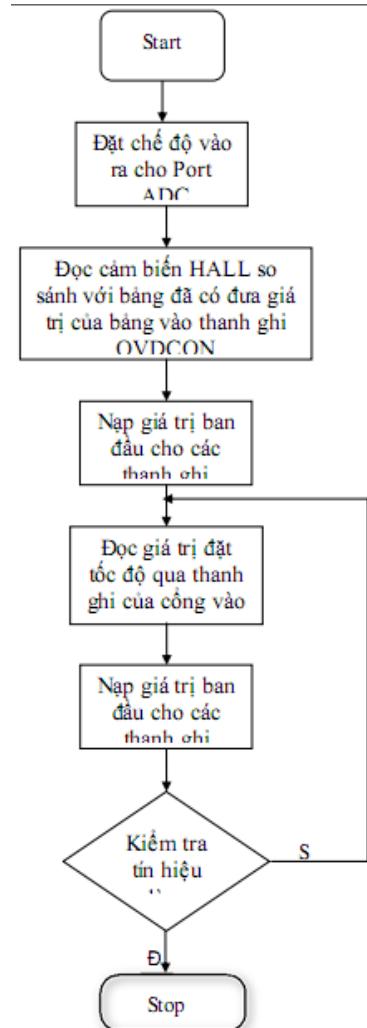
- + Thủ tính ổn định của mạch điều khiển bằng cách lập trình đơn lẻ các module chức năng của vi điều khiển như kiểm tra các chế độ vào ra của Port bằng cách hiển thị qua LED, kiểm tra làm việc ADC của vi điều khiển bằng cách thay đổi độ rộng xung của module PMW.
- + Sau khi kiểm tra xong các module thi chúng ta tiến hành lắp ghép và lập trình chương trình điều khiển động cơ với mạch vòng hở để kiểm tra xem việc phát xung cho các van đã đúng chưa sau đó mới tiến hành lập trình cho mạch vòng kín với hai mạch vòng phản hồi dòng điện và tốc độ.
- + Sau khi lập trình mạch vòng hở xong thì lấy các tham số của PID ở phần tổng hợp và mô phỏng cho mô hình động cơ để đưa vào thuật toán và tính toán ra giá trị đặt cho các thanh ghi PCDx.

#### **3.1.4.1. Lập trình cho mạch vòng hở:**

Lưu đồ cho chương trình mạch vòng hở điều khiển động cơ BLDC.

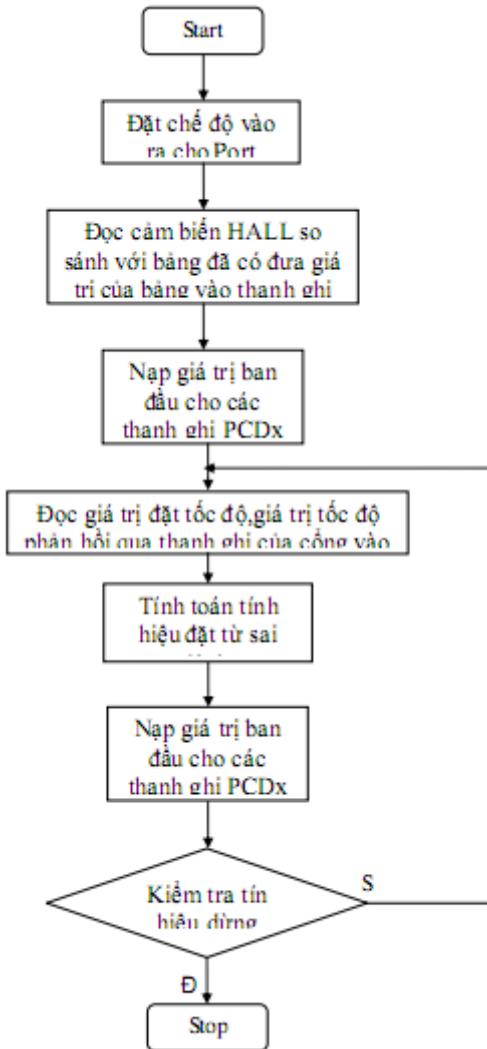
Tiến trình của lưu đồ là khi có sự khởi động cho chương trình chạy bằng một nút bấm thì chương trình được thực hiện. Khi đó vi điều khiển thực hiện đặt các cổng vào ra cho các PORT sau đó thực hiện các hàm mà chương trình đã định sẵn. Khi đó các cảm biến Hall được đọc về qua Port B thông qua 3 chân. Sau khi có tín hiệu của Hall thì chương trình so sánh giá trị Hall với các giá trị trong bảng đã định sẵn, các giá trị này được lấy từ bảng chuyển mạch ở chương 2. Sau khi đã chọn được giá trị theo bảng đã

định sẵn thì giá trị này được gán vào thanh ghi OVDCON để quyết định sự làm việc cho các chân PMW đầu ra. Trong chế độ lập trình này thì chọn điều rộng xung cho nhóm van cao còn trong thời gian  $60^{\circ}$  thì nhóm van dưới được để ở chế độ dẫn liên tục toàn khoảng. Để điều chỉnh chế độ rộng xung thì chương trình phải đặt giá trị ch các thanh ghi PCDx đây là các thanh ghi quyết định phần trăm giá trị băm của xung. Nếu để 3 giá trị thanh ghi PCDx bằng nhau và giá trị của thanh ghi PTPER thì tín hiệu ra của vi điều khiển sẽ được điều chỉnh với độ rộng xung là 50%. Sau khi nạp tín hiệu ban đầu cho thanh ghi PCDx thì chương trình thực hiện đọc giá trị đặt từ các cổng ADC đã được chương trình định sẵn. Sau khi đọc xong thì nạp giá trị vào các thanh ghi PCDx để thực hiện thay đổi tốc độ động cơ. Chương trình vẫn tiếp tục chạy cho đến khi có hiệu lệnh dừng.



**Hình 3.20:** Lưu đồ chương trình mạch vòng hở điều khiển động cơ BLDC

### 3.1.4.2. Chương trình mạch vòng kín



**Hình 3.21:** Lưu đồ chương trình mạch vòng kín điều khiển động cơ BLDC

Lưu đồ chương trình mạch vòng kín cũng tương tự như lưu đồ của mạch vòng hở, nó chỉ khác lưu đồ mạch vòng hở là có thêm tính toán các giá trị phản hồi dựa ra các giá trị đặt cho các bộ điều khiển đã được lập trình sẵn trong chương trình.

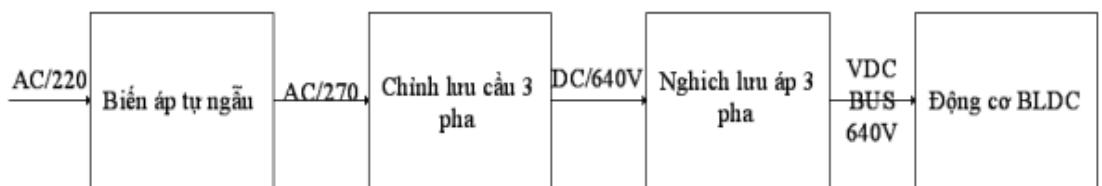
Chương trình mạch vòng kín được thiết kế trình tự làm việc là: sau khi nhận được tín hiệu khởi động thì vi điều khiển khởi động chương trình đặt chế độ cổng vào ra cho các Port và thực hiện đọc giá trị của cảm biến

Hal về và chọn chế độ phát xung PMW cho các đầu ra theo bảng đã định sẵn. Tín hiệu phát xung đầu ra được thay đổi bằng cách thay đổi giá trị của ba thanh ghi PCDx. Sau khi phát xung ban đầu thì vi điều khiển thực hiện đọc các tín hiệu về từ các công ADC đã đặt sẵn và thực hiện công việc tiếp theo là so sánh giá trị đặt tốc độ của động cơ và giá trị phản hồi bằng ADC thông qua đầu vào đã được định sẵn. Giá trị sai lệch giữa hai giá đặt và thực được khéch đại và tích phân để đưa ra giá trị đặt cho bộ điều khiển dòng điện. Khi đó vi điều khiển lấy giá trị đặt của dòng điện trừ đi giá trị phản hồi qua ADC để đưa ra tín hiệu đặt cho 3 thanh ghi PCDx để thực hiện phát xung mở van cho bộ nghịch lưu. Chương trình làm việc cho đến khi có tín hiệu dừng.

### **3.2. THIẾT KẾ MẠCH LỤC CHO ĐỘNG CƠ BLDC.**

#### **3.2.1. Giới thiệu về các bộ biến đổi cho động cơ BLDC**

Đối với động cơ công suất lớn dùng trong công nghiệp như động cơ mà đề tài đang đề cập đến thì nguồn một chiều cấp cho động cơ BLDC không thể dùng các bộ nguồn điện một chiều có sẵn như acquy vì các bộ nguồn điện một chiều này không đủ năng lượng để cấp điện cho động cơ. Vì vậy các động cơ có công suất lớn sẽ phải có một bộ chỉnh lưu để tạo ra điện áp một chiều cho động cơ. Ngoài ra đối với động cơ BLDC để cho động cơ quay thì chúng ta phải cấp điện cho các cuộn dây stator của động cơ theo quy luật đã định sẵn. Để cấp điện thứ tự cho các cuộn dây thì sau khi chỉnh lưu ra điện áp một chiều chúng ta cho qua bộ nghịch lưu nguồn áp để cấp



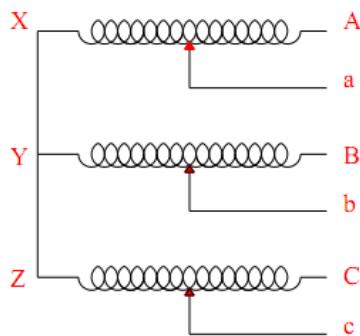
nguồn cho động cơ.

**Hình 3.22:** Sơ đồ biến đổi cho động cơ BLDC

Trong hình 3.22 thì có dùng thêm biến áp tự ngẫu trước bộ chỉnh lưu để hạn chế dòng điện ban đầu khi đóng mạch vào nếu để điện áp quá lớn thì dòng điện chảy trong mạch chỉnh lưu sẽ rất lớn nên có thể làm hỏng các van chỉnh lưu cũng như các tụ lọc.

Sau đây là phân tích cụ thể của từng khối trong sơ đồ biến đổi.

### 3.2.2. Biến áp tự ngẫu



**Hình 3.23:** Cấu tạo của biến áp tự ngẫu

Trong thực tế thì có thể dùng một điện trở khởi động để hạn chế dòng điện chảy qua các van khi thực hiện nạp cho tụ. Sau khi tụ được nạp đầy thì chúng ta thực hiện cắt bỏ điện trở đi bằng cách điều khiển một van bán dẫn. Mở van bán dẫn để cho dòng điện chạy hầu hết qua van tức là ngăn mạch điện trở đi.

Biến áp tự ngẫu còn có nhiệm vụ cách ly nguồn mạch lực và nguồn cấp vì nếu có xảy ra sự cố ở bên phía mạch động lực thì không ảnh hưởng tới nguồn cấp của lưới. Vì trong quá trình nghiên cứu mạch thực nghiệm thì xảy ra ngắn mạch là có thể xảy ra.

### 3.2.3. Mạch chỉnh lưu

Mạch chỉnh lưu có rất nhiều loại nhưng chủ yếu xoay quanh các mạch chỉnh lưu cơ bản là chỉnh lưu một pha một nửa chu kỳ, chỉnh lưu một pha hai nửa chu kỳ có điểm giữa, chỉnh lưu cầu một pha, chỉnh lưu hình tia ba pha, chỉnh lưu cầu ba pha. Đối với nguồn cấp cho động cơ BLDC thì tích chất của nguồn điện là phải phẳng để hạn chế sự nhấp nhô điện áp

có thể làm hỏng van khi van được bấm với tần số lớn khoảng trên vài KHz. Vì thế chúng ta phải lựa chọn mạch chỉnh lưu sao cho dạng điện áp ra phẳng thì càng tốt khi đó chúng ta thực hiện điều chế độ rộng xung PWM với tần số cao nên có thể điều khiển động cơ chạy trơn và mở rộng được vùng tốc độ điều chỉnh.

Đối với động cơ BLDC công suất 30 kW thì chúng không thể dùng được các bộ chỉnh lưu một pha vì nó cho công suất đầu vào thấp vì điện áp thấp nếu vẫn sử dụng thì dòng điện chạy trong các van là rất lớn nên việc đầu tư khá tốn kém mà hiệu quả đưa lại thì không được tốt. Vì vậy đối với loại động cơ có công suất lớn như thế này chúng ta nên sử dụng các bộ chỉnh lưu 3 pha và nó có thể cung cấp được công suất đầu vào lớn. Đồng thời công suất được chia làm 3 pha nên công suất trên mỗi pha bé đi một phần ba nên dòng điện chạy qua các van cũng bé đi một phần 3. Vì thế việc tính chọn cho mạch chỉnh lưu sẽ đơn giản và ít tốn kém hơn.

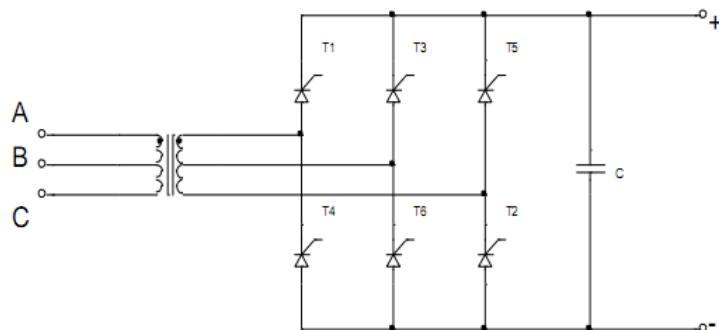
Khi sử dụng mạch chỉnh lưu 3 pha thì chúng ta sẽ đi đến hai lựa chọn chủ yếu là chỉnh lưu hình tia và chỉnh lưu cầu. Trong đó thì chỉnh lưu hình tia thì hệ số nâng điện áp sau chỉnh lưu thấp do biên độ điện áp chỉ là một cực nên hệ số nâng điện áp thấp. Động cơ BLDC thì điện áp vào của động cơ là 640(V) nên nếu dùng chỉnh lưu hình tia thì điện áp trên van là cao điện áp cấp cho động cơ còn dùng chỉnh lưu cầu thì điện áp này được chia rời trên hai van nên điện áp trên van bé hơn nên thuận lợi cho việc tính chọn van.

Động cơ BLDC có hai bộ biến đổi là bộ chỉnh lưu và bộ nghịch lưu nên khi điều khiển thay đổi tốc độ của động cơ có thể dùng hai cách:

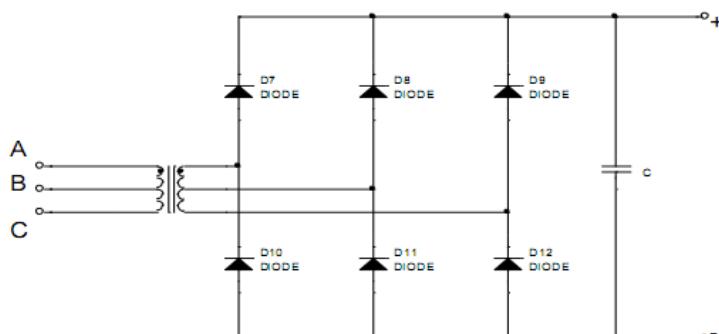
- Thay đổi điện áp một chiều cấp cho bộ nghịch lưu tức là thực hiện điều khiển các van chỉnh lưu tiristor. Còn các van nghịch lưu chỉ đóng vai trò dẫn dòng mà không thay đổi đóng cắt cho van.
- Thay đổi điện áp đặt lên động cơ tức là bằng cách đóng mở van

của bộ nghịch lưu để thay đổi điện áp trung bình đặt lên van. Hay là thực hiện thay đổi độ rộng xung để thay đổi điện áp ra. Khi đó thì chúng ta đi đến hai quyết định là sử dụng chỉnh lưu cầu có điều khiển hay không điều khiển.

Dưới đây là cấu trúc của hai bộ chỉnh lưu vừa được nêu ở trên.



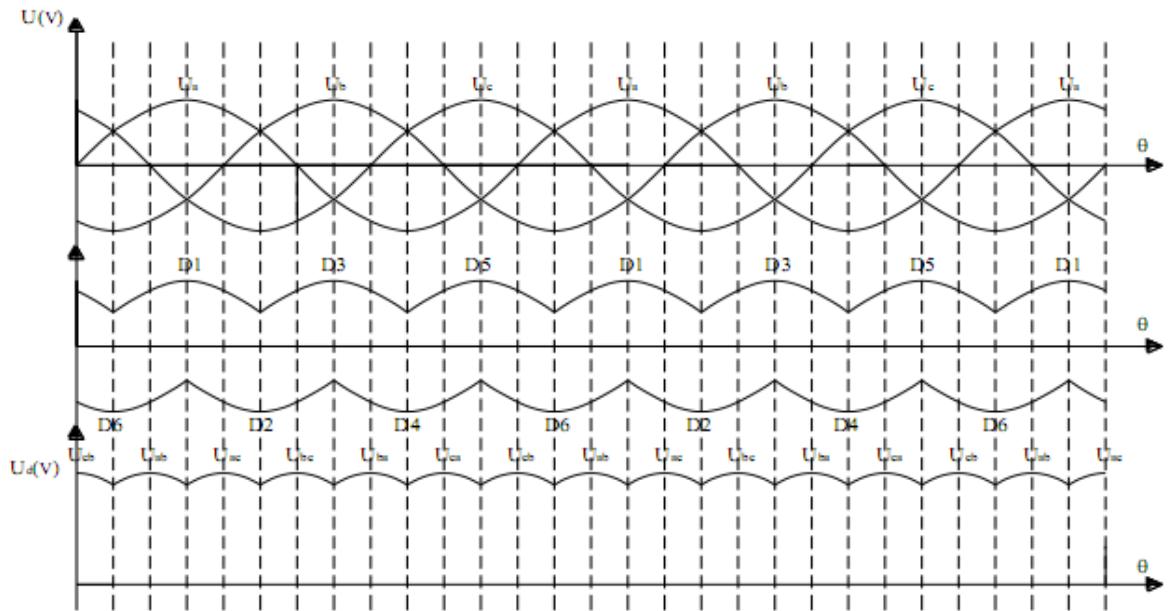
**Hình 3.24:** Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có điều khiển



**Hình 3.25:** Sơ đồ chỉnh lưu cầu diot

Trong hình 3.25 thì tụ điện C có vai trò san phẳng điện áp để cho điện áp một chiều cấp cho động cơ là bằng phẳng.

Dưới đây là dạng điện áp sau chỉnh lưu của chỉnh lưu cầu diot:



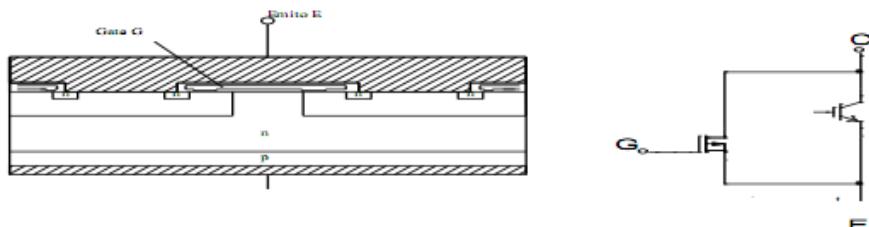
**Hình 3.26:** Sơ đồ điện áp chỉnh lưu cầu diot

### 3.2.4. Mạch nghịch lưu

Bộ nghịch lưu được sử dụng là nghịch lưu độc lập vì đối với động cơ BLDC thì các cuộn dây stator được cấp theo bảng nên phải thực hiện đóng mở van theo bảng. Đối với các loại động cơ nhỏ thì có thể dùng van MOSFET còn đối với các loại động cơ lớn thì do van Mosfet không chịu được các dòng lớn nên phải sử dụng van IGBT.

#### 3.2.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của IGBT

IGBT là phân tử kết hợp khả năng đóng cắt nhanh của Mosfet và khả năng chịu dòng của transistor thường. Van IGBT được điều khiển bằng điện áp nén công suất điều khiển yêu cầu cực nhỏ. Van IGBT dưới tác dụng của điện áp  $U_{GE}>0$  kênh dẫn với các hạt mang điện là điện tử được hình thành, các điện tử di chuyển về phía colector vượt qua lớp tiếp giáp n-p nên tạo ra quá trình dẫn dòng.



**Hình 3.27:** Cấu trúc bán dẫn và cấu trúc tương đương của van IGBT

### 3.2.4.2. Đặc tính đóng cắt của van IGBT

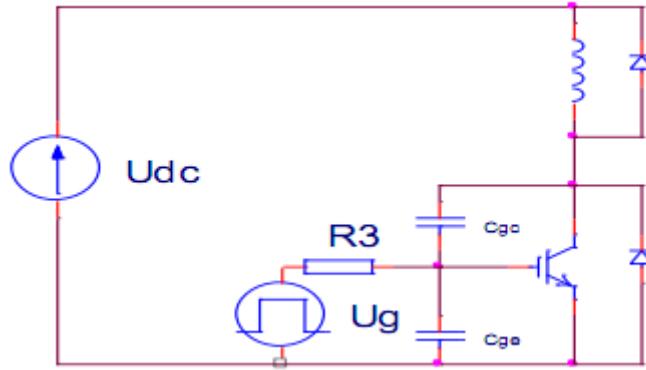
#### a. Quá trình mở IGBT

Quá trình mở IGBT xảy ra khi điện áp điều khiển tăng từ không đến giá trị  $U_G$ . Trong thời gian trễ khi mở tín hiệu điều khiển nạp điện cho tụ  $C_{GE}$  làm điện áp giữa cực điều khiển và emitor tăng theo quy luật hàm mũ từ không đến giá trị ngưỡng  $U_{GE}$ , điện áp này vào khoảng từ 3-5V. Khi có đủ điện áp thì mosfet trong van IGBT mới bắt đầu mở ra. Dòng điện giữa colector và emitor tăng theo quy luật tuyến tính từ không đến dòng tải  $I_0$  trong thời gian  $t_r$ . Trong thời gian  $t_r$  điện áp giữa cực điều khiển và emitor tăng đến giá trị  $U_{GE,I_0}$  xác định giá trị dòng  $I_0$  qua colector. Diode  $D_0$  còn đang dẫn dòng tải  $I_0$  nên điện áp  $U_{CE}$  vẫn bị găm lên mức điện áp nguồn một chiều  $U_{DC}$ . Tiếp theo quá trình mở diễn ra hai giai đoạn  $t_{fv1}, t_{fv2}$ . Trong suốt hai giai đoạn này thì điện áp giữa hai cực điều khiển và cực emitor được giữ nguyên ở mức  $U_{GE,I_0}$  để duy trì dòng  $I_0$ , do dòng điều khiển hoàn toàn là dòng phóng của tụ  $C_{GE}$  nên IGBT vẫn làm việc trong chế độ tuyến tính. Vì vậy trong giai đoạn đầu diễn ra quá trình khoá và phục hồi của diode  $D_0$  tạo nên xung dòng trên mức  $I_0$  của IGBT. Khi đó điện áp  $U_{CE}$  bắt đầu giảm IGBT chuyển từ chế độ tuyến tính sang chế độ bão hòa. Giai đoạn hai tiếp diễn quá trình giảm điện trở trong vùng thuần trở của colecto dẫn đến điện trở giữa colecto và emitor về giá trị  $R_{ON}$  thì khoá bão hòa.

Tổn hao năng lượng khi mở được tính gần đúng theo công thức:

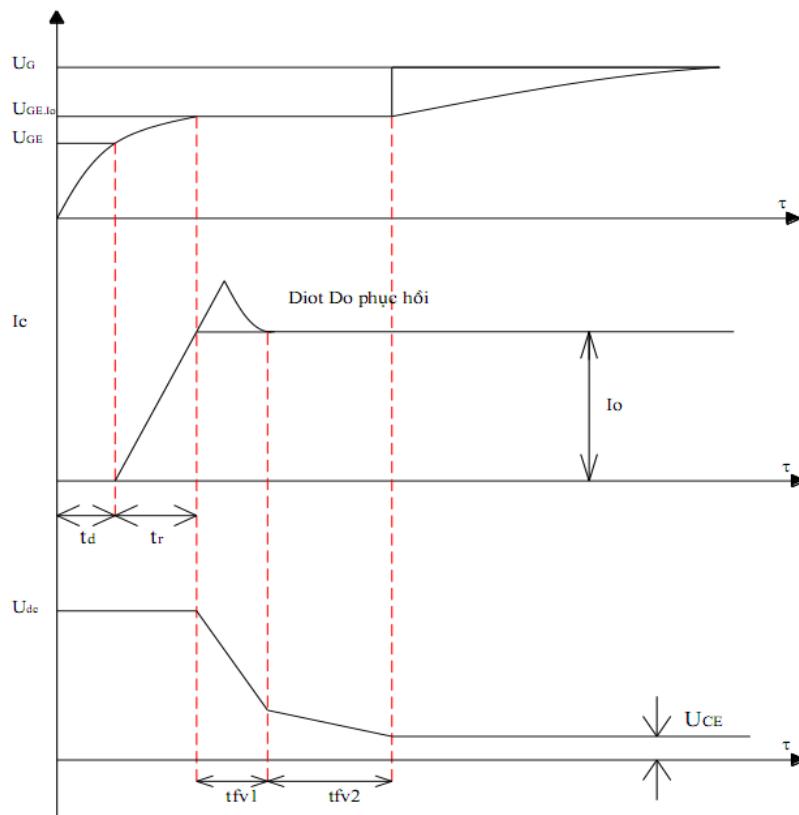
$$Q_{QN} = \frac{U_{dc} \cdot I_0}{2} \cdot t_{on}$$

Nếu tính thêm ảnh hưởng của quá trình phục hồi của Diot  $D_0$  thì tổn hao năng lượng sẽ lớn hơn do xung dòng trên colecto.



**Hình 3.28:** Sơ đồ thử nghiệm khoá IGBT

Các quá trình dẫn của van IGBT được mô tả trên hình 3.29



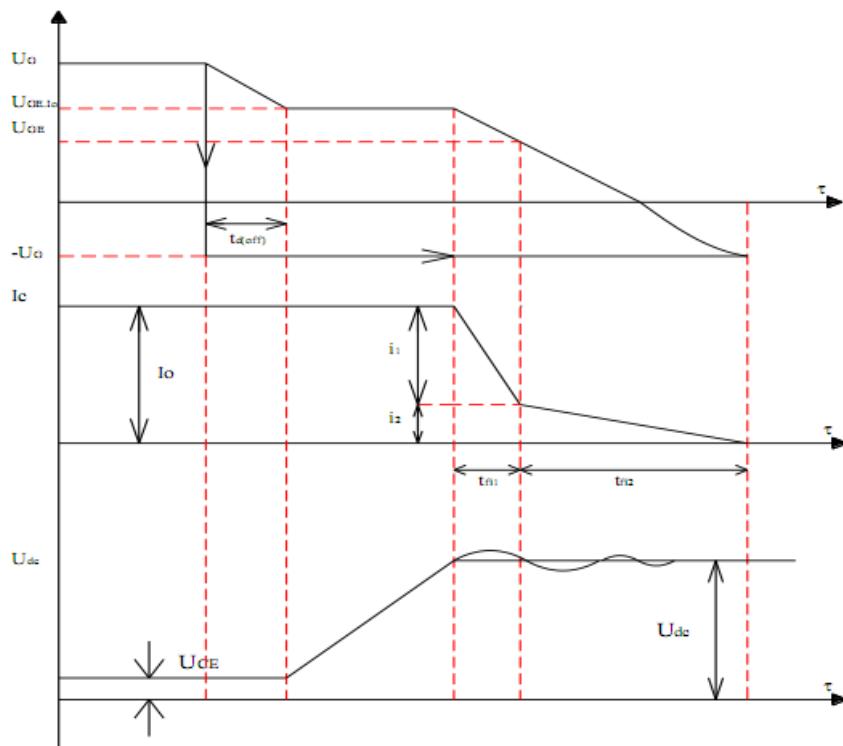
**Hình 3.29:** Đồ thị thể hiện sự dẫn dòng của van IGBT

### b. Quá trình khoá IGBT

Quá trình khoá bắt đầu khi điện áp điều khiển giảm từ  $U_G$  xuống  $-U_G$ , trong thời gian trễ khi khoá thì khi đó điện áp trên cực điều khiển và cực emitter giảm xuống do sự phóng điện của tụ  $C_{GE}$  nên điện áp GE giảm xuống  $U_{GE}, I_o$  và được giữ không đổi do điện áp  $U_{CE}$  bắt đầu tăng lên do đó

thì tụ  $C_{GC}$  bắt đầu được nạp điện. Dòng điều khiển bây giờ sẽ hoàn toàn nạp cho tụ  $C_{GE}$  nên điện áp  $U_{GE}$  được giữ không đổi. Điện áp  $U_{CE}$  tăng bão hòa trong khoảng thời gian  $t_{rv}$ . Từ cuối khoảng  $t_{rv}$  thì diode  $D_0$  bắt đầu mở ra cho dòng  $I_0$  ngắn mạch chạy qua do đó dòng collector bắt đầu giảm. Quá trình này trải qua hai giai đoạn ban đầu thì dòng chạy qua mosfet nhanh chóng giảm xuống không và khi điện áp điều khiển là  $-U_G$  thì van được khoá hoàn toàn.

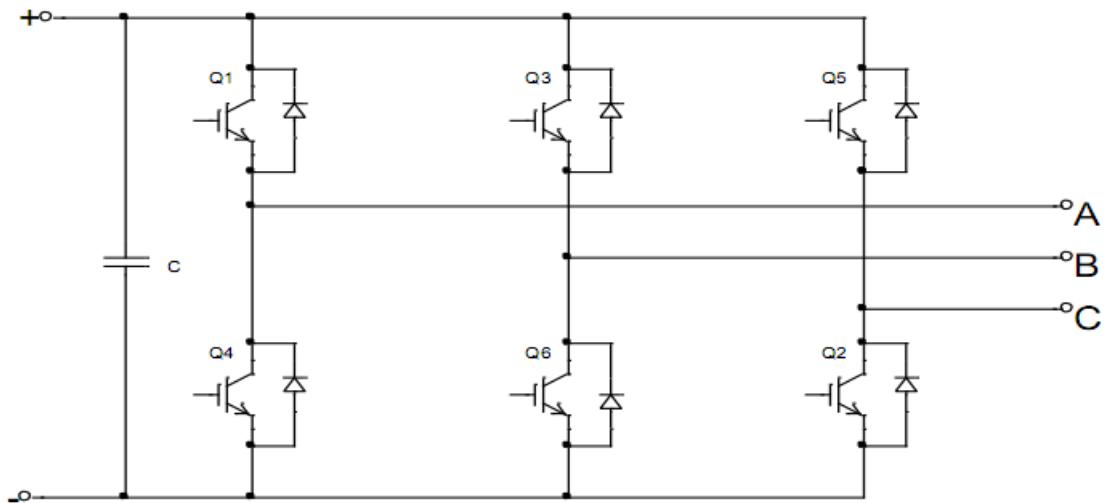
Các quá trình khoá của van IGBT được mô tả trên hình 3.30.



**Hình 3.30:** Đồ thị thể hiện quá trình khoá của van IGBT

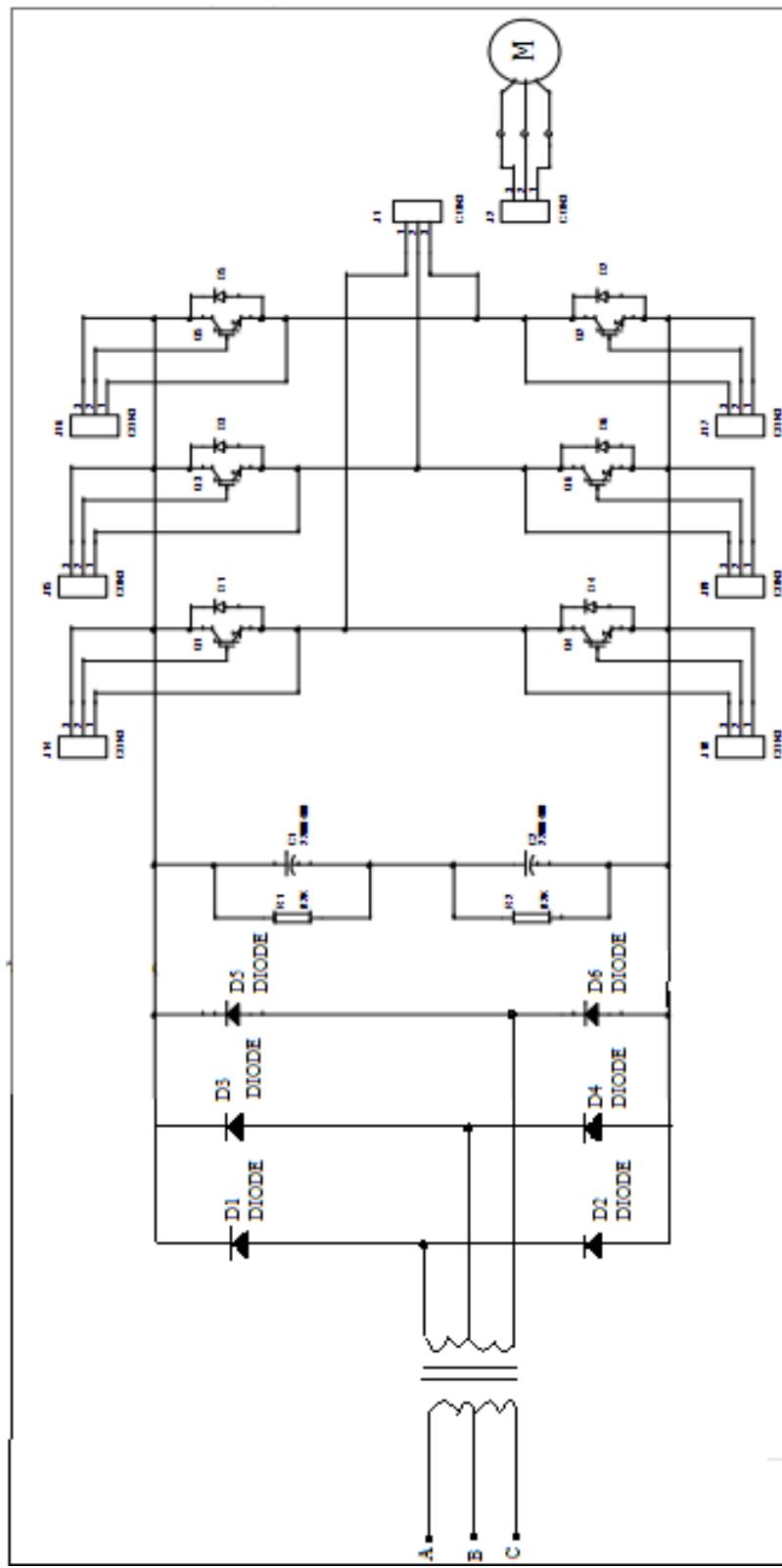
### 3.2.4.3. Lựa chọn mạch nghịch lưu

Do động cơ BLDC có cấu tạo stator là ba cuộn dây nên bộ nghịch lưu được sử dụng là bộ nghịch lưu 3 pha nguồn áp. Sơ đồ bộ nghịch lưu được trình bày ở hình 2.35



**Hình 3.31:** Sơ đồ bộ nghịch lưu áp ba pha

Sau khi chọn xong các bộ biến đổi thì thực hiện ghép các bộ biến đổi lại với nhau và có được mô hình của mạch lực của động cơ BLDC như sau:



**Hình 3.32:** Sơ đồ mạch lực của động cơ BLDC

### 3.2.5. Tính toán tham số mạch lực

Sau khi thiết kế xong mạch lực cho động cơ BLDC thì việc tiếp theo là đi tính chọn các tham số cho các phần tử trong mạch.

Ta có tham số của động cơ như sau:

$$P_{dm}=30(\text{kW})$$

$$I_{dm}=72(\text{A})$$

### 3.2.5.1. Tính chọn mạch chỉnh lưu

Điện áp sau chỉnh lưu cầu ba pha là:

$$U_d = 2.34 \times U_2$$

Mà:

$$I_d = I_{dm} = 72(\text{A})$$

Dòng qua diot là:

$$I_D = I_d / 3 = 72 / 3 = 24(\text{A})$$

Điện áp ngược lớn nhất đặt lên van là:

$$U_{ng} = 2.45 \times U_2$$

Điện áp sau chỉnh lưu là:

$$U_d = 640(\text{V})$$

$$\mid U_2 = U_d / 2.34 = 640 / 2.34 = 273(\text{V})$$

$$\mid U_{ng} = 2.45 \times U_2 = 2.45 \times 273 = 668.85(\text{V})$$

Chọn hệ số an toàn  $K_u=2$  nên:

$$\mid U_{ngvan} = K_u \times U_{ng} = 2 \times 668.85 = 1337.7(\text{V})$$

Làm mát cho van bằng tản nhiệt nhôm nên chọn hệ số dũ trữ cho van là

$K_i=5$  nên:

$$\mid I_V = K_i \times I_D = 5 \times 24 = 120(\text{A})$$

Khi đó cần chọn van có dòng điện chảy qua van và điện áp ngược đặt lên

van phải lớn hơn hai thông số sau:

$$U_V=1337.7(V), I_V=120(A)$$

Chọn bộ chỉnh lưu cầu được tích hợp cả 6 van diot trên cùng một van.

Tên van **SEMIKRON-SKD 160/16** có  $I_V=160(A)$  và  $U_V=1600(V)$ .

### 3.2.5.2. Tính chọn mạch nghịch lưu

Do sử dụng bộ nghịch lưu ba pha nên tại mỗi thời điểm chỉ có hai van của bộ nghịch lưu dẫn để cấp điện cho các cuộn dây. Vì vậy khi đó điện áp ngược đặt lên van còn lại chính là điện áp sau chỉnh lưu.

Điện áp ngược đặt lên van IGBT là:

$$U_{ng}=U_d=640(V)$$

Điện áp ngược đặt lên diode:

$$U_{ng}=U_d/2=640/2=320(V)$$

Dòng điện chảy qua van IGBT là:

$$I_{IGBT}=I_d/2=72/2=36(A)$$

Dòng điện chảy qua diode là:

$$I_D=I_d/2=72/2=36(A)$$

Chọn hệ số an toàn:  $K_u=1.8$

Điện áp ngược của van IGBT là:

$$U_{ngvan}=K_u \times U_{ng}=1.8 \times 640=1152(V)$$

Điện áp ngược của diode là:

$$U_{ngvan}=K_u \times U_{ng}=1.8 \times 320=576(V)$$

Do tản nhiệt cho van là loại tản nhiệt nhôm nên chọn hệ số dự trữ là:  $K_i=5$  nên:

$$I_V=K_i \times I_{IGBT}=5 \times 36=180(A)$$

Dòng chảy qua diode là:  $I_{VD}=K_i \times I_D=5 \times 36=180(A)$

Khi đó cần chọn van có dòng điện chảy qua van và điện áp ngược đặt lên

van phải lớn hơn hai thông số sau:  $U_V = 1152(V)$ ,  $I_V = 180(A)$

Chọn van nghịch lưu là loại đơn nên phải có 6 van để ghép thành mạch nghịch lưu. Tên van **MBN200F12** của hãng HITACHI có các thông số:

$$I=200(A), U=1200(V), U_{GE}=\pm 20(V), t_{on}=0.5\mu s, t_{off}=1\mu s$$

### 3.2.5.3. Tính chọn tụ lọc

Tụ điện có vai trò san phẳng điện áp vì thế dòng điện xoay chiều chạy qua tụ càng nhiều thì chất lượng điện áp ra càng phẳng tức là loại được các sóng bậc cao. Vì thế tụ có dung lượng càng lớn thì lọc càng tốt. Để chọn tụ chúng ta dùng công thức:

$$C = \frac{ET_t}{3.R_t \Delta U_c} \cdot (1 - \ln 2)$$

Để đơn giản ta tính chọn tụ theo công thức.

$$C = \frac{3.T_t}{R_t} = \frac{3.L_t}{R_t} = 3x0, \frac{011475}{0,38025^2} = 0,238(F)$$

## CHƯƠNG 4.

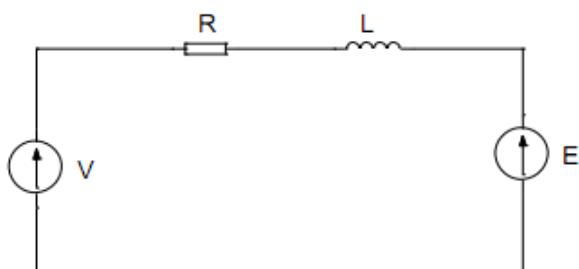
### TÌM HIỂU PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG CẤU TRÚC HỆ TRUYỀN ĐỘNG VÀ MÔ PHỎNG

#### 4.1. TỔNG HỢP CÁC BỘ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ VÀ DÒNG ĐIỆN CHO ĐỘNG CƠ BLDC

##### 4.1.1. Mô hình 1 pha của động cơ một chiều không chổi than

Động cơ BLDC có 3 cuộn dây stator và rotor được làm bằng nam châm vĩnh cửu. Nếu thực hiện việc thiết kế bộ điều khiển cho động cơ trong mối quan hệ điện - từ - cơ giữa các pha của stator, giữa stator với rotor... thì khối lượng công việc sẽ rất lớn thậm chí là không thể nếu thực hiện tính toán bằng tay. Vì vậy việc xây dựng mô hình động cơ thường được làm đơn giản hóa bằng cách đưa về phân tích mô hình tương đương 1 pha của động cơ. Đây cũng là bước cơ sở để đem lại mô hình của bộ điều khiển. Các thông số của bộ điều khiển có thể sẽ được hiệu chỉnh lại sau khi tiến hành ghép nối với toàn bộ hệ thống.

Mạch tương đương 1 pha của động cơ BLDC được trình bày trong hình 4.1.



**Hình 4.1:** Mạch tương đương một pha động cơ BLDC  
Với mạch trên, phương trình cân bằng điện áp sẽ là:

$$V = R.i + L \frac{di}{dt} + e = R.i + L \frac{di}{dt} + K_e \cdot \omega_m \quad (4-1)$$

Do từ trường của nam châm vĩnh cửu là không đổi nên momen điện từ M sẽ tỷ lệ với dòng điện:

$$M = K_t \cdot I \quad (4-2)$$

Trong chương trước, phương trình động học của động cơ đã được trình bày, nếu bỏ qua thành phần hệ số nhót do rất nhỏ, sẽ có:

$$M = (J_m + J_c) \frac{d\omega_m}{dt} + M_c \quad (4-3)$$

Chuyển (4-1) sang dạng sử dụng toán tử Laplace được:

$$V = R.I + L.s.I + K_e \cdot \omega_m = (L.s + R).I + K_e \cdot \omega_m$$

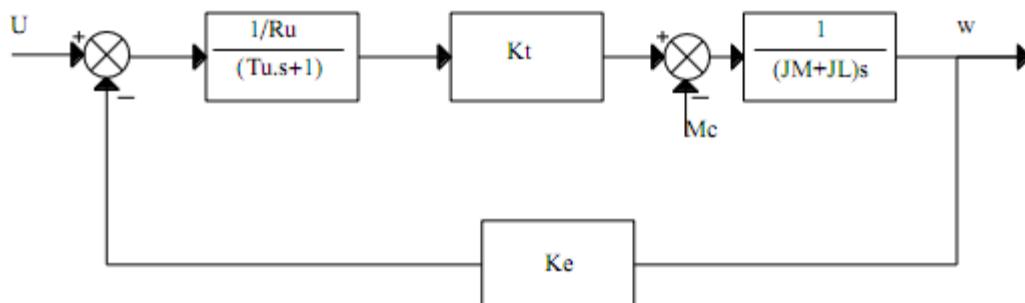
$$I = \frac{V - K_e \cdot \omega_m}{L.s + R} \quad (4-4)$$

Kết hợp hai phương trình (4-2) và (4-3) ta có

$$M - M_c = (J_m + J_c)s \cdot \omega_m = K_t \cdot I - M_c$$

$$\omega_m = \frac{K_t \cdot I - M_c}{(J_m + J_c)s} \quad (4-5)$$

Từ (3-4), (4-5) suy ra mô hình động cơ một chiều không chổi than như sau:



**Hình 4.2:** Mô hình tương đương 1 pha động cơ BLDC

#### 4.1.2. Tổng hợp các bộ điều chỉnh của động cơ BLDC

Trong lĩnh vực truyền động điện, một trong những khâu quan trọng nhất là tổng hợp các bộ điều chỉnh bởi bộ điều chỉnh chính là yếu tố quyết

định chất lượng động và tĩnh của hệ truyền động điện. Nhiệm vụ của bộ điều chỉnh là khuếch đại tín hiệu sai lệch nhỏ của hệ và tạo hàm điều khiển để đảm bảo chất lượng.

Đầu vào của bộ điều chỉnh thông thường là tín hiệu sai lệch giữa tín hiệu đặt và tín hiệu thực của hệ thống. Đầu ra của bộ điều chỉnh có thể được dùng làm tín hiệu điều khiển đưa đến đầu vào của bộ điều chỉnh khác hoặc làm tín hiệu điều khiển một đối tượng khác trong hệ truyền động. Tùy thuộc vào loại tín hiệu điều khiển mà người thiết kế có thể sử dụng các bộ điều chỉnh tương ứng. Có thể là bộ điều chỉnh số, tương tự, bộ điều chỉnh xung bộ điều chỉnh thích nghi.... Ngày nay, một trong những bộ điều chỉnh thông dụng nhất là bộ Tỷ lệ Tích phân Vi phân PID bởi sự đơn giản trong cấu trúc cũng như trong các phương pháp tìm tham số.

Khi tổng hợp bộ điều chỉnh (tìm ra cấu trúc và tham số của bộ điều chỉnh) cho các hệ truyền động nhiều thông số, người ta thường phân tích hệ thống thành nhiều vòng lặp, mỗi vòng lặp đại diện cho một thông số và các bộ điều chỉnh của các vòng lặp được nối cấp với nhau. Cho đến nay, chưa có nhà khoa học nào tìm ra được một phương pháp chung để tổng hợp các bộ điều chỉnh nối cấp hoặc các phương pháp đã có thì cũng chưa thật hoàn thiện bởi vì mỗi hệ thống khác nhau thì độ phức tạp cũng khác nhau. Thực chất, mục tiêu cuối cùng của các phương pháp là tìm ra bộ tham số tối ưu cho bộ điều chỉnh.

Hiện nay để tổng hợp, các phương pháp tính toán gần đúng được sử dụng nhiều. Nó mang tính định hướng trong thiết kế cũng như trong việc chỉnh định và vận hành hệ truyền động. Có hai tiêu chuẩn tối ưu phổ biến, đó là tiêu chuẩn module tối ưu và tiêu chuẩn tối ưu đối xứng. Mỗi một tiêu chuẩn có phạm vi ứng dụng riêng và ưu nhược điểm cụ thể. Tùy thuộc vào độ phức tạp của hệ thống thực tế mà việc lựa chọn tiêu chuẩn để tổng hợp cũng khác nhau.

Luận văn sẽ sử dụng 2 tiêu chuẩn tối ưu này để thiết kế các bộ điều chỉnh cho động cơ BLDC. Cụ thể là động cơ với các tham số sau:

Điện trở một pha:  $R_u = 0.38205 (\Omega)$

Điện cảm một pha:  $L_u = 11.475 \cdot 10^{-3} (H)$

Tốc độ không tải:  $n_0 = 2069 (v/ph)$

$$\omega_0 = 216.555 (rad/s)$$

Dòng định mức:  $I_{dm} = 72(A)$

Momen định mức:  $249.11(N.m)$

Momen quán tính:  $J_m = 0.185(kg.m^2)$

Hệ số momen:  $K_t = 2.54 (N.m/A)$

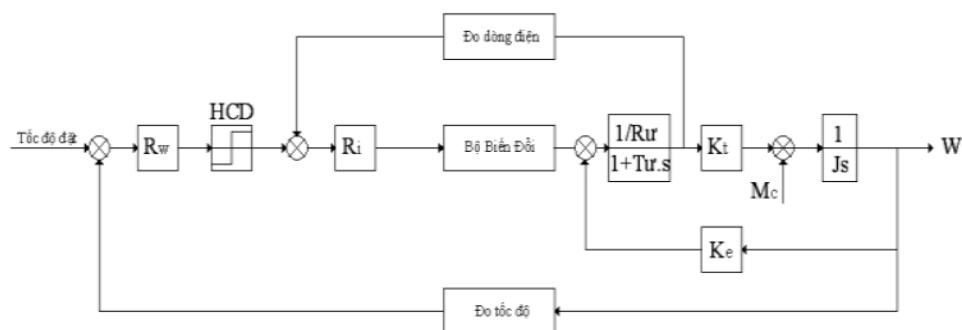
Hệ số sức điện động:  $K_e = 2.25(V/rad/s)$

Số cốt cực:  $p=4$

Điện áp định mức:  $V_{dm} = 640 (V)$

#### 4.1.3. Mô hình hệ thống điều khiển 1 pha động cơ BLDC

Khi điều khiển động cơ bất kỳ, tham số cần quan tâm đầu tiên là dòng điện và tốc độ. Điều khiển tốc độ để đảm bảo tốc độ thực của động cơ luôn phải bám theo một lượng đặt cho trước. Điều khiển dòng điện của động cơ cũng chính là điều khiển momen, đảm bảo động cơ luôn cấp một lượng momen ứng với yêu cầu của tải. Tuy nhiên, sự phù hợp giữa momen và tốc độ phải tuân theo đường đặc tính cơ của động cơ. Sơ đồ hệ thống



điều khiển một pha của động cơ BLDC được trình bày trong hình 4.3 sau:

**Hình 4.3:** Mô hình hệ thống điều khiển 1 pha động cơ BLDC

Trong mô hình trên, hai bộ điều chỉnh tốc độ và điều chỉnh dòng

điện tương ứng là  $R^{\omega}$  và  $R_i$ . Bộ biến đổi ở đây là bộ chuyển mạch dùng 6 van MOSFET mắc theo kiểu nghịch lưu nguồn áp. Các phần tử đo gồm đo tốc độ sử dụng phát tốc hoặc Encoder và đo dòng điện sử dụng điện trở shunt hoặc máy biến dòng.

#### **4.1.4. Hàm truyền đạt của các khối chức năng trong mô hình hệ điều khiển**

##### **4.1.4.1. Khối bộ biến đổi**

Hàm truyền của bộ biến đổi có dạng:

$$W_{bd} = \frac{K_{bd}}{(1 + s \cdot T_{dk}) \cdot (1 + s \cdot T_{v0})}$$

(4-6)

Trong đó,  $T_{dk}$  và  $T_{v0}$  lần lượt là các hằng số thời gian mạch điều khiển và hằng số thời gian chuyển mạch nghịch lưu của van bán dẫn. Hệ số khuếch đại được tính theo tỷ số giữa điện áp ra khỏi bộ biến đổi và điện áp điều khiển đặt vào bộ biến đổi.

$$K_{bd} = \frac{U_{dcmax}}{U_{dk\ max}} = \frac{640/2}{10} = \frac{320}{10} = 32 \quad (4-7)$$

Do tốc độ lớn nhất của động cơ là 216,555 rad/s nên tần số lớn nhất của động cơ là  $f_{max} = 216,555 / (2 \cdot 3,14) = 33,9$  Hz. Nếu dùng phương pháp điều khiển PWM thì tần số PWM phải lớn hơn 10 lần tần số lớn nhất của động cơ, như vậy tần số chuyển mạch tối thiểu của một pha dùng PWM sẽ là:  $3 \times 33,9 \times 10 = 1017$  Hz.

Do đó, thời gian điều khiển  $T_{dk}$  cần phải tuân theo biểu thức:

$$T_{dk} = 0,00098 \quad (4-8)$$

Chọn  $T_{dk} = 0,00098$  (s)

Chọn thời gian  $T_{vo} = 0,0001$ (s)

Như vậy, bộ biến đổi được biểu diễn bởi hàm truyền:

$$W_{bd} = \frac{3z}{(1 + s \cdot 0,00098) \cdot (1 + s \cdot 0,0001)}$$

(4-9)

Từ phương trình (4.6) ta có:

$$W_{bd} = \frac{K_{bd}}{(1 + s \cdot T_{dk}) \cdot (1 + s \cdot T_{vo})} = \frac{K_{bd}}{s^2 \cdot T_{dk} \cdot T_{vo} + s \cdot (T_{dk} + T_{vo} + 1)} \quad (4-10)$$

Đặt:

$$T_{bd} = T_{dk} + T_{vo} = 0,00098 + 0,0001 = 0,00108 \quad (4-11)$$

Ta có thành phần  $T_{dk}$  và  $T_{vo}$  nhỏ nên thành phần  $T_{dk} \cdot T_{vo}$  là rất bé nên có thể bỏ qua thành phần này. Khi đó ta có thể bỏ thành phần vi phân bậc cao ở mẫu số.

Do đó, hàm truyền của bộ biến đổi sẽ là:

$$W_{bd} = \frac{K_{bd}}{s \cdot T_{bd} + 1} = \frac{3z}{s \cdot 0,00108 + 1} \quad (4-$$

12)

Sau khi tối giản hàm truyền của bộ biến đổi thì hàm truyền này được dùng thực hiện tổng hợp bộ điều khiển để cho quá trình tổng hợp trở nên đơn giản hơn.

#### 4.1.4.2. Khâu đo dòng điện - phản hồi dòng

Bộ đo dòng điện có thể được chọn là một khâu trễ với dạng hàm truyền như sau:

$$W_i = \frac{K_i}{s \cdot T_i + 1} \quad (4-13)$$

Để tránh bão hòa bộ điều khiển, cần phải tính toán với các thông số lớn nhất. Trong trường hợp này, cần phải tính với dòng điện lớn nhất của động cơ là lúc dòng mở máy là:

$$I_{khối\,đóng} = 123 \text{ (A)}$$

Hệ số khuếch đại dòng:

$$K_i = U_{radm} / I_{khối\,đóng} = 10 / 123 = 0,0578$$

Chọn hằng số thời gian:

$$T_i = 0,0001 \text{ (s)} \quad (4-14)$$

Do đó hàm truyền của bộ phản hồi dòng điện:

$$W_i = \frac{0,0578}{1 + 0,0001 \cdot s} \quad (4-15)$$

#### **4.1.4.3. Khâu đo tốc độ - phản hồi tốc độ**

Khâu phản hồi tốc độ có hàm truyền:

$$W_\omega = \frac{K_\omega}{s \cdot T_\omega + 1} \quad (4-16)$$

$$\text{Trong đó: } W_\omega = U_{radm} / \omega_{max} = 10 / 216.555 = 0,0461$$

Chọn hằng số thời gian khâu phản hồi tốc độ:

$$T_\omega = 0,001 \text{ (s)} \quad (4-17)$$

Như vậy, hàm truyền bộ phản hồi tốc độ sẽ là:

$$W_\omega = \frac{0,0461}{1 + 0,0001 \cdot s}$$

$$(4-18)$$

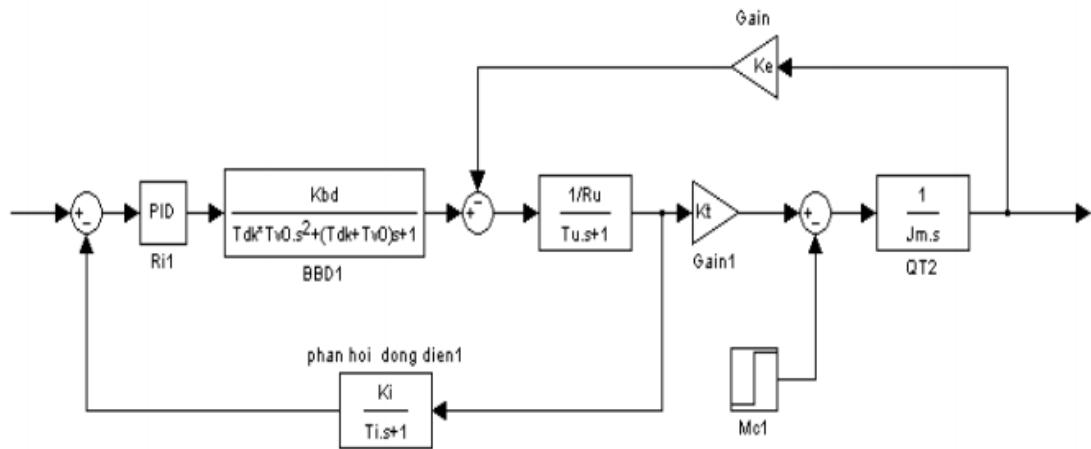
#### **4.1.5. Tổng hợp mạch vòng dòng điện**

Ta có đối với động cơ lớn thì momen quán tính của động cơ là khá lớn và hệ số nhót B của trục động cơ là bé so với J nên ta có thể coi giá trị

sức điện động chưa kịp thay đổi trong khoảng thời gian mì děng điện đã đáp ứng.

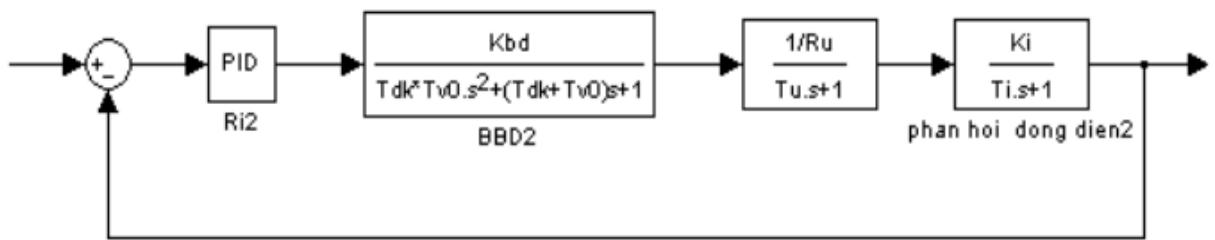
Ta có hằng số thời gian điện tử là:

$$T_u = L_u / R_u = 0.011475 / 0.38205 = 0.03 \text{ (s)} \quad (4-19)$$



**Hình 4.4:** Mô hình mạch vòng dòng điện có xét tới ảnh hưởng của BEMF động cơ BLDC

Do động cơ công suất lớn nên ta có thể bỏ qua sự thay đổi của sức phản điện động E trong thời gian ngắn khi đó ta có thể đơn giản mạch vòng điều khiển dòng điện như sau:



**Hình 4.5:** Mô hình mạch vòng dòng điện tối giản của động cơ BLDC

Ta có hàm truyền của đối tượng là:

$$W_{dt} = \frac{K_{bd} \cdot 1 / R_u \cdot K_i}{(1 + s \cdot T_{bd}) \cdot (1 + s \cdot T_u) \cdot (1 + s \cdot T_i)} \quad (4-20)$$

Ta có hằng số thời gian  $T_{bd}$  từ biểu thức (4.11), hằng số thời gian  $T_i$  từ biểu thức (4.14), hằng số thời gian  $T_u$  từ biểu thức (4.17) ta có  $T_u$  lớn hơn nhiều lần so với  $T_{bd}$  và  $T_i$  nên ta có thể xấp xỉ hai thành phần hằng số thời gian  $T_{bd}$  và  $T_i$  lại với nhau, ta được:

$$T_s = T_{dk} + T_{vo} + T_i = 0.00098 + 0.0001 + 0.0001 = 0.00118 \text{ (s)}$$

(4-21)

Khi đó ta có hàm truyền đối tượng

là:

$$W_{dt} = \frac{K_{bd} \cdot 1 / R_u \cdot K_i}{(1 + s \cdot T_u) \cdot (1 + s \cdot T_s)}$$

(4-22)

Khi đó áp dụng tiêu chuẩn tối ưu modul cho đối tượng trên ta có bộ điều chỉnh dòng điện là khối PI.

Bộ điều chỉnh dòng sẽ có dạng:

$$R_i = \frac{1 + T \cdot s}{K \cdot T \cdot s}$$

(4-23)

Trong đó:

$$K = \frac{2 \cdot K_{bd} \cdot K_i \cdot T s}{R_u \cdot T_u} \text{ và } T = T_u$$

Thay số vào ta có:

$$R_i = \frac{1 + T_u \cdot s}{K \cdot T_u \cdot s} = \frac{1 + 0,03 \cdot s}{0,01 \cdot s}$$

Khi đó hàm chuẩn của tiêu chuẩn tối ưu module có dạng là.

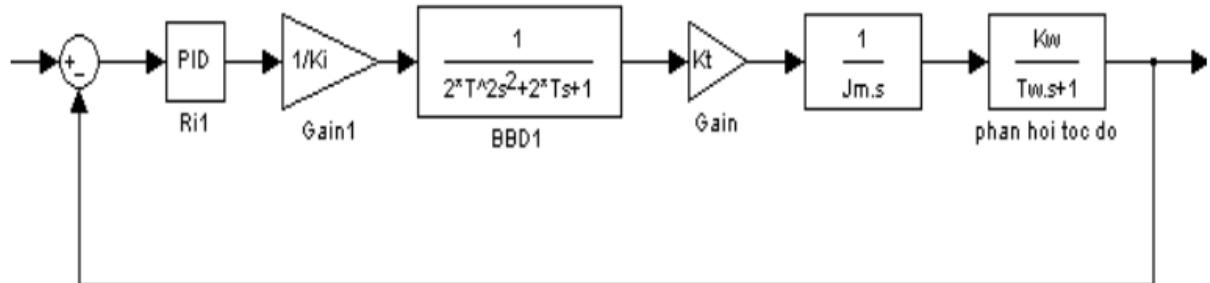
$$F_k = \frac{1}{2 \cdot T_S^2 s^2 + 2 \cdot T_S \cdot s + 1}$$

(4-24)

#### 4.1.6. Tổng hợp mạch vòng tốc độ

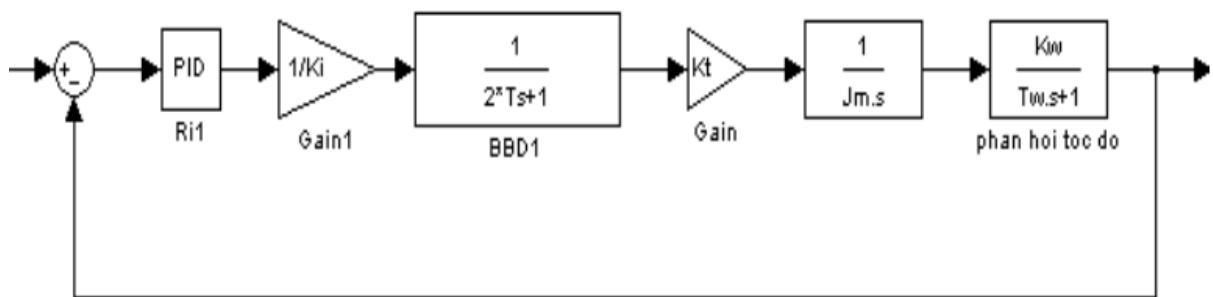
Khi tổng hợp mạch vòng tốc độ thì mạch vòng dòng điện được thay

bằng hàm chuẩn và bỏ qua sự ảnh hưởng của sức phản điện động và mômen cản vì trong thời gian nhỏ thì các thành phần thay đổi chậm.



**Hình 4.6:** Mô hình mạch vòng tốc độ của động cơ BLDC

Ta có dạng hàm chuẩn từ biểu thức (4-24) do hằng số thời gian  $T_s$  bé nên ta có thể bỏ qua thành phần  $s^2$  ở mẫu số của hàm chuẩn để thuận lợi cho việc tổng hợp. Khi đó ta có mô hình của mạch vòng tốc độ như sau:



**Hình 4.7:** Mô hình tối giản mạch vòng tốc độ của động cơ BLDC

Hàm truyền của hệ hở là:

$$W_{dt} =$$

$$\frac{K_t \cdot K_\omega}{K_t \cdot (1 + 2 \cdot s T_s) \cdot (1 + s \cdot T_\omega) \cdot (s \cdot J_m)} = \frac{R_u \cdot K_\omega}{K_t \cdot K_e \cdot T_c \cdot s \cdot (1 + 2 \cdot s \cdot T_s) \cdot (1 + s \cdot T_\omega)} \quad (4-25)$$

Ta có hằng số thời gian cơ:

$$T_c = \frac{J_m \cdot R_u}{K_t \cdot K_e} = \frac{0,185 \cdot 0,38205}{2,54 \cdot 2,25} = 0,0124(s) \quad (4-26)$$

Ta có trong biểu thức (4-20) thì có thể ước lượng khâu quán tính bậc hai về khâu quán tính bậc nhất bằng cách giản ước thành phần vi phân bậc hai vì hai hằng số thời gian  $T_s$  và  $T_\omega$  bé nên tích của hai thành phần này có

thể bỏ qua. Khi đó ta có hàm truyền hệ hở là:

$$W_{dt} = \frac{(R_i u. K_i \omega) / (K_i i. K_i e. T_d c.s. (1 + 2.s.T_d s). (1 + s.T_d \omega))}{(4-27)} \approx \frac{(R_d u. K_d \omega) / (K_d i. K_d e. T_d)}{(4-27)}$$

Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng cho đối tượng trên thì ta có bộ điều chỉnh tốc độ có dạng:

$$R_d = \frac{T_c}{2.K.T_s^1} \times \frac{1 + 4.T_s^1}{4.T_s^1.s} \quad (4-$$

28)

Thay số vào ta có:

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{\frac{0,0124}{2,038025.0,0461} \times \frac{1 + 4.(0,001 + 2,000118).s}{4.(0,001 + 2,000118).s}}{\frac{2,25}{2,54}} \\ &= \frac{1018,58.(1 + 0,01344.s)}{s} \end{aligned}$$

Dạng hàm chuẩn của tiêu chuẩn tối ưu đối xứng là:

$$F_k = \frac{1 + 4.T_s^1.s}{8.T_s^{13}.s^8 + 8.T_s^{12}.s^8 + 4.T_s^1.s + 1}$$

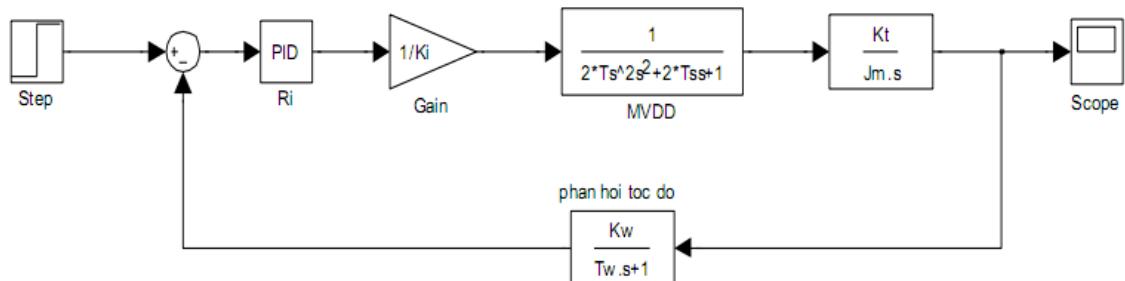
Điều kiện mô phỏng:

$$K_p = 13.689$$

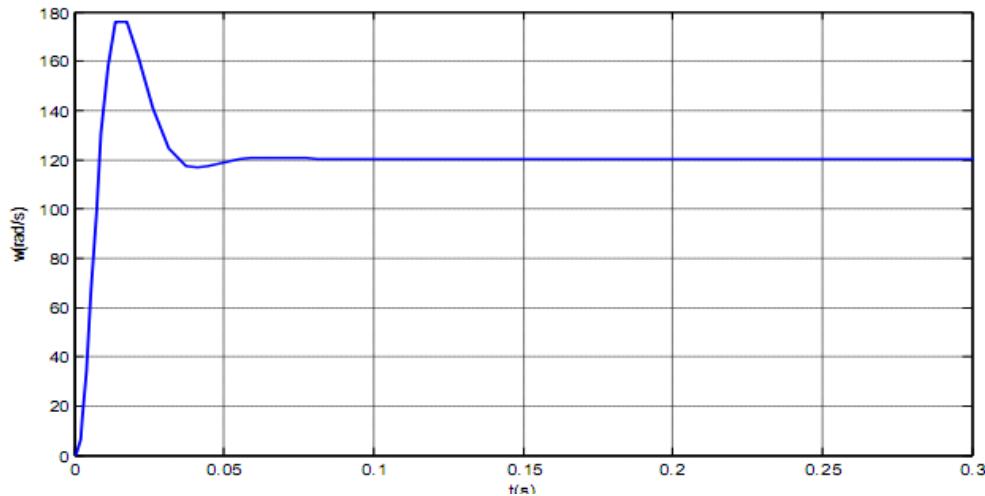
$$K_i = 1018.58$$

$$\text{Giá trị đặt là } 5.528$$

Ta có mô hình mạch vòng tốc độ trong trường hợp chưa có khâu lọc đầu vào:

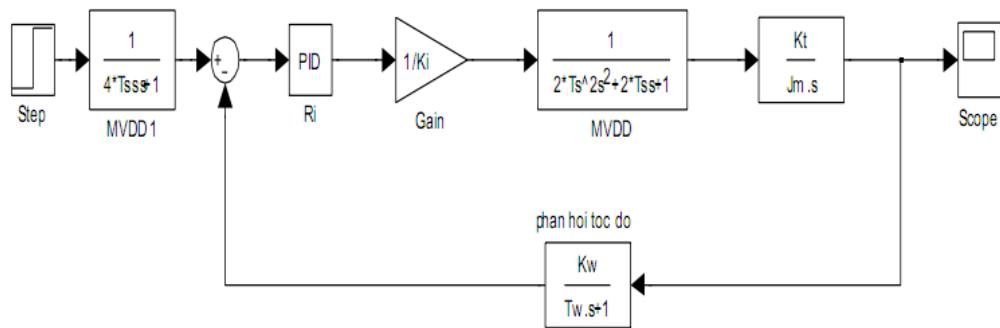


**Hình 4.8:** Mô hình mạch vòng tốc độ của động cơ BLDC khi chưa có khâu lọc đầu vào

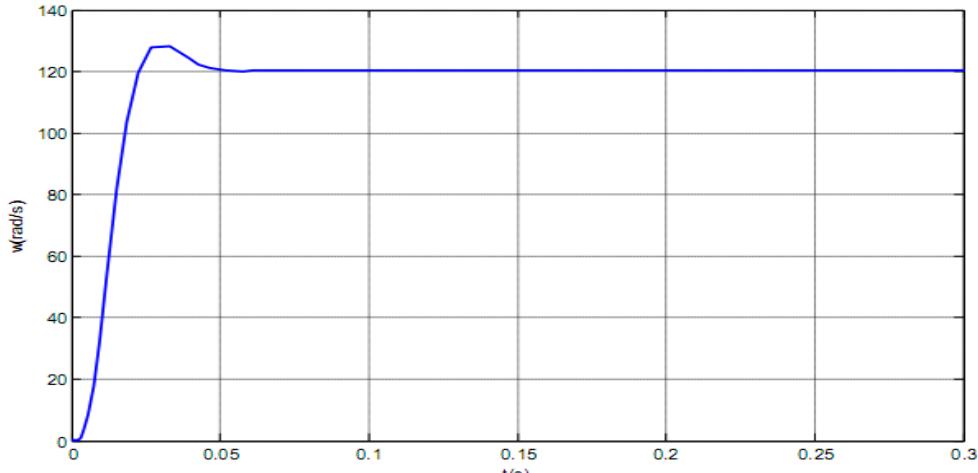


**Hình 4.9:** Đặc tính mạch vòng tốc độ của động cơ BLDC khi chưa có khâu lọc đầu vào

Ta có mô hình mạch vòng tốc độ trong trường hợp có khâu lọc đầu vào là:



**Hình 4.10:** Mô hình mạch vòng tốc độ của động cơ BLDC khi có khâu lọc đầu vào



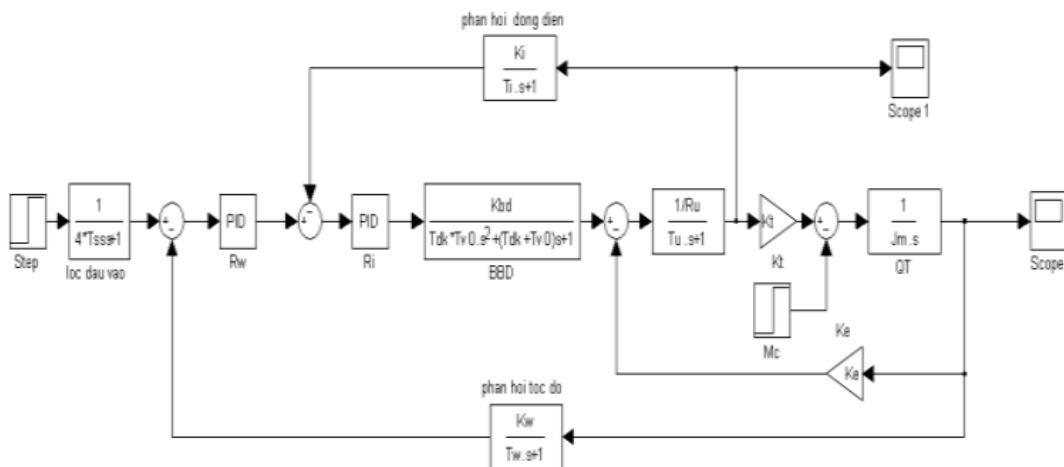
**Hình 4.11:** Đặc tính mạch vòng tốc độ của động cơ BLDC khi có khâu lọc đầu vào

#### 4.1.7. Mô phỏng mô hình một pha của động cơ BLDC

Sau khi tổng hợp các bộ điều khiển cho các mạch vòng điều chỉnh thì chúng ta thực hiện ghép hai mạch vòng lại và để có được cấu trúc của mô hình một pha với đầy đủ các tham số của bộ điều khiển.

Mục đích của việc thực hiện mô phỏng lại cấu trúc đầy đủ là để kiểm tra xem quá trình tổng hợp đã đúng chưa và các điều kiện bỏ qua khi tổng hợp có ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng của mô hình một pha hay không.

Ghép các mạch vòng lại với nhau thì ta có cấu trúc một pha của động cơ BLDC là:



**Hình 4.12:** Mô hình mô phỏng một pha của động cơ BLDC

Điều kiện mô phỏng:

$R^{\omega}$  :

$$K_p = 13.689$$

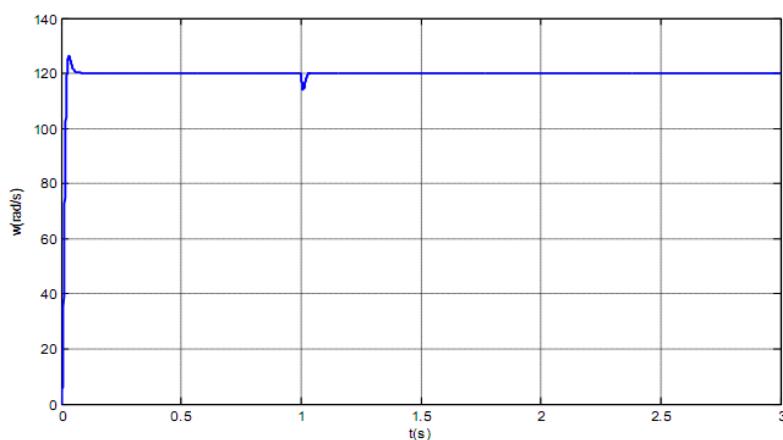
$$K_i = 1018.58$$

$R_j$ :

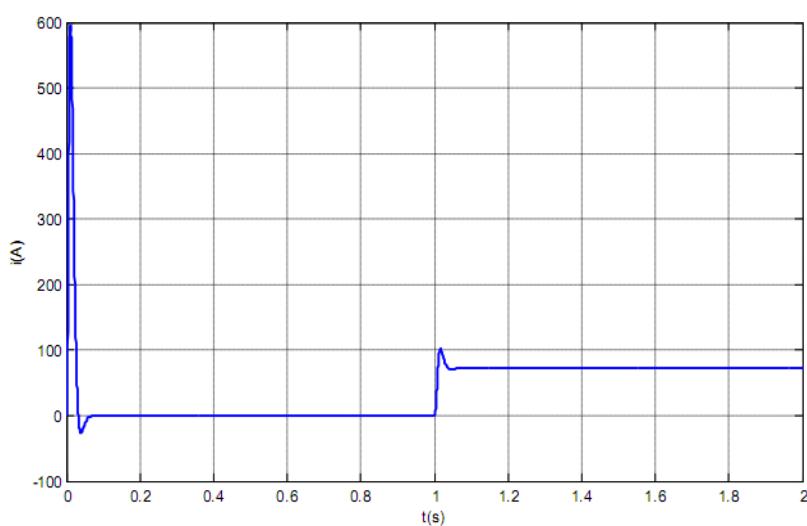
$$K_p = 3$$

$$K_i = 100$$

$$\text{Giá trị đặt} = 5.528$$



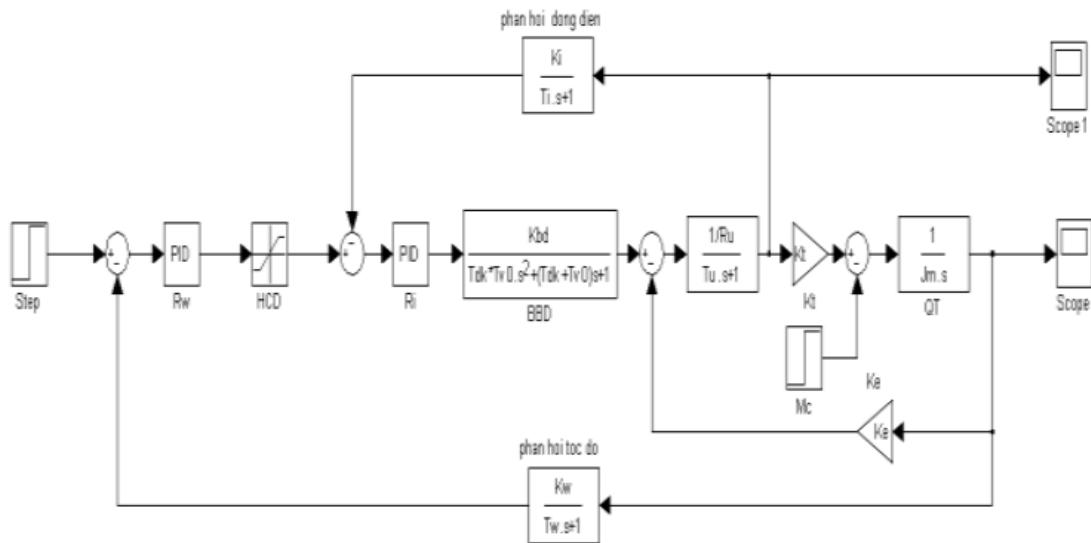
**Hình 4.13:** Kết quả mô phỏng đáp ứng tốc độ



**Hình 4.14:** Kết quả mô phỏng đáp ứng dòng điện

**Nhận xét:** Khi ghép hai mạch vòng lại thì kết quả đáp ứng tốc độ không thay đổi so với việc tổng hợp mạch vòng tốc độ còn đáp ứng dòng

điện thì khi khởi động dòng điện động cơ lên khá cao. Vì vậy cần hiệu chỉnh lại bộ điều khiển và cho thêm khâu hạn chế dòng điện để cho dòng điện khởi động không lên quá cao có thể làm hỏng động cơ. Khi đó ta có mô hình một pha của động cơ BLDC như sau:



**Hình 4.15:** Mô hình một pha có khâu hạn chế dòng điện của động cơ BLDC

Sau quá trình hiệu chỉnh thì tìm ra được tham số của hai bộ điều khiển dòng điện và tốc độ như sau:

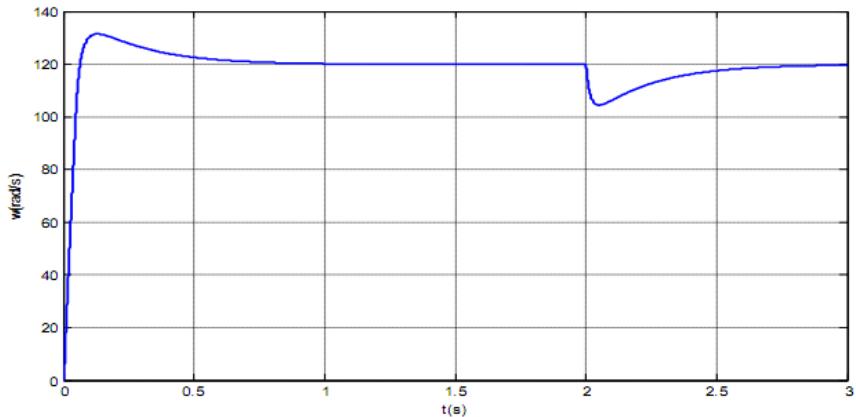
$$R_\omega$$

$$K_p = 5 \quad K_i = 20$$

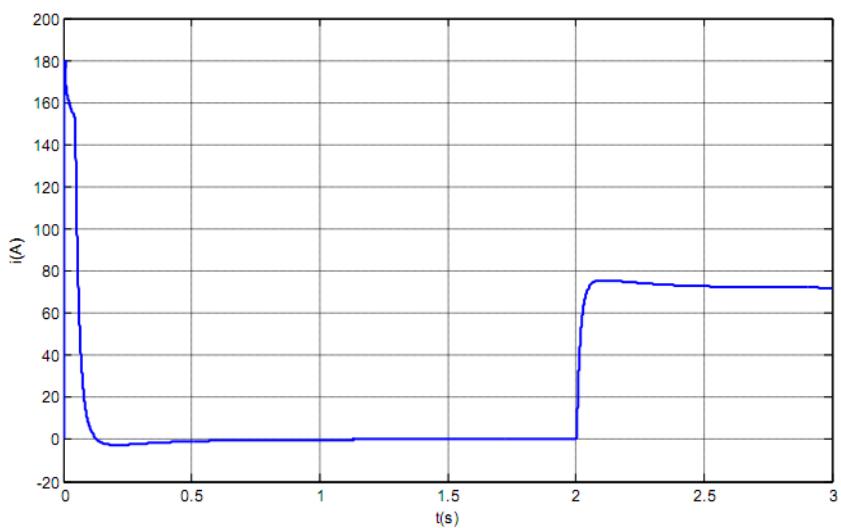
$$R_i$$

$$K_p = 3 \quad K_i = 100$$

*Kết quả mô phỏng:*



**Hình 4.16:** Kết quả mô phỏng đáp ứng tốc độ



**Hình 4.17:** Kết quả mô phỏng đáp ứng dòng điện

#### Nhận xét kết quả mô phỏng:

Sau khi hiệu chỉnh thì các kết quả đặc tính thu được cho thấy bộ điều chỉnh hai mạch vòng làm việc tốt. Dòng điện khởi động là 180(A) là điểm cao nhất của đặc tính dòng điện, với giá trị dòng điện định mức của động cơ là 72(A) thì giá trị trên hoàn toàn có thể chấp nhận.

Khi đóng tải thì dòng điện của động cơ đã bám giá trị định mức với độ quá điều chỉnh rất bé không gây sốc cho động cơ nên không sinh ra các lực điện từ làm hỏng kết cấu của động cơ trong quá trình làm việc. Độ quá điều chỉnh của tốc độ động cơ là 9.8% . Tốc độ của động cơ sau một thời gian quá độ là  $t_{qd}=0.8s$  thì đã bám vào giá trị đặt, còn khi đóng tải thì tốc

độ động cơ có sụt xuống và sau khoảng thời gian nhỏ  $t_{qd}=0.8s$  thì tốc độ động cơ lại quay lại bám giá trị đặt.

## **4.2. Xây dựng và mô phỏng mô hình 3 pha của động cơ BLDC**

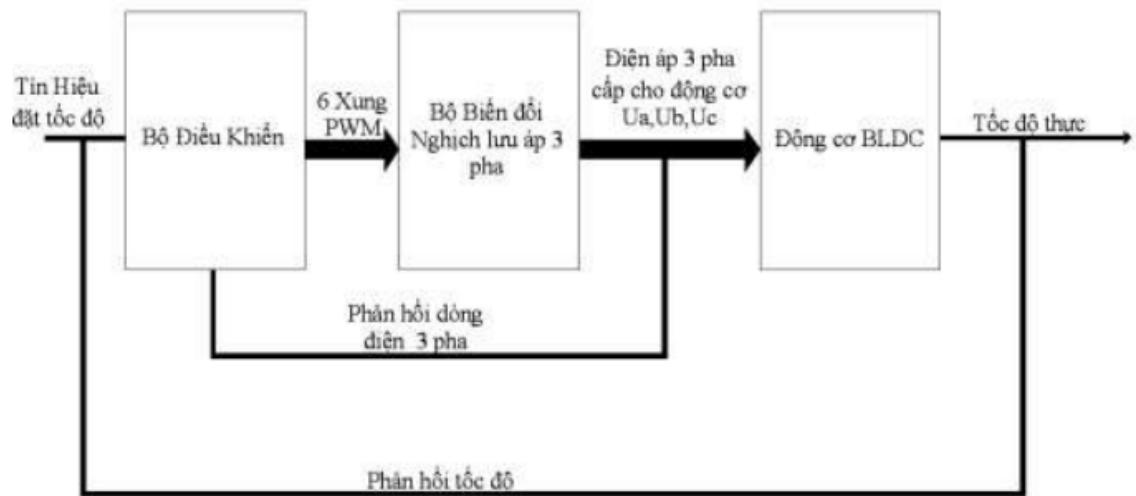
Sau khi thực hiện việc mô phỏng cho mô hình một pha của động cơ BLDC và tìm ra bộ điều khiển cho mạch vòng điều chỉnh thì chúng ta thực hiện xây dựng mô hình 3 pha của động cơ BLDC thông qua các phương trình cơ điện đã có.

### **4.2.1. Xây dựng tổng quan mô hình hệ điều khiển động cơ BLDC**

Trong mô hình một pha cũng như trong phương trình hàm truyền của

động cơ BLDC thì chúng ta đều thực hiện việc giản ước các ảnh hưởng nhỏ đến chất lượng của hàm truyền đạt để thuận lợi cho việc tổng hợp cũng như xây dựng mô hình. Tuy nhiên trong quá trình mô phỏng cho động cơ mà xây dựng hệ thống từ các phần tử điện thực có thứ nguyên như cuộn dây, điện trở, các van bán dẫn... thì kết quả mà chúng ta nhận được sẽ chính xác hơn. Bên cạnh đó thì một số khâu có thể vẫn được tối giản để việc thiết kế đơn giản hơn và rút ngắn được thời gian mô phỏng như các thành phần của hệ điều khiển, các bộ phản hồi dòng, phản hồi tốc độ vẫn được trình bày dưới dạng các hàm truyền đạt toán học. Đặc biệt là các bộ điều chỉnh hoàn toàn có thể sử dụng mô hình hàm truyền để mô phỏng vì trên thực tế các bộ điều chỉnh thường được lập trình và đưa vào vi điều khiển để thực hiện thuật toán.

Mô hình hệ thống điều khiển động cơ tổng quát được trình bày trong hình 4.18:



**Hình 4.18:** Hệ thống điều khiển động cơ BLDC

Mô hình được xây dựng thành 3 khối chính là:

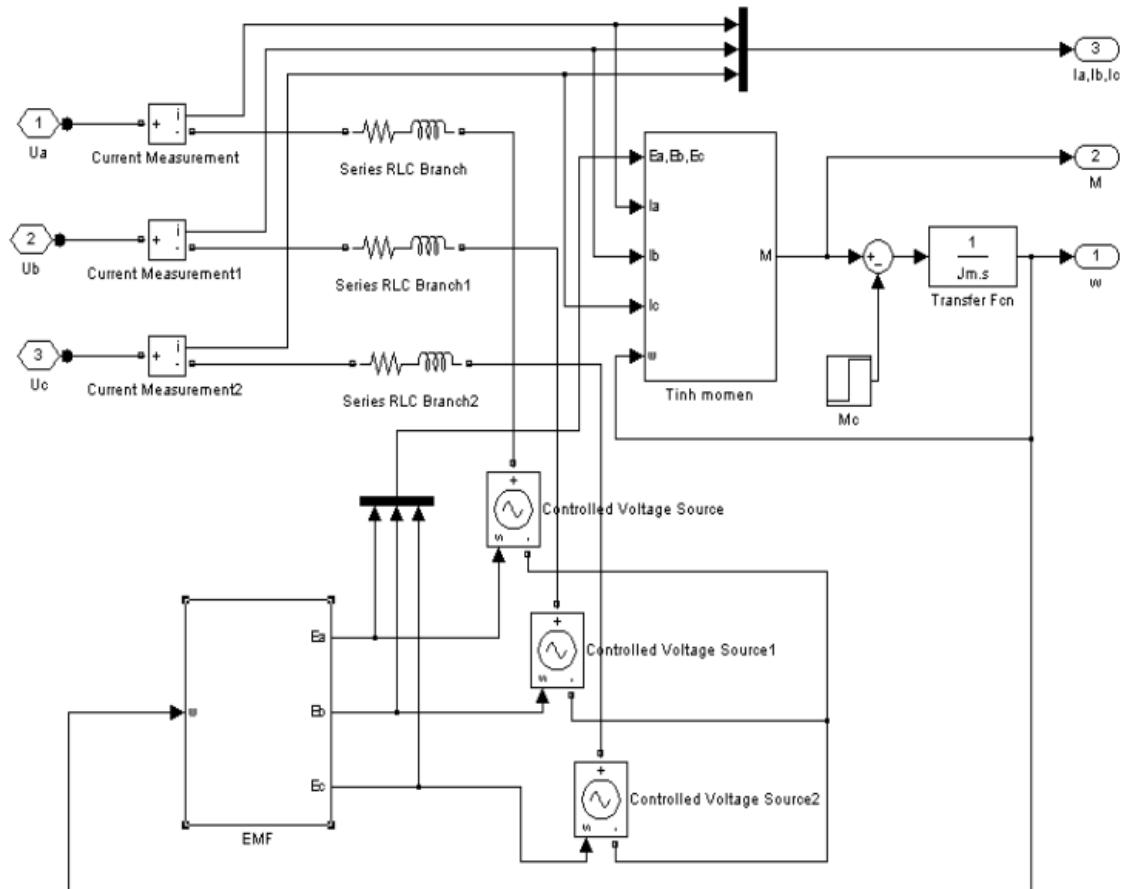
- + Khối bộ điều khiển: bao gồm các bộ điều chỉnh tốc độ, dòng điện, hạn chế dòng điện, khôi tạo dạng dòng điện, khâu điều chế độ rộng xung. Tín hiệu vào của khôi là tín hiệu đặt tốc độ, các tín hiệu phản hồi dòng điện và phản hồi tốc độ. Đầu ra là 6 xung điều khiển được điều biến độ rộng xung (PWM).
- + Khối bộ chuyển mạch: gồm 6 bóng MOSFET đấu theo kiểu nghịch lưu nguồn áp. Đầu vào là 6 xung PWM cấp cho 6 van. Đầu ra của khôi là 3 điện áp pha cấp cho động cơ.
- + Khối động cơ một chiều không chổi than: gồm động cơ BLDC được cấp điện 3 pha. Các giá trị dòng điện pha hay tốc độ thực sẽ được truyền về bộ điều khiển để làm tín hiệu phản hồi.

Trên thực tế, trong trường hợp này có 2 cách để lấy tín hiệu phản hồi dòng điện. Đó là lấy tín hiệu phản hồi về từ phía dòng mạch một chiều cấp cho bộ nghịch lưu và tín hiệu phản hồi lấy trực tiếp trên các pha của động cơ. Phương pháp lấy tín hiệu đầu tiên sẽ đơn giản và tiết kiệm hơn do chỉ

cần dùng 1 phần tử đo dòng điện. Trong khi đó, nếu đo dòng ở cả 3 pha thì số lượng cảm biến dòng điện tăng lên và việc điều khiển sẽ phức tạp hơn do có 3 tín hiệu phản hồi cùng mức ưu tiên. Tuy nhiên, ưu điểm của phương pháp này ở chỗ, nó đem lại tính chân thực của tín hiệu dòng điện thực chảy trong động cơ, đặc biệt là pha của tín hiệu dòng. Mục tiêu của việc mô phỏng là xem xét, tái tạo lại các đặc tính của đối tượng thực trên máy tính. Vì vậy đề tài sẽ chọn cách lấy phản hồi dòng điện trên cả 3 pha động cơ.

#### 4.2.2. Mô hình động cơ BLDC

Mô hình động cơ BLDC bao gồm 3 cuộn dây sator, 3 thiết bị đo dòng điện của các pha, khâu tính toán mômen điện từ, khâu tạo sức phản điện động, khâu quán tính của động cơ.



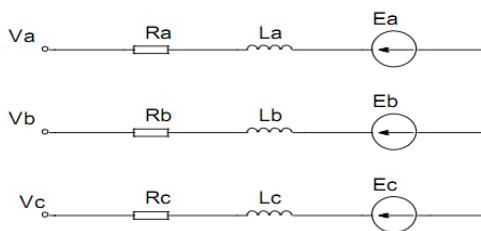
**Hình 4.19:** Mô hình mô phỏng động cơ BLDC

Sau đây là phân tích các thành phần cụ thể của mô hình động cơ BLDC

#### 4.2.2.1. Phần mạch

##### điện

Mạch nguyên lý của động cơ BLDC được xây dựng bởi các thành phần điện trở, điện cảm, sức phản điện động. Mô hình mạch nguyên lý tương ứng sẽ được ghép lại từ 3 pha và được nối thành mạch hình sao như trên hình 4.20:



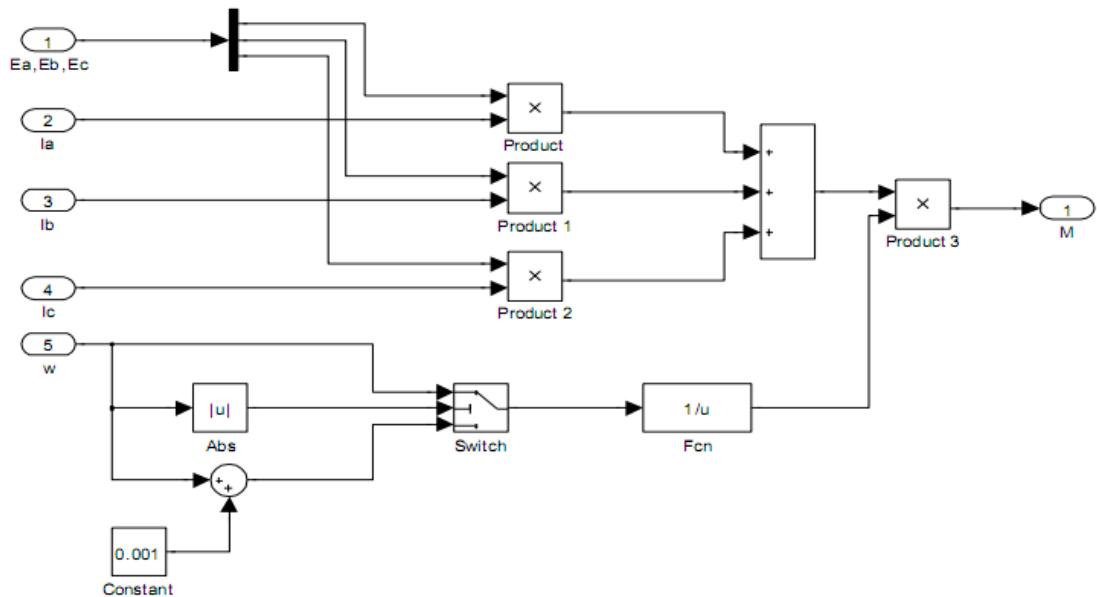
**Hình 4.20:** Mạch nguyên lý động cơ BLDC

Phần mạch bao gồm 3 cuộn dây và 3 điện trở là các thành phần của cuộn dây stator của động cơ và 3 thành phần sức phản điện động thể hiện sự tương tác giữa từ trường rotor và từ trường stator. Mỗi một nhánh là một pha bao gồm 1 điện trở và 1 cuộn dây đấu nối tiếp nhau và nối tiếp với một nguồn sức phản điện động. Do 3 cuộn dây của stator đặt lệch nhau  $120^0$  nên tương ứng sức phản điện động của 3 pha cũng lệch nhau  $120^0$ .

Trên mỗi nhánh có đặt một phần tử Measurement để đo dòng điện pha rồi sau đó sẽ được phản hồi về bộ điều khiển. Đồng thời, dòng điện này là tham số cho việc tính toán momen điện từ của động cơ.

#### 4.2.2.2. Phần tính toán

##### momen



**Hình 4.21:** Khâu tính toán momen

Momen điện từ được tính toán dựa trên các thông tin về dòng điện, súc phản điện động và tốc độ được đưa về từ các khối khác theo công thức (2-11).

Mô hình khâu tính toán momen được trình bày trong hình 4.21. Mô hình thực hiện việc nhân từng cặp súc phản điện động và dòng điện pha tương ứng rồi tính tổng của chúng. Sau đó, kết quả sẽ được nhân với nghịch đảo của tốc độ động cơ.

Cần lưu ý trong công thức (2-11) ở thời điểm khi động cơ bắt đầu quay thì tốc độ động cơ bằng 0 rad/s nên nếu ta sử dụng công thức (2-11) thì sẽ gặp phải trường hợp chia cho không nên mô hình sẽ không chạy được vì không thỏa mãn điều kiện toán học. Vì vậy trong trường hợp này chúng ta sử dụng một bộ chuyển mạch (Switch) theo nguyên lý sau:

- Nếu giá trị tuyệt đối của tốc độ xấp xỉ bằng 0, đầu ra của chuyển mạch sẽ bằng đầu vào (tốc độ) cộng với 0.001. Đây chính là việc loại bỏ trường hợp chia cho không.

- Nếu giá trị tuyệt đối của tốc độ lớn hơn 0, đầu ra bộ chuyển mạch sẽ lấy trực tiếp giá trị của tốc đó.

Momen điện từ sau khi tính toán sẽ trừ đi momen cản kết hợp với momen quán tính để có giá trị tốc độ động cơ theo công thức

$$\omega = \int \frac{M_{dt} - M_c}{J_m} . dt$$

#### 4.2.2.3. Khối tạo dạng sức phản điện động

Ta có giá trị sức phản điện động được tính theo công thức:  $E = K_e \cdot \omega$

Đối với động cơ BLDC có đặc tính sức phản điện động là hình thang nên khi mô phỏng cho mô hình của động cơ thì giá trị sức phản điện động của động cơ được tính toán từ các giá trị thực tế bằng cách dò điểm theo vị trí của rotor.

Để lấy được các giá trị sức phản điện động của động cơ thì dùng một động cơ không đồng bộ 3 pha được điều khiển bằng biến tần để kéo cho động cơ BLDC quay với tốc độ cao thường lấy là 1000 vòng/phút. Khi đó sử dụng oscilloscope số để đo điện áp hai đầu một bối dây của stator của động cơ. Sau khi lấy được các giá trị từ thiết bị đo thì các giá trị sức phản điện động được đưa vào bảng gồm có giá trị thời gian. Do đây là đặc tính thực của động cơ nên nó đóng vai trò rất quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng mô phỏng của động cơ. Vì vậy ở công đoạn này nếu việc đo càng chính xác thì việc tìm hai bộ điều chỉnh để mô phỏng cho động cơ đúng là càng thuận lợi.

Từ bảng giá trị sức phản điện động theo thời gian để đưa được vào mô hình thì ta phải quy các giá trị sức phản điện động theo giá trị góc điện hoặc góc cơ. Trong mô hình mô phỏng sử dụng góc cơ tức là giá trị sức phản điện động sẽ tương ứng với góc của rotor động cơ. Có hai cách để tạo ra dạng sức phản điện động đó là:

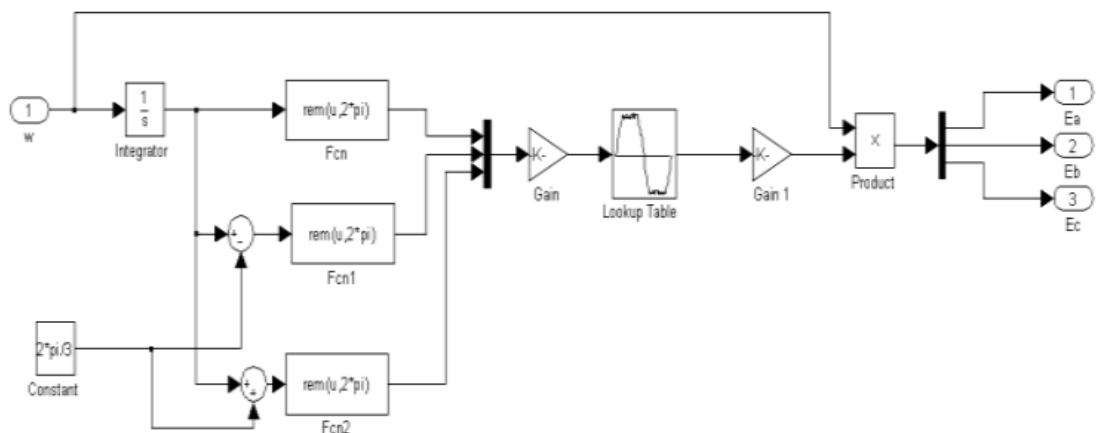
- + Dùng các khối tạo dạng tín hiệu để tạo ra dạng sức phản điện động

theo hình thang. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản nhưng nó không thể hiện hết được tính chất thực tế của dạng sức phản điện động của động cơ vì dạng tín hiệu được đưa ra là dạng hình thang bằng phẳng mà trong thực tế thì khe hở của rotor và stator nên nó có thể nhấp nhô.

+ Dùng bảng LookupTable để đưa các giá trị đã đo được vào trong bảng theo dạng ma trận hai chiều. Bảng LookupTable có một đầu vào và một đầu ra, đầu vào là giá trị góc cơ của rotor động cơ còn đầu ra là giá trị sức phản điện động đã đo được ở tốc độ 1000 vòng/phút. Ưu điểm của phương pháp này là chính xác hơn và thể hiện được sự nhấp nhô của sức phản điện động .

Đồng thời do tín hiệu ra của sức phản điện động là 3 pha lệch nhau  $120^0$  về góc pha nên để tạo được tín hiệu điện áp ra lệch thì chúng ta thực hiện cộng, trừ giá trị góc của rotor đi  $120^0$  thì chúng ta sẽ có được tín hiệu của 3 pha lệch nhau.

Cấu trúc của mô hình khôi tạo sức phản điện động được mô tả trong hình 4.22:



**Hình 4.22 :** Mô hình khôi tạo dạng sức phản điện động

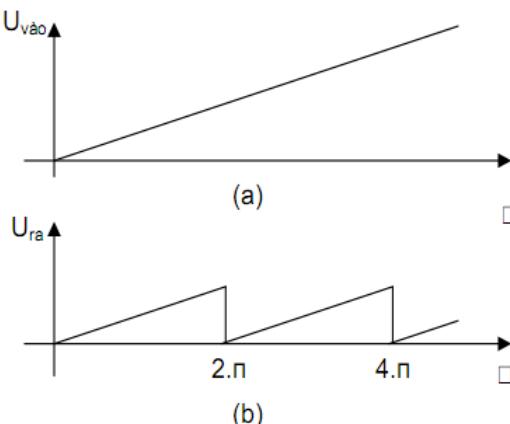
Trong mô hình trên, có các khôi chức năng gồm:

+ Khối  $\text{rem}(u,2*\pi)$  còn gọi là khôi chia lấy phần dư trong đó  $u$  là biến

vào (số chia) còn  $2*pi$  là số bị chia. Có thể giải thích khái niệm này như sau:

- Nếu  $u < 2*pi$ , đầu ra của khái chính là  $u$  do phép chia  $u/(2*pi)$  cho kết quả là 0 và dulu là  $u$ .
- Nếu  $u > 2*pi$ , đầu ra của khái là phần dư của phép chia  $u/(2*pi)$ .

Trên mô hình 3.22 tốc độ sau khi qua khâu tích phân sẽ cho thông tin về vị trí của rotor tính theo radian (do tốc độ tính theo rad/s), mà vị trí của rotor luôn nằm trong đoạn  $[0,2*pi]$ . Vì vậy, hàm  $\text{rem}(0,2*pi)$  chính là khái giới hạn góc quay của rotor. Hình 3.23 cho thấy sự khác nhau của tín hiệu vị trí rotor trước (4.23.a) và sau (4.23.b) khi đi qua khâu  $\text{rem}()$ .



**Hình 4.23:** Đặc điểm tín hiệu của hàm  $\text{rem}(u,2*pi)$

(a) Tín hiệu vào trước  $\text{rem}(u,2*pi)$

(b) Tín hiệu ra sau  $\text{rem}(u,2*pi)$

+ Khái Lookup Table là một khái chức năng trong bộ công cụ Simulink. Khái này được định nghĩa là khái hàm xấp xỉ một chiều, nó sử dụng các thông tin về các vector  $x$ ,  $y$  được cung cấp để thực hiện phép tính toán xấp xỉ thành hàm  $y=f(x)$ . Một cách đơn giản, nó là một bảng đối chiếu, ứng với một giá trị vào, khái sẽ đưa ra một giá trị ra tương ứng. Nếu giả sử đặt vào đầu vào một giá trị không có sẵn trong bảng, Lookup Table sẽ thực hiện tính xấp xỉ hóa giá trị đầu ra

từ các giá trị liên kề.

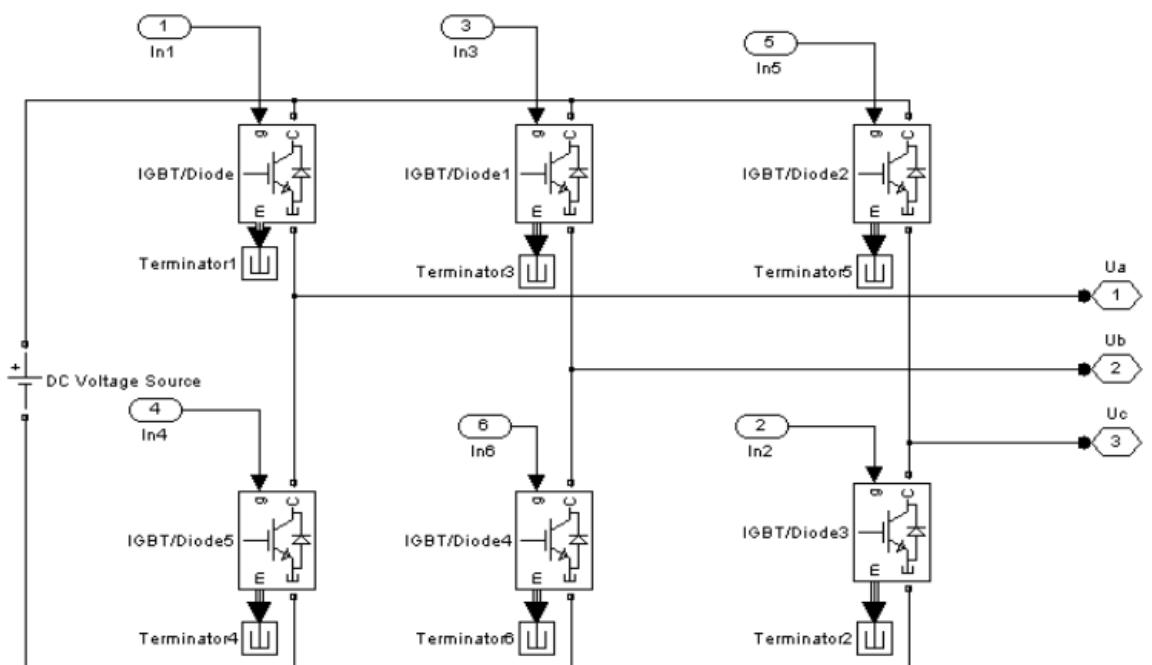
Trong mô hình khôi tạo dạng sức phản điện động 4.23 thì Lookup Table bao gồm 2 cột. Một cột giá trị đầu vào là vị trí của rotor theo góc cơ, cột giá trị đầu ra là độ lớn của sức phản điện động . Ở đây, sức phản điện động của động cơ được đo tại mỗi  $1.17$  độ cơ. Vì vậy, phép đo trên sẽ tiến hành trong dải từ với từ  $0^0$  đến  $90^0$  độ cơ.

Sau khi tín hiệu ra khỏi bảng LookupTable thì giá trị tín hiệu là sức phản điện động của động cơ ở tốc độ  $1000$  vòng/phút nên cần phải có một khâu chuyển đơn vị để có được hệ số  $K_e$  để nhân với giá trị tốc độ của rotor để được giá trị sức phản điện động của 3 pha. Giá trị của khâu khêch đại này là  $K=60/(2*\pi*1000)=9.55/1000$ .

#### **4.2.3. Mô hình bộ chuyển mạch điện tử - nghịch lưu nguồn**

**áp**

Bộ chuyển mạch điện tử có cấu tạo của một bộ nghịch lưu nguồn áp 3 pha. Với nguồn cấp là điện một chiều  $640VDC$ . Trong mô hình có sử dụng 6 van MOSFET có sẵn trong thư viện của Simulink để xây dựng mô hình bộ chuyển mạch như trình bày trong sơ đồ hình 4.24. Các van được



sắp xếp theo thứ tự 1- 4, 3 - 6, 5 - 2.

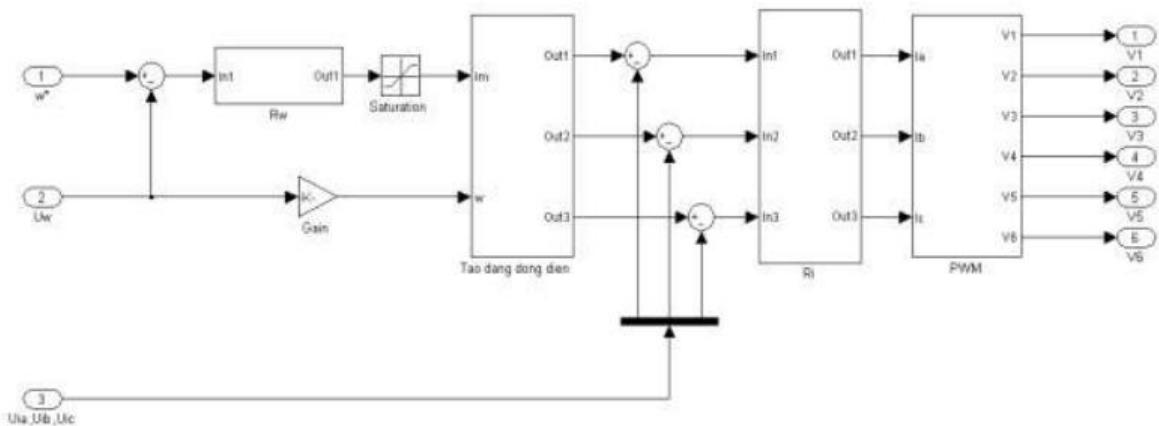
**Hình 4.24:** Mô hình bộ chuyển mạch nghịch lưu 3 pha

Trong mô hình trên, theo mặc định của phần mềm, điện trở của bóng MOSFET là  $0,1 \Omega$  là khá lớn so với điện trở cuộn dây động cơ ( $0.382$ ). Vì vậy, sẽ có một phần điện áp cấp cho động cơ sẽ rơi trên van khi van dẫn nên làm cho quá trình mô phỏng không chính xác. Do đó, để việc mô phỏng hoàn thành đúng theo yêu cầu, cần phải điều chỉnh lại điện trở của van xuống giá trị thấp hơn nhiều so với điện trở động cơ. Trong mô hình chọn là  $0.0001 \Omega$ .

- Đầu ra của khối là điện áp 3 pha nối đến động cơ.
- Đầu vào của khối là 6 xung PWM nhận từ bộ điều khiển. Các xung này cấp cho 6 van MOSFET.

#### 4.2.4. Khối Bộ điều khiển

Khối Bộ điều khiển bao gồm các bộ điều chỉnh tốc độ, bộ điều chỉnh dòng điện, khối tạo dạng dòng điện 3 pha, khối điều chế rộng xung. Mô hình của khối Bộ điều khiển được trình bày trong hình 4.25:



**Hình 4.25:** Mô hình Bộ điều khiển

Hoạt động của khối như sau: Tín hiệu đặt tốc độ sẽ được so sánh với tín hiệu tốc độ thực, sai lệch của chúng sẽ đi qua bộ điều chỉnh tốc độ rồi qua hạn chế dòng để đi tới bộ tạo dạng dòng điện. Bộ tạo dạng dòng điện

sẽ tạo ra 3 dòng điện chuẩn 3 pha lệch nhau  $120^{\circ}$ , đây cũng chính là dòng điện đặt của mạch vòng dòng điện. Dòng điện đặt được so sánh với dòng điện 3 pha thực phản hồi từ động cơ về. Tín hiệu sai lệch dòng điện sẽ được đi qua bộ điều chỉnh dòng điện rồi đi tới bộ tạo xung PWM để điều chế ra độ rộng xung cấp cho các đầu ra. 6 xung PWM cấp cho 6 van mạch nghịch lưu áp 3 pha. Sau đây là phân tích cụ thể của từng khối.

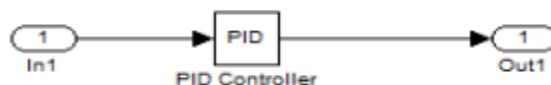
**Khối Rw:** bộ điều chỉnh tốc độ

**Khối tạo dạng dòng điện :** có chức năng tạo dạng dòng điện chuẩn

**Khối Ri:** bộ điều chỉnh dòng điện

**Khối PWM:** tạo xung PWM

#### 4.2.4.1. Khối Rw



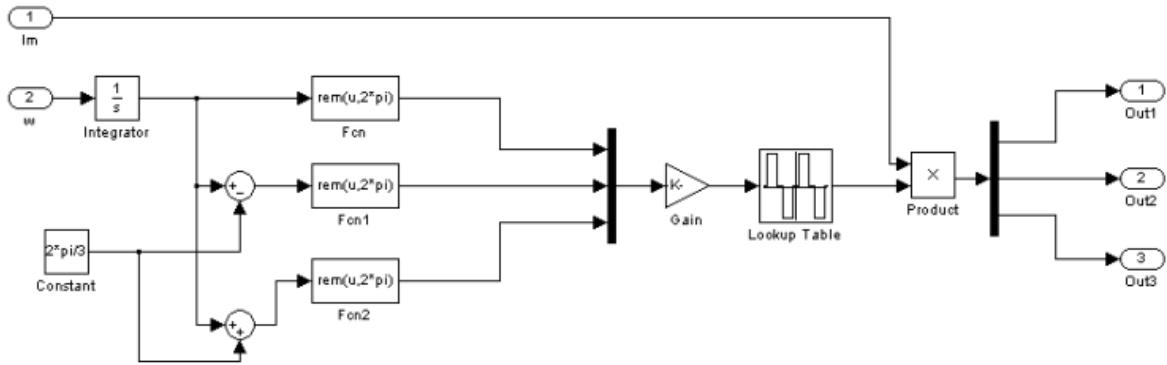
Khối Rw thực chất chỉ là một khâu PID đơn giản với các thông số đã được tổng hợp trong mạch vòng tốc độ.

Do tín hiệu tốc độ chỉ là duy nhất nên khối này cũng sẽ chỉ có một bộ PID.

#### 4.2.4.2. Khối tạo dạng dòng điện

Khối tạo dạng dòng điện chuẩn làm tín hiệu đặt dòng cho bộ điều chỉnh. Khâu tạo dạng dòng chuẩn phải có là vì dòng điện phản hồi được lấy về sau bộ chuyển mạch 3 pha nên dòng điện 3 pha được đưa về sẽ có thứ tự lệch pha nhau  $120^{\circ}$ . Vì vậy, dòng điện đặt cũng phải tương ứng lệch nhau  $120^{\circ}$ . Đồng thời đối với động cơ BLDC có sức phản điện động là hình thang thì dòng điện chảy trong 3 pha của cuộn dây stator là dạng xung vuông nên dòng điện đặt cũng phải là dạng xung vuông thì hai dòng điện thực và đặt mới so sánh được với nhau.

Mô hình của khối được trình bày trong hình 4.26 sau:



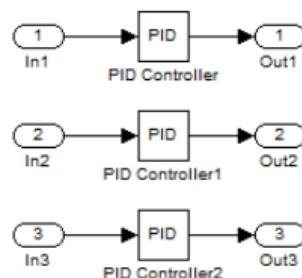
**Hình 4.26:** Mô hình khối tạo dạng dòng điện

Bộ tạo dạng dòng điện có cấu trúc cũng giống như bộ tạo dạng sức phản điện động đều bao gồm các khối tích phân, hàm rem(), bảng LookupTable. Tốc độ sau khi qua bộ tích phân cho ta vị trí của rotor. Sau đó được cộng trừ đi một lượng ( $2\pi/3$ ) để đưa vào hàm rem() để cắt đi phần góc thừa vì rotor chỉ dịch chuyển trong khoảng góc ( $0.2\pi$ ). Tín hiệu ra khỏi hàm rem() được đưa qua khâu chuyển đổi đơn vị từ rad sang độ để làm tín hiệu đặt cho khối Lookup Table để tạo ra dạng dòng điện chuẩn 3 pha với biên độ bằng 1. Ba dòng điện này sẽ được nhân với giá trị dòng điện đặt  $Im$  để tạo nên hệ thống 3 dòng điện có biên độ bằng giá trị dòng điện đặt và lệch nhau  $120^\circ$  về pha  $I_a^*, I_b^*, I_c^*$ .

Nhuvậy, điểm khác biệt lớn nhất giữa hai khối tạo dạng dòng chuẩn và tạo dạng sức điện động chuẩn là khối Lookup Table.

Bảng LookupTable trong khối tạo dạng dòng điện chuẩn được lập ra căn cứ vào bảng LookupTable của khối tạo dạng sức phản điện động .

#### 4.2.4.3. Khối Ri

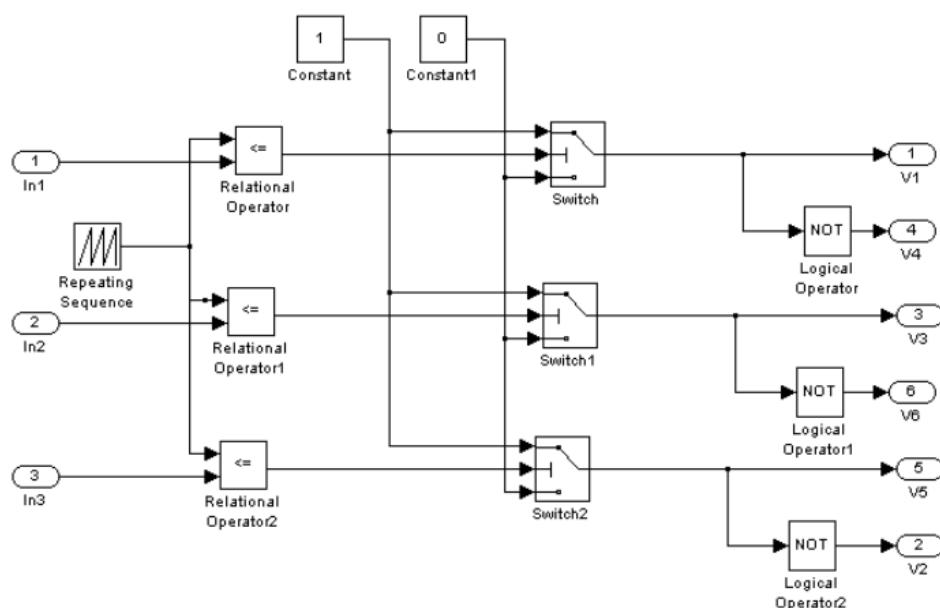


Sai lệch giữa tín hiệu dòng điện chuẩn và tín hiệu dòng điện thực sẽ được đưa đến khối  $R_i$ , thực chất là các bộ điều chỉnh dòng điện. Do có 3 tín hiệu sai lệch dòng điện với độ lớn thực tế là khác nhau nên sẽ cần phải có 3 bộ PID mắc song song nhau. Đầu ra của khối sẽ là tín hiệu đặt dòng điện đưa đến khối tạo xung điều khiển Pulse Generator.

#### 4.2.4.4. Khối Pulse Generator

Chức năng của khối này là tạo ra 6 tín hiệu PWM để cung cấp cho bộ chuyển mạch điện tử. Dòng điện đặt cho động cơ sẽ được so sánh với dãy xung răng cưa do bộ Repeating Sequence tạo ra. Kết quả sau phép so sánh sẽ được đưa đến các bộ chuyển mạch 2 trạng thái để tạo ra 3 dãy chùm xung ký hiệu là  $V_1, V_3, V_5$ . Các tín hiệu PWM  $V_4, V_6, V_2$  được tạo ra bằng cách đảo các tín hiệu PWM trên để đảm bảo rằng không có 2 van cùng nhánh dẫn. Việc làm này nhằm mục đích tránh trường hợp ngắn mạch nguồn làm hỏng mạch lực do 2 van cùng nhánh cùng được cấp xung điều khiển.

Mô hình khối tạo xung PWM được trình bày trong hình 4.27.



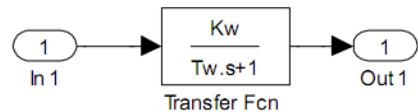
**Hình 4.27:** Mô hình khối Pulse Generator

Trong khối tạo xung PWM thì xung răng cưa được đặt ở tần số 10 KHz và sườn xung là từ 0<sup>l</sup> 10.

#### 4.2.5. Một số khối chức năng khác

##### 4.2.5.1. Khối phản hồi tốc độ

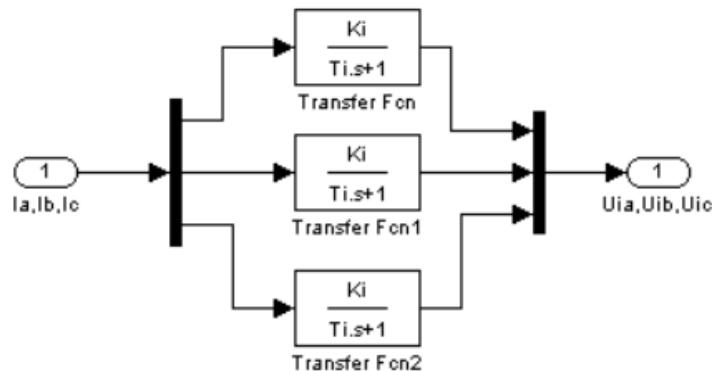
Phản hồi tốc độ có thể sử dụng máy phát tốc hoặc encoder.



Đầu vào của khối chính là tốc độ thực của động cơ, đầu ra là mức điện áp tương ứng để so sánh với tốc độ thực đưa vào bộ điều chỉnh tốc độ.

Các tham số  $K_\omega$  và  $T_\omega$  được tính toán trong biểu thức (4-18)

##### 4.2.5.2. Khối phản hồi dòng điện



Cũng như bộ điều chỉnh dòng điện, do sử dụng 3 phần tử đo dòng trên 3 pha nên khối phản hồi dòng cũng có 3 hàm truyền đấu song song.

Các tham số  $K_i$  và  $T_i$  được tính toán trong biểu thức (4-15).

#### 4.2.6. Một số chương trình phục vụ cho mô hình hệ điều khiển

Để hoàn thiện mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển động cơ một chiều không chổi than, một số \*.m file được thiết lập. Các \*.m file được dùng để thiết lập các trạng thái ban đầu cho hệ thống, kể từ khi đó tiến hành mô phỏng mà không phải quan tâm đến các \*.m file này nữa. Vì vậy,

chúng cần phải được chạy ngay từ khi bắt đầu mô phỏng lần đầu tiên. Các file này gồm:

- EMF1000.m: file này chứa thông tin về bảng sức phản điện động của khâu Lookup Table trong mô hình tạo dạng sức phản điện động. Nó chứa dữ liệu của một ma trận 2 cột. Trong đó, cột thứ nhất là vị trí của rotor được đo trong mỗi  $1.17^0$ , cột thứ hai là độ lớn sức phản điện động tương ứng.
- Current30kw.m: chứa thông tin về dạng dòng điện chuẩn cung cấp cho khối Lookup Table trong mô hình tạo dạng dòng điện.
- Parameter.m: chứa các tham số mô phỏng.

#### **4.2.7. Mô phỏng mô hình hoàn chỉnh hệ thống điều khiển động cơ BLDC**

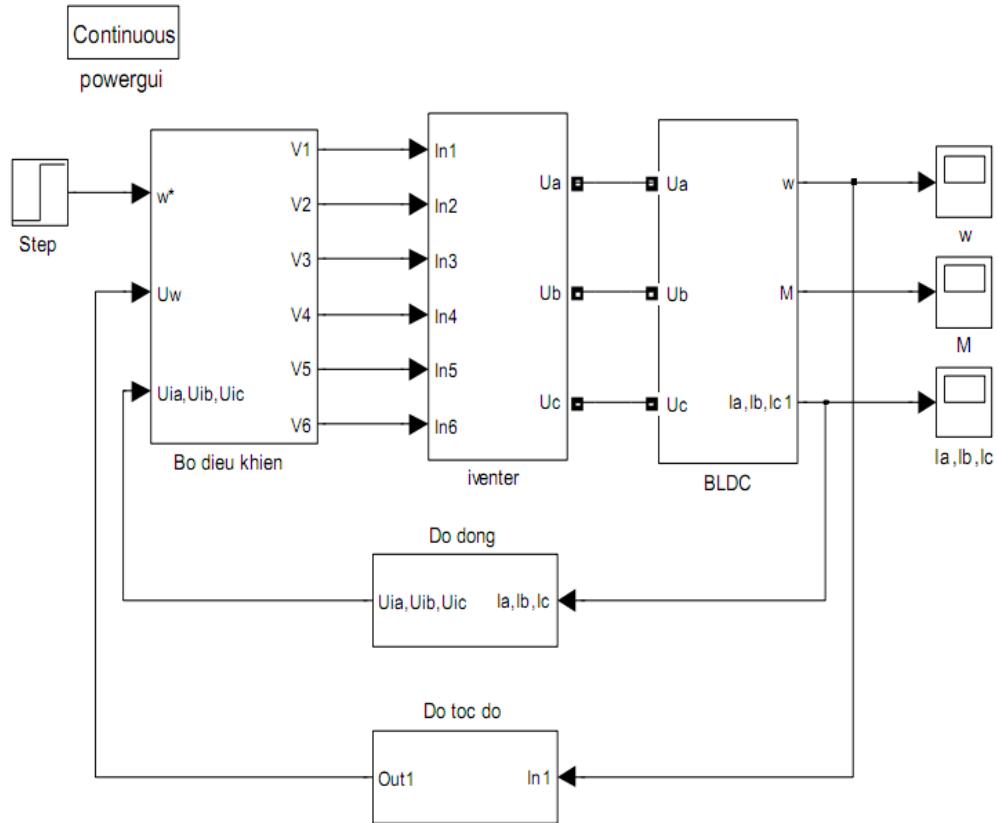
Mô hình hoàn chỉnh hệ thống được trình bày ở hình 4.28.

Sau khi xây dựng xong mô hình hoàn chỉnh hệ thống thì chúng ta thực hiện cài đặt các tham số cho các khôi để tiến hành mô phỏng.

Điều kiện mô phỏng:

Tín hiệu đặt tốc độ = 5.5528 tương ứng với giá trị tốc độ định mức 1150 vòng/phút.

Thời gian mô phỏng là 5(s).



**Hình 4.28:** Mô hình hoàn chỉnh hệ thống điều khiển động cơ BLDC

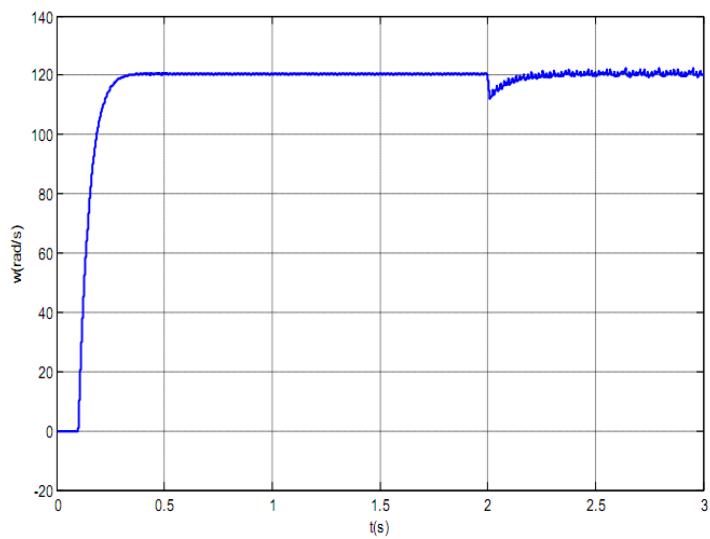
#### 4.2.8. Kết quả mô phỏng hệ thống điều khiển động cơ BLDC

Phần này trình bày về một số kết quả mô phỏng của hệ điều khiển động cơ BLDC trong chế độ định mức.

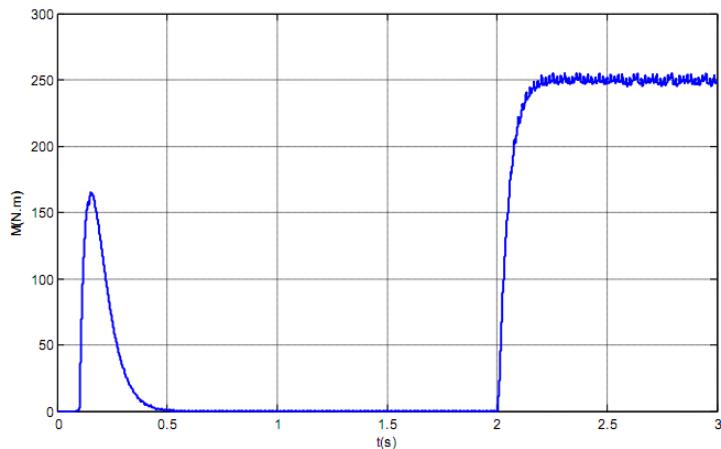
Tốc độ đặt:  $\omega_{dm}=120$  rad/s

Momen định mức  $M_{dm}=250$ N.m

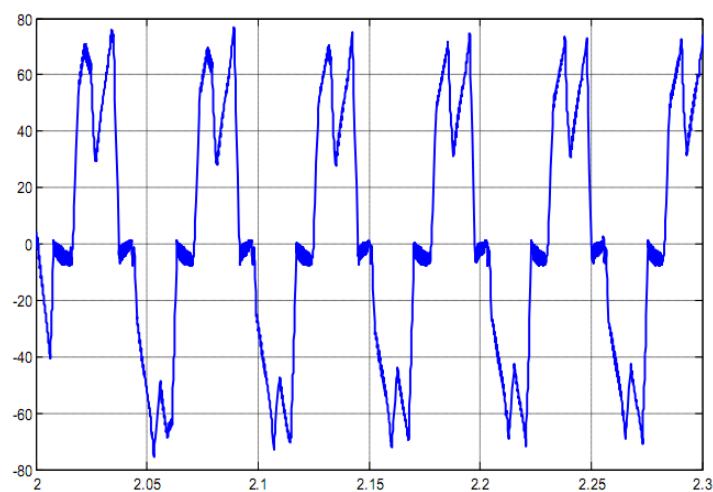
Dòng điện định mức: 78 A



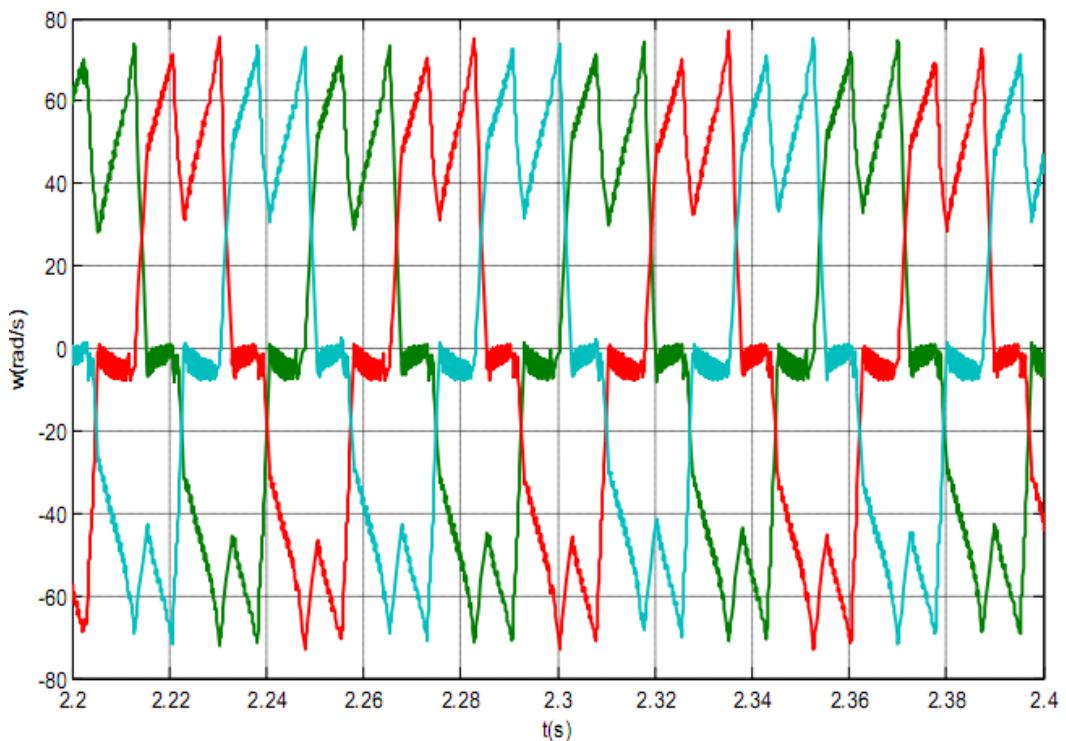
**Hình 4.29:** Đặc tính tốc độ của động cơ BLDC



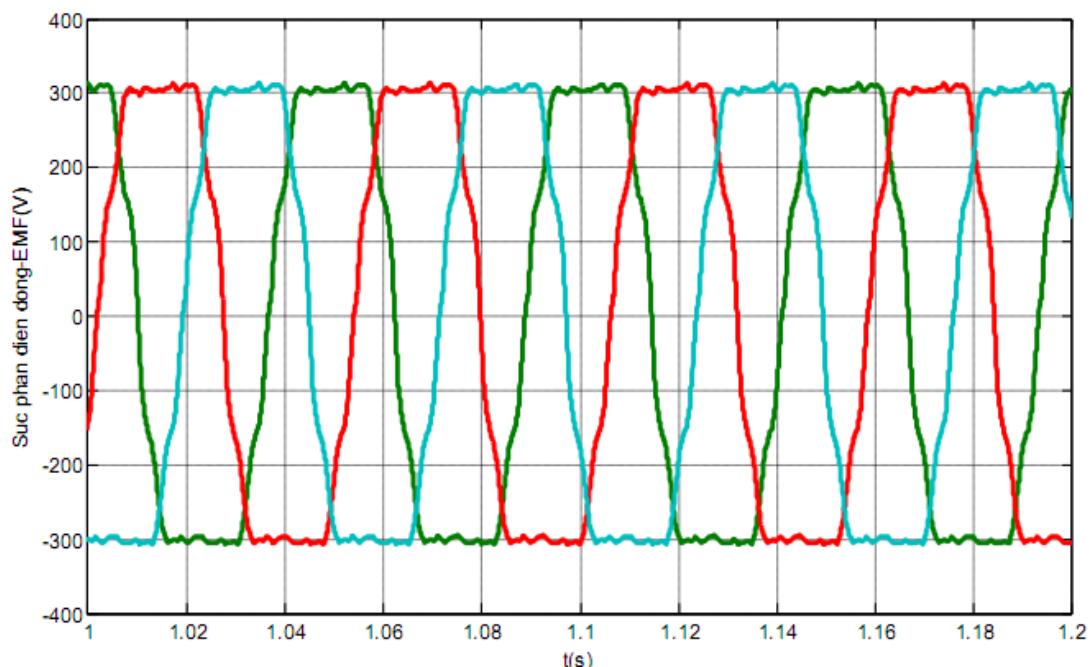
**Hình 4.30:** Đặc tính momen điện từ trung bình của động cơ BLDC



**Hình 4.31:** Đặc tính dòng điện một pha của động cơ BLDC



**Hình 4.32:** Đặc tính dòng điện ba pha của động cơ BLDC



**Hình 4.33:** Đặc tính sức phản điện động ba pha của động cơ BLDC

#### 4.2.9. Nhận xét kết quả mô phỏng

Từ các kết quả mô phỏng trên, có thể thấy một số đặc điểm sau:

- Hình dáng của dòng điện, sức điện động đều giống như lý thuyết đã trình bày. Biên độ của các thông số điều khiển gồm tốc độ, dòng điện, mômen động cơ cũng bằng với các tín hiệu đặt.
- Tuy nhiên, độ nhấp nhô mômen còn khá lớn, tốc độ chưa ổn định mà vẫn còn dao động quanh giá trị cân bằng, đây chính là nhược điểm của các động cơ BLDC và hiện nay rất nhiều nhà khoa học đang tìm cách giải quyết.

## KẾT LUẬN

Sau một khoảng thời gian ngắn thực hiện đề tài tốt nghiệp, cùng với nỗ lực cố gắng của bản thân và sự giúp đỡ tận tình của các thầy cô giáo, bạn bè cùng lớp, đến nay em đã hoàn thành đề tài tốt nghiệp của mình. Trong đề tài của mình em đã tìm hiểu và thực hiện được các yêu cầu sau:

- Tìm hiểu tổng quan về động cơ một chiều không chổi than.
- Đưa ra mô hình toán và phương pháp điều khiển động cơ một chiều không chổi than.
- Tìm hiểu về cấu trúc của vi điều khiển DSPIC 30F4011 và thực hiện điều khiển cho động cơ một chiều không chổi than.
- Tìm hiểu phương pháp xây dựng cấu trúc hệ truyền động điện và mô phỏng hệ truyền động động cơ một chiều không chổi than.

Tuy nhiên do thời gian có hạn và cũng như trình độ của bản thân còn

nhiều hạn chế nên đề tài thực hiện còn nhiều sơ sót như: chỉ có thể điều khiển động cơ qua 2 trong 3 pha,nghĩa là điều khiển 2 pha còn 1 pha phải không đổi. Còn chế độ điều khiển cả 3 pha thi ta vẫn chưa xét đến được.....

Em rất mong nhận được sự chỉ bảo, sửa chữa đóng góp ý kiến của các thầy cô giáo, các bạn trong lớp để em có thể thực hiện và hoàn thành đề tài được tốt hơn.

Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn sự chỉ bảo ,hướng dẫn tận tình của GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn, các thầy cô trong khoa, các bạn bè trong lớp đã giúp đỡ em trong quá trình thực hiện đề tài.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng,ngày ... tháng ... năm 2015

Sinh viên thực hiện

Lê Quang Tuyên

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1.GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn – TH.S Mai Xuân Minh (2008), ***Mô phỏng động cơ một chiều không chổi than***, Tạp chí khoa học và công nghệ Hàng Hải.
2. Bùi Quốc Khanh – Phạm Quốc Hải – Dương Văn Nghi (1999), ***Điều chỉnh tự động truyền động điện***, Nhà xuất bản Khoa học và kĩ thuật.
3. Nguyễn Phùng Quang (1996), ***Điều khiển động cơ không đồng bộ xoay chiều ba pha***, Nhà xuất bản Khoa học kĩ thuật.
4. AN857 (2002), ***Brushless DC Motor Made Easy***, Ward Brown Microchip Technology Inc.
5. 4853 IEMS, ***Chapter 12. Brushless DC motor.***

6. Bhim Singh – B P Singh – (Ms) K Jain (2002), ***Implementation of DSP based Digital Speed for Permanent Magnet Brushless dc Motor***, Department of Electrical Engineering.
7. JianwenShao (2003), ***Direct Back EMF Detection Method for Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drives***, Virginia Tech University.
8. Texas Instruments (1997), ***DSP Solutions for BLDC Motors***, Literature Number:BPRA055.