

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



**ISO 9001:2008**

**TÌM HIỂU ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU NAM**  
**CHÂM VĨNH CỬU KHÔNG CHỖI THAN.**  
**NÊU ĐỊA CHỈ ỨNG DỤNG.**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY**  
**NGÀNH ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

**HẢI PHÒNG - 2017**

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



**ISO 9001:2008**

**TÌM HIỂU ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU NAM  
CHÂM VĨNH CỬU KHÔNG CHỖI THAN.  
NÊU ĐIỆC CHỈ ỨNG DỤNG.**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY  
NGÀNH ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

Sinh viên: Nguyễn Nam Sơn

Người hướng dẫn: GS. TSKH Thân Ngọc Hoàn

**HẢI PHÒNG - 2017**

Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam

**Độc lập – Tự Do – Hạnh Phúc**

-----o0o-----

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG

## **NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

Sinh viên : Nguyễn Nam Sơn – MSV : 1312102020

Lớp : ĐC1701- Ngành Điện Tự Động Công Nghiệp

Tên đề tài : Tìm hiểu động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than. Nêu địa chỉ ứng dụng

**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 : Giáo sư – Tiến sĩ Khoa Học  
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 tháng năm 2017.

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày.....tháng.....năm 2017

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

Nguyễn Nam Sơn

GS. TSKH Thân Ngọc Hoàn

Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2017

**HIỆU TRƯỞNG**

**GS.TS.NGUYỄN TRẦN HỮU NGHỊ**

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

1. Tinh 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 lý 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 2017  
Cán bộ hướng dẫn chính  
(Ký và ghi rõ họ tên)

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

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Cho điểm của cán bộ chấm phản biện  
(*Điểm ghi bằng số và chữ*)

Ngày.....tháng.....năm 2017  
Người chấm phản biện  
(*Ký và ghi rõ họ tên*)

## MỤC LỤC

<b>MỞ ĐẦU .....</b>	<b>8</b>
<b>CHƯƠNG 1.....</b>	<b>2</b>
<b>ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU NAM CHÂM VĨNH CỬU KHÔNG CHỖI THAN (BLDC).....</b>	<b>2</b>
1.1. GIỚI THIỆU VỀ ĐỘNG CƠ BLDC. ....	2
1.2. CẤU TẠO ĐỘNG CƠ BLDC. ....	6
1.2.1. Cấu tạo stator của động cơ BLDC. ....	8
1.2.2. Cấu tạo rotor của động cơ BLDC. ....	10
1.2.3. Cảm biến vị trí rotor. ....	11
1.2.4. Bộ phận chuyển mạch điện tử (Electroniccommutator). ....	15
1.2.5. Sức phản điện động.....	<b>15</b>
<b>CHƯƠNG 2.....</b>	<b>17</b>
<b>NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG, MÔ HÌNH TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC .....</b>	<b>17</b>
2.1. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ BLDC. ....	17
2.1.1. Nguyên lý hoạt động. ....	17
2.1.2. Đặc tính cơ và đặc tính làm việc của động cơ BLDC.....	19
2.2. MÔ HÌNH TOÁN, PHƯƠNG TRÌNH SỨC ĐIỆN ĐỘNG VÀ MÔ MEN CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.....	20
2.2.1. Mô hình toán của động cơ BLDC. ....	30
2.2.2. Phương trình sức điện động và mô men. ....	24
2.2.3. Phương trình động học của động cơ BLDC.....	29
2.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG ĐỘNG CƠ BLDC. ....	30
2.3.1. Phương pháp điều khiển động cơ BLDC sử dụng cảm biến vị trí. .....	30
2.3.2. Điều khiển động cơ BLDC không sử dụng cảm biến (sensorless control). ....	43
2.4. ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ BLDC. ....	44



2.4.1. Điều khiển tốc độ động cơ BLDC bằng vòng khép kín.....	44
2.4.2. Điều khiển tốc độ động cơ BLDC bằng phương pháp PWM.....	46
<b>CHƯƠNG 3.....</b>	<b>47</b>
<b>CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ BLDC VÀ ỨNG DỤNG CỦA BLDC .....</b>	<b>47</b>
3.1. CÁC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ BLDC. ....	47
3.1.1. Truyền động không đảo chiều (truyền động một cực tính). ....	47
3.1.2. Truyền động cơ đảo chiều (truyền động hai cực tính).....	48
3.2. ỨNG DỤNG CỦA ĐỘNG CƠ BLDC .....	49
3.2.1. Lĩnh vực hệ thống điều khiển chuyển động.....	49
3.2.2. Ứng dụng trong giao thông vận tải. ....	50
3.2.3. Ứng dụng trong mô hình, giải trí. ....	51
3.2.4. Ứng dụng làm các thiết bị dân dụng, thiết bị văn phòng.....	52
3.2.5. Ứng dụng trong các hệ thống sưởi ấm và thông gió.....	54
3.2.6. Ứng dụng trong kỹ thuật công nghiệp. ....	55
<b>KẾT LUẬN .....</b>	<b>57</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>58</b>

## MỞ ĐẦU

Ngày nay, khoa học công nghệ ngày càng phát triển mạnh mẽ đáp ứng yêu cầu đặt ra trong tất cả các lĩnh vực. Trong công cuộc công nghiệp hóa đất nước, yêu cầu tự động hóa trong sản xuất ngày càng cao, điều khiển linh hoạt, gọn nhẹ và hiệu suất sản xuất cao. Mặt khác, với công nghệ thông tin và công nghệ điện tử phát triển ngày càng cao và nhu cầu con người ngày càng đòi hỏi những sản phẩm sản xuất ra đạt độ chính xác và độ thẩm mỹ cao.

Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than là loại động cơ có rất nhiều ưu điểm nên hiện nay đã được sử dụng rộng rãi nhất là trong các hệ thống tự động có yêu cầu cao về độ tin cậy và trong các điều kiện môi trường làm việc đặc biệt. Do không sử dụng cơ cấu đảo chiều dòng điện cổ góp-chổi than như các động cơ một chiều truyền thống nên loại động cơ này khắc phục được hầu hết các nhược điểm của động cơ một chiều thông thường. Trong thời gian học tập tại trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng, với sự giúp đỡ, chỉ bảo của nhà trường và các thầy cô trong khoa Điện-Điện tử, em đã được nhận đề tài tốt nghiệp là “ **Tìm hiểu động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than, nêu địa chỉ ứng dụng** ”. dưới sự hướng dẫn của GS. TSKH Thân Ngọc Hoàn

Đề án gồm có các nội dung sau:

Chương 1: Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than.

Chương 2: Nguyên lý hoạt động, mô hình toán và các phương pháp điều khiển động cơ BLDC.

Chương 3: Các hệ truyền động sử dụng động cơ BLDC và ứng dụng của động cơ BLDC.

## CHƯƠNG 1.

# ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU NAM CHÂM VĨNH CỬU KHÔNG CHỖI THAN (BLDC)

### 1.1. GIỚI THIỆU VỀ ĐỘNG CƠ BLDC.



**Hình 1.1:** Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than

Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than BLDC từ lâu đã được sử dụng rộng rãi trong các hệ truyền động công suất nhỏ (vài W đến vài chục W) như trong các ổ đĩa quang, quạt làm mát trong máy tính các nhân, thiết bị văn phòng (máy in , scan...). Trong các ứng dụng đó mạch điều khiển được chế tạo đơn giản và có độ tin cậy cao.

Cùng với sự phát triển của công nghệ điện tử, công nghệ chế tạo vật liệu nam châm vĩnh cửu cũng có những bước tiến lớn, đã làm cho những ưu điểm của các hệ thống truyền động điện sử dụng động cơ BLDC so với động cơ một chiều có cổ góp-chổi than hay động cơ dị bộ trở lên rõ rệt hơn, đặc biệt là ở các hệ thống truyền động di động sử dụng nguồn điện một chiều độc lập từ ắc qui, pin hay năng lượng mặt trời. Trong đó không thể không nhắc đến là các hệ truyền động xe kéo trên xe điện với công suất

từ vài chục đến 100kW. Trong công nghiệp, chúng còn được sử dụng rộng rãi trong các hệ điều khiển servo có công suất dưới 10kW.

Mặc dù được gọi là động cơ một chiều nhưng thực chất động cơ BLDC thuộc loại động cơ xoay chiều đồng bộ sử dụng nam châm vĩnh cửu, Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu là nhóm động cơ xoay chiều đồng bộ (tức là rotor quay cùng tốc độ với từ trường quay) có phần cảm là nam châm vĩnh cửu.

Động cơ BLDC là loại động cơ sóng hình thang. Chính sức phản điện động có dạng hình thang này mới là yếu tố quyết định để xác định một động cơ BLDC. Thay cho sự chuyển mạch dòng phần ứng như các động cơ một chiều thông thường sử dụng chổi than-cổ góp thì động cơ BLDC sử dụng chuyển mạch điện tử. Do đó các cuộn dây phần ứng đặt trên stator nên dễ dàng dẫn nhiệt từ các cuộn dây ra ngoài vỏ, cũng như sử dụng các phương pháp làm mát cưỡng bức khác nếu cần. Vì vậy động cơ BLDC có mật độ công suất lớn hơn động cơ một chiều truyền thống.

Mặc dù người ta nói rằng đặc tính tĩnh của động cơ BLDC và động cơ một chiều thông thường là hoàn toàn giống nhau, nhưng thực tế chúng có những khác biệt đáng kể ở một vài khía cạnh. Khi nói về chức năng của động cơ điện, không được bỏ qua ý nghĩa của dây quấn và sự đổi chiều. Đổi chiều là quá trình biến đổi dòng một chiều ở đầu và thành dòng xoay chiều và phân bố một cách chính xác dòng điện xoay chiều này tới mỗi dây quấn ở phần ứng của động cơ. Ở động cơ BLDC, người ta sử dụng các thiết bị bán dẫn như transistor, MOSFET, IGBT... để thực hiện đổi chiều khác với động cơ một chiều thông thường sử dụng cổ góp-chổi than.

#### **Ưu điểm của động cơ BLDC:**

- Đặc tính tốc độ/mô men tuyến tính.
- Đáp ứng động nhanh do quán tính nhỏ.

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

**Nhược điểm của động cơ BLDC:**

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

Động cơ BLDC có những ưu điểm vượt trội so với các động cơ một chiều thông thường. 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 hai loại động cơ này để thấy được sự giống và khác nhau giữa hai động cơ từ đó có thể khẳng định chắc chắn hơn những ưu điểm nổi trội hơn của động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than.

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

Các thông số so sánh	Động cơ một chiều không chổi than	Động cơ một chiều thông thường	Ưu điểm của BLDC so với động cơ một chiều thông thường
Bộ chuyển mạch	Đảo chiều bằng điện tử dựa trên thông tin từ cảm biến vị trí rotor	Đảo chiều dòng kiểu cơ khí bằng chổi than và cổ góp	BLDC sử dụng chuyển mạch điện tử thay thế cho chuyển mạch cơ
Hiệu suất	Cao	Trung bình	Điện áp rơi trên các linh kiện điện tử nhỏ hơn điện áp rơi trên chổi than
Bảo trì	Rất ít hoặc không cần bảo trì	Định kỳ	Không phải bảo trì chổi than, cổ góp
Khả năng tản nhiệt	Tốt hơn	Kém	Với BLDC, chỉ có các cuộn dây phản ứng phát sinh nhiệt khi làm việc. Ngoài ra, các cuộn dây phản ứng được bố trí ở stator cho phép tản nhiệt tốt hơn qua vỏ động cơ. Với động cơ một chiều thông thường, tổn hao nhiệt xuất hiện ở cả dây quấn stator và rotor. Ngoài ra việc tỏa nhiệt của dây quấn rotor là khó khăn hơn.
Tỷ số công suất ra / kích cỡ (Output power / frame size)	Cao	Trung bình hoặc thấp	BLDC sử dụng các nam châm vĩnh cửu bằng vật liệu tiên tiến, không có tổn hao trên rotor
Đặc tính tốc độ / moment	Bằng phẳng	Tương đối bằng phẳng	BLDC không có ma sát ở chổi than làm giảm moment

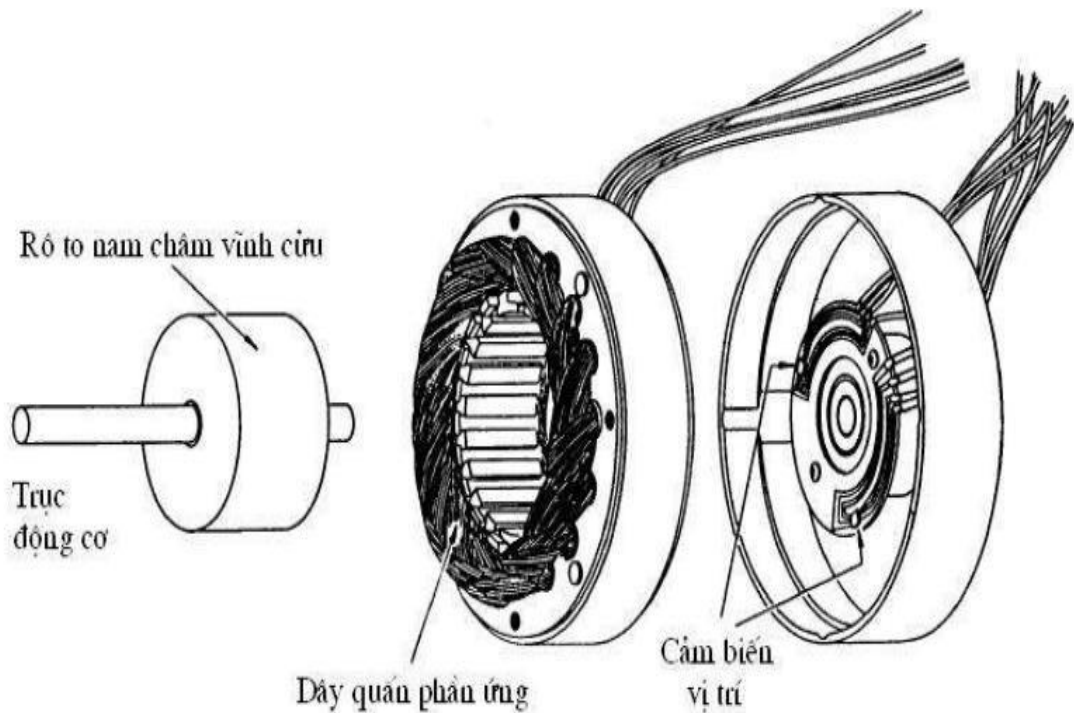
Đáp ứng động	Nhanh	Chậm	Moment quán tính của rotor BLDC thường nhỏ hơn so với moment quán tính của rotor động cơ một chiều thông thường
Dải điều chỉnh tốc độ	Cao	Thấp	BLDC không bị giới hạn tốc độ về mặt cơ khí do chổi than và cổ góp
Nhiều điện	Thấp	Cao	BLDC không có tia lửa điện khi vận hành do không có chổi than cổ góp, vì vậy ít gây nhiễu hơn
Tuổi thọ	Cao	Thấp	Do BLDC không có chổi than, cổ góp

## 1.2. CẤU TẠO ĐỘNG CƠ BLDC.

Khác với động cơ một chiều truyền thống, động cơ BLDC sử dụng chuyển mạch điện tử thay cho kết cấu cổ góp-chổi than để chuyển mạch dòng điện cấp cho các cuộn dây phần ứng. Có thể gọi đó là cơ cấu chuyển mạch tĩnh. Để làm được điều đó phần ứng cũng phải tĩnh. Như vậy, về mặt kết cấu có thể thấy rằng động cơ BLDC và động cơ một chiều truyền thống có sự hoán đổi vị trí giữa phần cảm và phần ứng: phần cảm trên rotor và phần ứng trên stator.

Cũng chính vì cấu tạo không có cơ cấu cổ góp-chổi than nên động cơ BLDC mới có nhiều ưu điểm hơn so với các động cơ một chiều thông thường như ta đã kể ra ở phần trên.

Cấu tạo của động cơ BLDC 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 BLDC ba pha điển hình.



**Hình 1.2:** Các thành phần cơ bản của động cơ BLDC

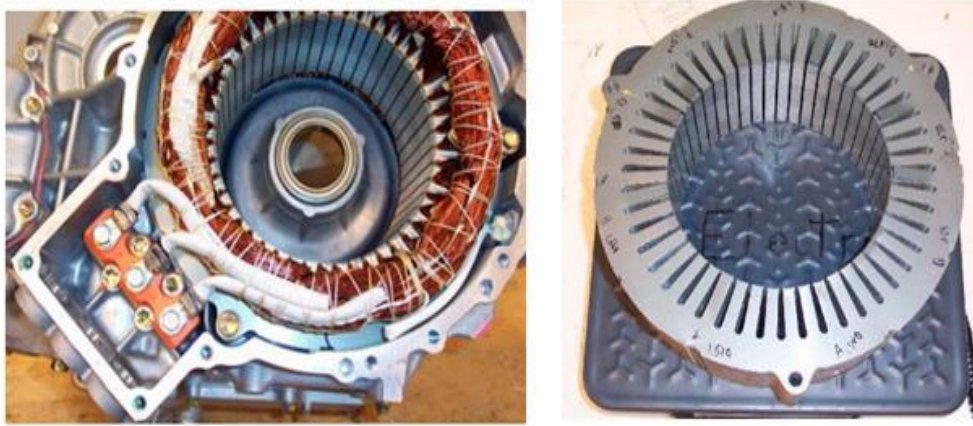
Dây quấn stator tương tự như dây quấn stator của động cơ xoay chiều nhiều pha và rotor bao gồm một hay nhiều nam châm vĩnh cửu. Điểm khác biệt cơ bản của động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than so với động cơ xoay chiều đồng bộ là nó kết hợp một vài phương tiện để xác định vị trí của rotor (hay vị trí của cực từ) nhằm tạo ra các tín hiệu điều khiển bộ chuyển mạch điện tử. Động cơ BLDC chính là sự kết hợp của động cơ xoay chiều đồng bộ kích từ vĩnh cửu và bộ chuyển 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) dùng cảm biến Hall, 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, tuy nhiên động cơ BLDC hai pha cũng được sử dụng khá phổ biến vì cấu tạo và mạch truyền động đơn giản.



### 1.2.1. Cấu tạo stator của động cơ BLDC.

Khác với động cơ một chiều truyền thống, stator của động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than chứa dây quấn phân ứng. Dây quấn phân ứng có thể là hai pha, ba pha hay nhiều pha nhưng thường là dây quấn ba pha (hình 1.2). Dây quấn ba pha có hai sơ đồ nối dây, đó là nối theo hình sao Y hoặc hình tam giác  $\Delta$ .

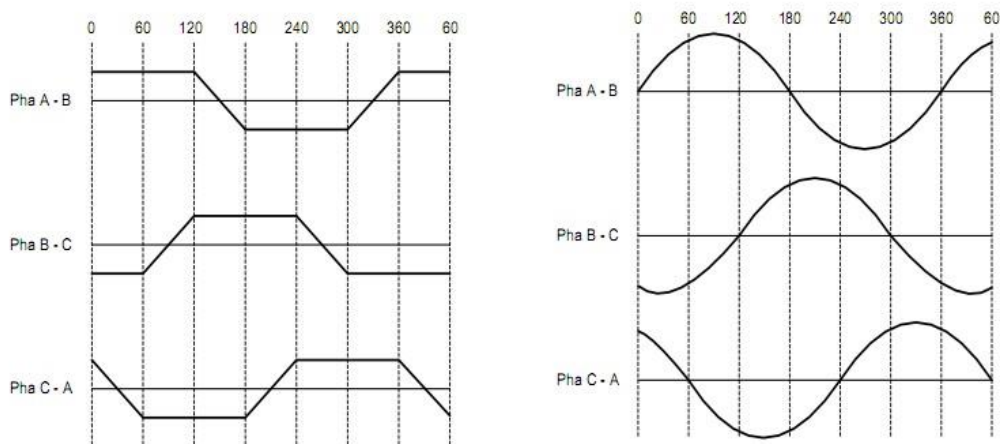


**Hình 1.3:** Stator của động cơ BLDC

a) Cuộn dây đặt trong rãnh stator; b) Rãnh của stator

Stator của động cơ BLDC gồm các lá thép kỹ thuật điện mỏng xếp chặt cùng với các cuộn dây được đặt trong các khe dọc theo mặt bên trong của stator. Kết cấu như vật trông giống như trong động cơ không đồng bộ. Theo truyền thống cấu tạo stator của động cơ BLDC cũng giống như cấu tạo của các động cơ cảm ứng khác. Tuy nhiên, khác với động cơ không đồng bộ, các cuộn dây trên stator của động cơ BLDC được phân bố với mật độ đều nhau dọc theo mặt trong của stator. Sự khác biệt này tạo nên sức phản điện động dạng hình thang. Tùy thuộc vào số cuộn dây trên stator ta có các loại động cơ BLDC một pha, hai pha, ba pha tương ứng có một cuộn dây, hai cuộn dây, ba cuộn dây trên stator. Trong đó loại động cơ ba pha ba cuộn dây được sử dụng phổ biến hơn cả. Trong động cơ một chiều truyền thống, thời điểm chuyển mạch dòng điện giữa các cuộn dây phân ứng được

xác định một cách tự nhiên do kết cấu và sự bố trí phù hợp giữa các cặp cực trên stator và cơ cấu cổ góp-chổi than. Động cơ BLDC không có cơ cấu cổ góp-chổi than nên cần phải có các phần tử và phương pháp để xác định được vị trí của rotor nhằm đưa ra các tín hiệu điều khiển trình tự cấp điện cho các cuộn dây pha trên stator cho phù hợp. Cũng chính vì sự khác biệt trong cách nối liền các bó dây trong cuộn dây trên stator 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 mô men của động cơ hình sin phẳng hơn nhưng giá thành lại đắt hơn do phải có thêm các bó dây nối liền tục, còn động cơ hình thang lại rẻ hơn nhưng đặc tính mô men lại có sự nhấp nhô vì sự thay đổi điện áp của sức phản điện động là lớn hơn.



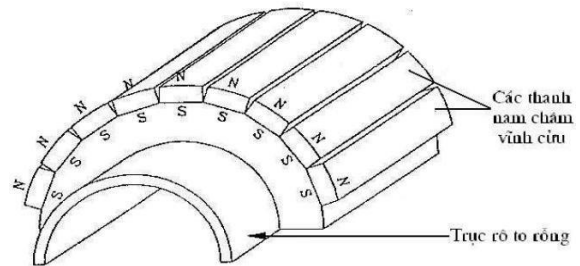
a) Sức điện động hình thang      b) Sức điện động hình sin

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

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. Cấu tạo rotor của động cơ BLDC.

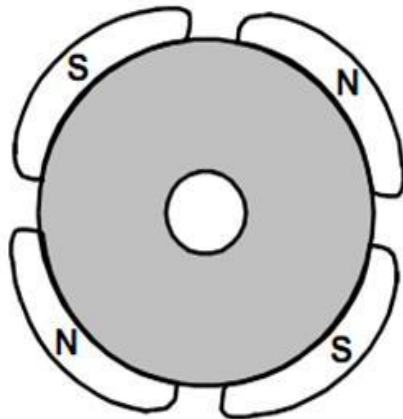
Rotor của động cơ BLDC gồm có phần lõi bằng thép và các nam châm vĩnh cửu được gắn trên đó theo các cách khác nhau. Về cơ bản có hai phương pháp gắn các nam châm vĩnh cửu trên lõi của rotor .



**Hình 1.5:** Rotor của động cơ BLDC

#### 1. Rotor có nam châm gắn trên bề mặt lõi

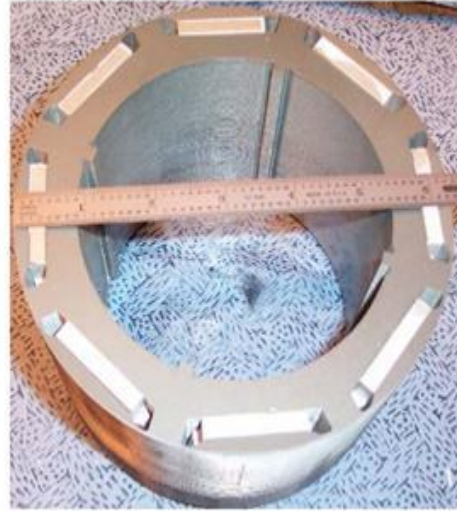
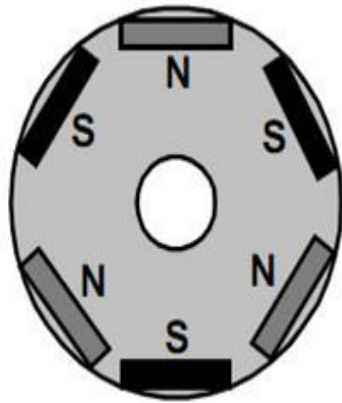
Các nam châm vĩnh cửu được gắn trên bề mặt lõi rotor. Kết cấu này đơn giản trong chế tạo nhưng không chắc chắn nên thường được sử dụng trong phạm vi tốc độ trung bình và thấp.



**Hình 1.6:** Rotor có nam châm gắn trên bề mặt lõi

#### 2. Rotor có nam châm ẩn bên trong lõi

Trong lõi rotor có các khe dọc trục và các thanh nam châm vĩnh cửu được chèn vào các khe này. Kết cấu này khó khăn trong việc chế tạo và lắp ráp, đặc biệt là với công suất lớn, nhưng lại rất chắc chắn và được sử dụng trong các ứng dụng tốc độ cao.



**Hình 1.7:** Rotor có nam châm đặt ẩn bên trong lõi

Ở động cơ BLDC, các nam châm vĩnh cửu trên rotor tạo ra từ trường hướng tâm và phân bố đều dọc theo khe hở không khí giữa stator và rotor.

Dựa vào yêu cầu về mật độ từ trường trong rotor, chất liệu làm nam châm thích hợp được chọn tương ứng. Nam châm Ferrite thường được sử dụng, tuy giá thành rẻ nhưng mật độ từ trường thấp. Khi công nghệ phát triển, nam châm làm từ hợp kim ngày càng phổ biến. Trong khi đó các loại nam châm được sản xuất từ các hợp kim đất hiếm. Vật liệu hợp kim đất hiếm có mật độ từ trường trên đơn vị thể tích cao và cho phép thu nhỏ kích thước của rotor nhưng vẫn đạt được mô men tương ứng. Do đó, với cùng thể tích, mô men của rotor có nam châm làm từ vật liệu hợp kim luôn lớn hơn nam châm làm từ Ferrite. Điều này đặc biệt có ích đối với các động cơ công suất lớn. Nam châm được sản xuất từ vật liệu hợp kim đất hiếm có giá thành cao và thường chỉ được sử dụng trong các ứng dụng công nghệ cao.

### **1.2.3. Cảm biến vị trí rotor.**

Không giống như những động cơ một chiều thông thường dùng cơ cấu cổ góp- chổi than, chuyển mạch của động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu 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 sẽ được cấp điện theo thứ tự. Như chúng ta đã biết, đổi chiều dòng điện căn cứ vào vị trí của từ thông rotor. Do đó vấn đề xác định được vị trí từ thông rotor là rất quan trọng để ta biết được cuộn dây trên stator tiếp theo nào sẽ được cấp điện theo thứ tự cấp điện. Để xác định vị trí từ thông rotor, ta dùng các thiết bị cảm biến sau:

- Cảm biến Hall.
- Cảm biến từ trở MR (magneto-resistor sensor).
- Đèn LED hoặc transistor quang.

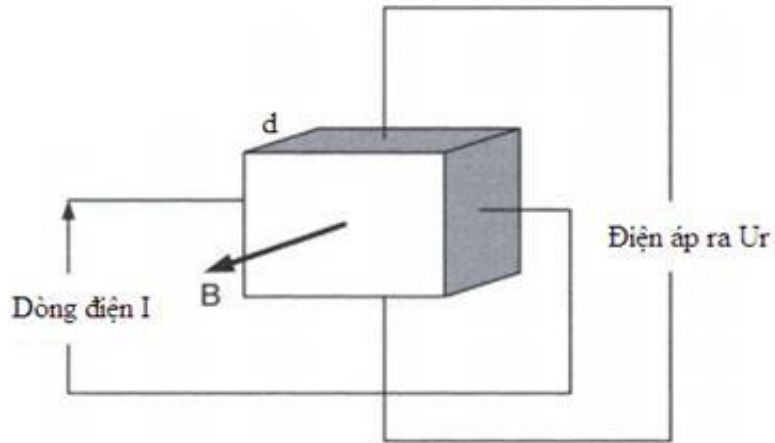
Hầu hết các động cơ một chiều không chổi than đều có cảm biến đặt ẩn bên trong stator, ở phần đuôi trục (trục phụ) của động cơ.

Mỗi khi các cực nam châm của rotor đi qua khu vực gần các cảm biến, các cảm biến sẽ hoạt động, gửi các tín hiệu cao hoặc thấp tương ứng với khi cực Bắc (N) hoặc cực Nam (S) đi qua cảm biến.

### *1. Cảm biến Hall*

Trong động cơ BLDC sử dụng cảm biến vị trí hiệu ứng Hall. Hiệu ứng Hall được E.H.Hall tìm ra năm 1879 và được mô tả như sau: Khi một dây dẫn đặt trong một từ trường, từ trường sẽ tác động một lực lên các điện tích đang di chuyển trong dây dẫn điện và có khuynh hướng đẩy chúng sang một bên của dây dẫn. Điều này rất dễ hình dung khi dây dẫn có dạng tấm mỏng. Sự tích tụ các điện tích ở một bên dây dẫn sẽ làm xuất hiện điện áp giữa hai mặt của dây dẫn. Điện áp này có độ lớn tỉ lệ với cường độ từ trường và cường độ dòng điện qua dây dẫn.

Cảm biến vị trí rotor có nhiệm vụ cung cấp thông tin về vị trí của rotor cho mạch điều khiển cấp điện cho các cuộn dây stator. Cần chú ý là cảm biến Hall sẽ được gắn trên stator của BLDC chứ không phải đặt trên rotor .



**Hình 1.8:** Mô hình phần tử cảm biến Hall

$$U_r = (K_h \cdot I \cdot B) / d \quad (1.1)$$

Việc gắn cảm biến Hall trên stator là một quá trình phức tạp và yêu cầu độ chính xác cao. Việc lắp cảm biến Hall trên stator không chính xác sẽ dẫn đến những sai số khi xác định vị trí của rotor. Để khắc phục điều này, một số động cơ có thể được đặt thêm các nam châm phụ trên rotor để phục vụ cho việc xác định vị trí rotor. Các nam châm phụ này được gắn như các nam châm chính nhưng nó nhỏ hơn và thường được gắn trên phần trục rotor nằm ngoài các cuộn dây stator để tiện cho việc hiệu chỉnh sau này. Kết cấu như vậy giống như cơ cấu cổ góp-chổi than trong động cơ một chiều truyền thống.

Dựa trên vị trí vật lý của cảm biến Hall, có hai cách đặt cảm biến này trên stator. Các cảm biến Hall có thể được đặt dịch pha nhau các góc  $60^\circ$  hoặc  $120^\circ$  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 để hoạt động. Điện áp cấp có thể dao động từ 4V đến 24V. Yêu cầu dòng từ 5mA đến 15mA. Khi thiết kế bộ điều khiển, cần chú ý đến đặc điểm kỹ thuật tương ứng của từng loại động cơ để biết chính xác điện áp và dòng điện của các cảm biến Hall được



dùng. Đầu ra của cảm biến Hall thường là loại open-collector, vì thế cần có điện trở treo ở phía bộ 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.

### 2. Bộ cảm biến từ trở MR

Từ thông sẽ làm thay đổi điện trở mạch, với phương pháp này ta có thể phát hiện chính xác vị trí của từ thông. Khi nam châm đến gần thành phần cảm biến từ trở, điện trở của thành phần này sẽ bị thay đổi. Sự thay đổi là lớn nhất khi nam châm đi qua tâm của nó. Sau đó mức độ thay đổi sẽ giảm dần tới khi nam châm hoàn toàn vượt qua thành phần này. Điện trở thay đổi được tính theo công thức:

$$R = U/(m.v) \quad (1.2)$$

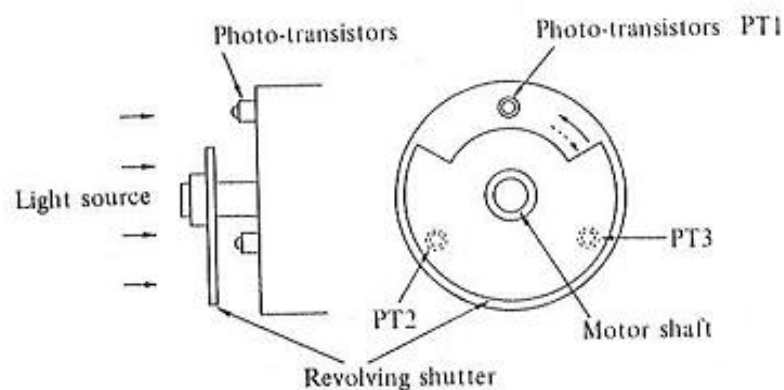
Trong đó: R là điện trở thay đổi, m là mật độ hạt mang điện

v là vận tốc hạt mang điện

### 3. Dùng đèn LED transistor quang và màn chắn

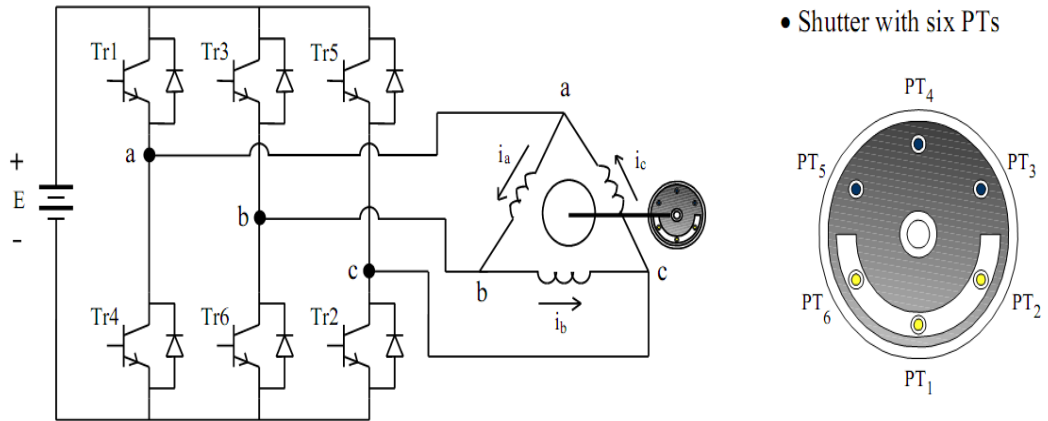
Trên hình 1.8 là hệ thống xác định vị trí từ thông rotor dùng transistor quang hay màn chắn.

Nguyên lý hoạt động: Một transistor PT1 ở trạng thái dẫn thì hai transistor còn lại là PT2 và PT3 ở trạng thái tắt.



**Hình 1.9:** Thiết bị cảm biến vị trí rotor dùng transistor quang

Mạch điện tử công suất gồm 6 transistor (hình 1.9) được mắc thành cầu đối xứng. Ba cuộn dây stator được nối tam giác. Trên rotor gắn mạch tạo tín hiệu điều khiển động cơ.



**Hình 1.10:** Sơ đồ nguyên lý động cơ BLDC được điều khiển bằng transistor quang

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

Điều khiển động cơ BLDC bằng cách chuyển mạch dòng điện giữa các cuộn dây pha theo thứ tự và vào những thời điểm nhất định. Quá trình này gọi là quá trình chuyển mạch dòng điện.

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 thay thế bởi bộ chuyển đổi chiều điện tử sử dụng transistor công suất chuyển mạch theo vị trí rotor.

Do cấu trúc của động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu 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 cổ góp-chổi than của động cơ một chiều thông thường.

#### 1.2.5. Sức phản điện động.

Khi động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than quay, mỗi 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 ba yếu tố: Vận tốc góc của rotor, từ trường sinh ra bởi nam châm vĩnh cửu và số vòng trong mỗi cuộn dây trên stator.

$$EMF = E \approx NlrB\omega \quad (1.3)$$

Trong đó:  $N$  là số vòng dây trên một 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 hằng số luôn không đổi. Chỉ có duy nhất vận tốc của rotor là làm thay đổi sức phản điện động. Khi vận tốc của rotor tăng thì sức phản điện động cũng tăng theo. Trong các tài liệu kỹ thuật của động cơ có đưa ra hằng số sức phản điện động có thể sử dụng để ước lượng sức phản điện động tương ứng với một tốc độ nhất định.

## **CHƯƠNG 2.**

### **NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG, MÔ HÌNH TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ BLDC**

#### **2.1. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.**

##### **2.1.1. Nguyên lý hoạt động.**

Có rất nhiều cách để giải thích hoạt động của động cơ BLDC. Quá trình điều khiển động cơ BLDC cũng chính là quá trình điều khiển cho dòng điện chạy qua các cuộn dây một cách thích hợp.

Như chúng ta đã biết, động cơ BLDC hoạt động dựa trên quá trình chuyển mạch dòng điện. Động cơ BLDC có ba cảm biến Hall đặt trên stator. Khi các cực của nam châm trên rotor chuyển động đến vị trí cảm biến Hall thì đầu ra của cảm biến có mức logic cao hoặc thấp, tùy thuộc vào cực N hay S. Dựa vào tổ hợp các tín hiệu logic của ba cảm biến để xác định trình tự và thời điểm chuyển mạch dòng điện giữa các cuộn dây pha trên stator.

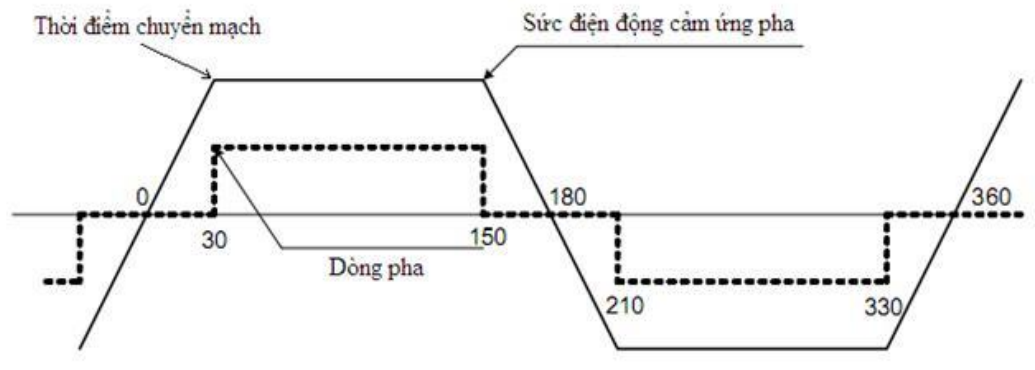
Trong quá trình hoạt động, tại thời điểm chỉ có hai cuộn dây pha được cấp điện, cuộn dây thứ ba không được cấp điện và việc chuyển mạch dòng điện từ cuộn dây này sang cuộn dây khác sẽ tạo ra từ trường quay và làm cho rotor quay theo.

Như vậy, thứ tự chuyển mạch dòng điện giữa các cuộn dây pha phải căn cứ vào chiều quay của rotor.

Thời điểm chuyển mạch dòng điện từ pha này sang pha khác được xác định sao cho mô men đạt giá trị lớn nhất và đập mạch mô men do quá trình chuyển mạch dòng điện là nhỏ nhất.

Để đạt được yêu cầu trên, ta mong muốn cấp điện cho cuộn dây vào thời điểm sao cho dòng điện trùng pha với sức điện động cảm ứng và dòng

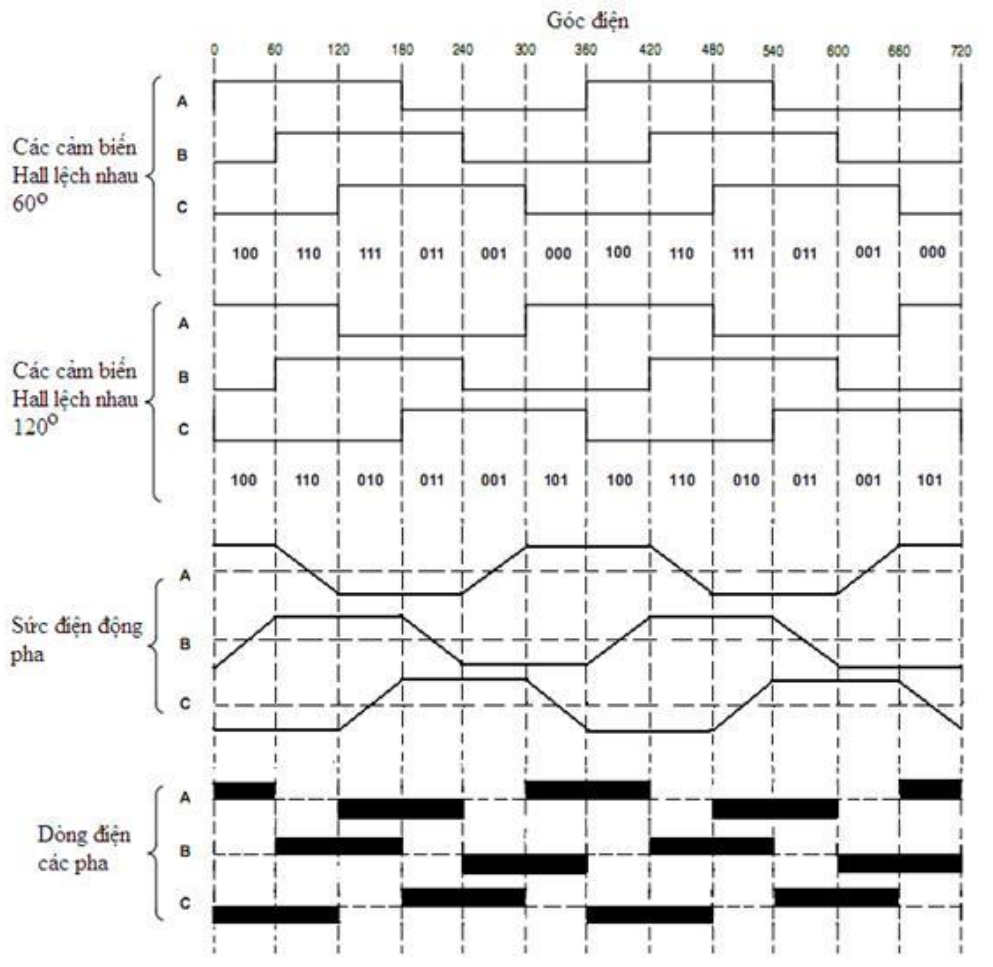
điện cũng được điều chỉnh để đạt biên độ không đổi trong khoảng có độ rộng  $120^\circ$  điện. Nếu không trùng pha với sức điện động thì dòng điện cũng sẽ có giá trị lớn vào gây thêm tổn hao trên stator làm giảm hiệu suất của động cơ.



**Hình 2.1:** Sự trùng pha giữa sức điện động cảm ứng và dòng điện

Do có mối liên hệ giữa sức điện động cảm ứng pha và vị trí của rotor nên việc xác định thời điểm cấp điện cho các cuộn dây pha trên stator còn có thể thực hiện được bằng việc xác định vị trí của rotor nhờ các cảm biến vị trí.

Trên hình 2.2 biểu diễn trình tự và thời điểm chuyển mạch dòng điện của động cơ BLDC. Thời điểm chuyển mạch dòng điện là thời điểm mà một trong ba tín hiệu cảm biến Hall thay đổi mức logic. Trong một chu kỳ điện có sáu sự chuyển mức logic của ba cảm biến Hall. Do đó trình tự chuyển mạch này gọi là trình tự chuyển mạch sáu bước của động cơ BLDC.



**Hình 2.2:** Trình tự và thời điểm chuyển mạch dòng điện

**2.1.2. 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 truyền thống. Tức là mối quan hệ giữa mô men và tốc độ là các đường tuyến tính nên rất thuận tiện trong quá trình điều khiển động cơ để truyền động cho nhiều cơ cấu khác. Động cơ BLDC không dùng cơ cấu cổ góp-chổi than nên ta có thể tăng tốc độ do không có sự đánh lửa gây mài mòn. Vì vậy mở rộng vùng điều chỉnh của động cơ BLDC là việc không hề khó khăn.

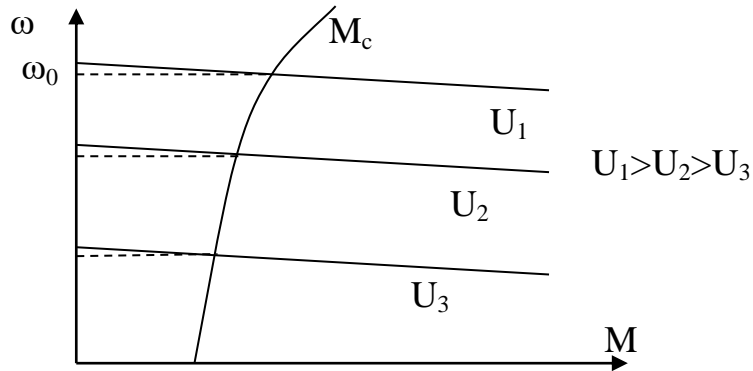
$$\text{Xuất phát từ biểu thức: } U = RI + L \frac{di}{dt} + E \approx E + RI \quad (2.1)$$

$$\text{Ta có dòng điện: } I = \frac{U - E}{R} = \frac{U - K\phi\omega}{R} \quad (2.2)$$

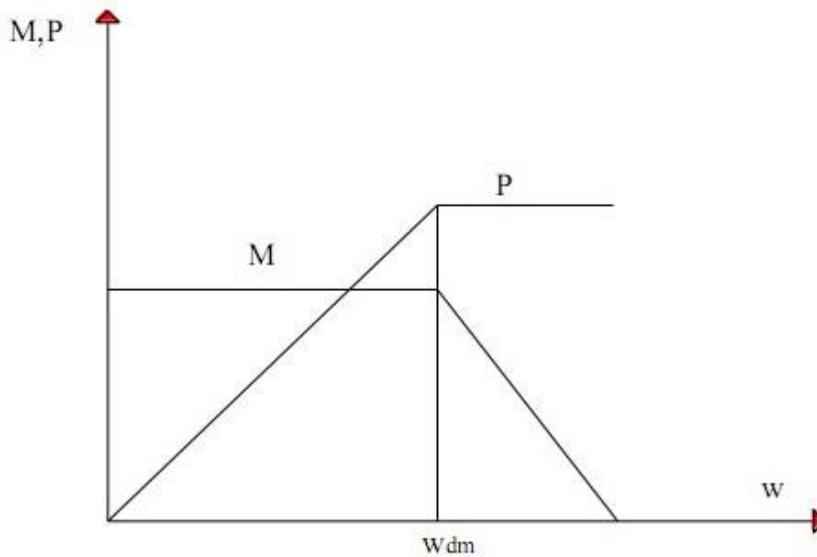
Thay thế vào biểu thức mô men ta rút ra  $\omega$ :

$$\omega = \frac{U}{K\phi} - \frac{R}{(K\phi)^2} M_e \quad (2.3)$$

Đây là phương trình đặc tính cơ của động cơ BLDC và được vẽ như sau:



**Hình 2.3:** Đặc tính cơ của động cơ BLDC



**Hình 2.4:** Đặc tính làm việc của động cơ BLDC

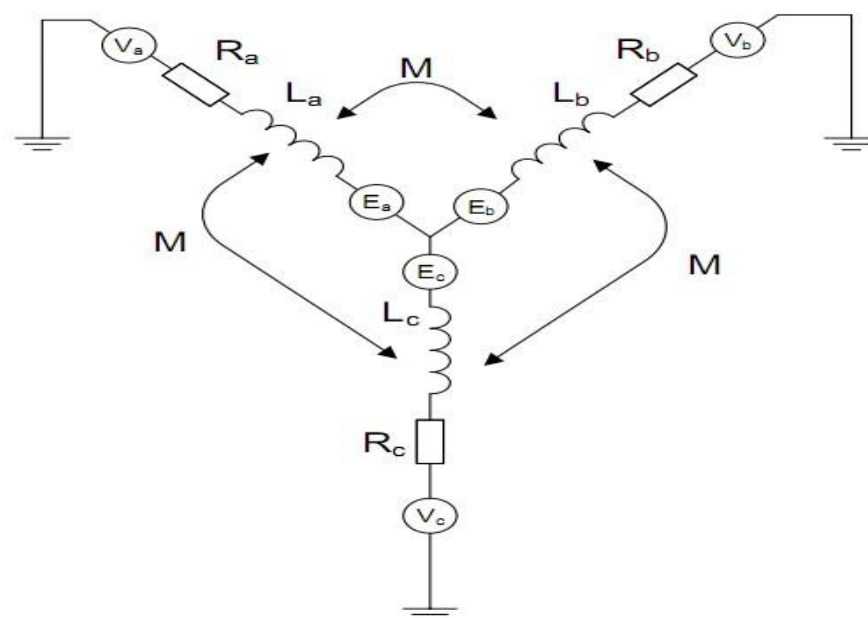
## 2.2. MÔ HÌNH TOÁN, PHƯƠNG TRÌNH SỨC ĐIỆN ĐỘNG VÀ MÔ MEN CỦA ĐỘNG CƠ BLDC.

### 2.2.1. Mô hình toán của động cơ BLDC.

Mô hình toán 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 một động

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

Để thực hiện xây dựng mô hình toán thì cần phải đưa động cơ BLDC về các thành phần điện tử cơ bản. Hình 2.5 là mô hình mạch điện trong động cơ gồm có ba cuộn dây stator được ước lượng bởi điện trở  $R_a$  và điện cảm  $L_a$ . Vì ba cuộn dây của stator được đặt cạnh nhau nên tất nhiên sẽ xảy ra hiện tượng hổ cảm giữa ba cuộn dây này với nhau. Sự hổ cảm giữa các cuộn dây stator được thể hiện qua đại lượng  $M$ . Mặt khác do rotor của BLDC làm bằng nam châm vĩnh cửu nên khi rotor này quay sẽ quét qua các cuộn dây của stator, hai từ trường này sẽ tương tác với nhau. Vì vậy các đại lượng  $e_a, e_b, e_c$  thể hiện sự tương tác giữa từ trường của rotor và từ trường của các cuộn dây trên stator, biên độ của các sức phản điện động này là bằng nhau có giá trị là  $E$ . Do các nam châm đều làm bằng vật liệu có suất điện trở cao nên có thể bỏ qua dòng cảm ứng rotor.



**Hình 2.5:** Mô hình mạch điện của động cơ BLDC

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

Phương trình vi phân điện áp ba pha của động cơ BLDC ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L_a & L_{ab} & L_{ca} \\ L_{ba} & L_b & L_{cb} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

Nhưng do các pha đối xứng nhau nên các giá trị điện trở, điện cảm, hồ cảm của ba cuộn dây bằng nhau

$$R_a = R_b = R_c = R; L_a = L_b = L_c = L; L_{ab} = L_{bc} = L_{ca} = M$$

Ta nhận được mới ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

Do ba cuộn dây trên stator đấu sao nên:  $i_a + i_b + i_c = 0$

Suy ra:  $M \cdot i_a + M i_b = -M i_c$

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

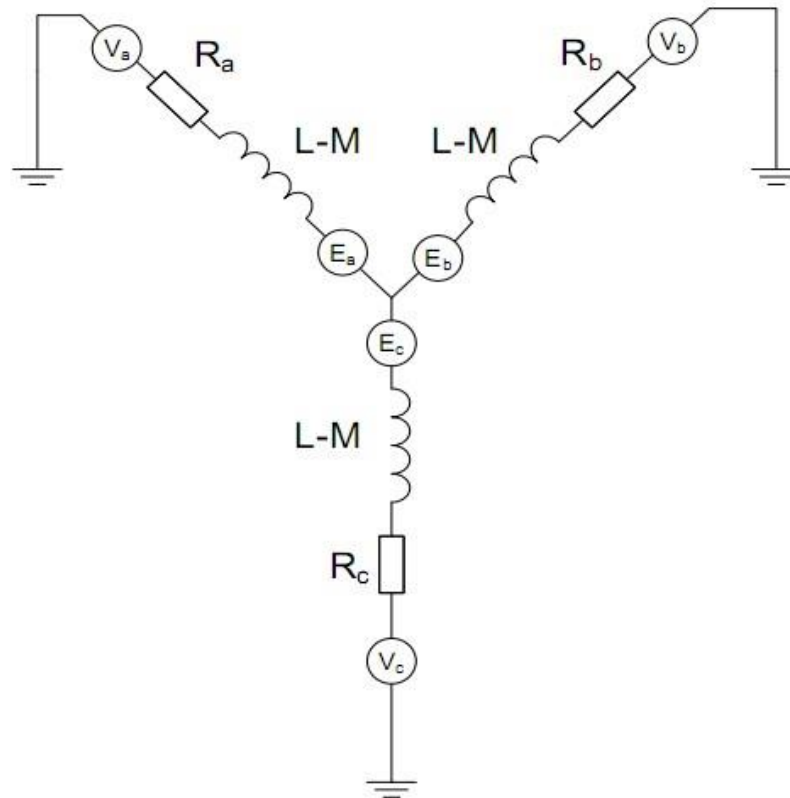
Triển khai ra, ta có phương trình vi phân điện áp ba pha stator động cơ BLDC như sau:

$$V_a = R i_a + (L - M) p i_a + e_a$$

$$V_b = R i_b + (L - M) p i_b + e_b$$

$$V_c = R i_c + (L - M) p i_c + e_c$$

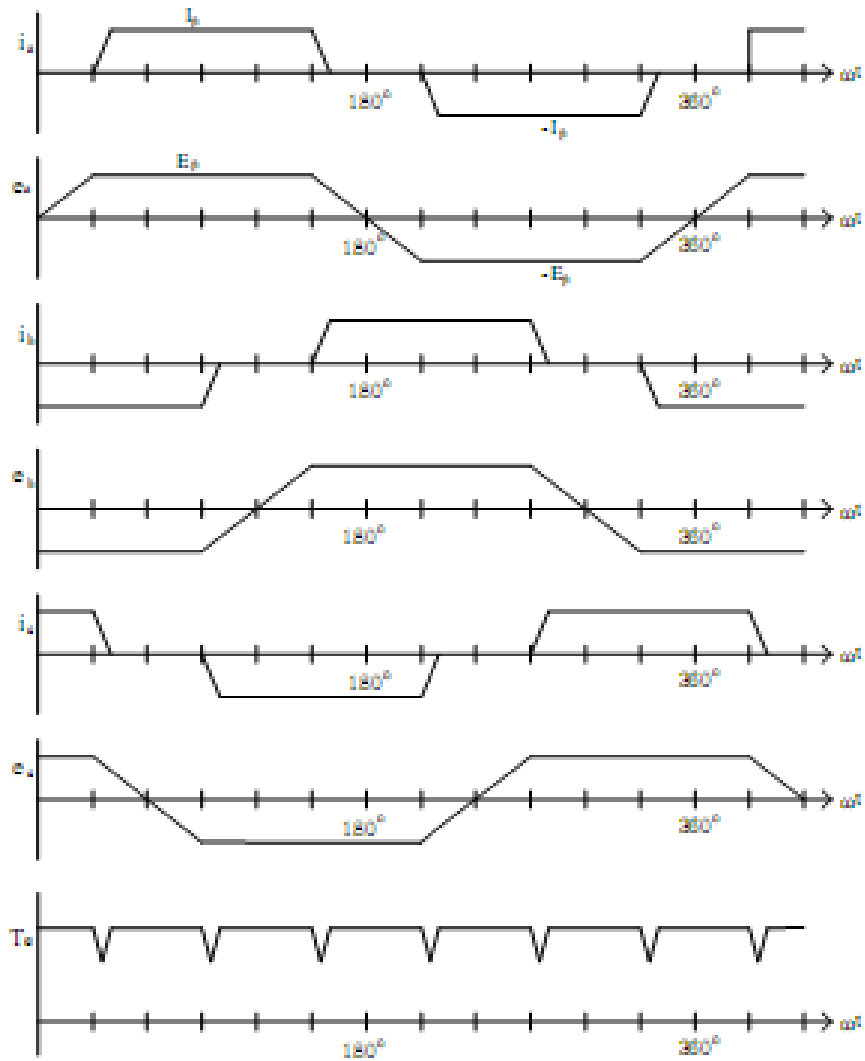
Ta có mô hình thu gọn của động cơ BLDC:



**Hình 2.6:** Mô hình thu gọn của động cơ BLDC

Ta đã đưa ra được mô hình toán của động cơ BLDC nhưng không chú ý tới ảnh hưởng của độ tự cảm lên dạng dòng điện. Sự tồn tại của cảm ứng cuộn dây đã làm dạng dòng điện bớt thẳng đứng hơn mà có dạng như sau:



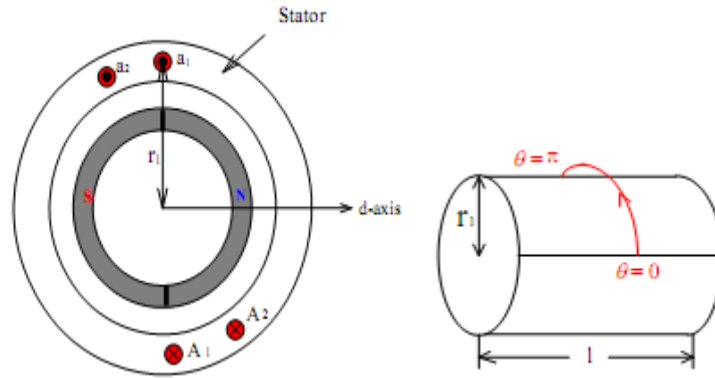


**Hình 2.7:** Dạng dòng điện và SĐĐ của các pha động cơ BLDC khi chú ý tới tự cảm cuộn dây

### 2.2.2. Phương trình sức điện động và mô men.

Xét một động cơ có hai cực hình cung tròn  $180^\circ$ , nam châm vĩnh cửu, từ thông do nó sinh ra là không đổi.

Trục d đi qua trung tâm của cực N có  $\theta=0$ , số lượng vòng quay của cuộn dây  $a_1-A_1$  là  $W_1$  (hình 2.8)



**Hình 2.8:** Mô tả sự tạo mô men động cơ BLDC

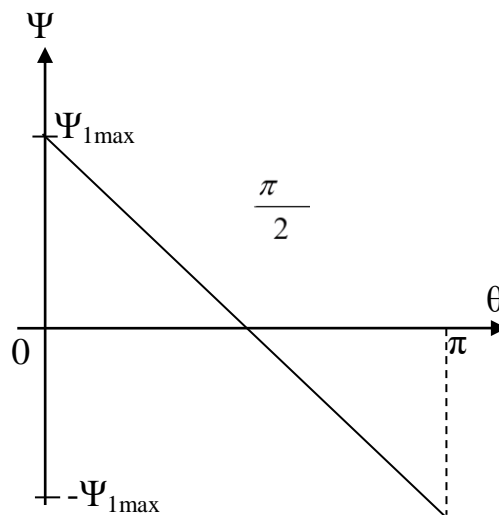
Từ thông móc vòng của cuộn dây  $a_1-A_1$  với số vòng dây  $W_1$  được xác định như sau:

$$\psi_{1\max} = W_1 \int_0^{\pi} B(\theta) r_1 l d\theta$$

Sau khi tích phân:  $\psi_{1\max} = W_1 B_g \pi l r_1$

Trong đó:  $B_g$  là biên độ cảm ứng từ trường có giá trị không đổi

Nhận thấy rằng tại  $\theta=0$  tổng từ thông móc vòng  $\psi_1 = \psi_{\max}$ , khi góc quay  $\theta$  tăng lên từ thông  $\psi_1$  giảm xuống, tới  $\theta = \pi/2$ , thì  $\psi_1 = 0$ , khi  $\theta > \pi/2$ , từ thông  $\psi_1$  đổi dấu và khi  $\theta = \pi$  thì  $\psi_1 = -\psi_{\max}$ .



**Hình 2.9:** Đặc tính từ thông theo góc quay roto

Phương trình tổng từ thông có dạng:

$$\psi_1(\theta) = \left[1 - \frac{\theta}{\pi/2}\right] \psi_{1\max} \quad \text{với } (0 < \theta \leq \pi) \quad (2.4)$$

Đặc tính  $\psi_1=f(\theta)$  biểu diễn trên h.7.38.

Bây giờ xác định biểu thức sđđ.

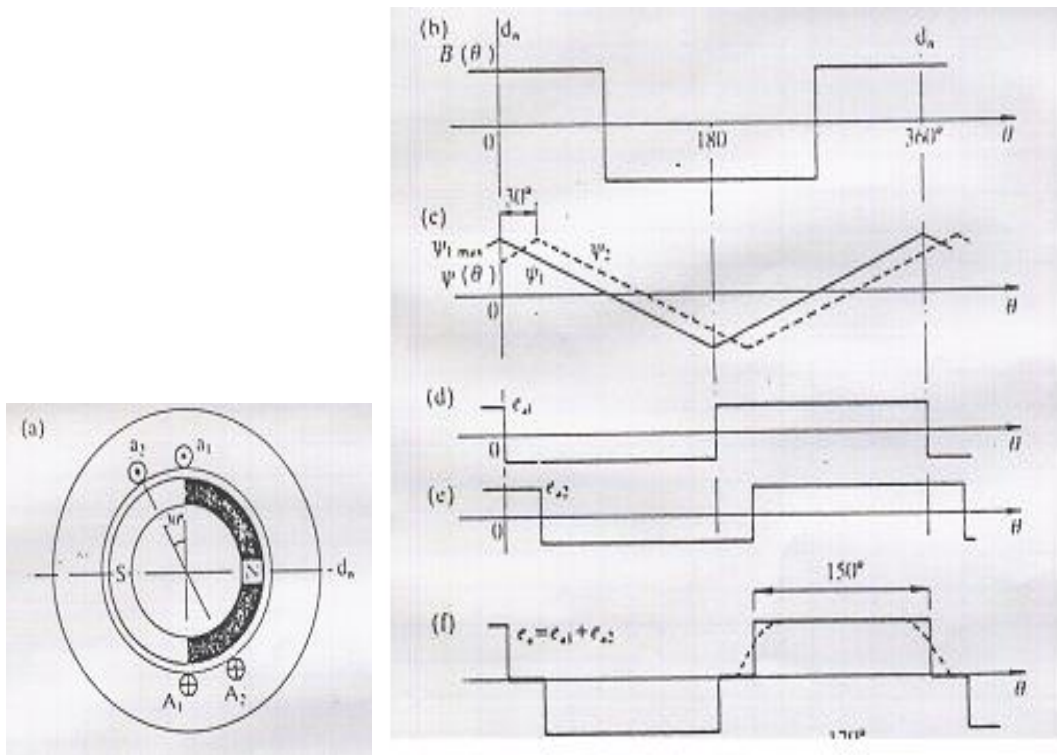
Sđđ của cuộn dây a1-A1 xác định như sau:

$$e_1 = \frac{d\psi_1}{dt} = \frac{d\psi_1}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \omega_e \frac{d\psi_1}{d\theta} \quad (2.5)$$

Thay giá trị  $\psi_1$ , tính đạo hàm nhận được:

$$e_1 = -2W_1 B_g l r_1 \omega_e \quad (2.6)$$

Mật độ từ thông, tổng từ thông của cuộn dây a1-A1, a2-A2, sđđ cả 2 cuộn dây cho ở hình 2.10. Nhận thấy rằng sđđ có dạng hình thang, đỉnh phẳng tức thời:  $120^\circ$  do từ trường không hình sin.

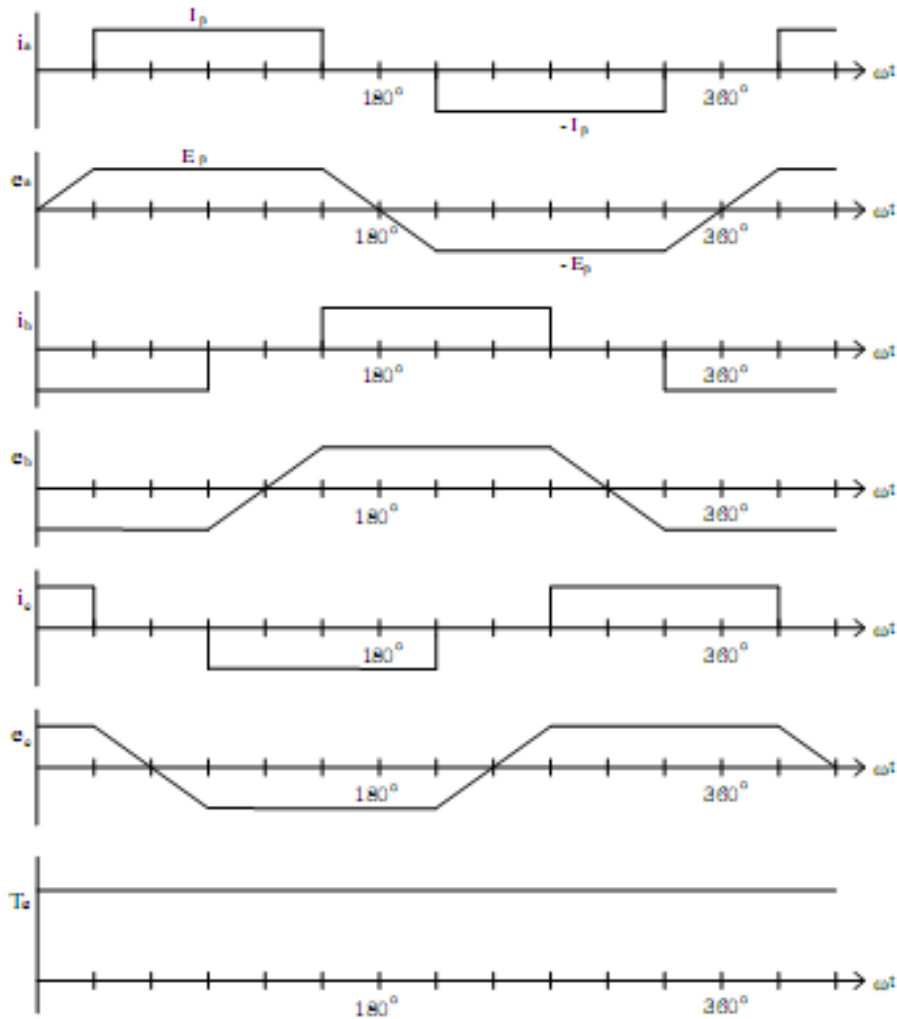


**Hình 2.10:** Mật độ từ thông, tổng từ thông

của cuộn dây a<sub>1</sub>-A<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>-A<sub>2</sub>, sđđ cả hai cuộn dây và tổng sđđ

Trên hình 2.11 biểu diễn dòng điện, sức điện động và mô men của động cơ ba pha. Dòng phản ứng lý tưởng dạng chữ nhật, đỉnh phẳng có góc

120°, sức điện động ba pha lý tưởng có dạng hình thang, đỉnh phẳng là 120° nửa chu kỳ và trùng pha với dòng điện.



**Hình 2.11:** Biểu diễn dòng điện ba pha, sđđ và mô men

Biên độ sđđ ở đỉnh phẳng của một cuộn dây xác định như sau:

$$e = 2W_{ph}B_g l r_1 \cdot \omega_e \quad (2.7)$$

Trong đó  $W_{ph}$  là số vòng dây, biến đổi đi chút ít nhận được:

$$e = \frac{2}{\pi} W_{ph} B_g l \pi r_1 \omega_e$$

Trong đó diện tích  $S = \pi l r_1$ , từ thông  $\Phi = S \cdot B_g = \pi l r_1 B_g$  do 2 pha mắc nối tiếp nên sđđ hiệu dụng pha:  $E = 2e$

$$\text{Thay vào được: } E = \frac{4}{\pi} N_{ph} B_g l \pi r_1 \omega_e = K \phi \omega_e \quad \text{trong đó } K = \frac{4}{\pi} N_{ph}$$

Tiếp theo t sẽ xác định phương trình mô men của động cơ BLDC. Để xác định mô men của động cơ BLDC, trước hết xác định công suất của động cơ.

Công suất điện ra tức thời:

$$P_e = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c$$

Vậy mô men tức thời được tính theo biểu thức:

$$m_e = \frac{P_e}{\omega_e} = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_e}$$

Như chúng ta đã thấy ở hình 2.11, đỉnh phẳng dòng điện pha trùng pha với đỉnh phẳng sức điện động của pha đó ở mỗi  $60^\circ$ , ta có như sau:

+ Ở giai đoạn 1 khi  $\omega t = (30^\circ - 90^\circ)$  dòng điện và sức điện động các pha có giá trị:

$$i_a = I_p, i_b = -I_p, i_c = 0 \quad e_a = E_p, e_b = -E_p, e_c = 0$$

Mô men được biểu diễn bằng công thức:

$$m_e = \frac{P_e}{\omega_e} = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_e} = \frac{E_p I_p + 0 + (-E_p)(-I_p)}{\omega_e} = \frac{2E_p I_p}{\omega_e}$$

+ Ở giai đoạn 2 khi  $\omega t = (150^\circ - 210^\circ)$  dòng điện và sức điện động các pha có giá trị:

$$i_a = 0, i_b = I_p, i_c = -I_p \quad e_a = 0, e_b = E_p, e_c = -E_p$$

Mô men tức thời khi đó được tính bằng công thức:

$$m_e = \frac{P_e}{\omega_e} = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_e} = \frac{0 + E_p I_p + (-E_p)(-I_p)}{\omega_e} = \frac{2E_p I_p}{\omega_e}$$

Rõ ràng rằng mô men có giá trị không thay đổi trong cả chu kỳ. Công suất ra có thể được tính bằng công thức:

$$P = M_e \omega_e = 2eI = 2 \frac{2}{\pi} N_{ph} B_g l \pi r_1 \omega_e I = \frac{4}{\pi} N_{ph} B_g l \pi r_1 \omega_e I$$

Do đó:

$$M_e = \frac{P}{\omega_e} = \frac{4}{\pi} N_{ph} B_g l \pi r_1 \omega_e I = K\Phi I$$

Mô men và sức điện động của động cơ điện một chiều có dạng:

$$E=K\Phi\omega, \text{ còn } M_e= K\Phi I_r$$

Như vậy biểu thức mô men của động cơ BLDC và động cơ điện một chiều bình thường là hoàn toàn giống nhau.

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

Mô men quán tính:  $J_m$

Mô men má sát:  $M_f$

Ma sát thường tỷ lệ với tốc độ và được biểu diễn thông qua hệ số nhớt  $D$  theo biểu thức:

$$M_f = D \cdot \omega_m \quad (2.8)$$

Mô men tải của động cơ:  $M_c$

Mô men quán tính của tải:  $J_c$

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

$$M = (J_m + J_c) \frac{d\omega}{dt} + D \cdot \omega + M_c \quad (2.9)$$

Đặt  $J = J_m + J_c$ , biến đổi phương trình trên ta được:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - D \cdot \omega - M_c}{j} \quad (2.10)$$

Viết dưới dạng toán tử Laplace:

$$s \cdot \omega = \frac{M - D \cdot \omega - M_c}{j} \quad (2.11)$$

## 2.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG ĐỘNG CƠ BLDC.

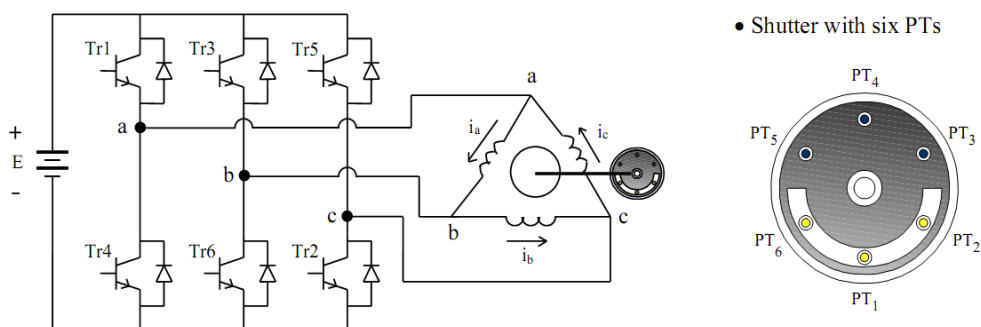
Như ta đã biết, quá trình điều khiển động cơ BLDC chính là quá trình điều khiển sao cho dòng điện chạy qua các cuộn dây đặt trên stator một cách hợp lí.

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

### 2.3.1. Phương pháp điều khiển động cơ BLDC sử dụng cảm biến vị trí.

Ở phần trên ta đã trình bày sơ đồ nguyên lý sử dụng phần tử quang để phát hiện vị trí rotor, ở đây ta bàn đến việc sử dụng loại cảm biến này để điều khiển động cơ BLDC.

Hình 2.12 là sơ đồ động cơ BLDC gồm ba cuộn dây nối tam giác và được nối với nguồn một chiều qua bộ chuyển mạch điện tử



**Hình 2.12:** Sơ đồ nguyên lý điều khiển động cơ BLDC

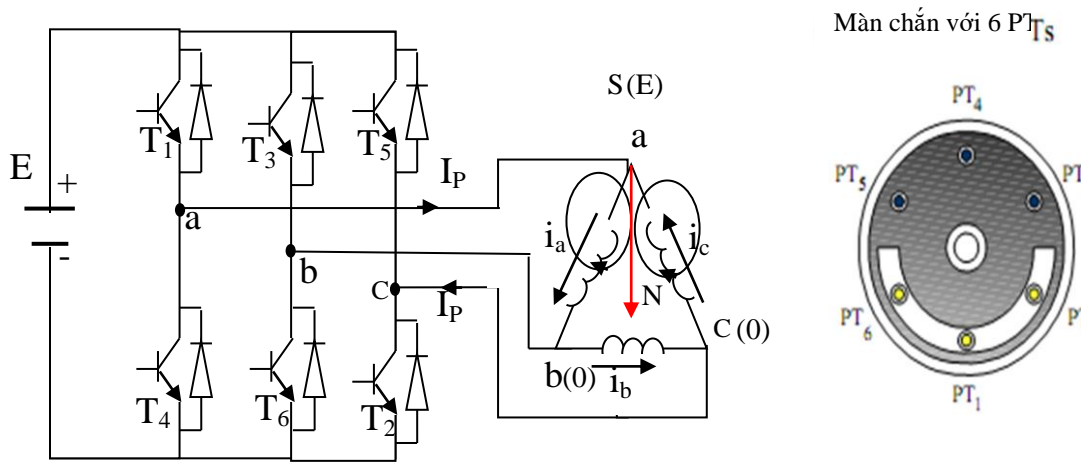
sử dụng phần tử quang để cảm biến vị trí rotor

Mạch điện tử gồm có sáu transistor quang nối với sáu đèn LED tương ứng đặt ở một màn che, trong đó diện tích che phủ của màn che là

180°, như vậy tại một thời điểm luôn chỉ có ba phần tử quang được chiếu sáng và ứng với chúng là ba transistor dẫn điện, ba đèn LED còn lại của mạch điện không được chiếu sáng và đương nhiên ba transistor nối với chúng sẽ không dẫn điện. Màn chắn sẽ được gắn vào rotor, khi rotor quay, màn chắn quay theo làm thay đổi trạng thái sáng tối của đèn LED. Hoạt động của bộ chuyển mạch này gồm có sáu sector.

1. Điều khiển quay thuận

Sector 1 (hình 2.13):



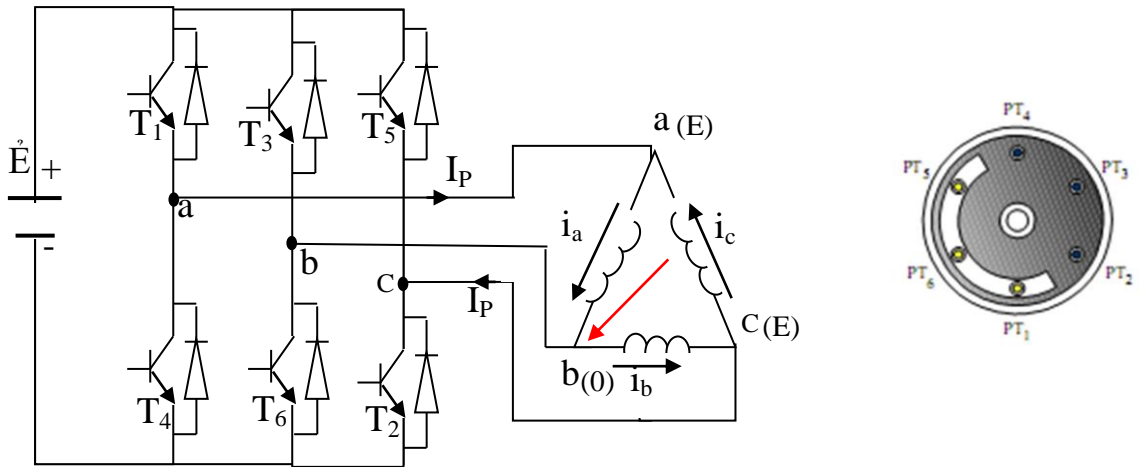
**Hình 2.13:** Hoạt động tại sector 1

Ở vị trí này  $PT_6$ ,  $PT_1$ ,  $PT_2$  được chiếu sáng ứng với nó là các transistor  $T_6$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  dẫn điện. Khi  $T_1$  dẫn thì điểm  $a$  và điểm  $+E$  sẽ được nối với nhau,  $T_6$  dẫn thì điểm  $b$  và điểm  $-E$  sẽ được nối với nhau,  $T_2$  dẫn thì điểm  $c$  cũng sẽ được nối với  $-E$ .

Từ hình vẽ thấy:  $i_b = 0$  (điểm  $b$  và điểm  $c$  cùng điện thế vì cùng nối với  $-E$ ),  $i_a = i_p$ ,  $i_c = -i_p$  ( $i_p$  là dòng trong dây dẫn, coi dòng chạy đến cuộn dây là dương, dòng từ cuộn dây chạy về nguồn là âm).

Sector 2 (hình 2.14): Ở vị trí này  $PT_1$ ,  $PT_6$ ,  $PT_5$  sáng ứng với các transistor  $T_1$ ,  $T_6$ ,  $T_5$  dẫn điện.  $T_1$ ,  $T_5$  dẫn lần lượt nối điểm  $a$  và điểm  $c$  với  $+E$ ,  $T_6$  dẫn nối điểm  $b$  với  $-E$ .

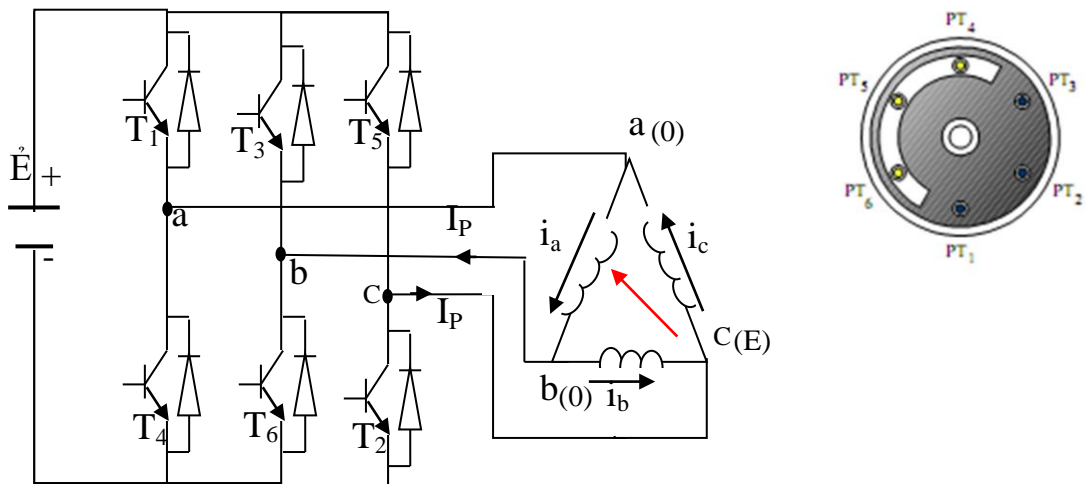




**Hình 2.14:** Hoạt động tại sector 2

Lúc này dòng  $i_c = 0$  do điểm a và c có cùng điện áp,  $i_a = i_p$ ,  $i_b = -i_p$ .

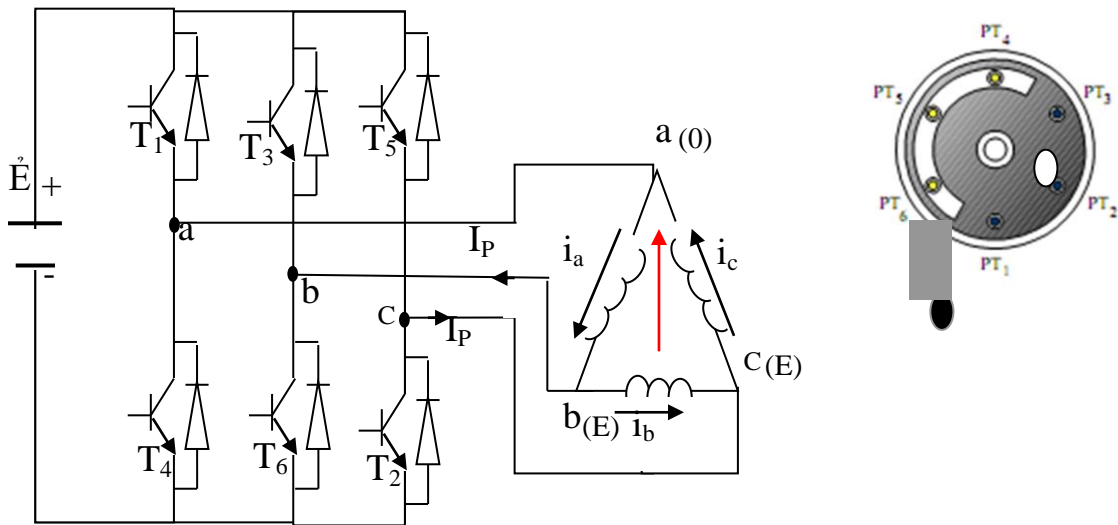
Sector 3 (hình 2.16): Lúc này các đèn LED  $PT_6$ ,  $PT_5$ ,  $PT_4$  sáng đồng nghĩa với việc lần lượt các transistor  $T_6$ ,  $T_5$ ,  $T_4$  thông. Điểm a và b nối với điểm  $-E$  còn điểm c được nối với  $+E$ .



**Hình 2.15:** Hoạt động tại sector 3

$I_a = 0$  do điểm a và b cùng điện thế,  $i_c = i_p$ ,  $i_b = -i_p$ .

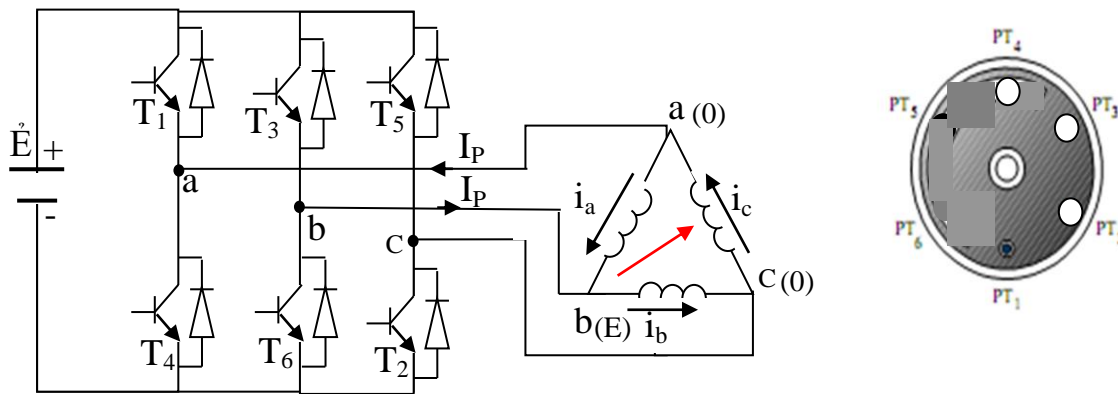
Sector 4 (hình 2.17): Các đèn LED PT<sub>5</sub>, PT<sub>4</sub>, PT<sub>3</sub> sáng, các transistor T<sub>5</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub> thông, do đó điểm a nối với -E, b và c được nối với +E.



**Hình 2.16:** Hoạt động tại sector 4

Do vậy: lúc này  $i_b = 0$  do điểm b và c có cùng điện thế,  $i_c = i_p$ ,  $i_a = -i_p$ .

Sector 5 (hình 2.18):

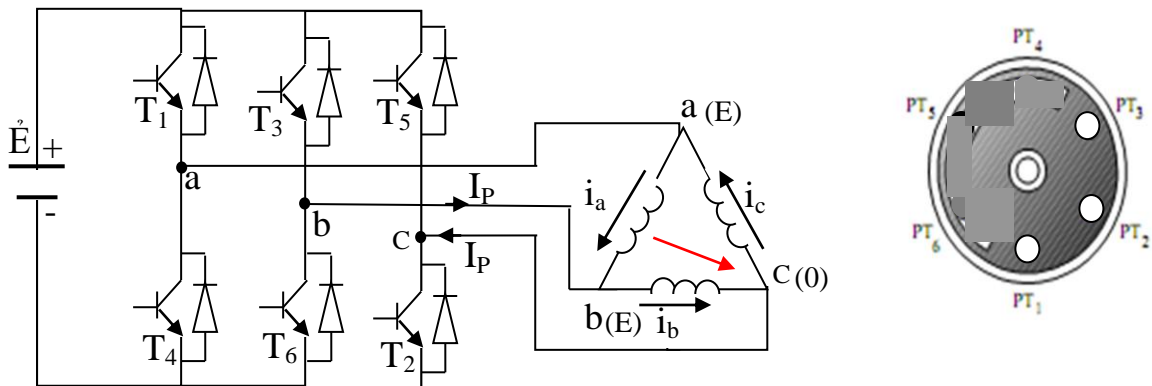


**Hình 2.17:** Hoạt động của sector 5

Các đèn LED PT<sub>4</sub>, PT<sub>3</sub>, PT<sub>2</sub> sáng ứng với các transistor T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>2</sub> thông. Khi T<sub>4</sub> thông thì điểm a nối với -E, T<sub>3</sub> và T<sub>2</sub> thông, lần lượt điểm b và điểm c nối với +E.

Lúc này  $i_c = 0$  do a và c cùng điện thế,  $i_b = i_p$ ,  $i_a = -i_p$ .

Sector 6 (hình 2.19): Các đèn LED PT<sub>3</sub>, PT<sub>2</sub>, PT<sub>1</sub> sáng tương ứng các transistor T<sub>3</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> thông dẫn điện.



**Hình 2.18:** Hoạt động tại sector 6

Khi T<sub>3</sub> và T<sub>1</sub> thông, điểm b và a nối với +E, T<sub>2</sub> thông thì điểm c nối với -E. Như vậy:  $i_a = 0$  vì a và b cùng điện thế,  $i_b = i_p$ ,  $i_c = -i_p$ .

Ở bảng 2.1 là trạng thái đóng mở các transistor khi ta điều khiển theo chiều quay thuận.

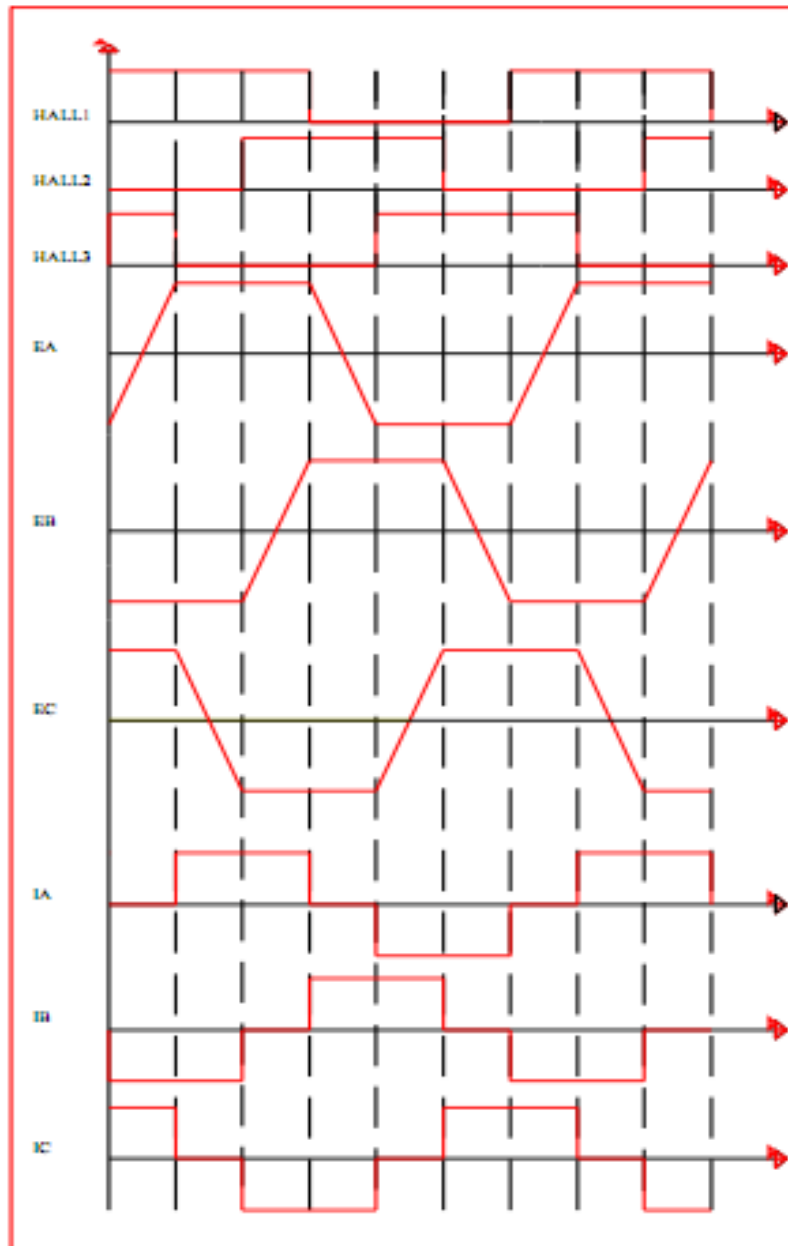
**Bảng 2.1:** Bảng đóng mở các transistor chiều quay thuận

Van điện tử / Secto	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6
1	1	1	0	0	0	1
2	1	0	0	0	1	1
3	0	0	0	1	1	1
4	0	0	1	1	1	0
5	0	1	1	1	0	0
6	1	1	1	0	0	0

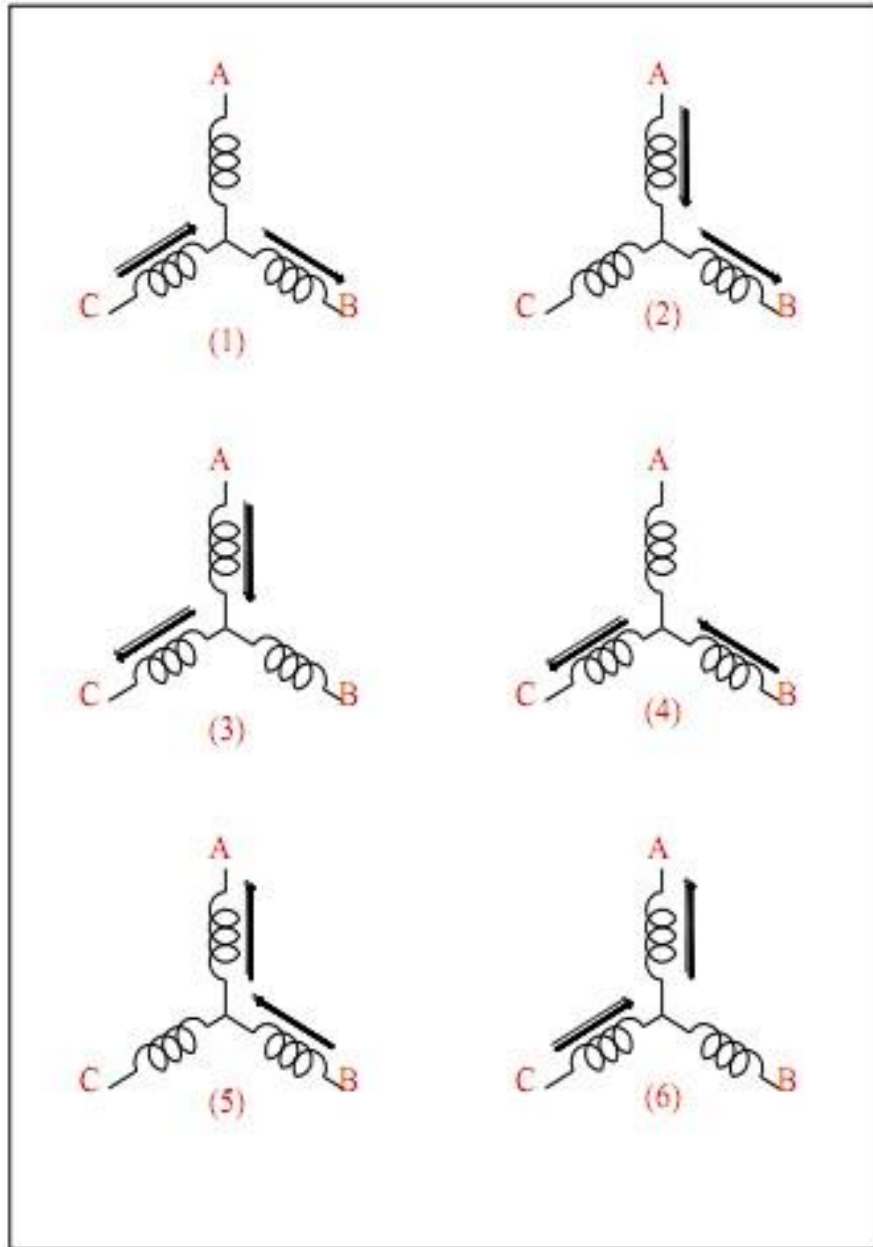
Điều khiển quay thuận động cơ BLDC có cuộn dây nối sao cũng giống như điều khiển quay thuận với cuộn dây nối tam giác.

Cứ khi quay được 60° điện, một cảm biến Hall lại thay đổi trạng thái. Như vậy, có thể thấy nó cần sáu sector để hoàn thành một chu kỳ điện. Một chu kỳ điện tương ứng với một vòng quay cơ khí của rotor. 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. Do đó số lượng chu kỳ điện trên một chu kỳ cơ bằng số cặp cực của rotor.



**Hình 2.19:** Tín hiệu cảm biến Hall, sức phản điện động và dòng điện ở chế độ quay thuận

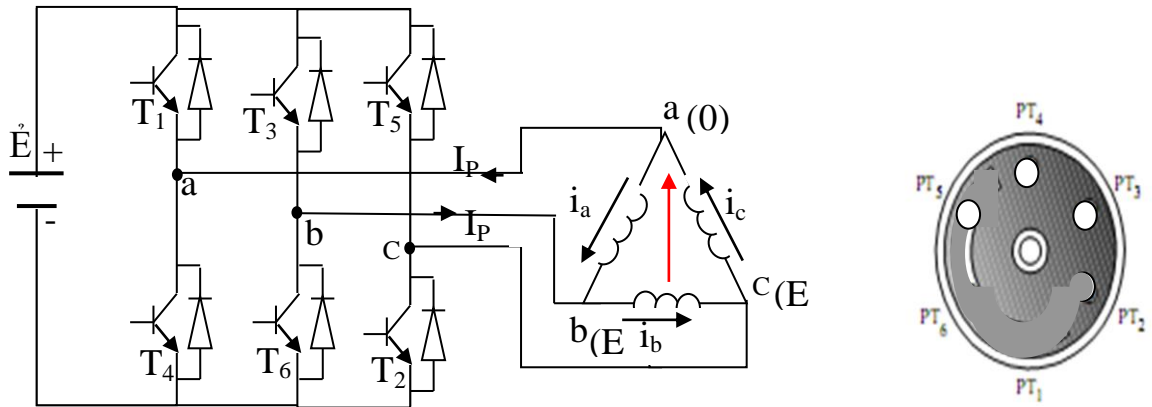


**Hình 2.20:** Thứ tự cấp điện cho các cuộn dây tương ứng với các cảm biến Hall ở chế độ quay thuận

## 2. Điều khiển quay ngược

Khi điều khiển động cơ BLDC theo chiều ngược chiều kim đồng hồ, phần tử transistor quang sáng thì transistor nối tương ứng sẽ không dẫn, các transistor nối với các phần tử không sáng lại dẫn.

Sector 1' (hình 2.22): Các phần tử quang  $PT_1$ ,  $PT_2$ ,  $PT_6$  thông, các transistor  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_6$  tắt,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_3$  thông.

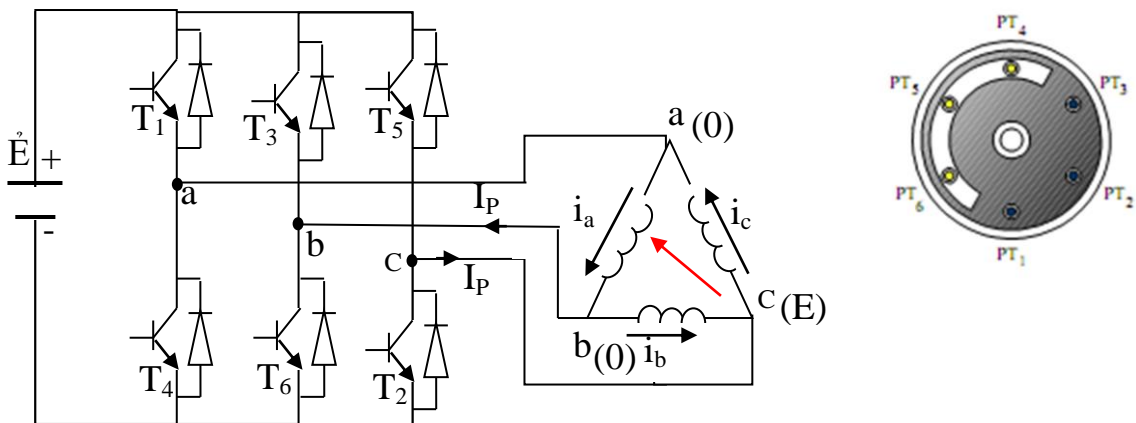


**Hình 2.21:** Hoạt động tại sector 1'

Lúc này điểm a nối với  $-E$ , điểm b và c nối với  $+E$ . Do đó,  $i_b = 0$  vì b và c cùng điện thế,  $i_a = -i_p$ ,  $i_c = i_p$ .

Sector 2' (hình 2.23):

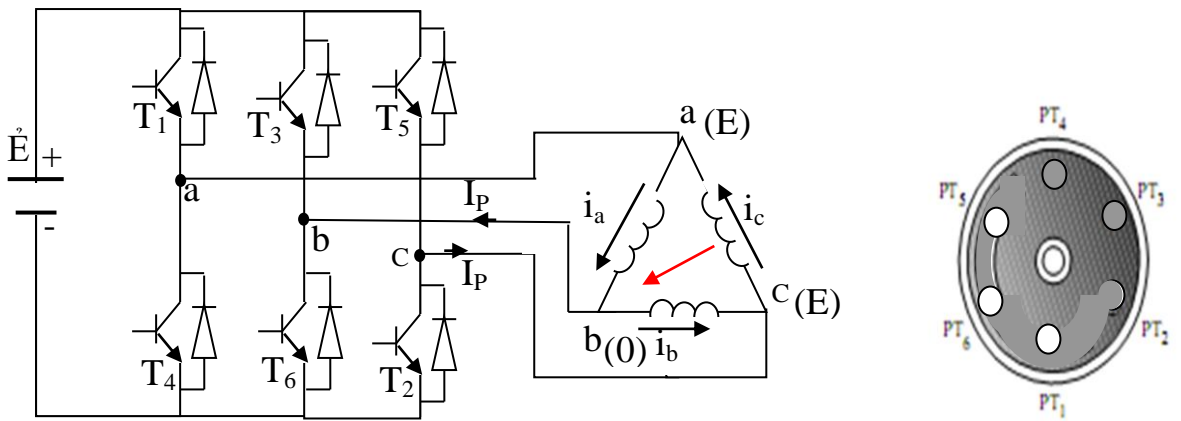
Transistor quang  $PT_1, PT_2, PT_3$  thông, các transistor  $T_1, T_2, T_3$  không dẫn điện, transistor  $T_4, T_5, T_6$  dẫn điện.



**Hình 2.22:** Hoạt động tại sector 2'

Lúc này điểm a và b nối với  $-E$ , c nối với  $+E$ . Vì vậy dòng  $i_a = 0$  vì a và b cùng điện thế,  $i_b = -i_p$ ,  $i_c = i_p$ .

Sector 3' (hình 2.24): Phần tử quang  $PT_4, PT_2, PT_3$  mở nhưng không dẫn điện, các transistor  $T_1, T_5, T_6$  dẫn điện.



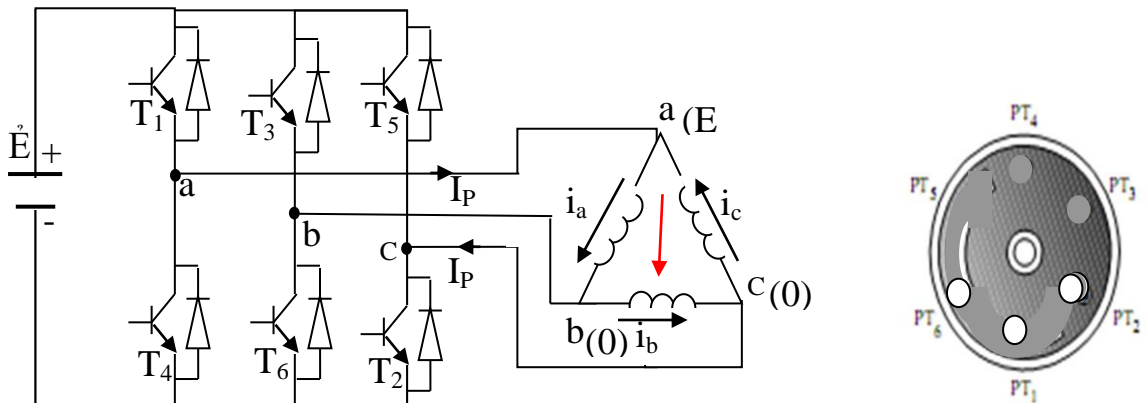
**Hình 2.23:** Hoạt động tại sector 3'

Lúc này điểm  $a$  và  $c$  nối với  $+E$ ,  $b$  nối với  $-E$ . Dòng  $i_c = 0$  vì  $a$  và  $c$  cùng điện thế,  $i_a = i_p$ , còn  $i_c = -i_p$ .

Sector 4' (hình 2.25):

Phần tử quang  $PT_4$ ,  $PT_5$ ,  $PT_3$  làm cho các  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_3$  không dẫn điện, các transistor  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_6$  dẫn điện.

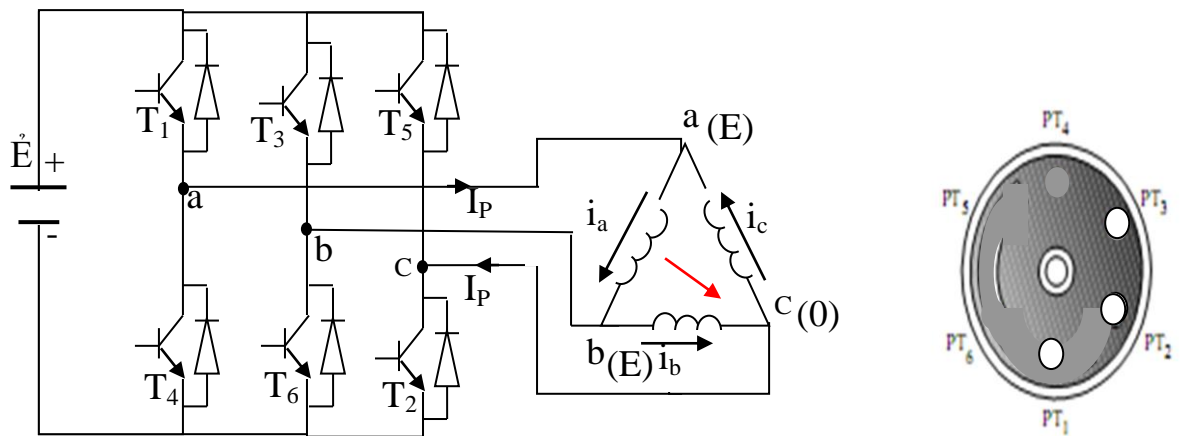
Lúc này điểm  $a$  nối với  $+E$ , điểm  $b$  và  $c$  nối với  $-E$ , dòng  $i_b = 0$  vì  $b$  và  $c$  chung điện thế,  $i_a = i_p$ , còn  $i_c = -i_p$ .



**Hình 2.24:** Hoạt động tại sector 4'

Sector 5' (hình 2.26):

Phần tử quang  $PT_4$ ,  $PT_5$ ,  $PT_6$  được chiếu sáng, các transistor  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  dẫn.

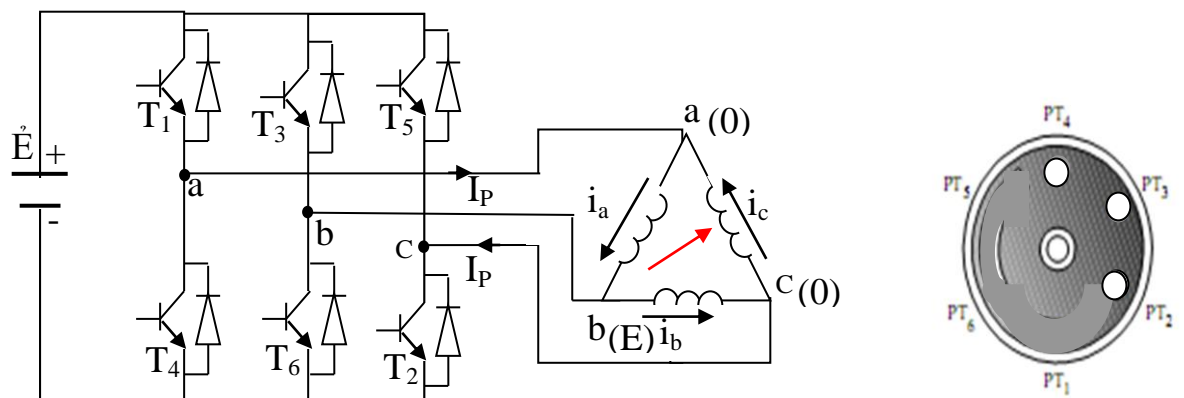


**Hình 2.25:** Hoạt động tại sector 5'

Lúc này điểm a và b nối với +E, điểm c nối với -E. Dòng  $i_a = 0$  vì a và b cùng điện thế,  $i_b = i_p$ ,  $i_c = -i_p$ .

Sector 6' (hình 2.27):

Các phần tử quang PT<sub>1</sub>, PT<sub>5</sub>, PT<sub>6</sub> mở nhưng các transistor T<sub>1</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> không dẫn điện mà các transistor T<sub>4</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> lại dẫn điện.



**Hình 2.26:** Hoạt động tại sector 6'

Lúc này, điểm a và c được nối với -E, còn điểm b nối với +E. Dòng  $i_c = 0$  do a và c cùng điện thế,  $i_b = i_p$ ,  $i_a = -i_p$ .

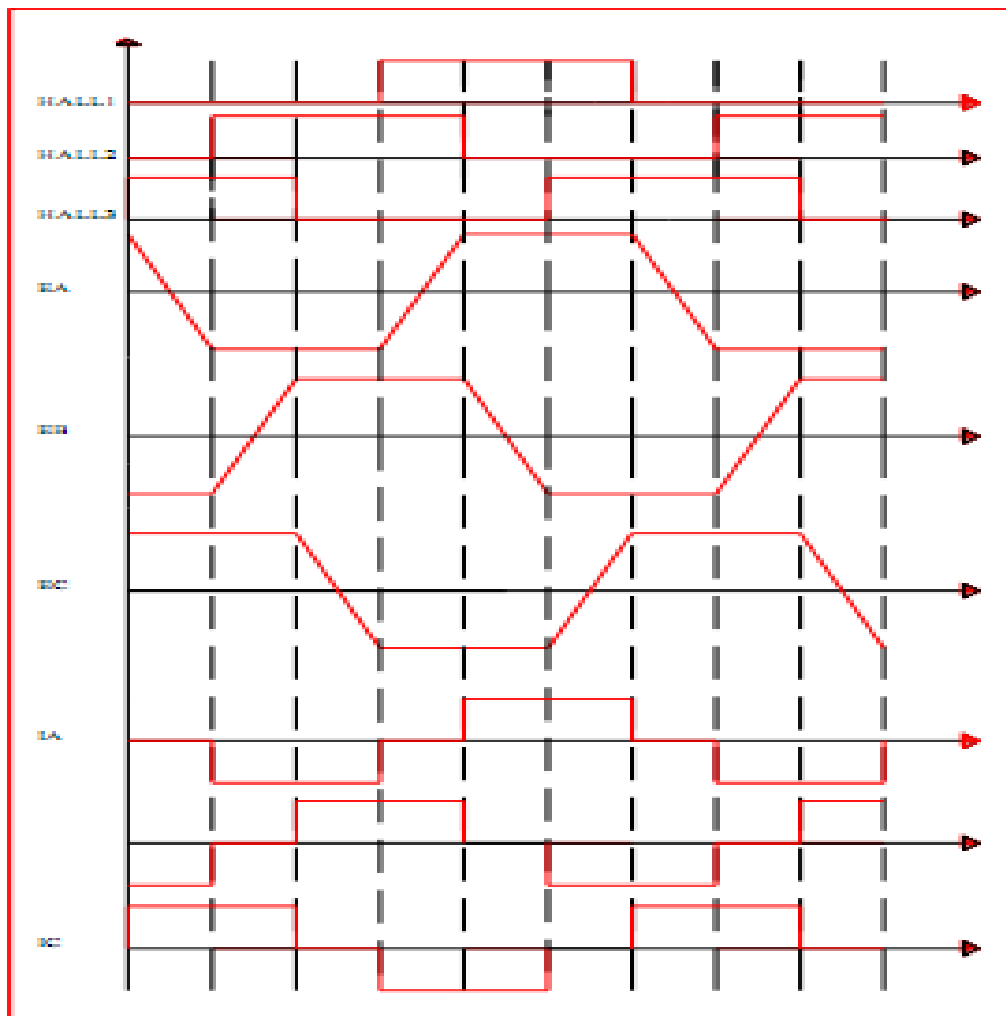
Bảng 2.2 là trạng thái đóng mở các transistor khi điều khiển quay ngược:



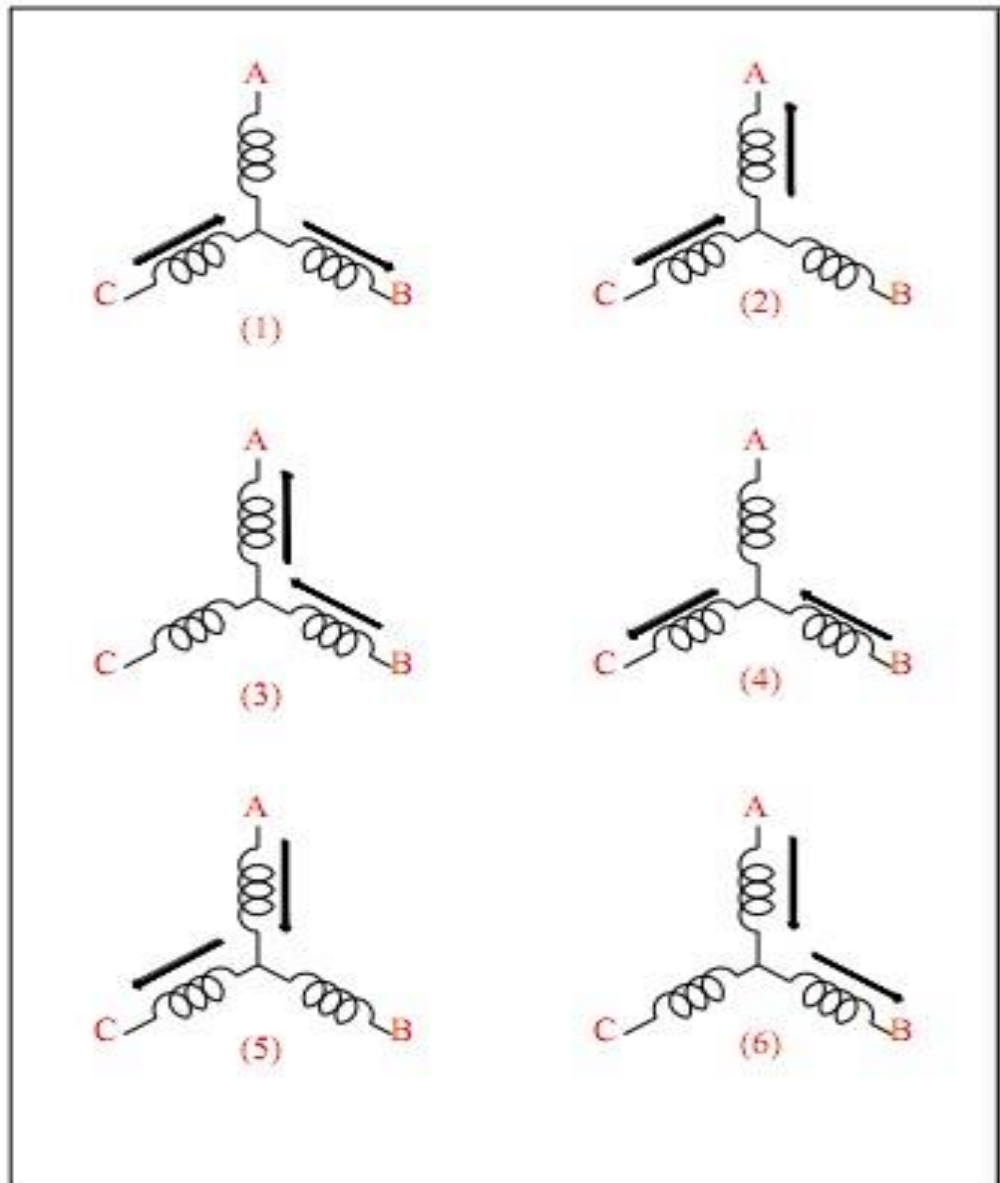
**Bảng 2.2:** Bảng đóng mở các transistor chiều quay ngược

Van điện tử Secto	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6
1	0	0	1	1	1	0
2	0	1	1	1	0	0
3	1	1	1	0	0	0
4	1	1	0	0	0	1
5	1	0	0	0	1	1
6	0	0	0	1	1	1

Điều khiển động cơ BLDC có cuộn dây nối sao theo chiều quay ngược:



**Hình 2.27:** Tín hiệu cảm biến Hall, sức phản điện động và dòng điện pha ở chế độ quay ngược



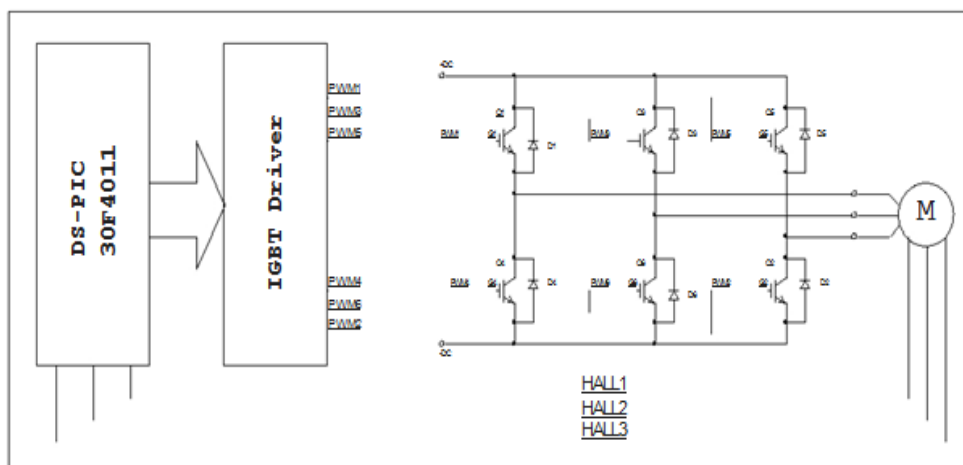
**Hình 2.28:** Thứ tự cấp điện các cuộn dây tương ứng ở chế độ quay ngược

Từ trường trong mỗi sector khi điều khiển động cơ theo chiều thuận sẽ ngược với từ trường của sector tương ứng khi ta điều khiển theo chiều ngược lại.

Lưu ý rằng phần trên máy điện có số đôi cực là một. Trong một chu kỳ làm việc có sáu sector tương ứng với sáu vector chuẩn.

Hình 2.30 là sơ đồ khối của hệ điều khiển động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than. Hệ thống điều khiển có sử dụng vi điều

kiến 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 2.29:** Hệ điều khiển động cơ BLDC

Bảng 2.3 và 2.4 là thứ tự chuyển mạch của các van dựa trên các đầu vào từ các cảm biến Hall ứng với chiều quay động cơ. Các cảm biến này đặt lệch nhau  $60^\circ$ .

**Bảng 2.3:** Thứ tự chuyển mạch khi điều khiển động cơ theo chiều thuận

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 2.4:** Thứ tự chuyển mạch khi điều khiển động cơ theo chiều ngược

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(Q	PWM6(Q6)	-	-DC	+D
2	1	0	0	PWM1(Q	PWM6(Q6)	+D	-DC	-
3	1	1	0	PWM1(Q	PWM2(Q2)	+D	-	-DC
4	0	1	0	PWM3(Q	PWM2(Q2)	-	+D	-DC
5	0	1	1	PWM3(Q	PWM4(Q4)	-	+D	-
6	0	0	1	PWM5(Q	PWM4(Q4)	-	-	+D

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

Đây là phương pháp sử dụng các ước lượng từ thông rotor để điều khiển các khóa đóng cắt thay cho các cảm biến Hall. Cơ sở chính của điều khiển không cảm biến đối với động cơ BLDC là dựa vào thời điểm qua rezo của sức điện động cảm ứng trên các pha của động cơ. Tuy nhiên phương pháp này chỉ áp dụng với điện áp hình thang.

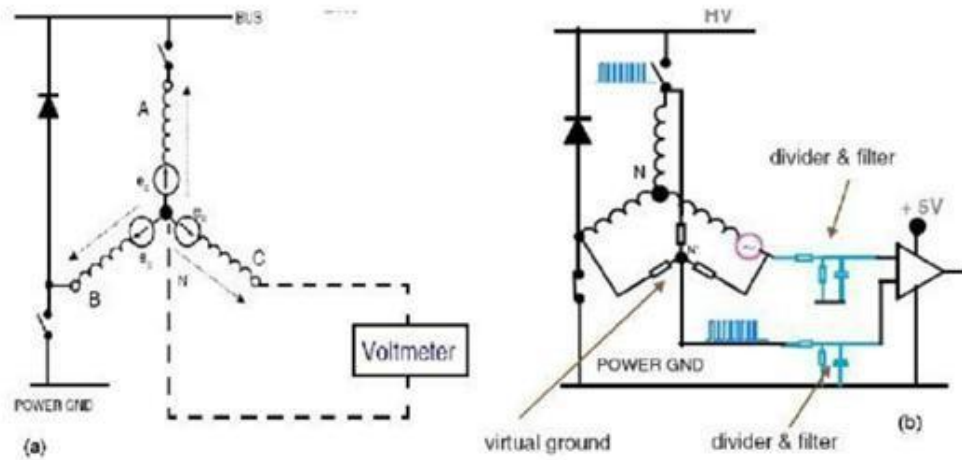
Về cơ bản có hai kỹ thuật điều khiển không cảm biến:

- Một là xác định vị trí rotor dựa vào sức điện động của động cơ, phương pháp này đơn giản, dễ thực hiện và giá thành rẻ.
- Hai là ước lượng vị trí dùng các thông 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 lại cao.

Phương pháp ước lượng vị trí rotor dựa vào thời điểm qua rezo của sức điện động đòi hỏi chúng ta phải thiết lập ra một điểm trung tính để có thể đo đạc, tính toán và bắt điểm này qua rezo của sức điện động. Điểm trung tính này có thể là trung tính hoặc trung tính ảo.

Điểm trung tính ảo trên lý thuyết có cùng điện thế với trung tính thật của cuộn dây đầu hình sao. Tuy nhiên điểm trung tính không phải là điểm cố

định. Điện áp của điểm trung tính có thể thay đổi được từ giá trị 0 đến gần giá trị điện áp một chiều của nguồn.



**Hình 2.30:** Điện áp cảm ứng bằng điểm trung tính

a) Điểm trung tính thật; b) Điểm trung tính ảo

## 2.4. ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ BLDC.

### 2.4.1. Điều khiển tốc độ động cơ BLDC bằng vòng khép kín.

Điều khiển động cơ BLDC được thực hiện bằng vòng khép kín theo nguyên tắc như sau:

- Sử dụng bộ điều khiển PI. Dòng I so sánh tính theo công thức:

$$I^* = (K_p + \frac{K_i}{s})(\omega_r^* - \omega_r)$$

Trong đó: Hệ số khuếch đại bộ điều chỉnh  $K_p$  và  $K_i$ ;

$\omega_r^*$  là tốc độ đặc của rotor ;

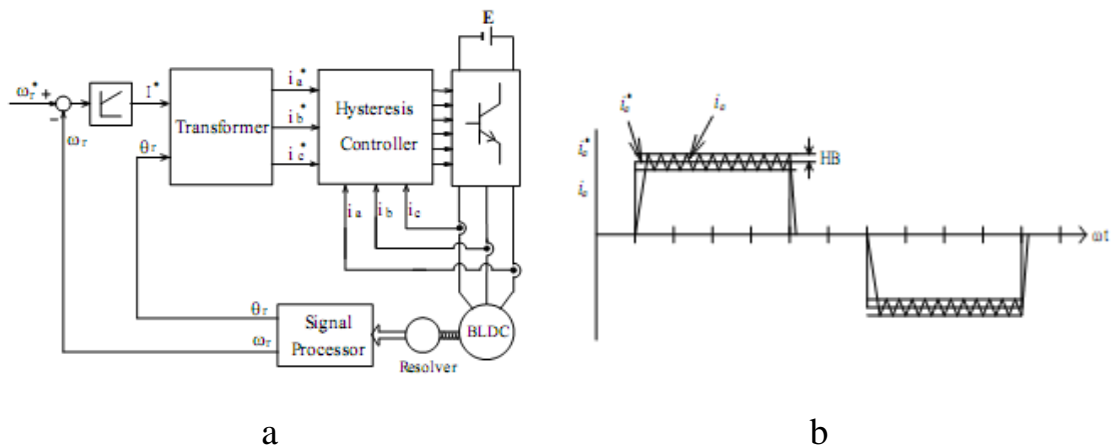
$\omega_r$  là tốc độ thực đo được trên trục động cơ

- Dùng bộ điều chỉnh dải trễ.

Trên hình 2.32 là sơ đồ nguyên lý vòng điều khiển dải trễ và đặc tính bộ điều chỉnh dải trễ.

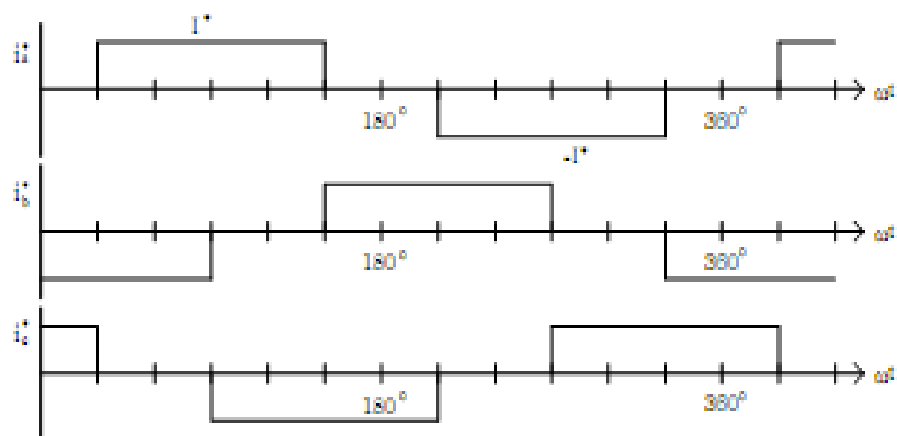
Hoạt động của hệ thống như sau: Tốc độ động cơ được đo bằng cảm biến tốc độ hoặc vị trí, được đưa vào khâu xử lý. Tính hiệu ra của khâu xử lý gồm tốc độ và góc quay rotor. Tốc độ quay rotor được đưa về so sánh

với tốc độ đặt, còn vị trí góc đưa vào biến áp. Sai số của tốc độ đặt và tốc độ thực được xử lý ở bộ điều khiển PI, tín hiệu ra của PI được đưa vào biến áp cùng góc quay  $\theta_r$ , tính hiệu ra của biến áp là các dòng so sánh  $i_a^*$ ,  $i_b^*$ ,  $i_c^*$ . Ba tín hiệu này được đưa vào bộ điều chỉnh dải trễ cùng với ba dòng đo được từ các pha của động cơ.



**Hình 2.31:** Sơ đồ nguyên lý vòng điều khiển dải trễ (a) và đặc tính bộ điều chỉnh dải trễ (b)

Hiệu  $\Delta = i_a^* - i_a$  phải được điều khiển sao cho nằm trong phạm vi dải trễ BH cho trước. Dòng điều khiển phải nằm trong dải này. Dạng ba dòng đặt  $i_a^*$ ,  $i_b^*$ ,  $i_c^*$  cho ở hình 2.33. Bộ điều chỉnh dải trễ hiện đang được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi.

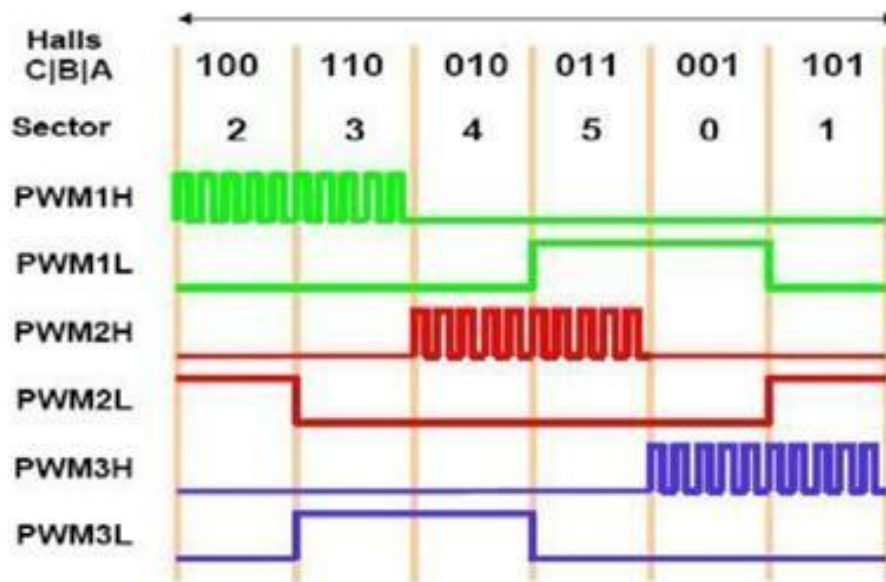


**Hình 2.32:** Dạng ba dòng so sánh đưa vào bộ điều chỉnh dải trễ

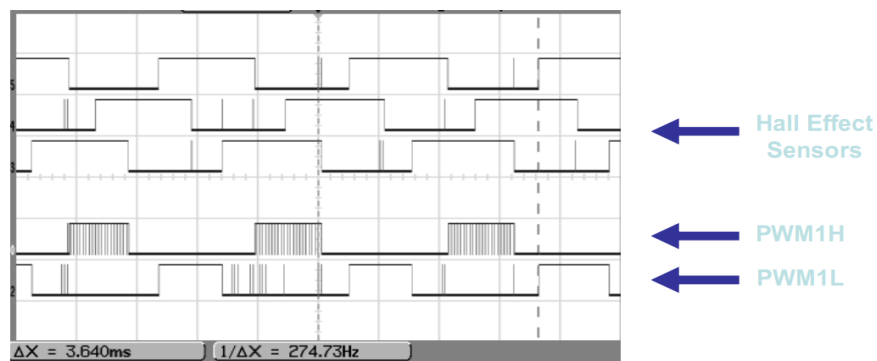
## 2.4.2. Điều khiển tốc độ động cơ BLDC bằng phương pháp

### PWM.

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 PWM để điều khiển tốc độ động cơ. Đây cũng là phương pháp 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 PWM có thể dùng cho khóa trên, khóa dưới hay đồng thời cả hai khóa cùng lúc.



**Hình 2.33:** Giản đồ xung điều khiển PWM kênh trên động cơ BLDC có điều chế PWM [3]



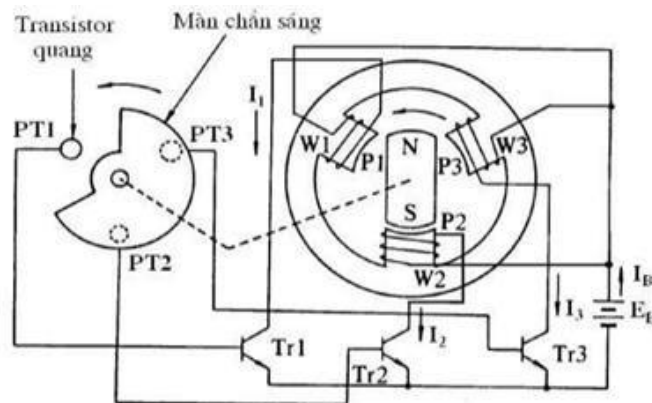
**Hình 2.34:** Động cơ BLDC có điều chế PWM

### CHƯƠNG 3.

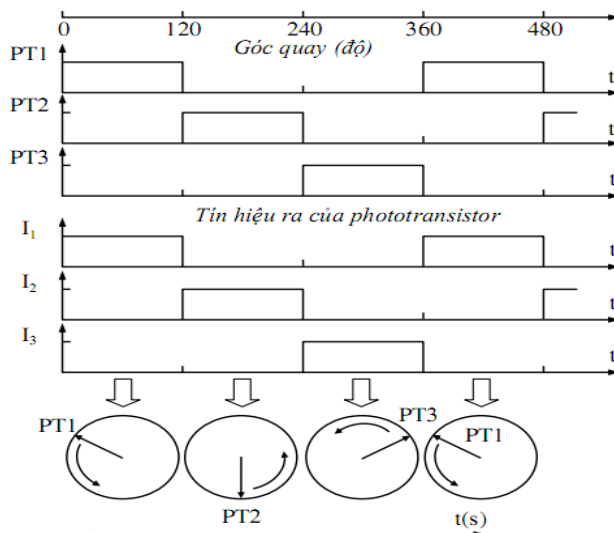
## CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ BLDC VÀ ỨNG DỤNG CỦA BLDC

### 3.1. CÁC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ BLDC.

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



**Hình 3.1:** Minh họa nguyên lý làm việc động cơ BLDC truyền động một cực tính



**Hình 3.2:** Thứ tự chuyển mạch và chiều quay từ trường stator

Hình 3.1 biểu diễn một động cơ BLDC ba pha đơn giản, động cơ này sử dụng cảm biến quang làm bộ phận xác định vị trí rotor. Như minh họa



trên 3.2, cực N (Bắc) của rotor đang ở vị trí đối diện với cực lõi  $P_2$  của stator, transistor quang  $PT_1$  được chiếu sáng, do đó có tín hiệu được đưa đến cực gốc (base) của transistor  $T_1$  làm cho  $T_1$  dẫn. Ở trạng thái này, cực S (Nam) được tạo thành ở cực lõi  $P_1$  bởi dòng điện  $I_1$  đi qua cuộn  $W_1$  đã hút cực N của rotor làm cho rotor chuyển động theo hướng mũi tên.

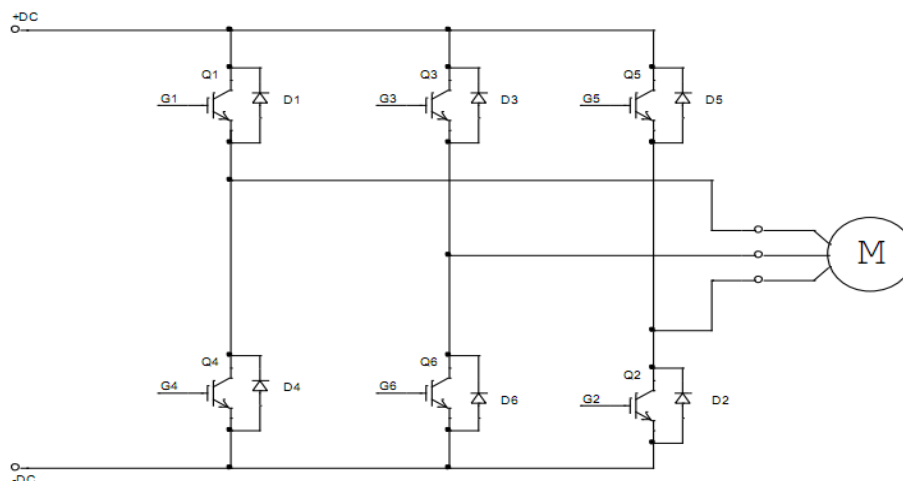
Khi cực N của rotor di chuyển đến vị trí đối diện với cực lõi  $P_1$  của stator, lúc này màn chắn gắn trên trục động cơ sẽ cho  $PT_1$  và đồng thời  $PT_2$  được chiếu sáng,  $T_2$  mở, dòng  $I_2$  đi qua  $T_2$ . Khi dòng điện này đi qua dây quấn  $W_2$  và tạo ra cực S trên cực lõi  $P_2$  thì cực N của rotor sẽ quay theo chiều mũi tên đến vị trí đối diện với cực lõi  $P_2$ . Ở thời điểm này, màn chắn sẽ che  $PT_2$  và đồng thời  $PT_3$  được chiếu sáng. Sẽ xuất hiện một dòng điện có chiều từ  $W_2$  sang  $W_3$ . Vì vậy, cực lõi  $P_2$  bị khử kích thích trong khi đó cực lõi  $P_3$  sẽ lại được kích hoạt và tạo thành cực lõi. Do đó, cực S của rotor sẽ di chuyển từ  $P_2$  sang  $P_3$  mà không dừng lại. Bằng cách lặp đi lặp lại các chuyển mạch như vậy theo thứ tự cho ở hình 3.2, rotor nam châm vĩnh cửu của động cơ sẽ quay theo chiều xác định một cách liên tục.

### **3.1.2. Truyền động cơ đảo chiều (truyền động hai cực tính).**

Ở động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu 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 cơ cấu cổ góp-chổi than) bằng bộ chuyển mạch điện từ dùng các bóng transistor công suất được điều khiển theo vị trí tương ứng của rotor như ta đã nói ở những phần trên.

Về bản chất, chuyển mạch hai cực tính là bộ nghịch lưu độc lập có sáu van chuyển mạch được bố trí trên hình 3.3. Trong đó sáu chuyển mạch là các van công suất, đối với các loại động cơ công suất bé thì các van chuyển mạch có thể dùng 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 rotor để đảm bảo sự thay đổi chiều dòng điện trong dây quấn trên stator khi rotor quay giống như cơ cấu cổ góp-chổi than của động cơ một chiều truyền thống.



**Hình 3.3:** Chuyển mạch hai cực tính của động cơ BLDC

### 3.2. ỨNG DỤNG CỦA ĐỘNG CƠ BLDC

Như đã trình bày ở những phần trên, động cơ BLDC có những ưu điểm nổi trội hơn so với động cơ một chiều truyền thống do không sử dụng cơ cấu cổ góp-chổi than nên loại động cơ này được sử dụng phổ biến.

Động cơ không có cơ cấu cổ góp-chổi than hoàn thành nhiều chức năng đã được thực hiện bởi động cơ một chiều thông thường, nhưng chi phí và sự phức tạp trong quá trình điều khiển đã làm cho loại động cơ này không thể thay thế hoàn toàn động cơ một chiều truyền thống ở các lĩnh vực cần có chi phí thấp. Động cơ BLDC được ứng dụng trong các lĩnh vực:

#### 3.2.1. Lĩnh vực hệ thống điều khiển chuyển động.

Điều khiển đóng ngắt có độ chính xác cao, môi trường làm việc dễ cháy nổ, không được bảo trì thường xuyên như các nhà máy hóa chất, phân bón....

Động cơ BLDC thường được sử dụng như động cơ bơm, quạt và trục chính trong các ứng dụng có thể điều chỉnh hoặc thay đổi tốc độ. Chúng có thể tạo ra mô men xoắn cao với đáp ứng tốc độ tốt. Ngoài ra, chúng có thể dễ dàng điều khiển từ xa do thiết kế của động cơ BLDC có đặc tính nhiệt tốt và hiệu quả năng lượng cao. Để có được một tốc độ phản hồi thay đổi, động cơ BLDC hoạt động trong một hệ thống cơ điện gồm có một phần tử điều khiển động cơ và một cảm biến phản hồi xác định vị trí của rotor.

Chúng còn được sử dụng trong các hệ điều khiển servo cho các ổ đĩa servo của máy công cụ. Động cơ servo được sử dụng để điều khiển chuyển động cơ, định vị hoặc điều khiển chuyển động một cách chính xác. Trong quá khứ, người ta sử dụng động cơ bước để làm động cơ servo, nhưng vì cần được vận hành với điều khiển vòng hở nên khi tạo mô men xoắn sẽ gây ra tiếng ồn. Động cơ BLDC phù hợp hơn để sử dụng như động cơ servo kể từ khi chuyển động chính xác của chúng dựa trên một hệ thống điều khiển vòng lặp khép kín, điều đó làm cho việc kiểm soát chặt chẽ hơn và tính ổn định cao khi hoạt động.

Động cơ BLDC được sử dụng như động cơ servo có công suất dưới 10kW.

Về mặt điều khiển truyền động, chúng ta có thể quy các ứng dụng của động cơ BLDC về ba dạng chính:

- Tải mô men bằng hằng số;
- Tải mô men thay đổi;
- Điều khiển vị trí.

### **3.2.2. Ứng dụng trong giao thông vận tải.**

Động cơ BLDC công suất cao từ vài chục W đến 100kW được sử dụng trong các hệ truyền kéo trên xe điện và xe hybrid. Động cơ này chủ yếu là động cơ đồng bộ xoay chiều với rotor là nam châm vĩnh cửu.

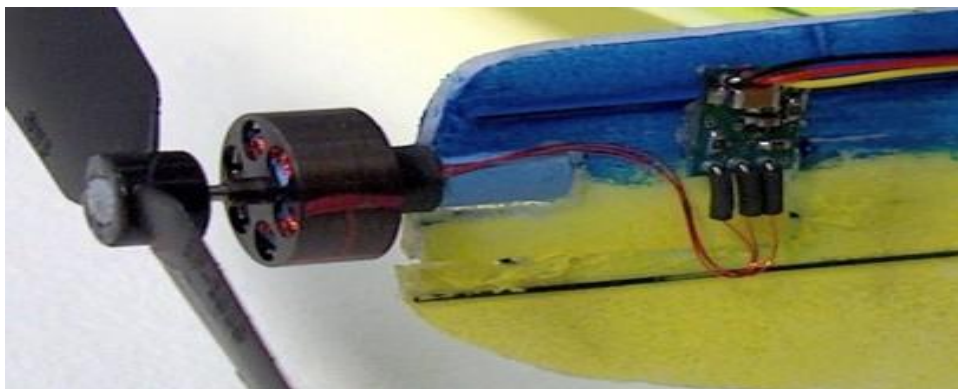
Xe Segway và Vectrix Maxi-Scooter cũng sử dụng động cơ BLDC.

Một số xe đạp điện sử dụng động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than, đôi khi động cơ BLDC được tích hợp vào chính bánh xe với stator gắn cố định vào trục và các nam châm được gắn vào và quay bằng chính bánh xe.

Hầu hết các mô hình RC chạy bằng điện sử dụng động cơ BLDC vì hiệu quả cao của chúng.

### 3.2.3. Ứng dụng trong mô hình, giải trí.

Động cơ BLDC là sự lựa chọn phổ biến để làm động cơ cho các loại ô tô đồ chơi điều khiển từ xa, động cơ cho các mô hình máy bay gồm máy bay trực thăng và máy bay không người lái. Động cơ BLDC thuận lợi cho việc cân bằng giữa năng lượng và trọng lượng, phạm vi hoạt động của mô hình ứng với kích thước của nó. Động cơ BLDC từ 5 gram tới những động cơ lớn hơn được quy đổi tườn ứng với phạm vi công suất đầu ra. Những nhà sản xuất mô hình cũng khuyến khích sự phát triển của máy bay mô hình điện nhẹ, đơn giản chứ không phải là động cơ đốt trong trước đây được sử dụng cho các mô hình lớn và nặng hơn. Tỷ lệ năng lượng/trọng lượng của pin được sử dụng hiện nay và động cơ BLDC cho phép các mô hình lên theo chiều dọc thay vì leo dằn. Tiếng ồn thấp và khối lượng nhỏ hơn so với động cơ đốt trong là lý do phổ biến.



**Hình 3.4:** Động cơ BLDC điều khiển xử lý bằng điện cho máy bay điều khiển bằng sóng vô tuyến.

Rotor bên ngoài động cơ nặng 5g và tiêu thụ 11W

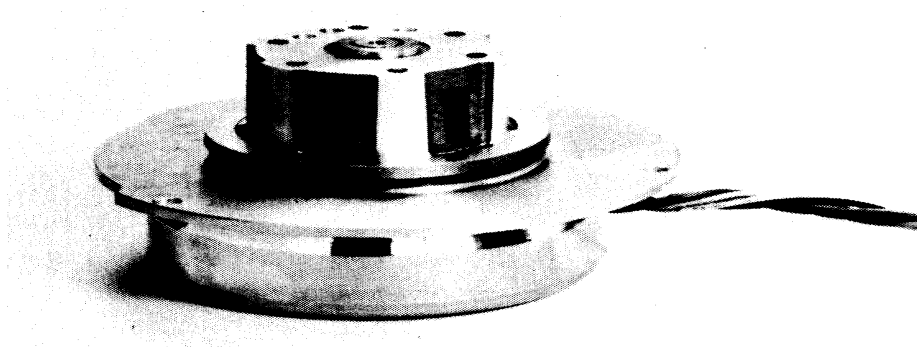
Hạn chế pháp lý cho việc sử dụng các động cơ thúc đẩy quá trình đốt cháy ở máy bay mô hình ở một số nước thường xuyên là do khả năng gây ô nhiễm tiếng ồn. Phương án thiết kế bộ giảm thanh cho các động cơ mô hình nhằm mục đích giảm tiếng ồn là có sẵn trong những thập kỷ gần đây nhất cũng đã tạo ra bước tiến lớn cho việc sử dụng các động cơ vào mô hình.

Sự phát triển của động cơ BLDC cũng đã tăng lên trong lĩnh vực xe đua được kiểm soát bởi sóng radio (Radio controled car). Những động cơ cung cấp một lượng lớn năng lượng và nếu kết hợp với hộp số phù hợp và xả ra một lượng lớn Li-Po (lithium polymer) hoặc LiFePO4 pin thì những mẫu xe có thể đạt tốc độ trên 100 dặm một giờ.

Động cơ một chiều không chổi than có khả năng tạo ra mô men xoắn và có tốc độ quay nhanh hơn so với các động cơ dùng nitro hoặc xăng. Động cơ nitro có tốc độ lớn nhất khoảng 46.800 vòng/phút và 2.95HP, trong khi động cơ BLDC nhỏ hơn có mô men xoắn cực đại ngay khi bắt đầu và khi giảm dần có thể đạt đến 50.000 vòng/ phút và 5HP. Động cơ RC không chổi than lớn hơn có thể đạt 14max lực và 28.000 vòng/phút để kích hoạt các mô hình.

#### **3.2.4. Ứng dụng làm các thiết bị dân dụng, thiết bị văn phòng.**

Động cơ BLDC đã chiếm ưu thế với việc được ứng dụng rộng rãi trong việc chế tạo các phần tử sử dụng trong nhiều thiết bị dân dụng và thiết bị văn phòng đặc biệt là các thiết bị như ổ cứng máy tính và đầu đĩa CD/DVD, máy in, scan.



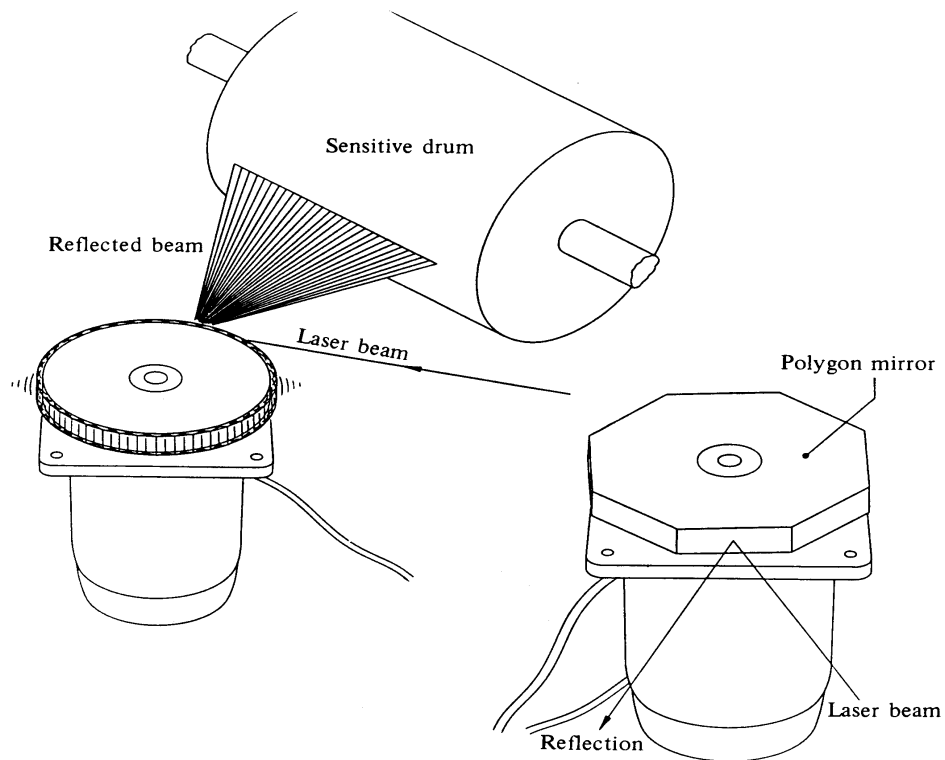
**Hình 3.5:** Động cơ BLDC sử dụng cho ổ đĩa cứng 8 inch

Quạt làm mát nhỏ trong các thiết bị điện tử được vận hành bởi động cơ BLDC. Hơn nữa chúng ta có thể sử dụng động cơ BLDC trong các dụng cụ điện không dây giúp làm tăng hiệu suất hoạt động, thời gian sử dụng lâu dài hơn trước khi phải sạc pin. Động cơ BLDC tốc độ thấp, công suất thấp được sử dụng trong hộp quay số trực tiếp cho các bản ghi âm thanh.



**Hình 3.6:** Bốn cực trên stator của một động cơ chổi than hai giai đoạn. Đây là một phần của quạt làm mát máy tính.

Rotor đã được gỡ bỏ



**Hình 3.7:** Vai trò của động cơ BLDC trong máy in laser

### 3.2.5. Ứng dụng trong các hệ thống sưởi ấm và thông gió.

Xu hướng trong ngành công nghiệp điện lạnh và nhiệt là sử dụng các động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu không chổi than thay vì các loại động cơ AC khác nhau. Lý do quan trọng nhất để chuyển sang sử dụng động cơ BLDC là giảm đáng kể điện năng cần thiết để vận hành chúng so với một động cơ AC điển hình. Trong khi các động cơ tụ tách vĩnh cửu và động cơ có cực che đã từng chiếm ưu thế để làm động cơ quạt, nhưng hiện nay, nhiều quạt đang chạy bằng động cơ BLDC. Một số quạt sử dụng động cơ không chổi than cũng để tăng hiệu quả tổng thể cho hệ thống.

Ngoài hiệu suất cao của động cơ và không gây rắc rối trong vận hành, các hệ thống HVAC (đặc biệt là điều chế tốc độ thay đổi hoặc tải) sử dụng động cơ không chổi than bởi bộ xử lý tích hợp cho phép lập trình, điều khiển luồng không khí và truyền thông nối tiếp. Một số quạt trần và quạt cầm tay cũng có loại động cơ này. Những nhà sản xuất cho biết rằng loại động cơ này có hiệu suất cao và êm hơn khi sử dụng.

### 3.2.6. Ứng dụng trong kỹ thuật công nghiệp.

Việc áp dụng động cơ một chiều không chổi than trong kỹ thuật công nghiệp chủ yếu tập trung vào lĩnh vực kỹ thuật sản xuất hoặc thiết kế tự động hóa công nghiệp. Trong sản xuất, động cơ BLDC chủ yếu sử dụng cho hệ thống kiểm soát chuyển động, định vị hoặc khởi động.

Động cơ không chổi than rất lý tưởng cho các ứng dụng sản xuất vì mật độ công suất cao, đặc tính mô men xoắn tốc độ cao, phạm vi tốc độ rộng và ít phải bảo trì. Các ứng dụng phổ biến của loại động cơ này trong kỹ thuật công nghiệp là động cơ tuyến tính, động cơ servo, bộ truyền động cho robot công nghiệp, động cơ máy đùn và ổ trục cho máy công cụ CNC.

Ngoài ra động cơ BLDC còn được sử dụng trong các ứng dụng định vị và ứng dụng công nghiệp. Đối với robot lắp ráp, động cơ bước hoặc servo không chổi than được sử dụng để định vị một bộ phận lắp ráp hoặc một công cụ cho quá trình sản xuất, chẳng hạn như hàn hoặc sơn. Động cơ một chiều không chổi than cũng có thể sử dụng để điều khiển bộ truyền động tuyến tính.



**Hình 3.8:** Động cơ servo không chổi than

Các động cơ trực tiếp tạo ra chuyển động tuyến tính được gọi là động cơ tuyến tính. Ưu điểm của động cơ tuyến tính là chúng có thể tạo ra



chuyển động tuyến tính mà không cần một hệ thống truyền cơ học. Các hệ thống truyền dẫn có những nhược điểm là phản ứng kém và giảm độ chính xác. Động cơ BLDC bao gồm một stator slotted với răng từ và một bộ truyền động di chuyển, có nam châm vĩnh cửu và cuộn dây. Để có chuyển động tuyến tính, bộ điều khiển cơ kích thích cuộn dây trong bộ truyền động gây ra sự tương tác giữa các từ trường dẫn tới sự chuyển động tuyến tính. Động cơ tuyến ống là một dạng khác của thiết kế động cơ tuyến tính hoạt động theo các tương tự.

## KẾT LUẬN

Sau khoảng thời gian quy định để thực hiện đề tài tốt nghiệp, với sự nỗ lực, cố gắng tìm hiểu của bản thân cũng như sự chỉ bảo giúp đỡ tận tình của các giảng viên trong khoa và bạn bè cùng lớp, đến nay em đã hoàn thành khá tốt đề tài tốt nghiệp của mình. Trong đề tài tốt nghiệp, em đã thực hiện được những yêu cầu sau:

- Tìm hiểu về động cơ BLDC, đưa ra được cấu tạo cũng như các yếu tố về cơ và điện của loại động cơ này;
- Tìm hiểu và trình bày được nguyên lý hoạt động, các đường đặc tính của động cơ;
- Đưa ra mô hình toán, các phương trình của động cơ BLDC
- Tìm hiểu các phương pháp điều khiển chuyển động cũng như điều khiển tốc độ động cơ.

Tuy nhiên do thời gian có hạn cũng như trình độ của bản thân còn có nhiều hạn chế, thiếu sót nên em vẫn chưa hoàn thành đề tài một cách xuất sắc.

Em rất mong muốn nhận được sự chỉ bảo, sửa chữa, đóng góp ý kiến của các thầy cô, bạn bè trong lớp để em có thể thực hiện, hoàn thành đề tài tốt hơn cũng như củng cố thêm kiến thức cho bản thân.

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 Điện-Điện tử, bạn bè trong lớp đã giúp đỡ em rất nhiều.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng, ngày...tháng...năm 2017

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Nam Sơn

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn – TS. Nguyễn Trọng Thắng (2016), *Nguyên lý hoạt động của máy điện*, Nhà xuất bản Xây Dựng.
2. Nguyễn Phùng Quang (1996), *Điều khiển động cơ không đồng bộ xoay chiều ba pha*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
3. Bùi Quốc Khánh-Phạm Quốc Hải-Dương Văn Nghi (1999), *Điều chỉnh tự động truyền động điện*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
4. 4853 IEMS, *Chapter 12. Brushless DC motor*.
5. *Brushless DC electric motor*, <[https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless\\_DC\\_electric\\_motor#Applications](https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor#Applications)>.