

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI  
VIỆN ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



ĐỒ ÁN  
THIẾT KẾ PHẦN MỀM NHÚNG

Đề tài:

TÌM HIỂU VỀ  
HỆ THỐNG BƠM CHÂN KHÔNG TURBO

Sinh viên thực hiện: ĐOÀN QUANG LUU

Lớp ET-E9 02

Giảng viên hướng dẫn: TS. ĐÀO VIỆT HÙNG

Hà Nội, August 14, 2023



# MỤC LỤC

<b>DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT</b>	i
<b>DANH MỤC HÌNH VẼ</b>	iii
<b>DANH MỤC BẢNG BIỂU</b>	iv
<b>TÓM TẮT BÁO CÁO</b>	v
<b>CHƯƠNG 1. CHƯƠNG MỞ ĐẦU</b>	1
<b>CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG BƠM CHÂN KHÔNG</b>	2
2.1 Môi trường chân không . . . . .	2
2.1.1 Khái niệm . . . . .	2
2.1.2 Đặc điểm của môi trường chân không . . . . .	2
2.1.3 Vai trò . . . . .	2
2.1.4 Chân không tuyệt đối . . . . .	3
2.2 Đo lường độ chân không . . . . .	3
2.2.1 Áp suất chân không . . . . .	3
2.2.2 Đơn vị đo áp suất chân không . . . . .	5
2.2.3 Giá trị của áp suất chân không . . . . .	5
2.2.4 Đồng hồ đo chân không . . . . .	8
2.3 Công nghệ bơm chân không . . . . .	10
2.3.1 Bơm chân không . . . . .	10
2.3.2 Cấu tạo máy bơm chân không . . . . .	11
2.3.3 Các công nghệ bơm chân không hiện nay . . . . .	12
<b>CHƯƠNG 3. BƠM TUA BIN PHÂN TỬ TURBO</b>	15
3.4 Tổng quan . . . . .	15
3.5 Nguyên lý hoạt động . . . . .	15

3.6	Cấu tạo TMP . . . . .	17
3.7	Backing pump - bơm chân không phụ trợ . . . . .	18
3.8	Bảo vệ máy bơm phân tử . . . . .	19
<b>CHƯƠNG 4. BƠM TURBO EXT255H</b>		<b>21</b>
4.1	Thông tin cơ bản . . . . .	21
4.2	Cấu tạo . . . . .	21
4.3	Thông số kỹ thuật máy bơm EXT . . . . .	22
4.4	Vent gas . . . . .	23
4.4.1	Vai trò . . . . .	23
4.4.2	Thông số kỹ thuật thông hơi và điều khiển thông hơi . . . . .	23
4.5	Purge gas . . . . .	24
4.5.1	Vai trò . . . . .	24
4.5.2	Thông số kỹ thuật lọc khí . . . . .	25
4.6	Làm lạnh bằng nước . . . . .	25
4.7	Sơ đồ hệ thống kết nối máy bơm EXT255H . . . . .	25
4.8	Sử dụng máy bơm EXT . . . . .	26
4.8.1	Bật máy . . . . .	26
4.8.2	Khi sử dụng . . . . .	26
4.8.3	Tắt máy . . . . .	27
4.9	Bảo Trì . . . . .	27
4.9.1	Tuổi thọ vòng bi . . . . .	27
4.9.2	Tuổi thọ cánh quạt . . . . .	28
4.9.3	Vệ sinh máy bơm . . . . .	28
4.9.4	Phát hiện lỗi . . . . .	28
<b>CHƯƠNG 5. BỘ ĐIỀU KHIỂN EXDC80</b>		<b>29</b>
5.1	Thông tin cơ bản . . . . .	29
5.2	Cấu tạo . . . . .	29
5.3	Thông số kỹ thuật . . . . .	31

5.4	Kết nối bộ điều khiển với máy bơm . . . . .	31
5.5	Kết nối giao diện logic . . . . .	31
5.6	Sử dụng bộ điều khiển EXDC . . . . .	32
5.6.1	Bật máy . . . . .	32
5.6.2	Khi sử dụng . . . . .	32
5.6.3	Khi sử dụng . . . . .	33
5.6.4	Tắt máy . . . . .	33
	<b>CHƯƠNG 6. ĐỘNG CƠ BLDC</b>	<b>35</b>
6.1	Khái niệm . . . . .	35
6.2	Phân loại . . . . .	35
6.2.1	Loại rotor bên ngoài . . . . .	36
6.2.2	Loại rotor bên trong . . . . .	36
6.3	Cấu tạo . . . . .	37
6.3.1	Stator . . . . .	38
6.3.2	Rotor . . . . .	39
6.3.3	Cảm biến Hall . . . . .	40
6.3.4	Bộ phận chuyển mạch điện tử . . . . .	42
6.4	Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC . . . . .	42
6.5	Điều khiển động cơ BLDC . . . . .	44
6.5.1	BLDC nhận biết vị trí rotor . . . . .	44
6.5.2	BLDC điều khiển đóng ngắt dòng điện vào các cuộn dây . . . . .	45
	<b>CHƯƠNG 7. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN</b>	<b>49</b>
	<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>	<b>50</b>

## **DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT**

TMP	Turbomolecular pump
BLDC	Brushless DC
ESC	Electronic Speed Controller

## **DANH MỤC HÌNH VẼ**

Hình 2.1	Các loại môi trường áp suất trong thực tế . . . . .	4
Hình 2.2	Bảng quy đổi đơn vị đo áp suất . . . . .	5
Hình 2.3	Áp suất chân không âm . . . . .	7
Hình 2.4	Cảm biến chân không SR1L . . . . .	8
Hình 2.5	Cấu tạo cảm biến chân không SR1L . . . . .	9
Hình 2.6	Bơm hút chân không . . . . .	10
Hình 2.7	Cấu tạo máy bơm chân không khô . . . . .	11
Hình 2.8	Phân loại bơm chân không dựa theo nguyên lý hoạt động . . . . .	12
Hình 2.9	Bơm chân không pít tông tĩnh tiến (Reciprocating Piston Vacuum Pump)	13
Hình 2.10	Bơm chân không tua bin phân tử (Turbomolecular Vacuum Pump) . . .	14
Hình 2.11	Bơm hút chân không (Sorption Vacuum Pump) . . . . .	14
Hình 3.1	Bơm phân tử Turbo . . . . .	15
Hình 3.2	Các phân tử khí được hút vào máy bơm . . . . .	16
Hình 3.3	Sơ đồ của một máy bơm turbo phân tử . . . . .	17
Hình 3.4	Cấu tạo cơ bản của máy bơm turbo phân tử . . . . .	18
Hình 3.5	Bơm chân không quay . . . . .	19
Hình 4.1	Cấu tạo bơm chân không phân tử EXT255H . . . . .	22
Hình 4.2	Kích thước bơm EXT255H . . . . .	23
Hình 4.3	Mức tăng tối đa cho phép của áp suất theo thời gian khi thông gió: áp suất hệ thống (mbar/Pa) theo thời gian (s) . . . . .	24
Hình 4.4	Hệ thống kết nối máy bơm EXT255H . . . . .	26
Hình 5.1	Bộ điều khiển máy bơm chân không EXDC80 . . . . .	29
Hình 5.2	Cấu tạo bộ điều khiển máy bơm chân không EXDC80 . . . . .	30
Hình 5.3	Kích thước bộ điều khiển máy bơm chân không EXDC80 . . . . .	31
Hình 5.4	Sơ đồ kết nối giao diện logic . . . . .	32
Hình 6.1	Cấu tạo động cơ BLDC rotor ngoài . . . . .	36
Hình 6.2	Cấu tạo động cơ BLDC rotor trong . . . . .	37

Hình 6.3	Sơ đồ khối cơ bản của BLDC . . . . .	38
Hình 6.4	Stator của BLDC . . . . .	38
Hình 6.5	Hai cách đấu dây của stator . . . . .	39
Hình 6.6	rotor của BLDC . . . . .	40
Hình 6.7	Hiệu ứng Hall . . . . .	40
Hình 6.8	Kiểm tra cảm biến Hall . . . . .	41
Hình 6.9	Động cơ BLDC quay . . . . .	42
Hình 6.10	Hình ảnh con lừa và củ cà rốt . . . . .	43
Hình 6.11	Cơ chế động cơ BLDC quay thực tế . . . . .	43
Hình 6.12	Mạch điều khiển động cơ BLDC . . . . .	44
Hình 6.13	Cảm biến Hall trong BLDC . . . . .	45
Hình 6.14	IGBT đóng ngắt dòng cấp cho các cuộn dây . . . . .	46
Hình 6.15	Bảng trạng thái cấp dòng cho các cuộn dây trong BLDC . . . . .	47
Hình 6.16	Chu kỳ chuyển mạch của những khóa bán dẫn ứng với giá trị cảm biến Hall . . . . .	47
Hình 6.17	Tín hiệu điện tại hai đầu các cuộn dây và tín hiệu nhận điều khiển IGBT	48

## **DANH MỤC BẢNG BIỂU**

Bảng 4.1	Thông số kỹ thuật máy bơm EXT . . . . .	22
Bảng 4.2	Thông số kỹ thuật thông hơi và điều khiển thông hơi . . . . .	24
Bảng 4.3	Thông số kỹ thuật lọc khí . . . . .	25
Bảng 4.4	Thông số kỹ thuật làm mát . . . . .	25
Bảng 5.1	Phát hiện lỗi LED EXDC . . . . .	30
Bảng 5.2	Thông số kỹ thuật bộ điều khiển exdc . . . . .	31
Bảng 5.3	Chân kết nối giao diện logic . . . . .	32

# TÓM TẮT BÁO CÁO

"Chân không" là thuật ngữ được sử dụng trong vật lý để chỉ một khán gian không có bất kỳ khí quyển hay chất lỏng nào. Trong chân không, áp suất được xác định là 0 và không có âm thanh hay ánh sáng có thể lan truyền. Trong khoa học vật liệu và kỹ thuật, chân không có thể được sử dụng để tạo ra môi trường ổn định và không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài, điều này có thể được áp dụng trong các quá trình sản xuất và nghiên cứu. Công nghệ chân không, nhằm tạo ra môi trường chân không, được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp khác nhau, bao gồm sản xuất, nghiên cứu khoa học và các ứng dụng y tế. Trong điện tử, công nghệ chân không được ứng dụng trong hàn điện tử vũ trụ, tạo môi trường sạch giúp chế tạo linh kiện bán dẫn... Vì vậy, bơm chân không - thiết bị tạo chân không, là thiết bị được quan tâm hiện nay. Nguyên lý hoạt động của hệ thống bơm chân không là giảm áp suất bên trong một buồng, gây ra phân tử khí di chuyển từ khu vực áp suất cao đến khu vực áp suất thấp. Trong đó, bơm phân tử, hay còn gọi là Bơm turbo là một thiết bị tạo chân không cao sẽ được nghiên cứu trong báo cáo này. Báo cáo này sẽ cung cấp cái nhìn tổng quan về chân không, máy bơm chân không và cách vận hành máy bơm chân không.

# CHƯƠNG 1. CHƯƠNG MỞ ĐẦU

"Chân không" là thuật ngữ được sử dụng trong vật lý để chỉ một không gian không có bất kỳ khí quyển hay chất lỏng nào. Trong chân không, áp suất được xác định là 0 và không có âm thanh hay ánh sáng có thể lan truyền. Trong khoa học vật liệu và kỹ thuật, chân không có thể được sử dụng để tạo ra môi trường ổn định và không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài, điều này có thể được áp dụng trong các quá trình sản xuất và nghiên cứu.

Công nghệ chân không, nhằm tạo ra môi trường chân không, được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp khác nhau, bao gồm sản xuất, nghiên cứu khoa học và các ứng dụng y tế. Vì vậy, bơm chân không - thiết bị tạo chân không, là thiết bị được quan tâm hiện nay. Máy bơm chân không được sử dụng để giải quyết vấn đề liên quan đến áp suất khí trong một buồng kín hoặc hệ thống khác. Cụ thể, máy bơm chân không có thể giải quyết các vấn đề như: Tạo môi trường chân không, kiểm soát áp suất khí, loại bỏ chất thải, sản xuất vật liệu như thuỷ tinh, thép...

Đặc biệt, mọi thiết bị điện tử đều tồn tại nhiều linh kiện bán dẫn, máy bơm chân không có tác dụng lớn trong việc sản xuất linh kiện bán dẫn (tạo môi trường sạch, giúp vật liệu không bị oxi hóa...), vì vậy việc nghiên cứu phát triển máy bơm chân không thực tế khá cần thiết.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống bơm chân không là giảm áp suất bên trong một buồng, gây ra phân tử khí di chuyển từ khu vực áp suất cao đến khu vực áp suất thấp. Báo cáo này sẽ cung cấp cái nhìn tổng quan về chân không, máy bơm chân không và cách vận hành máy bơm chân không.

Bài báo cáo cơ bản sẽ cung cấp cái nhìn tổng quan về chân không, hệ thống máy bơm chân không, cách vận hành và hoạt động của máy bơm chân không nói chung và nghiên cứu về hệ thống bơm Turbo - thiết bị tạo độ chân không cao.

Nội dung của báo cáo gồm:

- Tổng quan lý thuyết môi trường chân không
- Hệ thống máy bơm chân không
- Bơm phân tử Turbo
- Kết luận

## CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG BƠM CHÂN KHÔNG

### 2.1 Môi trường chân không

#### 2.1.1 Khái niệm

Theo lý thuyết cổ điển giải thích thì, Chân không được hiểu là: “không gian không chứa vật chất”. Hiểu đơn giản, môi trường chân không là không gian không chứa bất kỳ vật chất nào, thể tích khác không và khối lượng bằng không. Nguồn gốc từ “chân không” xuất phát từ ngôn ngữ Latinh “vacuus” có nghĩa là “trống” hoặc là “khoảng trống” [1]. Hiểu một cách đơn giản, Môi trường chân không là một môi trường có thể tích khác không và khối lượng bằng không. Do không có vật chất bên trong, nên môi trường chân không là nơi không có áp suất. Giá trị của môi trường chân không chỉ mang tính chất tương đối. Bởi lẽ trên thực tế, chưa một ai có thể tạo ra chân không hoàn hảo không chứa bất kỳ đơn vị vật chất nào.

#### 2.1.2 Đặc điểm của môi trường chân không

Môi trường chân không có những đặc điểm sau:

- Áp suất bằng 0: Trong môi trường chân không, áp suất bằng 0. Điều này có nghĩa là không có sức ép khí hay áp suất bên trong không gian đó.
- Không có chất khí: Môi trường chân không không có bất kỳ khí quyển nào.
- Không có âm thanh: Vì không có chất khí nào để truyền âm thanh, nên trong chân không, không có âm thanh hoặc sóng âm nào có thể lan truyền.
- Không có ánh sáng: Mặc dù không có chất khí để hấp thụ ánh sáng, không có nguồn phát sáng hoặc ánh sáng có thể đi qua.
- Độ ổn định cao: Do không có khí hoặc áp suất khí rất thấp, nên môi trường chân không rất ổn định và ít bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài như áp suất khí, nhiệt độ và độ ẩm.

#### 2.1.3 Vai trò

Môi trường chân không có rất nhiều vai trò và mục đích trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Dưới đây là một số ví dụ về vai trò của môi trường chân không và mục đích tạo ra môi trường chân không:

- Nghiên cứu vật lý và khoa học vật liệu: Trong các lĩnh vực nghiên cứu vật lý và khoa học vật liệu, môi trường chân không được sử dụng để loại bỏ các tác động của môi trường bên ngoài như khí quyển và nhiệt độ. Điều này giúp cho các nhà khoa học có thể nghiên cứu các vật liệu và tác động của các lực vật lý mà không bị nhiễu bởi các yếu tố bên ngoài.

- Công nghiệp: Trong công nghiệp, môi trường chân không có thể được sử dụng để sản xuất các sản phẩm sạch và chính xác hơn, như các bộ phận điện tử hoặc thiết bị y tế, bằng cách loại bỏ các tạp chất và chất ô nhiễm.
- Vật lý học thiên văn: Trong vật lý học thiên văn, môi trường chân không giúp loại bỏ sự nhiễu sóng từ các nguồn ánh sáng khác, tạo ra một môi trường không bị ảnh hưởng bởi bất kỳ nhiễu sóng nào và giúp các thiết bị quan sát có thể thu được hình ảnh và dữ liệu chính xác hơn.
- Công nghệ động cơ đẩy tàu vũ trụ: Môi trường chân không được sử dụng trong công nghệ động cơ đẩy tàu vũ trụ để cung cấp sức đẩy cho tàu vũ trụ, vì không có sự kháng cự từ môi trường nào.
- Lưu trữ và bảo quản các sản phẩm y học và sinh học: Môi trường chân không cũng được sử dụng để lưu trữ và bảo quản các sản phẩm y học và sinh học như mẫu máu, mô và tế bào, giúp bảo quản chúng lâu hơn và giảm thiểu nguy cơ nhiễm trùng.
- Bảo quản thực phẩm: Hút chân không thực chất là loại bỏ đi lớp khí xung quanh thực phẩm. Không có đủ không khí hoạt động của vi sinh vật sẽ bị kìm hãm, từ đó giúp thực phẩm bảo quản được lâu và tươi hơn. Bảo quản thực phẩm trong môi trường chân không còn có thể giúp hạn chế thất thoát dinh dưỡng trong thực phẩm.

Với những mục đích này, môi trường chân không được tạo ra bằng các kỹ thuật bơm hút, làm lạnh và chất hấp thụ để lo

#### **2.1.4 Chân không tuyệt đối**

"Chân không tuyệt đối" là thuật ngữ được sử dụng để chỉ một không gian hoàn toàn không có chất khí, không có áp suất, không có nhiệt độ, không có phân tử và cả các tia phổ điện từ. Trong chân không tuyệt đối, không có bất kỳ sự kiện hoặc tương tác vật lý nào xảy ra. Tuy nhiên, chân không tuyệt đối không thực sự có thể đạt được trong thực tế vì việc loại bỏ hoàn toàn tất cả các chất khí và phân tử khỏi một không gian là không thể. Thay vào đó, các nhà khoa học tạo ra các không gian rất gần đến chân không tuyệt đối bằng cách sử dụng các kỹ thuật vật lý và kỹ thuật như bơm hút, làm lạnh và chất hấp thụ để loại bỏ hầu hết khí quyển và phân tử trong không gian đó.

### **2.2 Đo lường độ chân không**

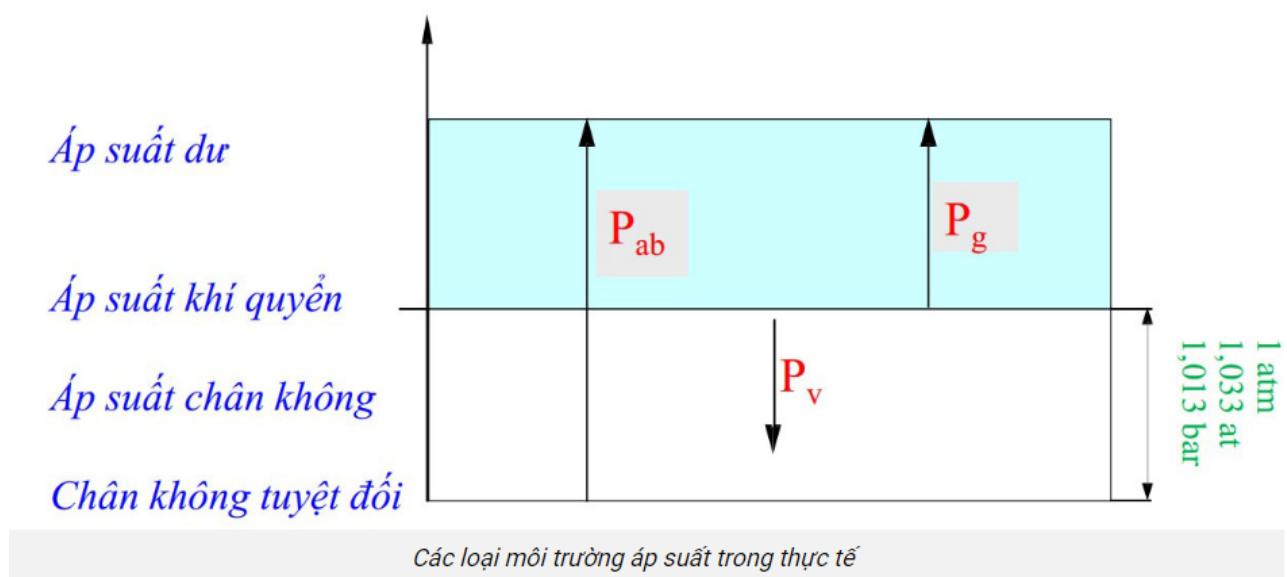
#### **2.2.1 Áp suất chân không**

Do không tồn tại môi trường chân không tuyệt đối lên ta hiểu rằng môi trường chân không là môi trường có áp suất nhỏ hơn áp suất khí quyển trung bình chuẩn, và được chia thành:

- Chân không thấp ( $p > 100\text{Pa}$ )
- Chân không trung bình ( $100\text{Pa} > p > 0.1\text{Pa}$ )
- Chân không cao ( $0.1\text{Pa} > p > 10^{-5}\text{Pa}$ )
- Chân không siêu cao ( $p < 10^{-5}\text{ Pa}$ )

Áp suất chân không, được hiểu là “giá trị áp suất của lượng vật chất còn lại trong một khoảng không gian nhất định. Giá trị áp suất tỉ lệ nghịch với số lượng vật chất có trong môi trường đó. Nghĩa là khi áp suất chân không càng cao thì lượng vật chất trong môi trường càng ít đi và ngược lại”.

Điều này cũng có nghĩa là, có thể đo độ chân không dựa vào áp suất chân không.



**Hình 2.1 Các loại môi trường áp suất trong thực tế**

#### \*So sánh áp suất chân không và áp suất khí quyển:

Áp suất chân không là khi áp suất không khí nhỏ hơn áp suất khí quyển. Trong điều kiện chân không, mật độ không khí luôn nhỏ hơn mật độ không khí của khí quyển (môi trường mà ta hít thở hàng ngày).

#### \* Nhiệt độ trong môi trường áp suất chân không:

Từ môi trường không khí ở khí quyển, ta hút chân không. Áp suất giảm, nhiệt độ cũng giảm theo. Nghĩa là khi chuyển từ môi trường thông thường qua môi trường chân không, nhiệt độ giảm, lạnh hơn.

## 2.2.2 Đơn vị đo áp suất chân không

Áp suất chân không đạt 0 Torr hoặc 0 kpa [abs] thì được coi là chân không tuyệt đối – không có vật chất bên trong. Thực tế rất hiếm có môi trường chân không tuyệt đối.

Ngày nay, với sự tiến bộ của khoa học công nghệ, có thể tạo ra môi trường có áp suất chân không siêu cao đến  $10^{-6}$  Pa bằng một bơm hút chân không hay một hệ thống bơm hút chân không.

Hiện nay, các đơn vị áp suất cho thấy mức độ chân không thường được diễn tả trong Torr và đơn vị áp suất quốc tế – Pascal (Pa). Ngoài ra cũng có các đơn vị áp suất chân không khác được sử dụng. Quy đổi theo bảng sau:

To ► From ▼	psi	mbar	bar	atm	Pa	kPa	MPa	mmH <sub>2</sub> O	in.H <sub>2</sub> O	mmHg	in.Hg	kg/cm <sup>2</sup>
<b>psi</b>	<b>1</b>	68.95	0.0689	0.0681	6895	6.895	0.006895	703.8	27.71	51.715	2.036	0.0704
<b>mbar</b>	0.0145	<b>1</b>	0.001	0.000967	100	0.100	0.0001	10.21	0.402	0.75	0.0295	0.00102
<b>bar</b>	14.504	1000	<b>1</b>	0.987	100000	100	0.1	10210	401.9	750.1	29.53	1.02
<b>atm</b>	14.7	1013.25	1.01325	<b>1</b>	101325	101.325	0.1013	10343	407.2	760.0	29.92	1.033
<b>Pa</b>	0.000145	0.01	0.00001	0.00001	<b>1</b>	0.001	0.000001	0.102	0.00402	0.0075	0.000295	0.00001
<b>kPa</b>	0.14504	10.0	0.01	0.00987	1000	<b>1</b>	0.001	102.07	4.019	7.5	0.295	0.0102
<b>MPa</b>	145.04	10000	10	9.87	1000000	1000	<b>1</b>	101971.6	4014.6	7500.6	295.3	10.2
<b>mmH<sub>2</sub>O</b>	0.001421	0.098	0.000098	0.000097	9.8	0.0098	0.0000098	<b>1</b>	0.0394	0.0735	0.00289	0.0001
<b>in.H<sub>2</sub>O</b>	0.0361	2.488	0.002488	0.00246	248.8	0.2488	0.00025	25.4	<b>1</b>	1.866	0.0735	0.00254
<b>mmHg</b>	0.01934	1.333	0.001333	0.001316	133.3	0.1333	0.00013	13.61	0.536	<b>1</b>	0.0394	0.00136
<b>in.Hg</b>	0.4912	33.86	0.03386	0.03342	3386	3.386	0.00386	345.7	13.61	25.4	<b>1</b>	0.0345
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	14.22	980.7	0.9807	0.968	98067	98.067	0.0981	10010	394.1	735.6	28.96	<b>1</b>

Hình 2.2 Bảng quy đổi đơn vị đo áp suất

Tại Việt Nam, đơn vị đo chân không được sử dụng thông dụng nhất là Pa, kPa, mmHg và Torr.

## 2.2.3 Giá trị của áp suất chân không

Khi một môi trường khí kín được hút hết tất cả các phân tử khí có trong nó ra ngoài, thì lúc này môi trường đó sẽ được gọi là môi trường chân không. Vậy áp suất chân không là đại lượng vật lý tiêu biểu tượng trưng cho giá trị áp suất tại môi trường chân không đó.

\* Có 3 cách để hiển thị mức chân không:

Cách 1: Thể hiện áp suất chân không tương đối

Với cách này, chọn áp suất khí quyển là 0. Máy bơm chân không càng hút mạnh, lượng không khí bên trong càng thấp, áp suất âm càng thấp. Áp suất âm sẽ thấp đến mức tối thiểu -101 Kpa. Khi ở môi trường chân không tuyệt đối, không có không khí trong buồng kín, áp suất

bên trong buồng theo biểu thị áp suất tương đối là -101 Kpa .

(\*) Sẽ không thể đạt mức áp suất sâu hơn -101 Kpa.

### *Cách 2: Thể hiện áp suất chân không tuyệt đối*

Phương pháp chân không tuyệt đối biểu thị mức áp suất chân không của môi trường chân không tuyệt đối là 0.

(\*) Với biểu thị chân không tuyệt đối, sẽ không có mức áp suất âm.

Ở hệ áp suất chân không tương đối:

- Mức 0 là mức áp suất chân không vũ trụ. Mức 0 là mức chân không tuyệt đối. Trong môi trường chân không tuyệt đối này, không tồn tại bất kỳ phân tử không khí nào.
- Mức áp suất dương là khi có phân tử không khí. Mật độ không khí càng dày, áp suất càng lớn.

*Cách 3: Thể hiện % lượng không khí* Phần trăm không khí còn lại càng thấp, thì áp suất càng giảm.

Các hệ thống chân không được phân loại dựa vào các mức độ áp suất:

- Rough/Low Vacuum: > Atmosphere to 1 Torr
- Medium Vacuum: 1 Torr to 10<sup>-3</sup> Torr
- High Vacuum: 10<sup>-3</sup> Torr to 10<sup>-7</sup> Torr
- Ultra-High Vacuum: 10<sup>-7</sup> Torr to 10<sup>-11</sup> Torr
- Extreme High Vacuum: < 10<sup>-11</sup> Torr

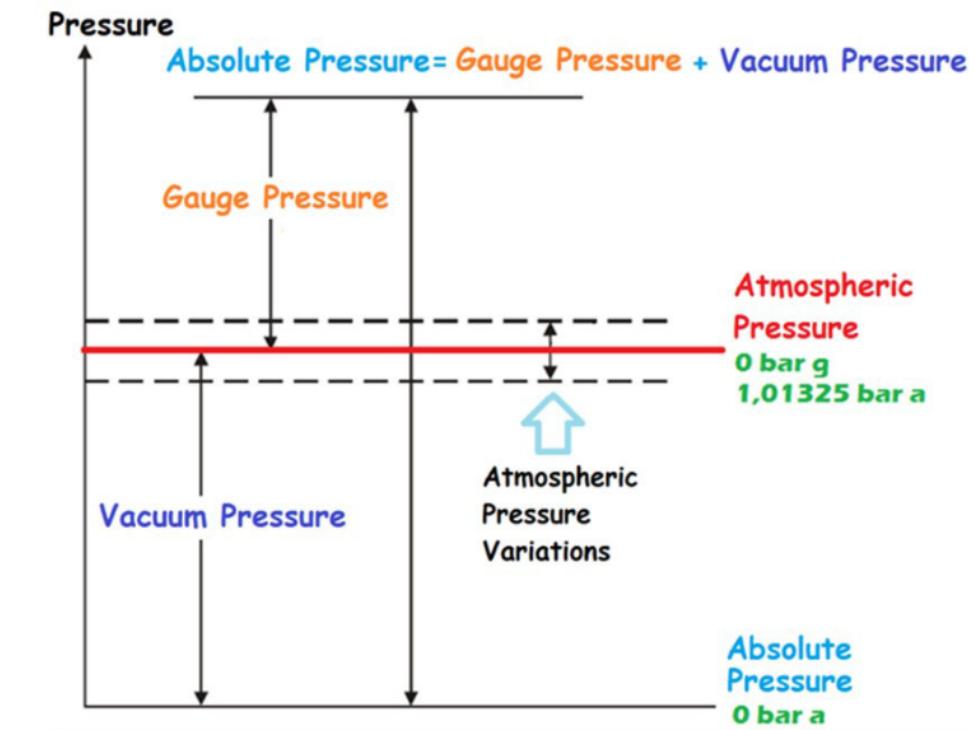
### *Áp suất chân không có âm không?*

Với hệ đo chân không tương đối, tức hệ đo chân không lấy mức áp suất khí quyển là 0, thì áp suất chân không luôn là áp suất có giá trị âm. Ví dụ áp suất chân không tương đối: -100 mmHg.

Ngược lại, với hệ đo chân không tuyệt đối, tức hệ đo chân không lấy mức chân không tuyệt đối là 0, thì áp suất chân không luôn là áp dương. Ví dụ áp suất chân không tuyệt đối: 10 mmHg (ngang với -750 mmHg ở hệ chân không tương đối).

=> Như vậy, để đo áp suất chân không, cảm biến áp suất chân không (2.2.4) hay gọi với cái tên khác là cảm biến áp suất âm được nghiên cứu.

Ngoài ra, áp suất chân không sẽ được tính bằng hiệu giữa áp suất khí quyển (1 atm) và áp suất tuyệt đối.



Hình 2.3 Áp suất chân không âm

#### **2.2.4 Đồng hồ đo chân không**

Đồng hồ đo áp suất chân không hay còn gọi là đồng hồ đo áp suất âm hay chân không kế là thiết bị đo áp suất âm rất cần thiết trong việc kiểm tra giám sát trong công nghệ chân không.

Loại đồng hồ này có dải đo hơi khác so với các loại đồng hồ áp suất thông thường. Dải đo của nó sẽ bắt đầu bằng giá trị 0. Nhưng khi máy bơm/hút hoạt động, kim đồng hồ áp suất sẽ di chuyển về phía bên trái thay vì bên phải. Và đồng hồ đo áp suất sẽ đạt giá trị tối đa là -1 bar (âm 1 bar) tùy theo dải đo được đặt. [2]

Có nhiều loại đồng hồ đo chân không: sử dụng cột thủy ngân, sử dụng nhiệt,... Ở nghiên cứu này, cảm biến chân không được nghiên cứu.

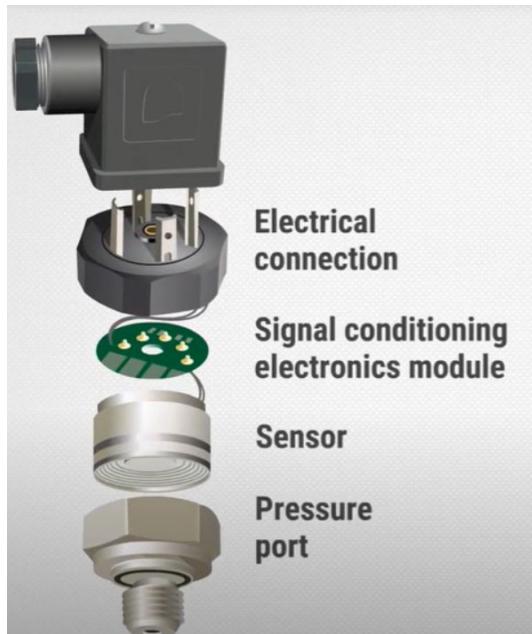
Cảm biến áp suất chân không hay cảm biến áp suất âm là một loại cảm biến có thể đo được áp suất trong môi trường chân không. Giá trị phổ biến nhất đối với loại cảm biến áp suất chân không này chủ yếu là từ -1 đến 0 bar. Trong tiếng anh, cảm biến áp suất chân không được biết với cái tên là “Vacuum pressure transmitter”



**Hình 2.4 Cảm biến chân không SR1L**

**\*Nguyên lý hoạt động của cảm biến chân không** Với cảm biến sẽ được dựa trên một lực  $F$  tác dụng lên một miếng màng nhỏ có bên trong cảm biến. Môi trường chân không sau khi được hút toàn bộ khí bên trong, cũng tương tự với áp suất dương nó sẽ sản sinh ra lực ép tác động vào màng mỏng. Khi lực ép tác dụng lên một cái màng mỏng có bên trong cảm biến. Màng mỏng này sẽ được các vi mạch phân tích và chuyển đổi chúng sang tín hiệu tuyến tính.

### \*Cấu tạo cảm biến áp suất



**Hình 2.5 Cấu tạo cảm biến chân không SR1L**

Về phần cấu tạo cảm biến áp suất dùng đo chân không sẽ có những bộ phận cơ bản như sau:

- Electrical Connection: Dây dẫn tín hiệu ngõ ra
- Signal conditioning electronics module: Vi mạch dùng để chuyển đổi áp suất sang tín hiệu tuyến tính
- Sensor: Bộ phận cảm nhận áp suất chân không
- Pressure port: Chân Ren kết nối

### \*Cách đọc giá trị đồng hồ đo áp suất chân không:

Khi đọc giá trị đo áp suất chân không, cần quan tâm:

- Đơn vị đo áp suất (mbar, bar, mmHg, cmHg, Torr, kPa)
- Xem dãy đo áp suất chân không

- Nhìn theo kim chỉ áp suất

## 2.3 Công nghệ bơm chân không

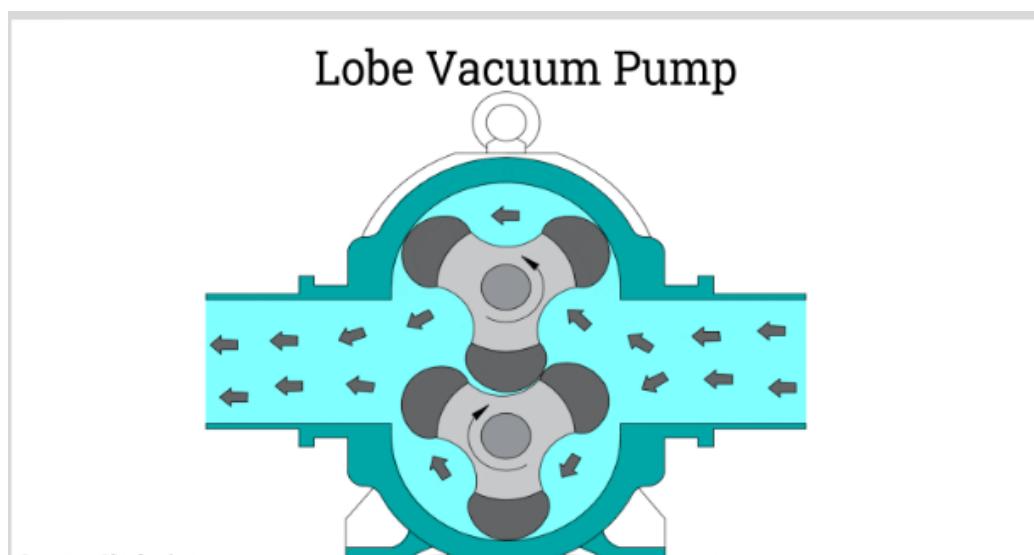
### 2.3.1 *Bơm chân không*

Máy bơm chân không là một thiết bị có khả năng tạo ra chân không một phần hoặc áp suất thấp bằng cách đẩy các phân tử khí hoặc không khí ra khỏi buồng kín. [3] Chân không là trạng thái tương đối mà tại đó áp suất trong buồng có áp suất thấp hơn so với môi trường xung quanh hoặc các hệ thống lân cận. Điều này khác với chân không tuyệt đối, trong đó áp suất bằng 0 Pa và không có phân tử khí.

Mục đích của tất cả các máy bơm là chuyển đổi năng lượng thành áp suất. Áp suất khí quyển càng cao thì hoạt động của bơm chân không càng hiệu quả. Do áp suất khí quyển đóng vai trò quan trọng đối với hiệu suất của bơm chân không nên nó là một yếu tố quan trọng trong chi phí vận hành bơm chân không và sẽ thay đổi tùy thuộc vào nhiệt độ, độ ẩm và độ cao.

Có nhiều loại máy bơm chân không khác nhau về cơ bản có chức năng chung và đó là loại bỏ không khí, khí và hơi từ một không gian hạn chế và tạo chân không trong không gian nhất định đó. Về cơ bản, có ba loại máy bơm chân không khác nhau:

- Bơm chân không dịch chuyển tích cực (Positive Displacement Vacuum Pumps)
- Bơm chân không truyền động lượng (Momentum Transfer Vacuum Pumps)
- Bơm chân không bẫy (Entrapment Vacuum Pumps)



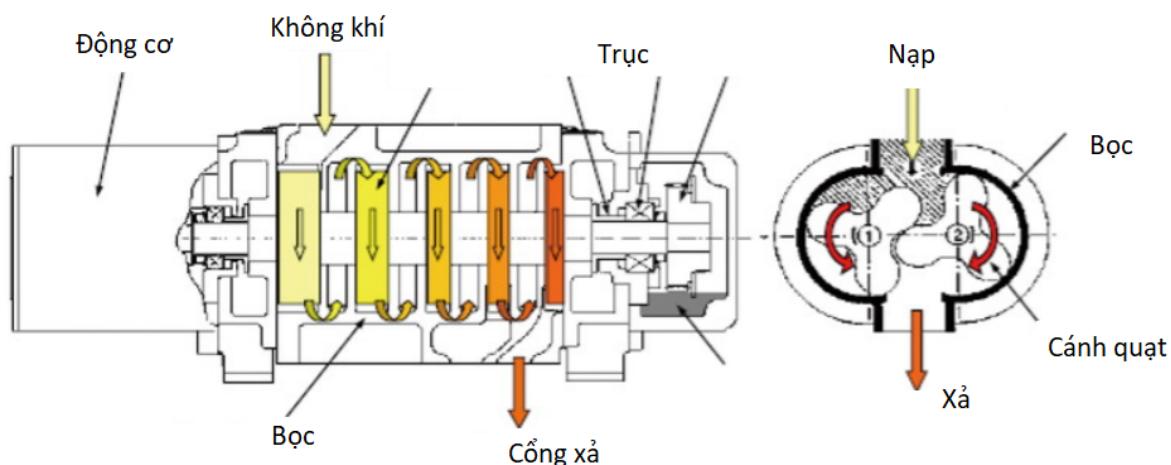
Hình 2.6 Bơm hút chân không

### 2.3.2 Cấu tạo máy bơm chân không

Về cơ bản, các loại máy bơm hút chân không có các bộ phận chính sau đây:

- Động cơ: Động cơ thường được làm từ chất liệu đồng 100% và được lắp trực tiếp với trục bơm. Động cơ cung cấp lực để trục bơm chuyển động.
- Buồng bơm: Buồng bơm là bộ phận được gắn với trục bơm, nó bao gồm cả cỗng xả và cỗng hút. Tùy thuộc vào kết cấu của từng loại bơm hút chân không mà bên trong buồng bơm có các chi tiết khác nhau. Ví dụ: dòng bơm cánh gạt quay thì bên trong buồng bơm là trục rotor lệch tâm và các cánh gạt đặt ở rãnh trục. Còn với dòng bơm chân không vòng nước thì buồng bơm có kết cấu cánh inox quay.
- Cổng hút: Là nơi hút không khí từ nơi cần hút vào buồng bơm.
- Cổng xả: Khi máy bơm hoạt động thì bộ phận này có tác dụng đẩy không khí bị hút ra bên ngoài..
- Cánh bơm: Cánh bơm chân không của loại bơm dầu thường được gọi là cánh gạt hay cánh vanes; gọi là cánh than ở bơm chân không khô. Các cánh này được đặt trong rãnh của trục rotor. Còn ở bơm chân không vòng nước, cánh bơm gắn liền với trục- thiết kế dạng cánh quạt và có các khe cánh giúp tăng khả năng vận hành.

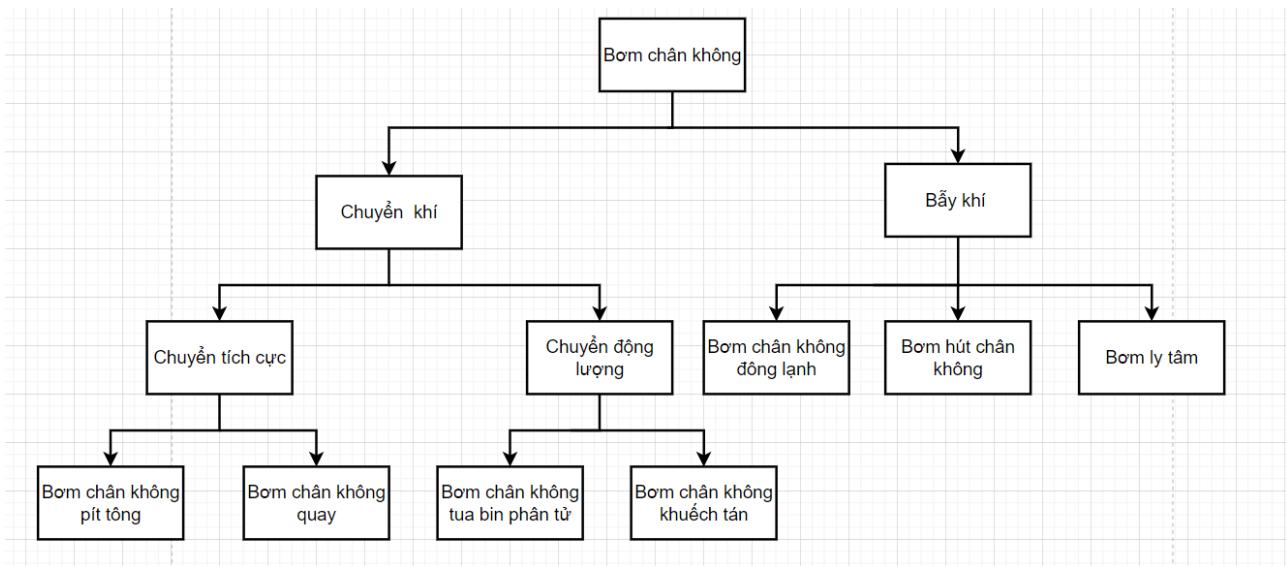
Ngoài ra, máy bơm chân không các loại khác nhau bổ sung các chi tiết nhỏ như buồng dầu, các bộ lọc, các khớp nối, bu lông ốc vít để kết nối các chi tiết lại với nhau thành một chiếc bơm hoàn chỉnh. Những vị trí kết nối bằng ốc vít thường được khoan bằng máy khoan từ một cách tỉ mỉ và chính xác.



Hình 2.7 Cấu tạo máy bơm chân không khô

### 2.3.3 Các công nghệ bơm chân không hiện nay

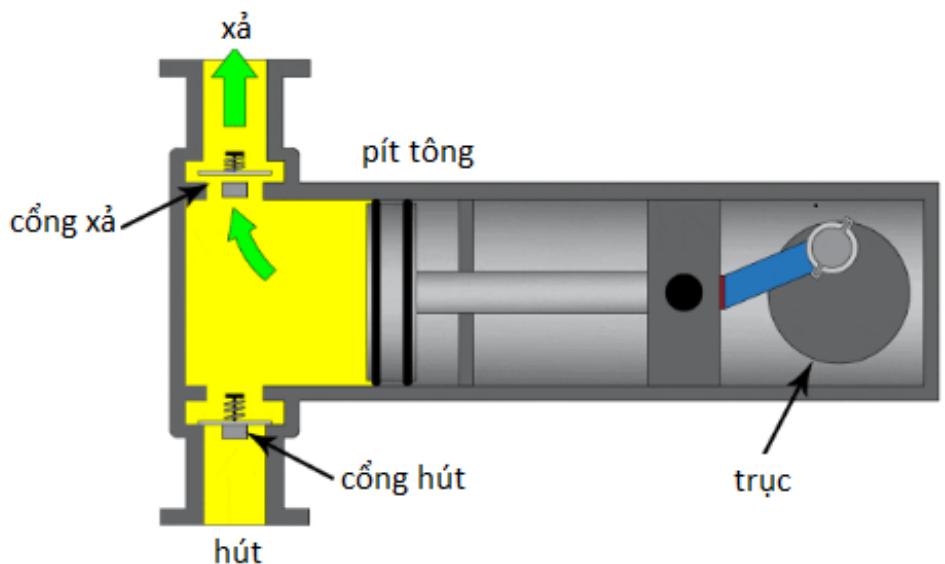
Hai cách phân loại chính của nguyên tắc bơm chân không là chuyển khí và bãy khí. Chuyển khí được chia thành chuyển dịch tích cực và chuyển động lượng.



**Hình 2.8 Phân loại bơm chân không dựa theo nguyên lý hoạt động**

#### \* Bơm chân không dịch chuyển tích cực (Positive Displacement Vacuum Pumps)

Bơm chân không có nguyên tắc hoạt động dựa trên việc mở rộng và thu hẹp một buồng kín, trong đó dòng chất lỏng được điều khiển bằng các van một chiều. Quá trình tạo chân không bắt đầu bằng cách mở rộng một buồng kín để tạo ra chân không. Chân không này hút chất lỏng vào buồng thông qua một van hút. Khi đạt đến mức mở rộng tối đa, van hút đóng cửa trong khi van xả mở. Chất lỏng được đẩy ra khỏi buồng khi nó bị nén hoặc thu hẹp. Quá trình này lặp lại nhiều lần mỗi giây, tạo ra dòng chảy dao động.

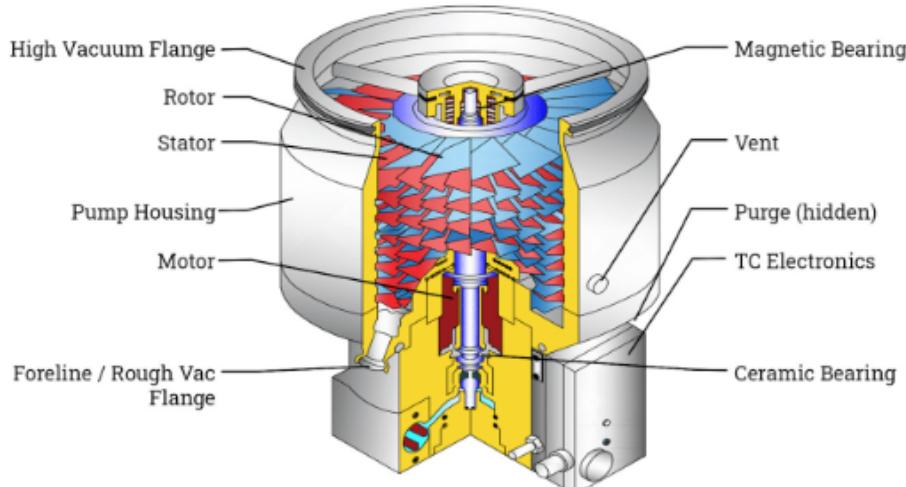


**Hình 2.9 Bơm chân không pít tông tịnh tiến (Reciprocating Piston Vacuum Pump)**

\* **Bơm chân không truyền động lượng (Momentum Transfer Vacuum Pumps)**

Bơm truyền động lượng hoạt động bằng cách tạo ra sự chuyển động của phân tử khí hoặc chất lỏng thông qua truyền năng lượng động lượng. Quá trình này xảy ra ở mức phân tử, khác biệt so với dòng chảy nhớt hoặc liên tục trong các bơm truyền động dương tính. Phân phối tốc độ đồng nhất của các phân tử được liên tục thay đổi thành một hướng ưu tiên bởi các bề mặt di chuyển nhanh và chạm với chúng. Bơm truyền động lượng thích hợp để tạo ra áp suất chân không cao. Tuy nhiên, để tạo ra dòng phân tử, áp suất thấp phải tồn tại trong toàn bộ hệ thống. Không thể xả trực tiếp khí thải ra không khí hoặc ở áp suất mà có thể xảy ra hiện tượng backstreaming (sự trả lưu ngược). Để giải quyết vấn đề này, một bơm Backing được lắp đặt song song với bơm chân không. Bơm Backing có thể là một bơm truyền động dương tính hoạt động ở mức áp suất chân không thấp hơn và có thể xả trực tiếp ra không khí.

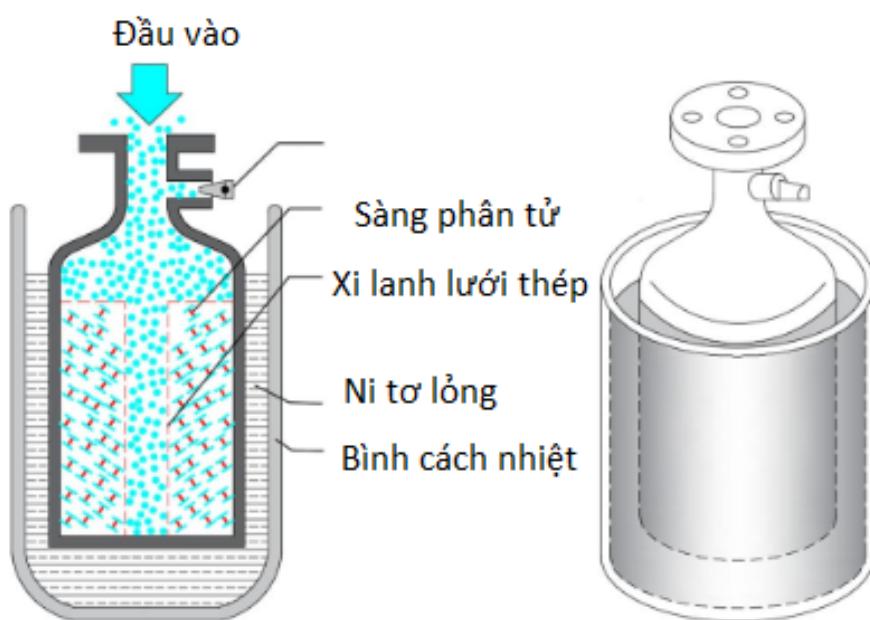
## Turbomolecular Vacuum Pump



Hình 2.10 Bơm chân không tua bin phân tử (Turbomolecular Vacuum Pump)

### \* Bơm chân không bẫy (Entrapment Vacuum Pumps)

Máy bơm chân không bẫy sử dụng nhiều hiện tượng vật lý và hóa học để thu giữ các phân tử khí. Nguyên lý làm việc của mỗi loại là khác nhau. Điểm chung của hầu hết tất cả các máy bơm bẫy là khả năng hoạt động ở chế độ chân không cao mà không bị nhiễm dầu. Máy bơm chân không bẫy không dựa vào cánh quạt hoặc các bộ phận chuyển động khác. Tuy nhiên, nhược điểm là nó không thể hoạt động liên tục vì nó cần được tái tạo sau khi bề mặt hoặc vật liệu thu khí đầy. Hơn nữa, chúng không thể loại bỏ các khí nhẹ hơn như hydro, heli và neon.



Hình 2.11 Bơm hút chân không (Sorption Vacuum Pump)

## CHƯƠNG 3. BƠM PHÂN TỬ TURBO (TMP)

### 3.4 Tổng quan

Như hình (2.8), Bơm tua bin phân tử (Turbomolecular pump) thuộc loại bơm Chuyển khí-Chuyển động lượng

Bơm phân tử, hay còn gọi là Bơm turbo (TMP - Turbomolecular pump) là một thiết bị tạo chân không cao (có thể đạt tới  $10^{-7}$  đến  $10^{-9}$  Torr), dựa trên nguyên tắc cuốn các phân tử khí dư trong môi trường chân không sơ cấp nhờ va chạm với một động cơ quay với tốc độ cao (động cơ phản lực – động cơ turbo). Turbomolecular pump được sử dụng để tạo ra áp suất chân không cao trong các ứng dụng công nghiệp và nghiên cứu khoa học.

Bơm turbo phân tử là thiết bị tạo ra chân không cao theo nguyên lý cuốn các phân tử khí ở trạng thái khí kém nhờ một động cơ quay với tốc độ rất lớn. . . Khi bơm hoạt động, rotor của bơm là hệ thống các cánh quạt được tăng tốc đến vận tốc lớn như động cơ phản lực và sẽ cuốn các phân tử khí để tạo môi trường chân không.



Hình 3.1 Bơm phân tử Turbo

### 3.5 Nguyên lý hoạt động

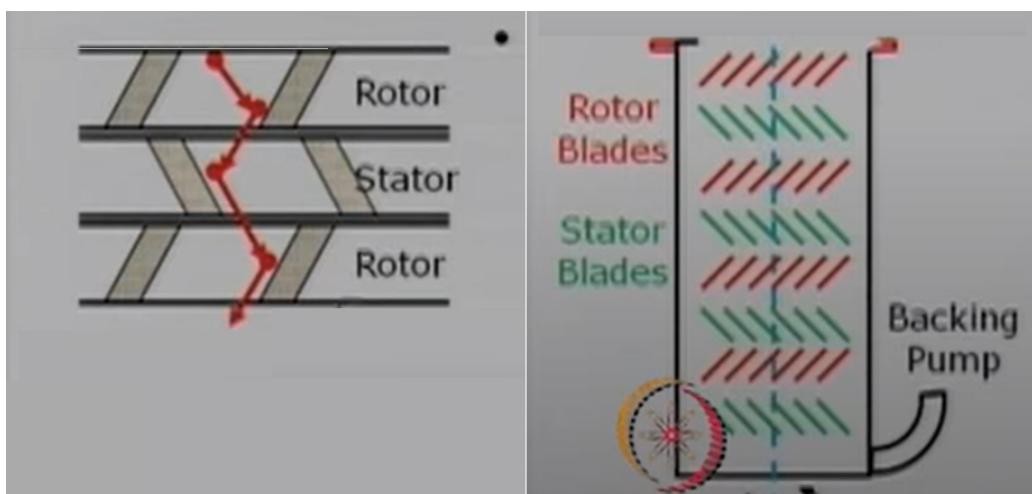
Hầu hết các máy bơm phân tử tua-bin sử dụng nhiều giai đoạn, mỗi giai đoạn bao gồm một cánh quạt quay nhanh và cặp cánh quạt stator cố định. Khí được thu giữ bởi các tầng trên được đẩy vào các tầng thấp hơn và các cánh quạt quay liên tục. Khi các phân tử đi qua đầu vào, các phân tử chạm vào cánh nghiêng. Do đó, năng lượng cơ học của cánh quạt được truyền cho các phân tử khí. Với động lượng mới có được này, các phân tử khí đi vào các lỗ

chuyển khí trong stator. Điều này dẫn đến giai đoạn tiếp theo, nơi các phân tử lại va chạm với bề mặt rotor và quá trình này được tiếp tục, cuối cùng dẫn các phân tử ra ngoài qua ống xả. Vận tốc của các đầu rotor đạt đến một giá trị gần với vận tốc tự do trung bình của các loại khí được bơm. Khí càng nhẹ thì vận tốc nhiệt của nó càng cao. Do đó, heli có vận tốc 1245 m/s, trong khi không khí có mật độ cao hơn có tốc độ trung bình là 463 m/s [4]. Như vậy, Turbo Pump không hiệu quả trong việc bơm khí nhẹ.

Do chuyển động của rotor và stator, các phân tử ưu tiên va vào mặt dưới của cánh quạt. Bề mặt nhám nên sẽ không xảy ra hiện tượng phản xạ. Điều này dẫn đến TMP có tỷ số nén thấp hơn đối với các loại khí nhẹ hơn. Lưỡi cần phải dày và đủ ổn định để vận hành ở áp suất cao và càng mỏng càng tốt và hơi cong để có lực nén tối đa.

Để quan sát trực quan hơn, có thể xem quá trình máy bơm hút chân không tại link MAGiNTEGRA - Features and benefits

và Functional principle of the HiPace turbopump in 3D

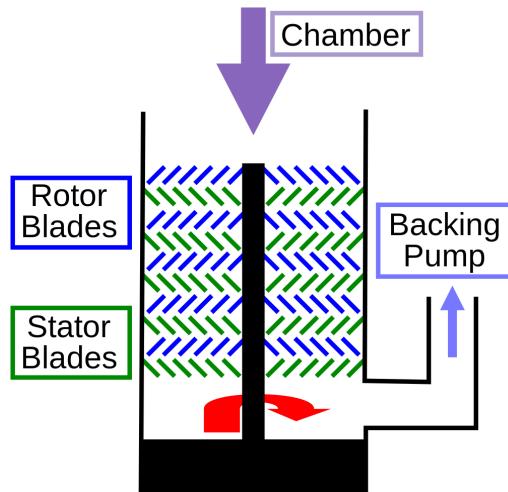


**Hình 3.2 Các phân tử khí được hút vào máy bơm**

Trong máy bơm Turbo Pump, cứ 1 cặp rotor và stator được gọi là 1 giai đoạn (stage), thường thì, các máy bơm Turbo sẽ có khoảng 6-7 giai đoạn tùy vào mức độ chân không cần thiết, và thường không nhiều hơn 8. Mỗi giai đoạn sẽ có các góc nghiêng khác nhau, tỷ lệ nén khác nhau. Vì vậy việc thiết kế giữa các giai đoạn khác nhau. [5]

Máy bơm tua-bin phân tử phải hoạt động ở tốc độ rất cao và sự tích tụ nhiệt do ma sát đặt ra những hạn chế trong thiết kế. Một số máy bơm turbo phân tử sử dụng vòng bi từ tính để giảm ma sát và ô nhiễm dầu [1]. Vì các ổ trục từ tính và các chu kỳ nhiệt độ chỉ cho phép có một khe hở giới hạn giữa rotor và stator, nên mỗi cánh ở giai đoạn áp suất cao nào bị thoái hóa thành một lá xoắn ốc duy nhất. Máy bơm có thể được làm mát xuống để cải thiện khả năng nén, nhưng không được quá lạnh để làm ngưng tụ băng trên các cánh quạt. Khi một máy bơm tua-bin dừng hoạt động, dầu từ chân không phía sau có thể chảy ngược qua máy bơm tua-bin và làm nhiễm bẩn buồng. Một cách để ngăn chặn điều này là dẫn một dòng khí

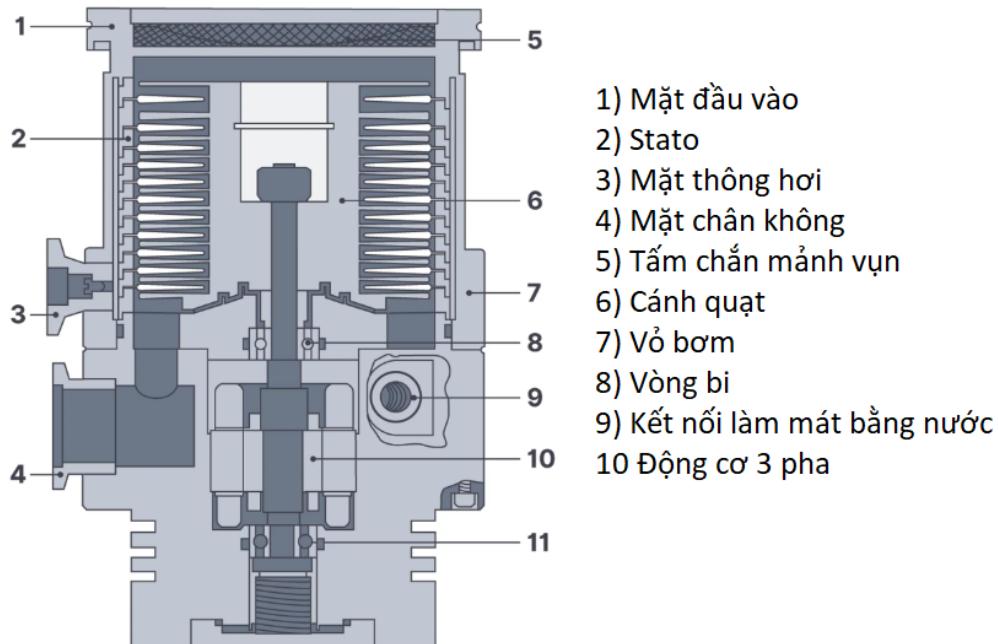
nitơ thông qua máy bơm. Quá trình chuyển đổi từ chân không sang nitơ và từ máy bơm đang chạy sang máy bơm tăng áp đứng yên phải được đồng bộ hóa chính xác để tránh ứng suất cơ học đối với máy bơm và quá áp suất ở ống xả. Nên thêm một màng mỏng và một van ở ống xả để bảo vệ bơm tua-bin khỏi áp suất ngược quá mức (ví dụ: sau khi mất điện hoặc rò rỉ trong chân không phía sau).



**Hình 3.3 Sơ đồ của một máy bơm turbo phân tử**

### 3.6 Cấu tạo TMP

Hình (3.4) cho thấy một bản vẽ mặt cắt ngang của một bơm tuabin phân tử điển hình. Trục máy có thiết kế thẳng đứng, phần hoạt động hoặc phần bơm bao gồm một rotor (6) và một stator (2). Các cánh tuabin được đặt xung quanh các chu vi của stator và rotor. Mỗi cặp rotor - stator của các hàng lưỡi cắt hình tròn tạo thành một giai đoạn, do đó tổ hợp này bao gồm vô số giai đoạn được lắp nối tiếp. Khí được bơm đến trực tiếp qua khe hở của mặt đầu vào (1) và chạm vào các cánh trên cùng của cụm rotor - stator. Khí được thu giữ bởi các giai đoạn này được chuyển đến các giai đoạn nén thấp hơn. rotor tuabin (6) được gắn trên trục truyền động, được đỡ bằng hai ổ bi chính xác (8 và 11), nằm trong vỏ động cơ. Trục rotor được truyền động trực tiếp bởi một động cơ tần số trung bình được đặt trong không gian chân không bên trong rotor, do đó không cần dẫn trục quay ra môi trường bên ngoài. Động cơ này được cấp nguồn và điều khiển tự động bằng bộ biến tần bên ngoài. [6]



**Hình 3.4 Cấu tạo cơ bản của máy bơm turbo phân tử**

### 3.7 Backing pump - bơm chân không phụ trợ

Backing pump được sử dụng để loại bỏ các phân tử khí không mong muốn khỏi hệ thống bơm chân không chính. Nó không thể tạo ra áp suất thấp đến mức cần thiết cho các ứng dụng đặc biệt như bơm chân không, nhưng nó có thể loại bỏ khí đến một mức độ nhất định và giúp bơm chân không chính có thể hoạt động hiệu quả hơn.

Theo phần 3.5 đã đề cập, thì bơm Turbo Pump không thích hợp để bơm các khí nhẹ. Ở áp suất khí quyển, đường đi tự do trung bình của không khí là khoảng 70 nm. Một máy bơm phân tử tua-bin chỉ có thể hoạt động nếu những phân tử bị cánh quạt chuyển động va chạm chạm tới cánh quạt đứng yên trước khi va chạm với các phân tử khác trên đường đi của chúng. Để đạt được điều đó, khoảng cách giữa các cánh chuyển động và các cánh cố định phải gần bằng hoặc nhỏ hơn quãng đường tự do trung bình của các phân tử. Vì quãng đường tự do trung bình tỷ lệ nghịch với áp suất nên bơm tua-bin sẽ bơm khi áp suất khí thải nhỏ hơn khoảng 10 Pa (0,10 mbar) trong đó quãng đường tự do trung bình khoảng 0,7 mm. Từ quan điểm thực tế, khoảng cách khả thi giữa các cánh quay là khoảng 1 mm.

Hầu hết các máy bơm tua-bin đều có máy bơm Holweck (hoặc máy bơm kéo phân tử) ở giai đoạn cuối cùng để tăng áp suất đệm tối đa (áp suất khí thải) lên khoảng 1–10 mbar. Về mặt lý thuyết, máy bơm ly tâm, máy bơm kên bén hoặc máy bơm tái tạo có thể được sử dụng để trực tiếp quay trở lại áp suất khí quyển, nhưng hiện tại không có máy bơm tua-bin thương mại nào thải khí trực tiếp ra khí quyển. Không có bảo vệ hoặc cao su nào trong máy bơm tuabin phân tử (TMP) như dầu. Theo quy định, các cánh cách nhau khoảng 1mm. Những

khoảng trống này cần thiết cho máy bơm đang chạy; tuy nhiên, khi bơm, một phần nhỏ khí chảy ngược (chảy ngược) qua máy bơm. Đây là một lý do mà máy bơm chân không tua-bin phân tử phải có một máy bơm hỗ trợ cơ học (Baking Pump) cung cấp áp suất chân không thấp trên cỗng xả. Nói cách khác, bơm tua-bin phân tử phải được “hỗ trợ” bởi một bơm thô (hầu hết là Bơm chân không quay). Trong hầu hết các trường hợp, ống xả được kết nối với một máy bơm backing tạo ra áp suất đủ thấp để máy bơm phân tử tua-bin hoạt động hiệu quả. Thông thường, áp suất đậm này dưới 0,1 mbar và thông thường là khoảng 0,01 mbar.



**Hình 3.5 Bơm chân không quay**

Cách chọn bơm chân không phụ trợ dựa theo tốc độ quay của bơm chân không, có thể tham khảo kỹ hơn tại bài viết của Leybold

### 3.8 Bảo vệ máy bơm phân tử

Mặc dù máy bơm có thể thực hiện các chức năng cơ bản, tuy nhiên trong quá trình sử dụng cần lưu ý một vài điểm để có thể sử dụng máy bơm với hiệu suất cao nhất.

Vì sự cố của bơm tua-bin phân tử trong các hệ thống lỏng dạng màng mỏng có liên quan trực tiếp đến việc tắt toàn bộ hệ thống và gây ra tổn thất lớn, các TMP nên kiểm tra và xác nhận các hạng mục bảo trì cần thiết để thiết bị hoạt động ổn định.

Bơm chân không tuabin phân tử hoạt động bằng cách sử dụng rotor quay rất nhanh (thường từ 22.000 đến 95.000 RPM). Áp suất vận hành thông thường của chúng là trong khoảng chân không cao đến mức chân không cực cao trong khoảng từ  $10^{-3}$  đến  $10^{-11}$  mbar. Do đó, máy bơm trở nên quá nóng hoặc trong một tình huống nghiêm trọng, nó bị hỏng do các vật chuyển động nhanh tiếp xúc với các cánh quạt ổn định. Các kỹ sư máy bơm đề xuất một số điều kiện phải được xem xét để hoạt động đúng và lâu dài của máy bơm tua-bin phân tử [7] :

- Bơm chân không, buồng và đường ống phải sạch sẽ và kín. Có một số phương pháp để đo rò rỉ chân không, phương pháp quan trọng nhất trong số đó là sử dụng Máy dò rò rỉ Helium .
- Cung cấp dòng điện phù hợp cho máy bơm
- Ngoài ra còn có một bộ làm mát bằng bơm tua-bin phân tử (làm mát bằng không khí hoặc làm mát bằng nước) và bộ phận này phải hoạt động hiệu quả để tránh quá nhiệt.
- Một dấu hiệu nữa của sự cố máy bơm là âm thanh của nó. Khi một máy bơm ở tình trạng hoàn hảo, nó sẽ gần như không phát ra tiếng động, không rung lắc và hoạt động êm dịu. Tiếng ồn từ máy bơm phụ trợ quay phải là âm thanh chính của hệ thống. Nếu máy bơm phát ra âm thanh the thé, có thể máy bơm tăng áp đang bị hỏng. Nếu âm thanh hoặc tiếng ồn tăng lên sau mỗi giây, đây là một dấu hiệu khác của sự cố và máy bơm cần tắt ngay lập tức.
- Nếu nhiệt độ trong máy bơm tăng rất nhanh, chẳng hạn như tăng từ 24 o C lên +55 o C trong vài phút, thì sẽ có lực cản quay nghiêm trọng. Các nguyên nhân có thể có thể là sự phát triển nghiêm bẩn từ các vật liệu xử lý ngưng tụ trên các cánh quạt. Ở giai đoạn này, nên lấy máy bơm ra khỏi hệ thống để kiểm tra thêm. Sau khi tháo ra, hãy cẩn thận, vì các cánh tua-bin có thể rất sắc, hãy quay các cánh quạt, cánh quạt được cho là ổn khi chúng quay tự do trong hơn 15 giây trở lên.
- Sự xâm nhập của bất kỳ chất lỏng hoặc hạt nào vào máy bơm, đặc biệt là khi máy bơm đang chạy và quay ở tốc độ cao, sẽ làm hỏng các cánh quạt và máy bơm sẽ ngừng hoạt động.
- Các chuyên gia khuyên bạn nên giữ máy bơm trong môi trường chân không khi quá trình bơm kết thúc. Điều này ngăn bụi và độ ẩm xâm nhập vào buồng bơm và làm hỏng máy.
- Khi các máy bơm này đang quay, không được phá vỡ chân không theo bất kỳ cách nào vì điều này sẽ làm hỏng các rotor của máy bơm. Vì vậy, để phá vỡ chân không, hãy kiên nhẫn cho đến khi máy bơm hoàn thành quá trình bơm.

## CHƯƠNG 4. BƠM TURBO EXT255H

Chương này hầu như nghiên cứu về Datasheet, các lưu ý và cách sử dụng Bơm Turbo EXT255H [7]

### 4.1 Thông tin cơ bản

Máy bơm tua-bin phân tử EXT255H được chế tạo từ một tua-bin dòng hướng trực nhiều tầng được tối ưu hóa để hoạt động trong với các dòng phân tử.

Cấu tạo của máy bơm thể hiện ở hình ??

rotor hợp kim nhẹ (13) tạo thành các cánh nghiêng của bơm tuabin phân tử. Các cánh rotor quay giữa các cánh stator (12) được hỗ trợ bởi các vòng đệm (11). Cánh rotor và stator có cấu trúc mở ở đầu vào máy bơm và cấu trúc kín hơn ở đầu ra. Cấu hình này mang lại sự kết hợp tối ưu giữa tốc độ bơm và độ nén khi bơm khí có trọng lượng phân tử cao và thấp. Để cánh quạt hoạt động hiệu quả, tốc độ của chúng phải gần bằng tốc độ nhiệt của khí. Do đó, rotor quay với tốc độ lên tới 60000 vòng/phút

### 4.2 Cấu tạo

Khí từ đầu vào được nén qua từng giai đoạn có cánh của bơm tuabin phân tử và được chuyển đến bơm kéo. Trong các giai đoạn bơm kéo, khí được nén thêm vì nó là được bơm xung quanh các kheh được hình thành bởi các rãnh xoắn ốc: Cụm quay được đỡ ở đầu vào bằng ổ trục từ tính không ma sát (3) và bằng ổ bi gồm chính xác ở đầu ra. Ổ bi được bôi trơn từ bình chứa dầu (9).

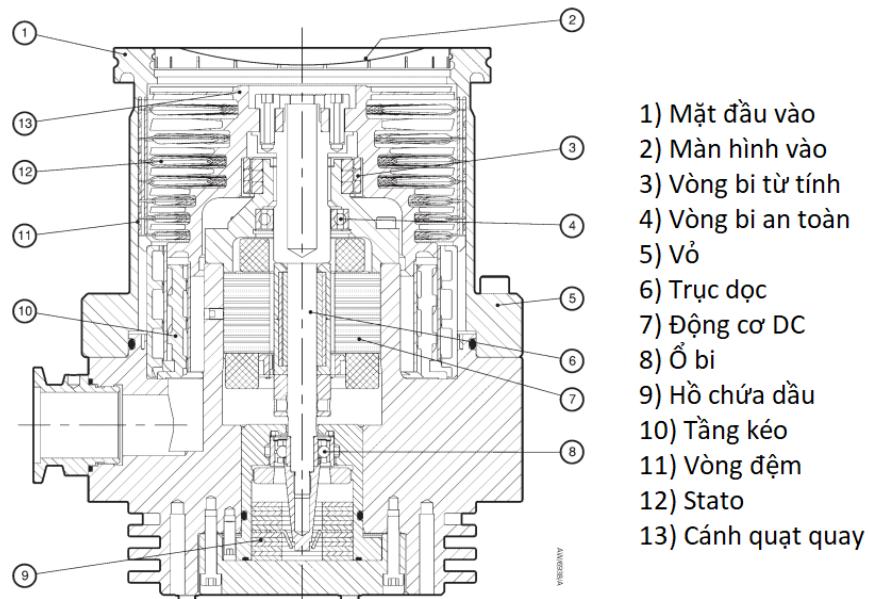
Máy bơm được cung cấp một tấm chắn đầu vào (2) được lắp vào lỗ của mặt bích đầu vào. Màn hình đầu vào và bộ lọc đầu vào bảo vệ máy bơm khỏi hư hỏng do các mảnh vụn xâm nhập vào máy bơm. Màn hình đầu vào cũng có tác dụng bảo vệ người sử dụng khỏi các lưỡi dao sắc bén trong máy bơm.

Máy bơm có một cổng thông hơi (Vent-port) có thể sử dụng để thông máy bơm và hệ thống chân không của mình đến áp suất khí quyển. Cổng thông hơi đưa một phần khí thông hơi lên rotor máy bơm, điều này đảm bảo độ sạch tối đa. Máy bơm được cung cấp một van thông hơi thủ công được lắp vào cổng thông hơi.

Máy bơm có một cổng thanh lọc (Purge port) trong buồng vỏ ổ trục và động cơ. Để bảo vệ chất bôi trơn ổ trục khỏi tác động của nồng độ oxy cao, có thể đưa khí tẩy trơ qua cổng tẩy.

Máy bơm có thể được làm mát bằng không khí bằng cách sử dụng phụ kiện làm mát không khí tùy chọn hoặc làm mát bằng nước bằng cách cho nước đi qua bộ làm mát bằng nước được cung cấp. Hai đầu nối ống có rãnh được cung cấp để kết nối các đường ống cấp và

trả nước làm mát. Một cảm biến nhiệt giám sát các nhiệt độ của động cơ và thân máy bơm.



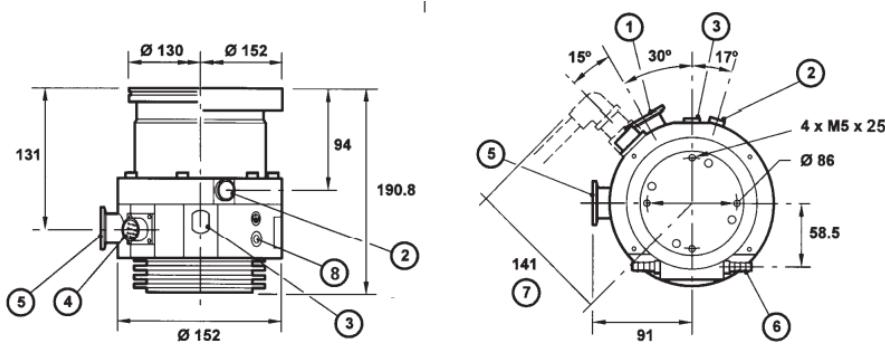
**Hình 4.1 Cấu tạo bơm chân không phân tử EXT255H**

### 4.3 Thông số kỹ thuật máy bơm EXT

**Bảng 4.1 Thông số kỹ thuật máy bơm**

Kích thước	Hình 4.2
Nhiệt độ mặt đầu vào tối đa	100° C
Từ trường tối đa	3,5 mT Trường ngang; >7mT Trường dọc
Mức độ ô nhiễm	EN61010
Loại thiết bị	Thiết bị cố định, chỉ sử dụng trong nhà

Phần thông số chỉ nêu ra điểm chính, trong Datasheet máy bơm có nêu chi tiết hơn. [7]



1) Cổng giữa các tầng 2) Van thông hơi 3) Cổng lọc khí 4) Đầu nối nguồn điện  
5) Cổng bơm phụ trợ 6) Đầu nối làm mát bằng nước 7) Khoảng trống cho đầu nối cáp 8) Điểm nối đất

**Hình 4.2 Kích thước bơm EXT255H**

## 4.4 Vent gas

### 4.4.1 Vai trò

Với bơm EXT tốc độ tối đa và trên 50% tốc độ quay tối đa, rotor quay đủ nhanh để triệt tiêu bất kỳ sự chảy ngược nào của dầu hydrocacbon từ máy bơm phụ trợ.

Tuy nhiên, nếu thông hơi máy bơm khi nó đang ở tốc độ quay tối đa và tốc độ tăng áp suất quá cao, tuổi thọ của máy bơm có thể bị giảm. Do đó, để duy trì độ sạch của hệ thống chân không, nên hạn chế tốc độ thông hơi hoặc chỉ mở van thông hơi sau khi tốc độ bơm EXT giảm xuống dưới 50% tốc độ quay tối đa. (Hình 4.3)

Tốc độ tăng áp suất không thể kiểm soát được bằng van thông hơi thủ công, vì vậy nếu sử dụng van thông hơi thủ công, nên mở van thông hơi sau khi tốc độ bơm EXT giảm xuống 50% tốc độ quay tối đa.

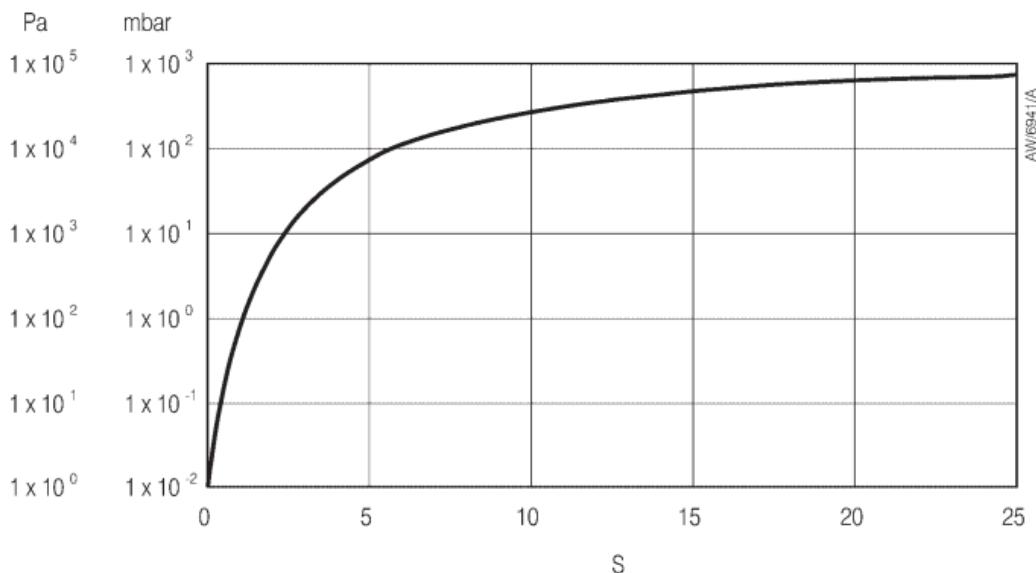
\* **Lưu ý:** Không sử dụng EXT để bơm khí chứa hơn 20% oxy trừ khi máy bơm được làm sạch khí (Purge gas) để ngăn ngừa việc chất bôi trơn sê polyme hóa từ đó dẫn tới việc hỏng máy bơm.

### 4.4.2 Thông số kỹ thuật thông hơi và điều khiển thông hơi

Mặc dù máy bơm có thể được thông hơi với không khí trong khí quyển, nhưng độ ẩm tương đối cao của không khí có thể làm tăng đáng kể thời gian ngừng hoạt động của máy bơm sau đó. Để giảm thời gian bơm xuống, cần lựa chọn thông hơi máy bơm bằng khí khô, sạch.

**Bảng 4.2 Thông số kỹ thuật thông hơi và điều khiển thông hơi**

Khí thông hơi	Không khí khô, nitơ, argon hoặc các khí trơ khác
Điểm sương tối đa	Áp suất khí quyển – 22° C
Kích thước tối đa của hạt	1 m
Nồng độ tối đa của dầu	0,1 phần triệu
Thời gian để tốc độ quay đạt 50%	>15 giây
Tốc độ tăng áp suất	Hình 4.3



**Hình 4.3 Mức tăng tối đa cho phép của áp suất theo thời gian khi thông gió: áp suất hệ thống (mbar/Pa) theo thời gian (s)**

## 4.5 Purge gas

### 4.5.1 Vai trò

Tất cả các máy bơm EXT và nEXT đều có các cổng làm sạch có thể được sử dụng để làm sạch động cơ và khoang ổ trực bằng khí trơ (chẳng hạn như nitơ). Nên làm sạch máy bơm khi bơm hỗn hợp khí ăn mòn và mài mòn hoặc những loại có hàm lượng oxy trên 20%.

Khi không sử dụng Purge gas, máy bơm được thiết kế để bơm các loại khí sau:

- |                  |                   |            |           |           |
|------------------|-------------------|------------|-----------|-----------|
| - Không khí      | - Carbon monoxide | - Neon     | - Ethane  | - Methane |
| - Nitrogen       | - Krypton         | - Argon    | - Propane |           |
| - Carbon dioxide | - Helium          | - Hydrogen | - Butane  |           |

Có thể sử dụng máy bơm để bơm oxy, tuy nhiên cần tuân theo điều kiện Nồng độ oxy phải nhỏ hơn 20% thể tích

#### 4.5.2 Thông số kỹ thuật lọc khí

**Bảng 4.3 Thông số kỹ thuật lọc khí**

Khí làm sạch	Nitơ khô, argon hoặc các khí trơ khác
Điểm sương tối đa ở áp suất khí quyển	-22°C
Kích thước tối đa của hạt	1 m
Nồng độ tối đa của dầu	0,1 phần triệu
Lưu lượng khí thanh lọc cho phép	20 đến 100 sccm (0,33 đến 1,67 mbar $Is^{-1}$ , 33 đến 167 Pa $Is^{-1}$ )
Lưu lượng khí thanh lọc khuyến nghị	25 sccm (0,42 mbar $Is^{-1}$ , 42 Pa $Is^{-1}$ )
Áp suất cung cấp khí thanh lọc tối đa cho phép	2 bar (máy đo); 29 psig, 3 x 105 Pa

#### 4.6 Làm lạnh bằng nước

Thông số kỹ thuật nước làm mát sau đây phù hợp với chức năng làm mát máy bơm:

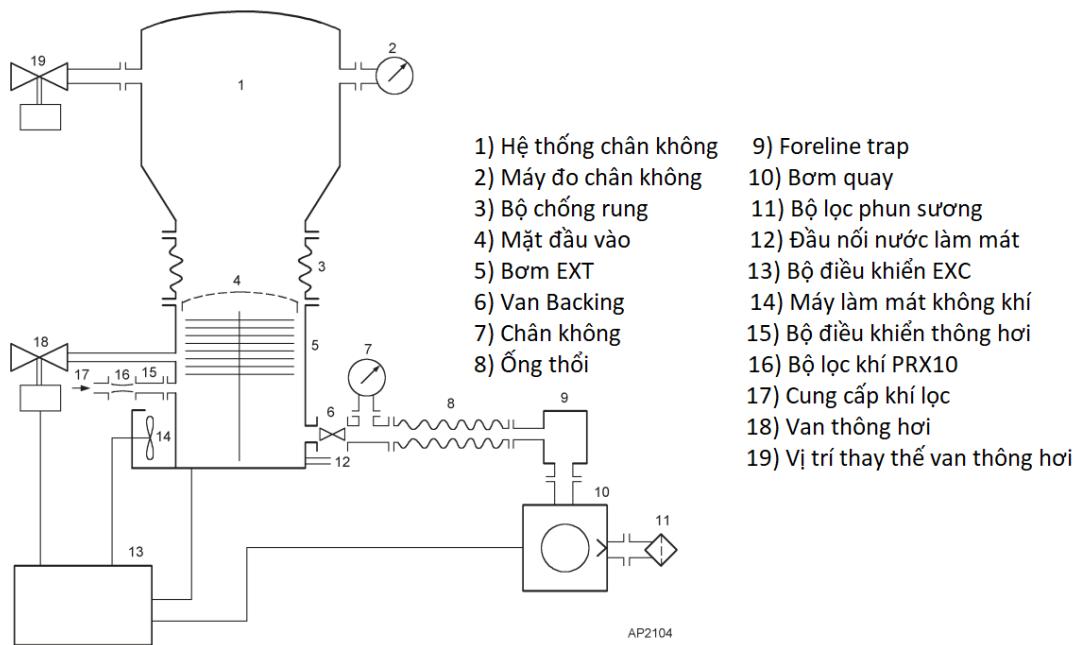
**Bảng 4.4 Thông số kỹ thuật làm mát bằng nước**

Chất lượng	Sạch về mặt cơ học và trong suốt về mặt quang học, không có cặn hoặc độ đục
Giá trị pH	6,0 đến 8,0
Nồng độ canxi cacbonat	tối đa 75 phần triệu
Nồng độ clorua	tối đa 100 phần triệu
Nồng độ oxy	tối thiểu 4 phần triệu
Tốc độ dòng nước làm mát tối thiểu	(ở 15°C) 15 $lh^{-1}$
Nhiệt độ nước	10 – 20°C
Áp suất nước tối đa	5 bar, 73,5 psig, 6 x 105 Pa

#### 4.7 Sơ đồ hệ thống kết nối máy bơm EXT255H

Dưới đây là sơ đồ hệ thống bơm điển hình với máy bơm EXT255H với các chức năng cơ bản sử dụng, bơm phụ trợ là bơm quay:

Về phần lắp đặt các phần của máy bơm, tham khảo tại [7], lưu ý lắp đặt các phần thật chắc chắn, lắp đặt toàn bộ hệ thống trước khi sử dụng máy bơm.



**Hình 4.4 Hệ thống kết nối máy bơm EXT255H**

## 4.8 Sử dụng máy bơm EXT

### 4.8.1 Bật máy

\* Lưu ý:

- Không vận hành máy bơm trừ khi nó được kết nối với hệ thống chân không ngăn ngừa việc rotor máy bơm có thể gây thương tích. Rô-to máy bơm quay với tốc độ rất cao dẫn tới có thể không nhìn thấy máy bơm đang quay.
- Cần siết chặt bu lông, ốc vít trên máy bơm đảm bảo máy bơm được kết nối cố định.

Sử dụng quy trình bên dưới để khởi động hệ thống bơm cơ bản:

(Tham khảo hướng dẫn sử dụng EXDC 5.6.4 )

- Xoay van thông hơi thủ công theo chiều kim đồng hồ để đóng lại.
- Bật nguồn cấp nước làm mát (nếu sử dụng nước làm mát).
- Khởi động máy bơm dự phòng.
- Khi áp suất hệ thống chân không xấp xỉ 10 mbar ( $1 \times 10^3$  Pa) trở xuống, sử dụng Bộ điều khiển EXDC để khởi động bơm EXT.
- Sau đó, máy bơm sẽ tăng tốc đến tốc độ vận hành tối đa.

### 4.8.2 Khi sử dụng

\* Lưu ý:

- Đề cập ở phần 4.7, không ngắt kết nối cáp máy bơm với bộ điều khiển khi máy bơm EXT đang hoạt động tránh nguy cơ bị thương hoặc tử vong do điện giật.
- Khi sử dụng, nếu thấy máy bơm EXT nóng trên  $70^{\circ}\text{C}$ , cần làm mát máy bơm sử dụng làm mát bằng nước, việc này giúp tránh làm hỏng các chất bôi trơn trực
- Nếu máy bơm nóng đến  $200^{\circ}\text{C}$ , cần đặt một tấm chắn bức xạ giữa hệ thống và bơm EXT. Tấm chắn bức xạ này sẽ giúp làm giảm nhiệt lượng tỏa lên cánh quạt máy bơm.
- Không để bất kỳ phần nào của cơ thể tiếp xúc với chân không, khi tiếp xúc rất có thể sẽ gây thương tích.

#### 4.8.3 *Tắt máy*

\* **Lưu ý:** Chỉ trong trường hợp khẩn cấp, hãy nhanh chóng mở van thông hơi để giảm tốc rotor máy bơm trong thời gian ngắn nhất có thể

. Sử dụng quy trình bên dưới để tắt hệ thống bơm cơ bản:

1. Đóng van ở đường ống phía sau nối máy bơm EXT với máy bơm phía sau.
2. Tắt máy bơm dự phòng.
3. Sử dụng Bộ điều khiển EXDC để tắt bơm EXT.
4. Khi tốc độ quay của bơm EXT giảm xuống dưới 50% tốc độ quay tối đa, hãy xoay van thông hơi thủ công ngược chiều kim đồng hồ để mở. Đảm bảo rằng tốc độ tăng áp suất không vượt quá tốc độ tăng áp suất cho phép, nếu không máy bơm có thể hỏng. (Tham khảo bảng 4.2)
5. Tắt nguồn cấp nước làm mát nếu đang sử dụng.

### 4.9 Bảo Trì

#### 4.9.1 *Tuổi thọ vòng bi*

\* **Lưu ý:** Dừng rotor, sau đó ngắt kết nối Bộ điều khiển EXDC trước khi tháo máy bơm khỏi hệ thống chân không để thực hiện quy trình bảo trì hoặc tìm lỗi.

Khi được cung cấp, máy bơm chứa đủ chất bôi trơn để cung cấp cho một vòng bi suốt đời. Do đó, không cần bảo trì định kỳ giữa các lần thay thế vòng bi. Các vòng bi sẽ cần phải được thay thế khi chúng hết tuổi thọ sử dụng. Điều này thường là hơn 20.000 giờ, nhưng có thể ít hơn; điều này phụ thuộc vào mức độ sử dụng máy bơm.

Khi vòng bi cần thay thế, nên gửi máy bơm để kiểm tra và thay đổi linh kiện tại nhà máy. Ngoài ra, có thể gửi máy bơm của mình đến Trung tâm Dịch vụ BOC Edwards để thay thế vòng bi.

#### **4.9.2 Tuổi thọ cánh quạt**

Tuổi thọ của rotor bơm EXT thường là 40.000 đến 50.000 chu kỳ (tăng tốc đến tốc độ tối đa, sau đó giảm tốc đến dừng).

Do đó, nên kiểm tra và thay thế tại nhà máy sau mỗi 20.000 chu kỳ hoặc 10 năm sử dụng, tùy theo tần suất sử dụng máy bơm. Ngoài ra, có thể gửi máy bơm đến Trung tâm Dịch vụ BOC Edwards để được bảo dưỡng chính (sẽ bao gồm thay cánh quạt).

#### **4.9.3 Vệ sinh máy bơm**

\* **Lưu ý:** Không cố làm sạch bất kỳ bộ phận nào của máy bơm EXT ngoài các bề mặt bên ngoài. Dung môi hữu cơ có thể làm hỏng các bộ phận bên trong máy bơm. Không sử dụng vật liệu mài mòn để làm sạch bất kỳ bộ phận nào của máy bơm. Nếu bên trong bơm EXT bị nhiễm bẩn, có thể không đạt được độ chân không cuối cùng đã chỉ định hoặc thời gian bơm xuống có thể tăng lên. Trong những trường hợp này, nên đưa máy bơm trở lại Trung tâm Dịch vụ BOC Edwards, nơi máy bơm sẽ được tháo dỡ và làm sạch.

Làm sạch các bề mặt bên ngoài của máy bơm EXT ở nơi thông thoáng. Khi sử dụng dung dịch tẩy rửa và dung môi để làm sạch máy bơm, hãy tuân thủ tất cả các biện pháp phòng ngừa do nhà sản xuất chỉ định. Tránh hít phải bất kỳ hạt khí nào có thể có trong máy bơm.

#### **4.9.4 Phát hiện lỗi**

Có thể tham khảo phần (5.5 Fault finding) tại Datasheet của EXT255H ([7]) để có thể biết được lỗi tương ứng với các biểu hiện có thể xảy ra đã được liệt kê.

## CHƯƠNG 5. BỘ ĐIỀU KHIỂN EXDC80

EXDC-80 là một bộ điều khiển thông minh và tiên tiến được thiết kế đặc biệt để điều khiển và quản lý hoạt động của bơm Turbo EXT. Bộ điều khiển này giúp tối ưu hóa hiệu suất của bơm, đảm bảo hoạt động ổn định và an toàn, cũng như cung cấp các chức năng kiểm soát và theo dõi hiện trạng hoạt động của bơm. [8]



© Artisan Technology Group

**Hình 5.1 Bộ điều khiển máy bơm chân không EXDC80**

### 5.1 Thông tin cơ bản

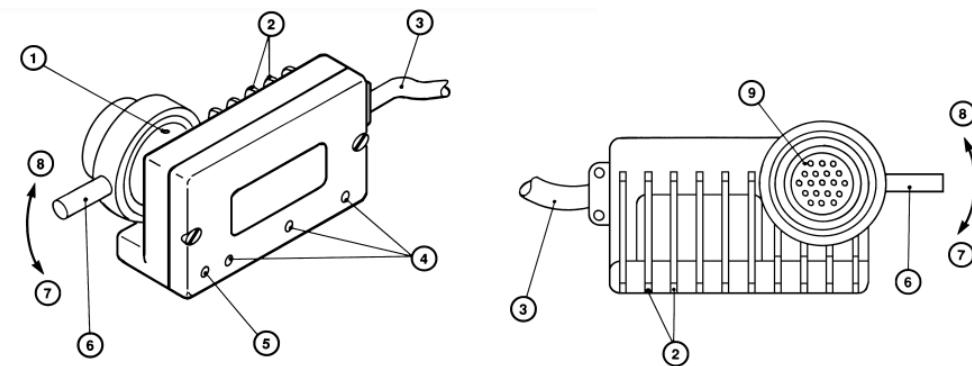
EXDC kiểm soát nguồn cung cấp điện cho máy bơm tua-bin phân tử BOC Edwards EXT70, EXT70H, EXT250, EXT255H, EXT351 hoặc EXT501. EXDC không có điều khiển thủ công và chỉ có thể được vận hành thông qua giao diện logic. Do đó, để vận hành máy bơm EXT, cần kết nối EXDC với thiết bị điều khiển và nguồn điện riêng.

### 5.2 Cấu tạo

Theo hình (5.2) EXDC có bốn đèn LED chỉ báo, như sau:

- Đèn LED pha (đỏ) (4) Các đèn LED màu đỏ này bật khi đầu ra pha tương ứng với động cơ bơm EXT được bật.
- Đèn LED TMP normal (5) Đèn LED màu xanh lục này bật khi máy bơm EXT đạt tốc độ quay tối đa từ 80% trở lên.

(\*) Có thể sử dụng các đèn LED này để hỗ trợ tìm lỗi: tham khảo Bảng 5.2



1) Ốc xoay 2) Tản nhiệt 3) Cáp giao diện logic 4) Pha đèn led (đỏ)  
5) Đèn led TMP Normal 5) Khóa đầu nối 7) Vị trí mở khóa 8) Vị trí khóa 9) Đầu nối máy bơm EXT

### Hình 5.2 Cấu tạo bộ điều khiển máy bơm chân không EXDC80

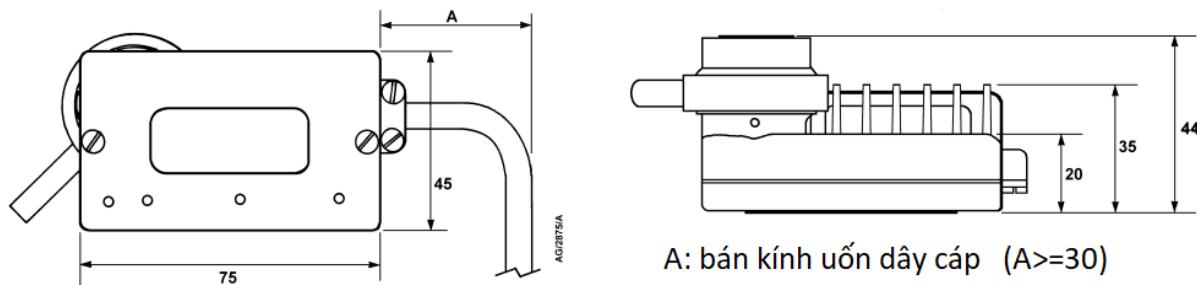
Bảng 5.1 Phát hiện lỗi LED EXDC

Tình trạng	Kiểm tra	Giải pháp
Không có đèn LED nào sáng	Nguồn cấp điện EXDC có bị lỗi không?	Đảm bảo rằng nguồn điện được bật và cầu chì không bị ngắt
Đèn LED TMP normal không sáng	Có rò rỉ trong hệ thống chân không? Máy bơm EXT có bị lỗi không?	Kiểm tra hệ thống chân không và bịt kín mọi chỗ rò rỉ được tìm thấy. Kiểm tra bơm EXT xem có hoạt động chính xác không.
Chỉ một đèn LED pha được bật	Máy bơm EXT có bị lỗi không	Kiểm tra bơm EXT xem có hoạt động chính xác không. Nếu cần thiết có thể thay bơm khác.
Bất kỳ lỗi nào ở trên		Nếu thực hiện tất cả các bước kiểm tra nhưng lỗi vẫn còn, hãy liên lạc với nhà sản xuất.

### 5.3 Thông số kỹ thuật

**Bảng 5.2 Thông số kỹ thuật bộ điều khiển exdc**

Kích thước	Hình 5.3
Khối lượng	0,2 kg
Công suất đầu ra tối đa	80W
Phạm vi nhiệt độ hoạt động xung quanh	0 – 40° C
Độ ẩm hoạt động xung quanh tối đa	10 đến 95% RH
Độ cao hoạt động tối đa	3000 m
Phát xạ điện từ bức xạ	EN50081-1
Miễn nhiệm điện từ	EN50082-1



**Hình 5.3 Kích thước bộ điều khiển máy bơm chân không EXDC80**

### 5.4 Kết nối bộ điều khiển với máy bơm

Tham khảo Hình (5.2)

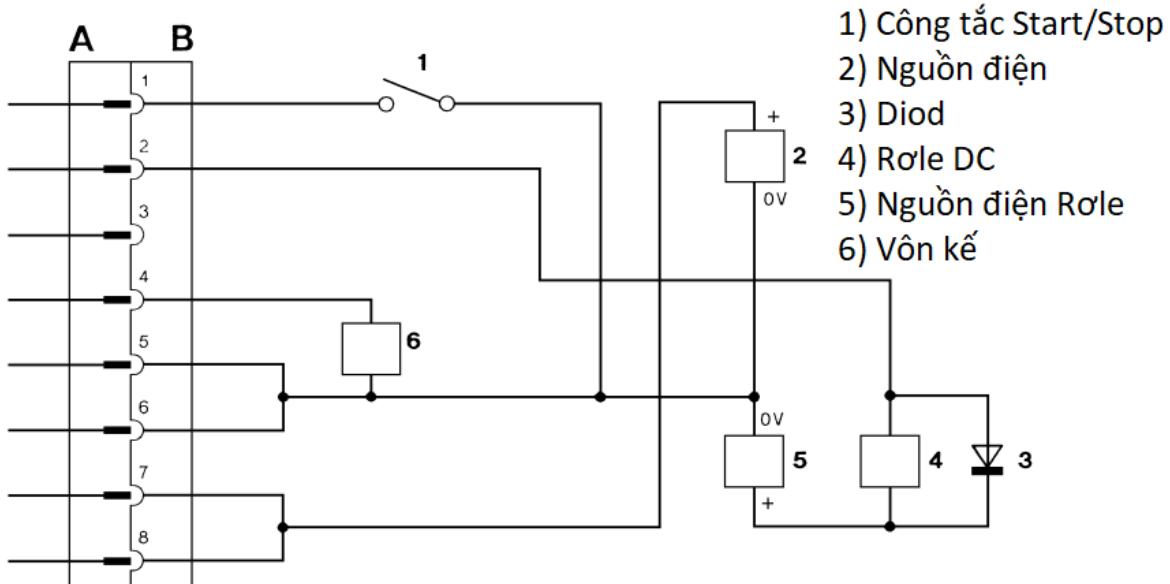
- Nhìn vào mặt trước của EXDC (Mặt các đèn LED (4, 5) hướng về phía mình), sau đó xoay khóa đầu nối (6) ngược chiều kim đồng hồ (theo hướng 7).
- Lắp trực tiếp đầu nối (9) vào đầu nối máy bơm với Bộ điều khiển trên máy bơm EXT.
- Xoay khóa (6) hoàn toàn theo chiều kim đồng hồ (theo hướng 8) để khóa các đầu nối và cố định EXDC vào đúng vị trí.

### 5.5 Kết nối giao diện logic

Tham khảo Bảng 5.3 và hình (5.4) để biết đầy đủ chi tiết về các kết nối giao diện logic và Hình để biết sơ đồ nguyên lý của các kết nối:

**Bảng 5.3 Chân kết nối giao diện logic**

Chân số	Tín hiệu	Phân	Sử dụng
1	Đầu vào điều khiển Start/Stop	-	Đóng * để bắt đầu bơm EXT
2	Đầu ra trạng thái LED TMP normal	-	Đóng * khi tốc độ bơm EXT là 80%
3	Đất (ground)	-	
4	Đầu ra analog tốc độ máy bơm	+	
5, 6	Electrical supply: 0V	-	
7, 8	Electrical supply: 80V	+	



**Hình 5.4 Sơ đồ kết nối giao diện logic**

## 5.6 Sử dụng bộ điều khiển EXDC

### 5.6.1 Bật máy

### 5.6.2 Khi sử dụng

\* Lưu ý:

Có thể khởi động bơm dự phòng và bơm EXT cùng một lúc; bơm EXT sẽ không bị hỏng và có thể hoạt động như một vách ngăn hiệu quả. Tuy nhiên, nếu áp suất hệ thống vẫn còn quá cao, bơm EXT có thể không đạt được 80% tốc độ quay tối đa và tín hiệu đầu ra trạng thái Bình thường TMP sẽ không được đặt.

Sử dụng quy trình sau để khởi động:

(Quy trình này giả định rằng van thông hơi và bơm hỗ trợ theo cách thủ công)

1. Bật nguồn điện cho EXDC.
2. Đóng van thông hơi và khởi động bơm dự phòng.
3. Khởi động máy bơm EXT: đóng đầu vào điều khiển Start/ trên đầu nối giao diện logic.

### 5.6.3 Khi sử dụng

\* Lưu ý:

- Không ngắt kết nối EXDC khỏi máy bơm EXT khi máy bơm đang hoạt động. Ở tốc độ tối đa, động cơ bơm EXT tạo ra 48 V RMS có thể tiếp cận được khi kết nối điện của máy bơm với Bộ điều khiển và có thể có nguy cơ bị thương do điện giật.
- Không ngắt kết nối EXDC khỏi hoặc kết nối lại EXDC với bơm EXT nếu nguồn cấp điện cho EXDC đang bật hoặc nếu bơm EXT đang quay. Việc này có thể làm hỏng EXDC.
- Các cảm biến nhiệt độ trong EXDC và bơm EXT được giám sát bởi EXDC. Nếu EXDC phát hiện ra rằng nhiệt độ máy bơm hoặc nhiệt độ của chính nó quá cao, thì nguồn điện cung cấp cho động cơ máy bơm sẽ bị giảm; do đó, máy bơm có thể không duy trì được tốc độ quay tối đa nếu quá nóng.
- Tốc độ quay của bơm sẽ không đổi cho đến khi đạt đến mức công suất đỉnh EXDC; vượt quá mức công suất này, tốc độ của máy bơm sẽ bắt đầu giảm.

### 5.6.4 Tắt máy

Sử dụng quy trình sau để tắt hệ thống:

(Quy trình này giả định rằng van thông hơi và bơm hỗ trợ theo cách thủ công)

1. Select Stop: mở đầu vào điều khiển Start/Stop trên giao diện logic kết nối.
2. Mở van thông hơi sau khi tốc độ bơm EXT giảm xuống dưới 50% tốc độ quay tối đa.
3. Tắt bơm dự phòng.

\* Lưu ý:

- Tắt máy bơm EXT nếu tốc độ của nó giảm xuống dưới 50% tốc độ quay tối đa. Nếu không, bơm EXT có thể bị hỏng. Sử dụng đầu ra tương tự tốc độ để theo dõi tốc độ của bơm EXT. Nếu tốc độ bơm giảm xuống dưới 50% tốc độ quay tối đa của nó, điều này có nghĩa là có áp suất hoặc nhiệt độ đầu vào cao hoặc có lỗi trong bơm EXT (ví dụ: vòng bi có thể bị hỏng). Nếu tốc độ bơm giảm xuống dưới 50% tốc độ quay tối đa của nó, thì cần tắt bơm EXT (mở đầu vào điều khiển khởi động/dừng) để tránh làm hỏng bơm.

- Trường hợp nguồn điện lỗi: nếu tín hiệu điều khiển Start/Stop trên đầu nối giao diện logic được đặt thành Start, EXDC sẽ tự động khởi động lại máy bơm EXT khi nguồn điện được khôi phục sau khi nguồn điện bị hỏng.

## CHƯƠNG 6. ĐỘNG CƠ BLDC (Brushless DC)

### 6.1 Khái niệm

Động cơ một chiều (DC Motor) thông thường có hiệu suất cao và và hiệu quả tốt. Tuy nhiên, hạn chế duy nhất là trong cấu tạo của chúng cần có cỗ gòp 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 gòp 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 gòp và chổi than nên động cơ này khắc phục được hầu hết các nhược điểm của động cơ một chiều có vành gòp thông thường. Động cơ BLDC mặc dù có tên là “một chiều không chổi than” nhưng nó thuộc nhóm động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu chứ không phải là động cơ một chiều.

Sự khác biệt của động cơ BLDC với động cơ DC truyền thống [9]:

- Không chổi than: Trong động cơ DC truyền thống, chổi than là một phần cơ học động trụ quan trọng để chuyển đổi hướng dòng điện trong cuộn dây động cơ. Trong động cơ BLDC, chổi than được thay thế bằng một hệ thống cảm biến và điều khiển điện tử thông minh. Điều này giúp giảm ma sát và hao mòn, giúp tăng tuổi thọ và hiệu suất của động cơ.
- Điều khiển điện tử: Động cơ BLDC được điều khiển bằng cách sử dụng điện tử để thay đổi dòng điện đến từng cuộn dây một cách chính xác. Điều này cho phép kiểm soát chính xác vòng tua và hướng xoay của động cơ, làm cho nó có thể hoạt động với độ chính xác cao và đáng tin cậy.
- Hiệu suất cao và ít tiếng ồn: Nhờ vào thiết kế không chổi than và điều khiển điện tử thông minh, động cơ BLDC thường có hiệu suất cao hơn và ít tiếng ồn hơn so với các động cơ DC truyền thống.

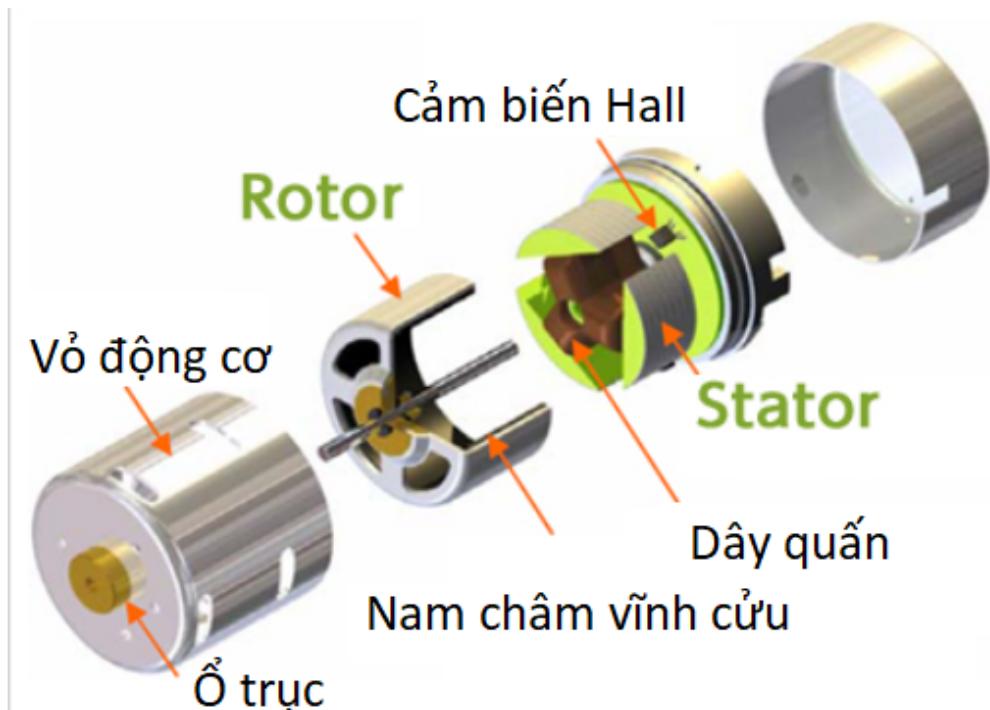
Động cơ không chổi than BLDC được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng đòi hỏi điều khiển chính xác, hiệu suất cao và tuổi thọ dài, chẳng hạn như trong công nghiệp, ô tô, máy tính, máy in, điện tử tiêu dùng và nhiều ứng dụng khác.

### 6.2 Phân loại

rotor, làm bằng nam châm, được quay bởi từ trường được tạo ra bởi dòng điện chạy qua cuộn dây stator. Dòng điện được chuyển đổi bởi cảm biến và mạch điện tử. Có 2 loại động cơ BLDC:

- Loại rotor ngoài (rotor nằm ngoài stator)
- Loại rotor bên trong (rotor nằm bên trong stator)

### 6.2.1 Loại rotor bên ngoài



Hình 6.1 Cấu tạo động cơ BLDC rotor ngoài

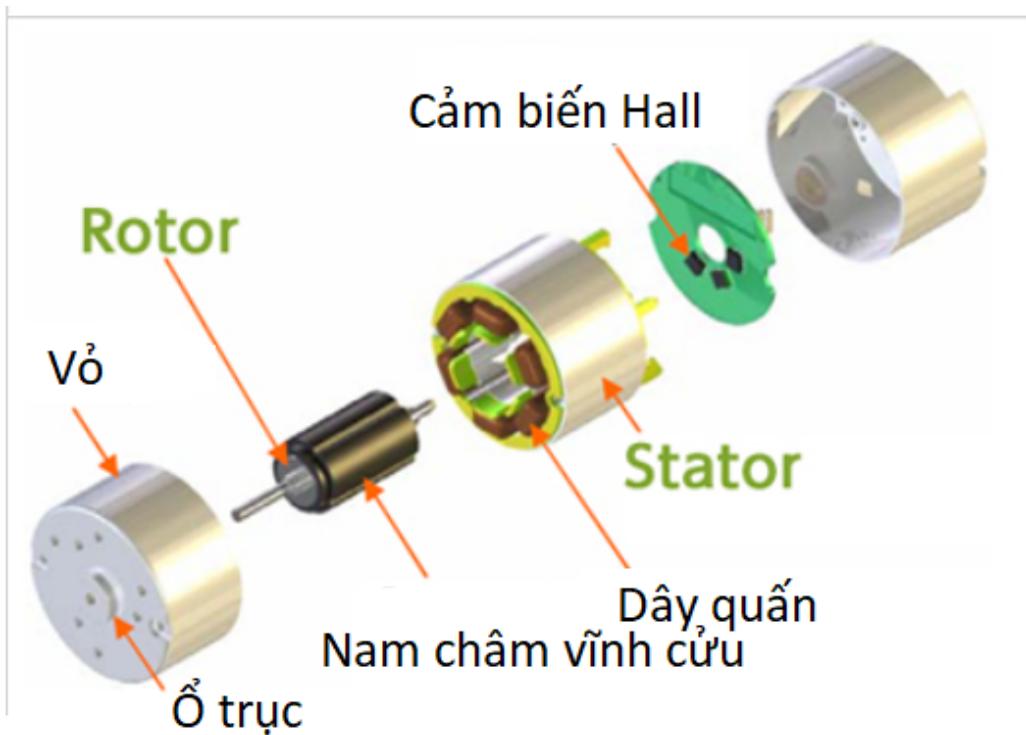
#### Ưu điểm

- Dễ dàng để có được mô-men xoắn lớn.
- Tốc độ ổn định trong quá trình quay liên tục.

#### Nhược điểm

- Cánh quạt lớn (chuyển động chậm).
- Cánh quạt bên ngoài yêu cầu các biện pháp an toàn thích hợp.

### 6.2.2 Loại rotor bên trong



**Hình 6.2 Cấu tạo động cơ BLDC rotor trong**

#### *Ưu điểm*

- Cánh quạt nhỏ và có thể đáp ứng nhanh chóng.
- Cuộn dây được đặt ở bên ngoài và mức độ tản nhiệt cao.

#### *Nhược điểm*

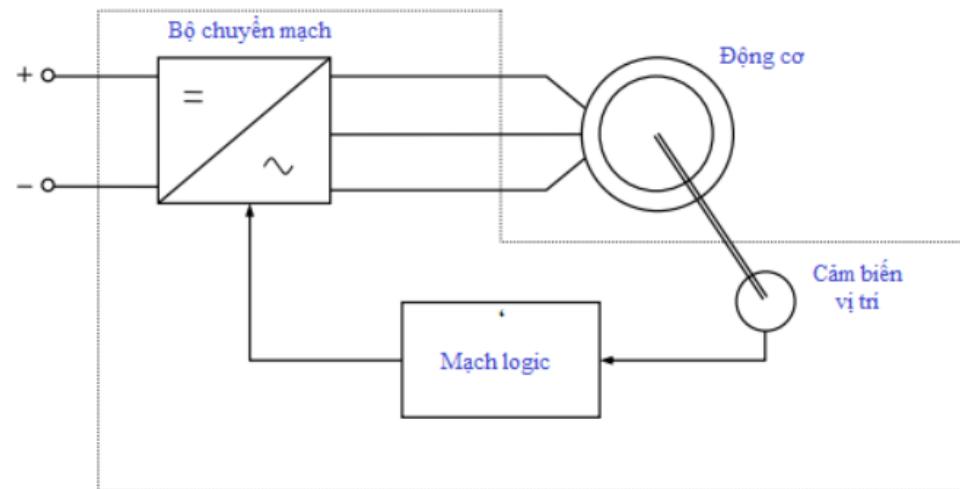
- Khó khăn để có được mô-men xoắn lớn.
- Nam châm có thể bị hỏng do lực ly tâm.

### 6.3 Cấu tạo

Mặc dù chia làm 2 loại, tuy nhiên cấu tạo của động cơ BLDC gần như là tương đồng nhau. 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 (6.1) và Hình (6.2) minh họa cấu tạo của động cơ một chiều không chổi than điển hình.

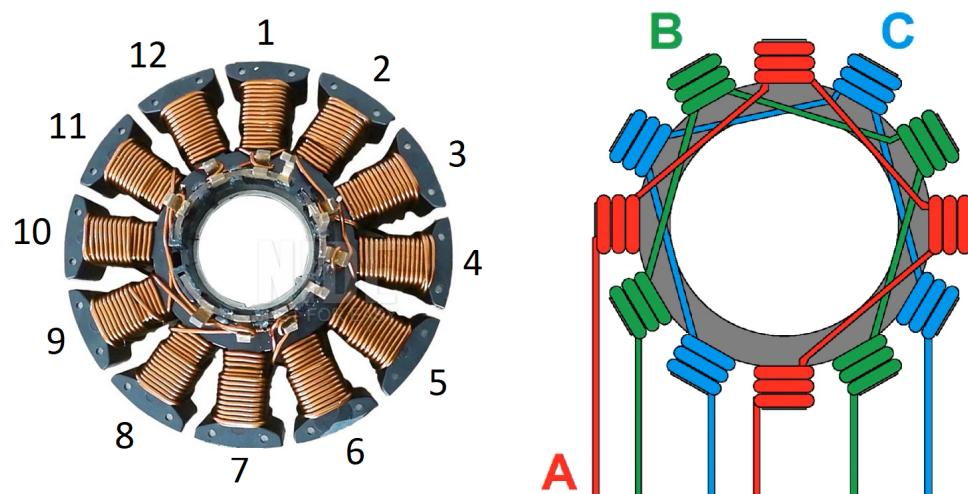
Dây quấn stator tương tự như dây quấn stator của động cơ xoay chiều nhiều pha và rotor bao gồm một hay nhiều nam châm vĩnh cửu. Điểm khác biệt cơ bản của động cơ một chiều không chổi than so với động cơ xoay chiều đồng bộ là nó kết hợp một vài phương tiện để xác định vị trí của rotor (hay vị trí của cực từ) nhằm tạo ra các tín hiệu điều khiển bộ chuyển mạch điện tử như biểu diễn trên hình (6.3). Từ hình (6.3) ta thấy rằng động cơ một chiều không chổi

thực 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 cảm biến Hall. Ngoài ra, hầu hết các động cơ chính thống và có năng suất cao đều là động cơ ba pha.



Hình 6.3 Sơ đồ khái niệm cơ bản của BLDC

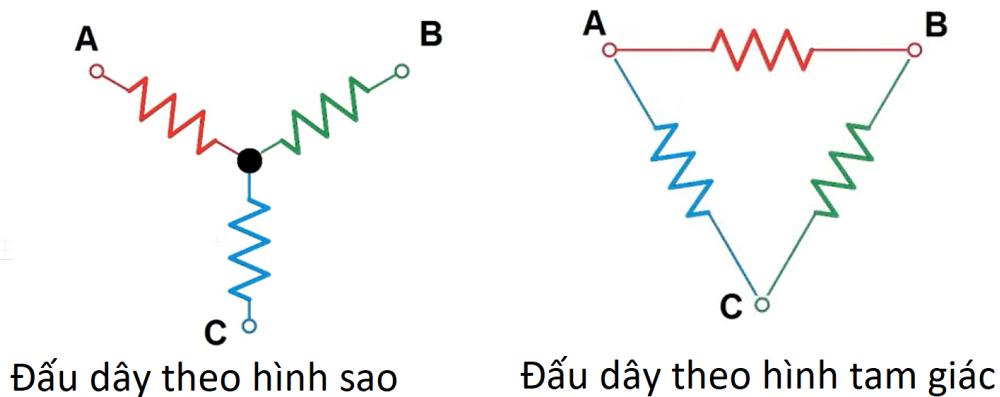
### 6.3.1 Stator



Hình 6.4 Stator của 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 3 pha tương ứng có 3 cuộn dây. 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. Ví dụ: Theo hình (6.4) thì các bối dây thứ (1,4,7,10) được cuộn bởi một cuộn dây. Tương tự ta có, bối các cuộn dây khác là các bối dây thứ (2,5,8,11) và (3,6,9,12)

Có 2 cách đấu 3 cuộn dây với nhau: theo hình sao-Y (3 đầu dây của 3 cuộn nối vào nhau) hoặc hình tam giác-Δ (đầu dây cuộn này nối vào cuối dây cuộn kia) (Hình 6.5).

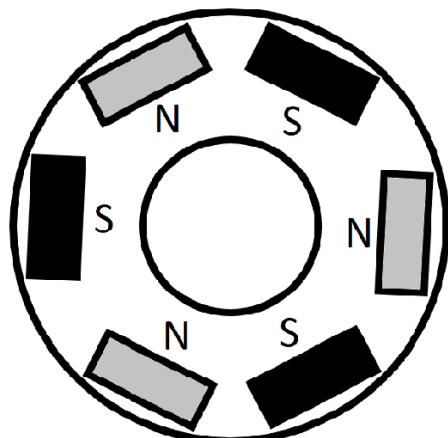


**Hình 6.5 Hai cách đấu dây của stator**

Với cách đấu theo hình tam giác động cơ có tốc độ quay nhanh hơn khá nhiều, tuy nhiên đấu theo kiểu hình sao giúp động cơ chịu được trọng tải tốt hơn. Vì vậy, tùy theo ứng dụng mà có thể thay đổi cách đấu dây.

### 6.3.2 Rotor

Được gắn vào trục 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 trục 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.

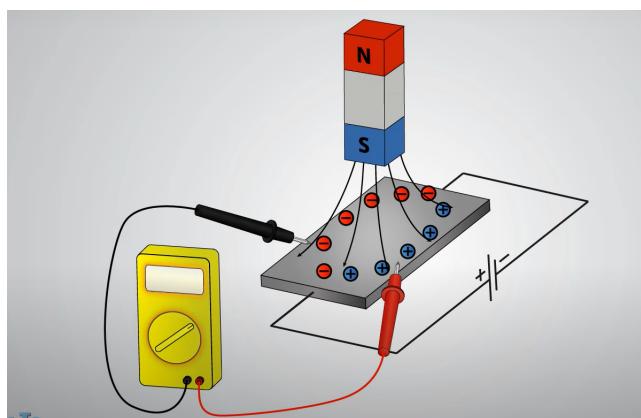


**Hình 6.6 rotor của BLDC**

### 6.3.3 Cảm biến Hall

#### \* Hiệu ứng Hall

Khi đặt điện áp ở hai đầu 1 thanh kim loại, khi đó sẽ có một dòng electron chạy thẳng qua thanh kim loại. Khi đó, nếu ta đặt một nam châm vuông góc với thanh kim loại này, các điện tích sẽ được đẩy ra hoặc hút vào, tùy theo việc nó có cùng dấu hay ngược dấu với cực của nam châm. 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 6.7 Hiệu ứng Hall**

Để dễ tưởng tượng, có thể xem tại link [What is Hall Effect and How Hall Effect Sensors Work](#).

#### \* Cảm biến Hall

Cảm biến Hall là loại cảm biến dùng để phát hiện từ tính của nam châm. Ví dụ như khi bạn đưa một cục nam châm lại gần cảm biến Hall thì cảm biến sẽ phát ra một tín hiệu và từ tín hiệu đó bạn có thể thực hiện một hành động mà mình đã đặt trước. Cảm biến hall có 3 chân

là:

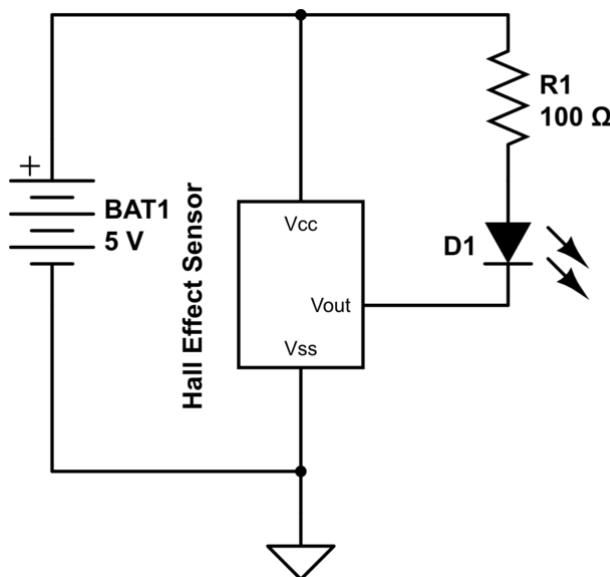
Chân 1 : chân cấp nguồn cho cảm biến hall hoạt động.

Chân 2 : nối mass

Chân 3 : chân ra

Hoạt động của cảm biến Hall:

Cấp điện áp 5V và âm nguồn vào cảm biến Hall, khi để một đầu nam châm vào gần cảm biến Hall, thì đầu ra và âm nguồn được thông với nhau. Như vậy, với mạch trong hình (6.8), đèn LED sẽ sáng.



Hình 6.8 Kiểm tra cảm biến Hall

#### \* Cảm biến Hall trong BLDC

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. (Hình 6.1 và 6.1)

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.

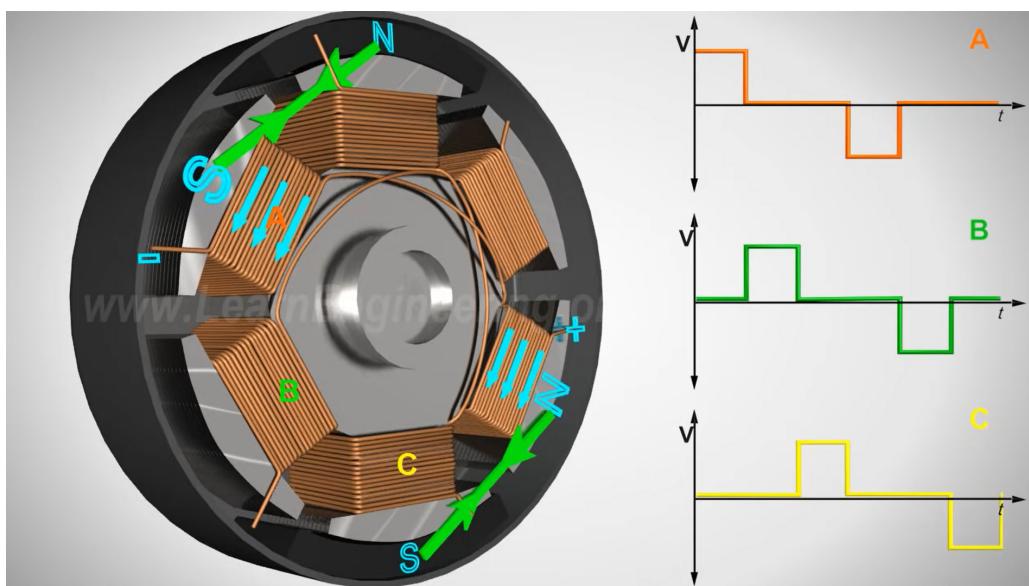
#### 6.3.4 Bộ phận chuyển mạch điện tử

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.

### 6.4 Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC

Bằng cách sử dụng điện DC lần lượt với mỗi cuộn dây, cuộn dây trở thành một nam châm điện. Hoạt động cơ bản của động cơ BLDC dựa chủ yếu trên tương tác giữa nam châm vĩnh cửu (ở phần rotor) và nam châm điện (ở phần stator). Tại mỗi thời điểm khác nhau, luôn có 1 cuộn dây được cấp điện DC, khi cuộn dây được nạp dòng DC, tại các bối dây được phân cực S và N, khi đó các cực trái dấu của nam châm tại rotor và stator hút nhau khiến rotor di chuyển. Lần lượt thực hiện với các cuộn dây tiếp theo, có rotor quay liên tục. [10]

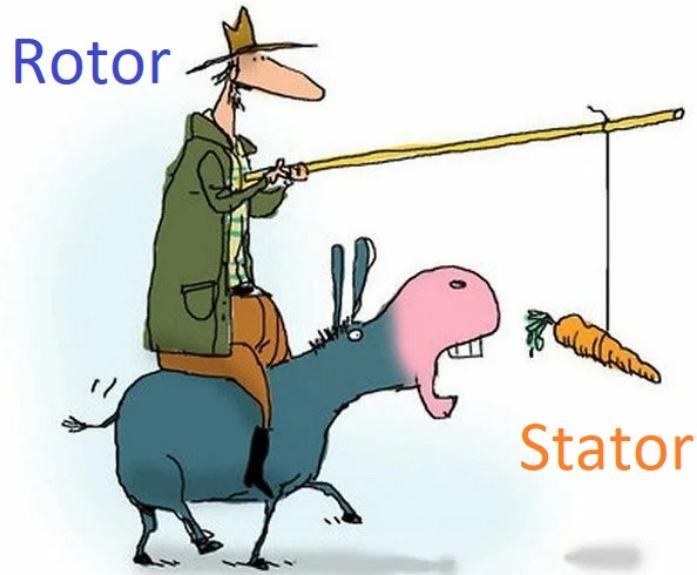
Ở hình (6.9), ta có cuộn dây A được nạp dòng DC, sau đó cực N của cuộn A được hút vào nam châm có cực S gắn ở rotor, cực S của cuộn A được hút vào nam châm có cực N gắn ở rotor. Sau khi rotor và stator hút nhau, ngắt điện cuộn A và nạp vào cuộn B, rotor tiếp tục di chuyển đến stator cuộn B. Thực hiện liên tục với cuộn C, sau đó trở lại cuộn A, ta có rotor quay liên tục.



**Hình 6.9 Động cơ BLDC quay**

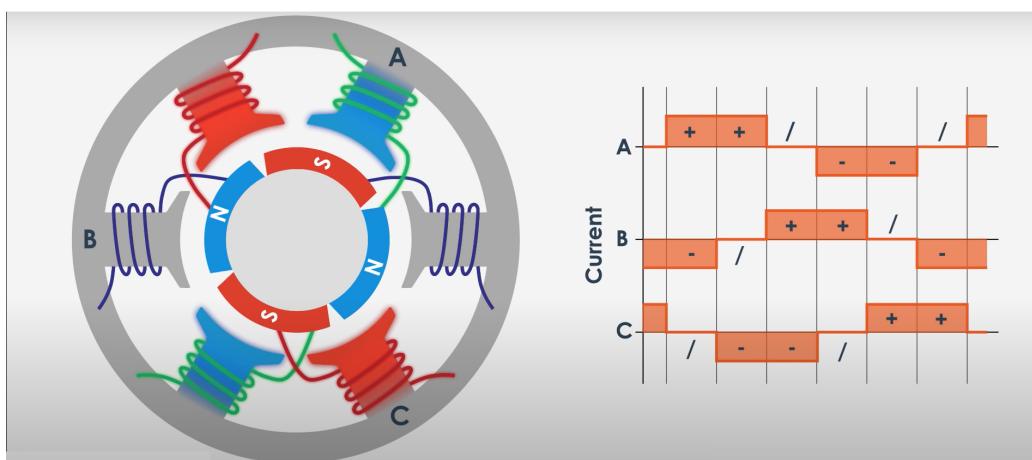
Có thể suy nghĩ về hoạt động của BLDC bằng cách liên tưởng tới câu chuyện con lừa và

củ cà rốt. Con lừa cố gắng di chuyển để có thể tới được củ cà rốt, tuy nhiên cà rốt liên tục di chuyển ngoài tầm so với con lừa, điều này khiến con lừa tiếp tục di chuyển về phía trước. Với BLDC cũng tương tự vậy, khi rotor chạm đến cực trái dấu của stator, dòng tại cuộn dây ngắt và khiến rotor tiếp tục di chuyển về phía cuộn dây tiếp theo.



**Hình 6.10 Hình ảnh con lừa và củ cà rốt**

Theo lý thuyết thì chỉ cần cấp điện như hình (6.9) là động cơ có thể chạy, tuy nhiên thực tế người ta thường hoạt động với 2 cuộn dây, 1 cuộn có dòng điện chạy là mức dương, cuộn còn lại là mức dương (hình (6.11)). Với cách mắc này, tốc độ quay sẽ được cải thiện đáng kể.



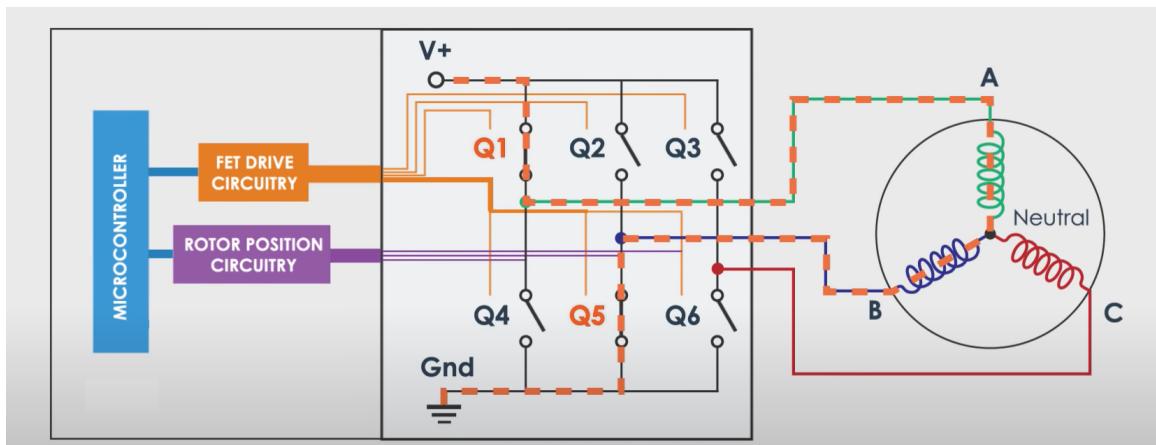
**Hình 6.11 Cơ chế động cơ BLDC quay thực tế**

## 6.5 Điều khiển động cơ BLDC

Theo nguyên lý hoạt động đã trình bày ở phần 6.4, BLDC hoạt động dựa vào đóng ngắt dòng vào các cuộn dây. 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. Như vậy, làm thế nào để động cơ BLDC có thể đóng ngắt phù hợp để rotor có thể di chuyển?

Tại phần này, điều khiển BLDC mắc theo kiểu sao được trình bày, BLDC mắc theo kiểu tam giác có nguyên lý điều khiển tương tự.

Động cơ BLDC được điều khiển bởi bộ điều khiển tốc độ ESC (Electronic Speed Controller), cấu tạo chính của ESC thường bao gồm 6 FET (hoặc IGBT) sử dụng để điều khiển cấp dòng cho các cuộn dây. Bộ ESC có cấu tạo cơ bản như hình (6.12). . Để điều khiển động cơ BLDC, gồm 2 công việc chính: cảm biến vị trí rotor và đóng ngắt cấp dòng cho các cuộn dây. Phần cảm biến vị trí rotor sẽ đưa ra kết quả chính xác vị trí để phần điều khiển đóng ngắt hợp lý các cuộn dây, giúp rotor quay liên tục. Cụ thể từng phần như sau:



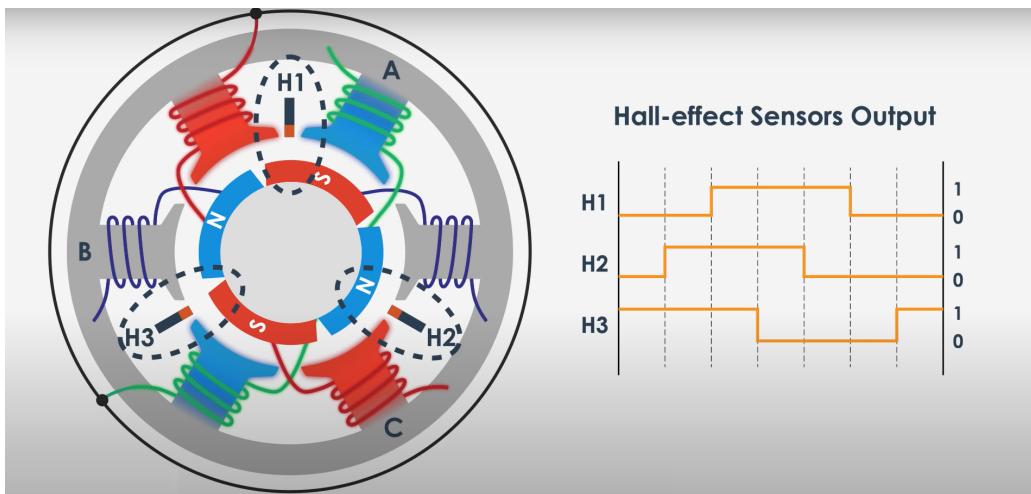
Hình 6.12 Mạch điều khiển động cơ BLDC

### 6.5.1 BLDC nhận biết vị trí rotor

BLDC nhận biết vị trí của rotor bằng cách sử dụng cảm biến Hall. Như đã trình bày ở phần 6.3.3, cảm biến Hall là cảm biến dùng để phát hiện từ tính của nam châm. Hầu hết tất cả các động cơ một chiều không chổi than đều có cảm biến Hall đặt ẩn bên trong stator (Hình (6.13)), 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. 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. 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.

Hình (6.13) thể hiện giá trị của các Hall sensor của BLDC trong 1 chu kỳ quay, mục đích xác định vị trí hiện tại của rotor. Dựa vào hình, có thể thấy với BLDC được sử dụng trong hình, có 6 vị trí của rotor được Hall sensor xác định tương ứng với 6 trạng thái của 3 cảm biến Hall, tương ứng với 6 cách đóng ngắt điện với IGBT để cấp dòng cho các cuộn dây (sẽ được trình bày cụ thể hơn tại phần 6.5.2). Tại vị trí được thể hiện trong hình, Hall sensor H2 có giá trị 1, H1 và H3 có giá trị bằng 0, ở đây rotor được quay từ cuộn dây C đến cuộn dây A. Tương tự có thể xác định các vị trí khác tương ứng với các trạng thái của Hall sensor. [11]



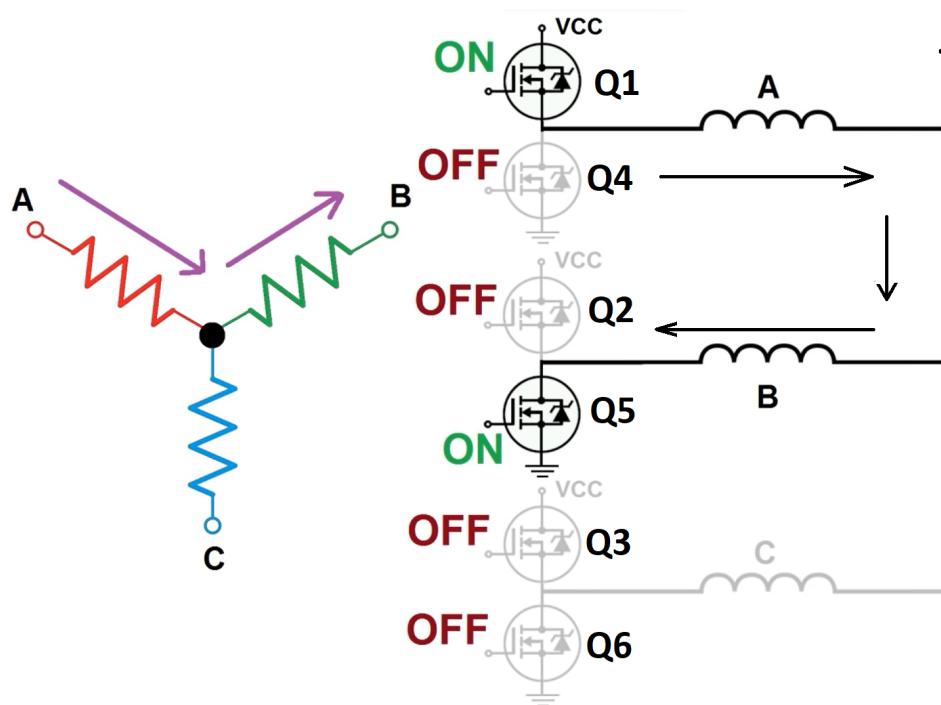
**Hình 6.13 Cảm biến Hall trong BLDC**

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 có 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.

### 6.5.2 BLDC điều khiển đóng ngắt dòng điện vào các cuộn dây

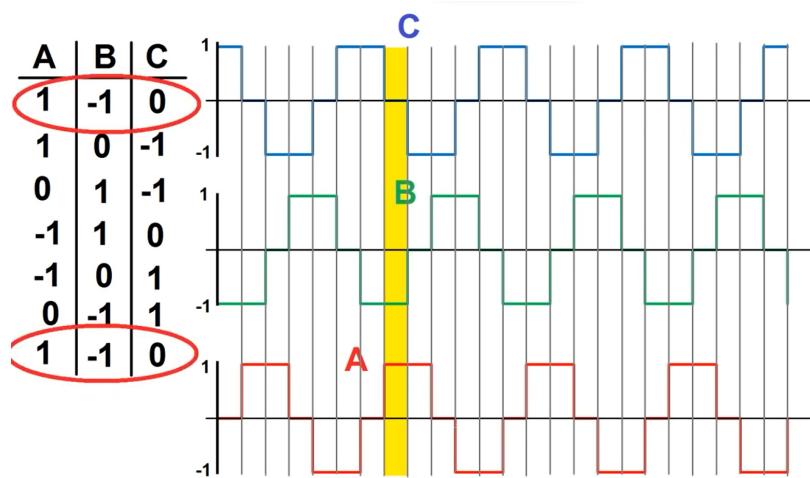
Phương pháp điều khiển truyền thống động cơ BLDC là đóng cắt các khóa mạch lực (IGBT hoặc MOSFET hoạt động như các switch) để cấp dòng điện vào cuộn dây stator động cơ dựa theo tín hiệu Hall sensor đưa về.

Hình (6.14) thể hiện cơ chế IGBT đóng ngắt cấp dòng cho các cuộn dây trong BLDC. Dựa vào hình, có thể thấy các chân C của IGBT Q1, Q2, Q3 luôn được cấp vào mức điện áp dương VCC, còn chân E của IGBT Q4, Q5, Q6 luôn được nối vào GND. Trong 6 IGBT này, Q1 và Q4 để điều khiển cuộn A, Q2 và Q5 tương ứng với cuộn dây B, Q3 và Q6 là dùng với cuộn C. Chân G của các IGBT được điều khiển tùy thuộc vào vị trí của rotor để các IGBT được bật, tuy nhiên với mỗi một thời điểm quay, luôn có 2 IGBT được bật và 4 IGBT khác ở trạng thái tắt. Ví dụ trong hình (6.14) thể hiện dòng đang được chạy từ cuộn A qua cuộn B, nghĩa là rotor cũng được quay từ hướng cuộn A qua hướng của cuộn B. Trong đó, Q1 và Q5 được bật và các IGBT Q2, Q3, Q4, Q6 ở trạng thái tắt. Tương tự khi quay rotor từ B tới C tương tự với việc bật IGBT Q2 và Q6, quay rotor từ C tới A tương ứng với Q3 và Q4, tương tự với rotor quay từ A với C, C tới B và từ B tới A. [12]



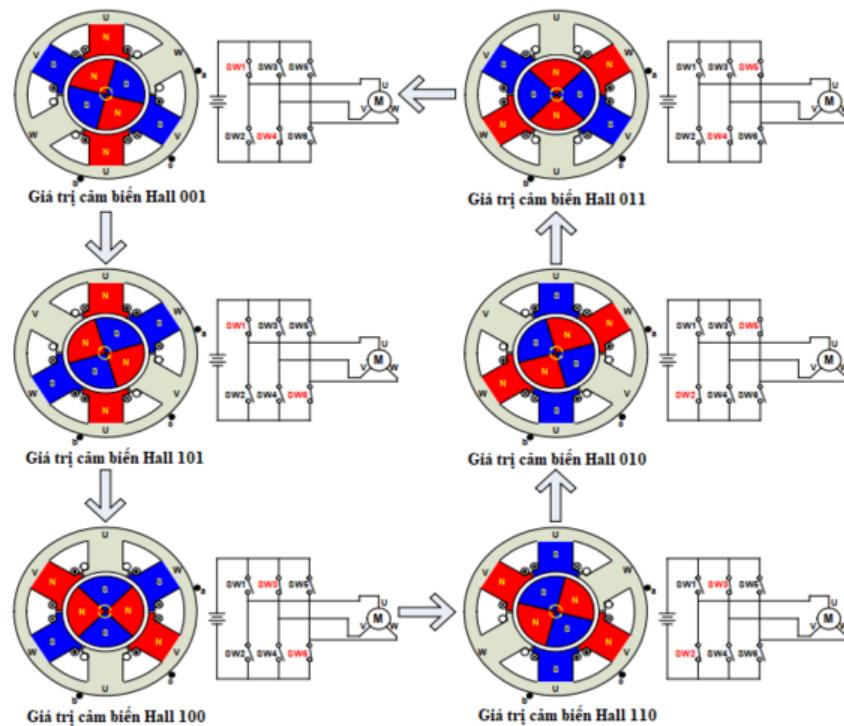
**Hình 6.14 IGBT đóng ngắt dòng cấp cho các cuộn dây**

Các cuộn dây được cấp được đóng ngắt không phải thứ tự từ A đến B, sau đó là B đến C, mà thứ tự đóng ngắt dòng cho các cuộn dây được thể hiện trong hình (6.15).



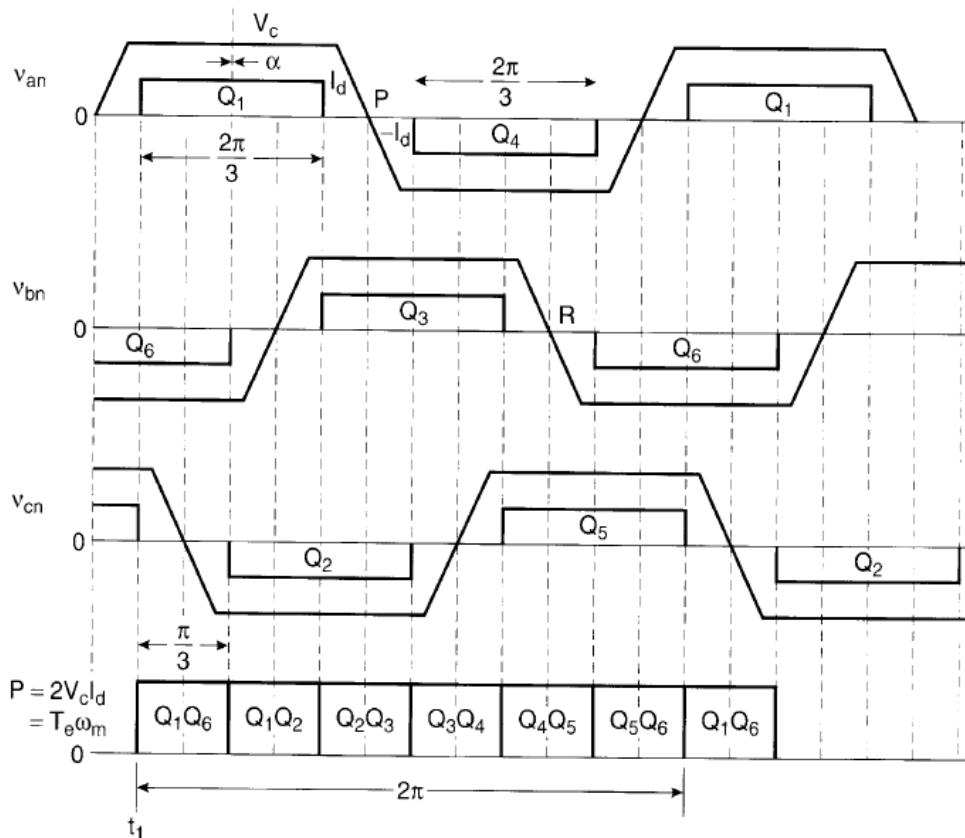
Hình 6.15 Bảng trạng thái cấp dòng cho các cuộn dây trong BLDC

Hình (6.15) đã thể hiện bảng trạng thái cấp dòng cho các cuộn dây trong BLDC, ứng với các trạng thái đó, ta có hình ảnh chu kỳ chuyển mạch của những khóa bán dẫn trong 1 vòng quay của BLDC:



Hình 6.16 Chu kỳ chuyển mạch của những khóa bán dẫn ứng với giá trị cảm biến Hall

Hình (6.17) mô tả tín hiệu điện tại các cuộn dây (tín hiệu hình thang) và tín hiệu điều khiển đóng ngắt IGBT (xung vuông):



**Hình 6.17** Tín hiệu điện tại hai đầu các cuộn dây và tín hiệu nhận điều khiển IGBT

## CHƯƠNG 7. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Mặc dù chỉ là bài tập nhỏ về phần tìm hiểu lý thuyết, tuy nhiên việc tìm hiểu tổng quát về hệ thống chân không giúp em có những tư duy nền tảng về công nghệ chân không - việc này phù hợp với công việc tương lai của em. Trong quá trình tìm hiểu và nghiên cứu, em không chỉ có hiểu biết hơn về điện tử, mà còn có kiến thức về cả mảng khác, điều này là cần thiết bởi khi nghiên cứu thực tế, chỉ lượng kiến thức của một mảng cụ thể là chưa đủ mà còn cần cả các kiến thức mình chưa được tiếp xúc.

Bài báo cáo đã trình bày được cơ sở lý thuyết về chân không, các công nghệ bơm chân không và cụ thể hơn về máy bơm EXT, bộ điều khiển EXDC, BLDC... Bởi giới hạn về thời gian, còn một số link, sách về công nghệ chân không mặc dù đã chú ý và tham khảo, tuy nhiên em vẫn chưa thể tìm hiểu kỹ, tương lai em sẽ nghiên cứu sâu hơn về tốc độ bơm, và các lý thuyết bơm chân không khác một cách cụ thể hơn. Việc tự nghiên cứu thực hành vận hành máy bơm chân không TMP là rất khó bởi giá thành của máy bơm chân không là chưa phù hợp với sinh viên, tuy nhiên thực hành với BLDC thì có thể bởi BLDC xuất hiện khá nhiều trong đời sống hàng ngày, và có thể điều khiển BLDC với Arduino. Vì vậy, tương lai, em sẽ nghiên cứu điều khiển động cơ BLDC để có thể hiểu sâu hơn về loại động cơ này.

Em xin được cảm ơn thầy Đào Việt Hùng đã định hướng và hướng dẫn em đề tài này để phù hợp với định hướng hiện tại của em. Bài báo cáo do được tham khảo từ nhiều nguồn khác nhau, nên có thể có sai sót, mong thầy góp ý và sửa chữa.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wikipedia, “Vacuum,” [Online] . Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum>, 2023.
- [2] thietbidoluong, “Cam bien ap suat chan khong,” [Online].Available:<https://thietbidoluong.info/cam-bien-ap-suat-chan-khong>.
- [3] T. Pumps, “Máy bơm chân không là gì? giá máy bơm chân không,” [Online].Available:<https://thaikhuongpump.com/bom-hut-chan-khong/may-bom-chan-khong/bom-chan-khong-kho-khong-boi-tron>.
- [4] Leybold, “Vacuum pumps,” [Online].Available:<https://www.leybold.com/en-ie/knowledge/blog/turbomolecular-pumps-what-you-need-to-know>, 2020.
- [5] nptelhrd, “Mod-01 lec-38 vaccum technology,” [Online] . Available : <https://www.youtube.com/watch?v=Vuqk-Ag7xV4>, 2015.
- [6] Leybold, “How does a turbomolecular pump work?,” [Online] . Available : <https://www.leybold.com/en-uk/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-generation/how-does-a-turbomolecular-pump-work>.
- [7] Edwards, “Ext255h-edwards ext compound pumps manual,”
- [8] Edwards, “Edwards exdc controller manual,”
- [9] S. L. OFFICIAL, “So sánh Động cơ không chổi than vs Động cơ có chổi than,” [Online] . Available : [https://www.youtube.com/watch?v=X5zC\\_Gaeypys](https://www.youtube.com/watch?v=X5zC_Gaeypys), 2021.
- [10] S. L. OFFICIAL, “Brushless dc motor, how it works ?,” [Online] . Available : <https://www.youtube.com/watch?v=bCEiOnuODac>.
- [11] H. T. Mechatronics, “How brushless motor and esc work and how to control them using arduino,” [Online] . Available : <https://www.youtube.com/watch?v=uOQk8SJso6Q>, 2019.
- [12] H. Pirate, “Brushless dc speed controller,” [Online] . Available : <https://www.youtube.com/watch?v=F8l9Z1HGYcU>, 2022.