

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP**

---

**TRẦN VĂN HÀ**

**SỬ DỤNG BỘ LỌC KALMAN NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG  
ĐỘNG CƠ BƯỚC**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**Thái Nguyên - 2013**

# NỘI DUNG LUẬN VĂN

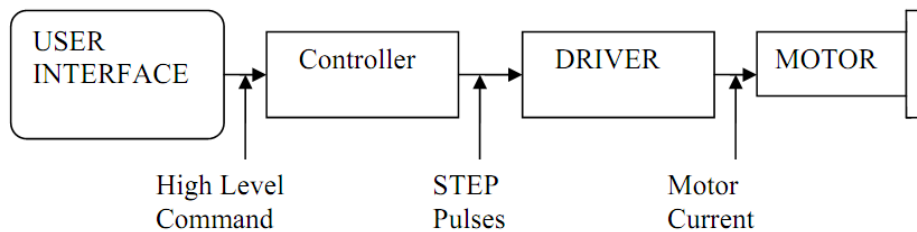
## Chương I: Tổng quan về động cơ bước

### 1. Các loại động cơ bước nguyên lí và cấu tạo

#### 1.1. Giới thiệu

Động cơ bước là một loại động cơ điện có cấu tạo, và ứng dụng khác biệt với đa số các động cơ điện thông thường. Chúng thực chất là một động cơ đồng bộ dùng để biến đổi các tín hiệu điều khiển dưới dạng các xung điện rời rạc kế tiếp nhau thành các chuyển động góc quay hoặc các chuyển động của rotor và có khả năng cố định rotor vào các vị trí cần thiết.

Về cấu tạo, động cơ bước có thể được coi là tổng hợp của hai loại động cơ: Động cơ một chiều không tiếp xúc và động cơ đồng bộ công suất nhỏ và tốc độ quay của rotor phụ thuộc vào thứ tự và tần số của xung chuyển đổi. Một hệ thống điều khiển động cơ bước bao gồm các yếu tố cơ bản như trong hình vẽ sau:



Hình 1.1: Sơ đồ khối điều khiển động cơ bước

Bộ vi xử lý tạo ra xung, mạch điều khiển nhận các xung tạo ra công xuất cần thiết cho các cuộn dây của động cơ. Động cơ là khâu cuối cùng biến đổi các xung điện tạo ra mô men quay. Sau đây sẽ có cái nhìn tổng quan về động cơ bước.

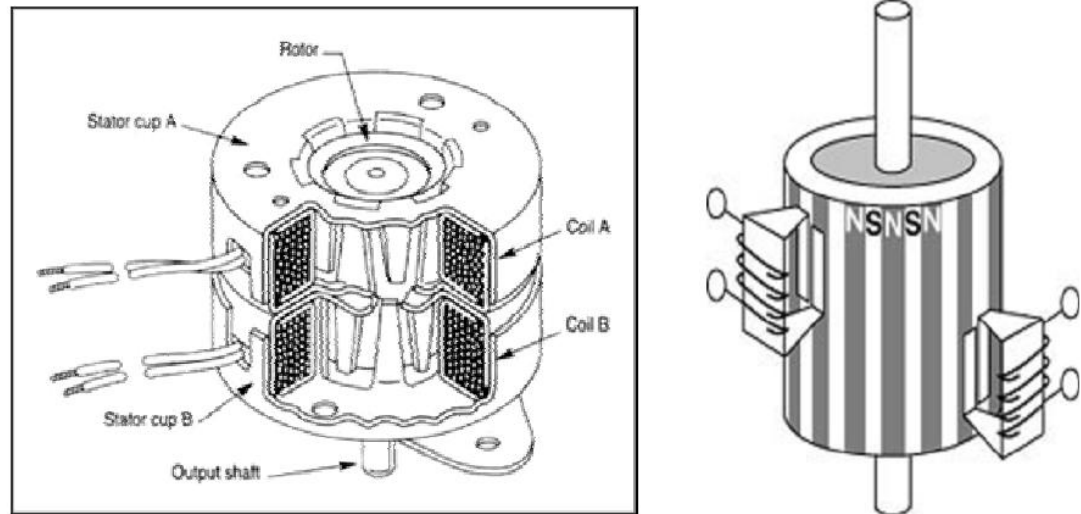
#### 1.2. Các loại động cơ bước

Ba loại cơ bản của động cơ bước bao gồm:

- Động cơ bước dùng nam châm vĩnh cửu (*Permanent Magnet*)
- Động cơ bước biến từ trở (*Variable Reluctance*)
- Động cơ bước cơ lai (hybrid)

#### 1.3. Động cơ bước dùng nam châm vĩnh cửu (*Permanent Magnet*) (PM)

Một động cơ bước hoạt động trên hiệu ứng tương tác giữa rotor là một nam châm vĩnh cửu và từ trường tạo ra từ các cuộn dây stator. Hình vẽ sau cho thấy một sơ đồ điển hình động cơ bước nam châm vĩnh cửu. Rotor là các nam châm vĩnh cửu còn stator là các cuộn dây, rotor sẽ chuyển động khi cuộn dây của stator nhận được xung điện nó sẽ sinh ra từ trường để tương tác với từ trường của rotor và làm cho rotor quay

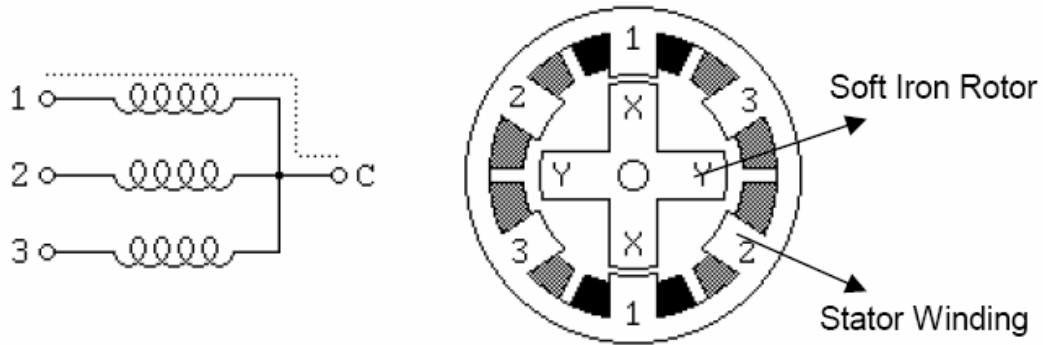


Hình 1.2: Sơ đồ động cơ bước dùng nam châm vĩnh cửu

Các tính năng chính của động cơ nam châm vĩnh cửu là rotor sử dụng nam châm vĩnh cửu không có tiếp xúc trực tiếp. Hạn chế của loại động cơ này là nó có mô-men xoắn tương đối thấp được sử dụng cho các ứng dụng tốc độ thấp. Khi không cung cấp dòng điện cho các cuộn dây, hoặc cung cấp một năng lượng nhỏ, lực từ tính được hình thành giữa rotor và stator lực từ này tạo ra mô-men xoắn dư.

#### 1.4. Động cơ biến từ trở (Variable Reluctance)

Động cơ biến từ trở (VR) cốt lõi của nó về cơ bản khác với PM ở chỗ nó rotor không dùng nam châm vĩnh cửu và do đó không có mô-men xoắn còn lại để giữ rotor ở một vị trí khi tắt. Điều này có nghĩa là cường độ trường có thể được thay đổi, cấu trúc lõi cảm ứng từ các ngăn của stator là các lá thép mỏng. Rotor được chế tạo từ các vật liệu từ mềm có các răng và khe. Khi cuộn dây stator được cung cấp dòng điện các răng của rotor xếp thẳng hàng với các điểm cực của stator, khi stator không được cấp năng lượng không có cảm ứng từ hình thành trong khoang không giữa stator và rotor vì vậy không có mô-men xoắn dư giữa chúng. Vì vậy mỗi khi stator được cấp năng lượng thì rotor sẽ chuyển đến vị trí mới.

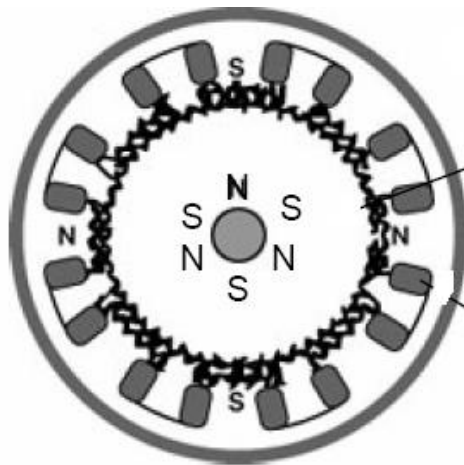


Hình 1.3: Mặt cắt ngang của động cơ bước biến từ trở

Các động cơ được thể hiện trong hình trên rotor có bốn răng chùng cách nhau 90 độ và stator có 6 cực. Vì vậy, khi các cuộn dây được cung xung thì mỗi bước động cơ sẽ quay một góc 30 độ.

### 1.5. Động cơ bước lai (hybrid)

Động cơ bước lai được thực hiện bằng cách kết hợp giữa động cơ bước nam châm vĩnh cửu và động cơ bước từ trở. Mô-men xoắn được tạo ra trong động cơ lai tương tác của từ trường của nam châm vĩnh cửu và từ trường sinh ra bởi các cuộn dây stator.



Hình 1.4: Sơ đồ mặt cắt ngang của động cơ bước lai

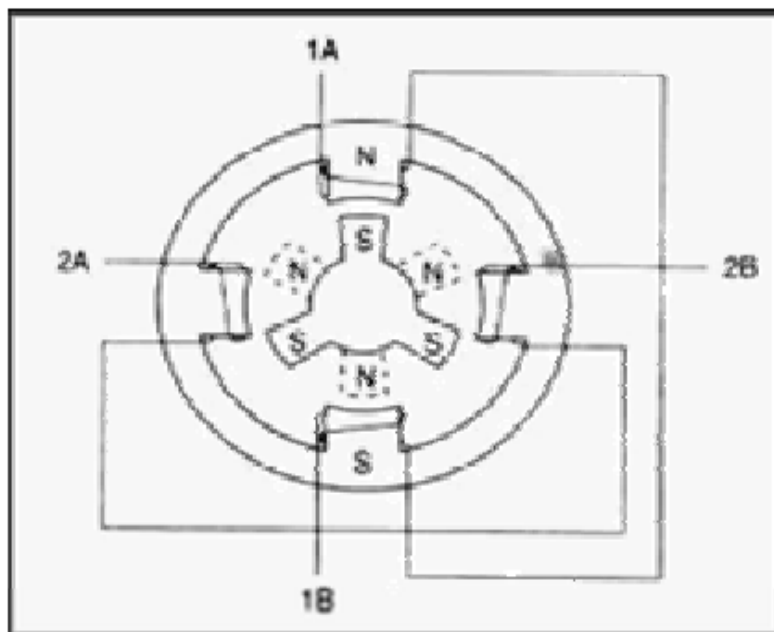
Cấu trúc stator là tương tự như động cơ nam châm vĩnh cửu, và rotor là hình trụ và từ hóa như động cơ PM với răng giống như một động cơ VR. Điều này làm tăng đặc tính của mô-men xoắn của động cơ hơn so với hai loại động cơ VR và PM. động cơ bước lai có góc bước nhỏ hơn so với động cơ nam châm vĩnh cửu, nhưng chúng rất đắt tiền.

Động cơ nam châm vĩnh cửu và động cơ lai và được phổ biến hơn so với biến hơn hơn so với động cơ bước biến từ trở, và quá trình thiết kế mạch điều khiển có thể dễ dàng điều khiển cả hai loại động cơ.

## 2. Tổng quan hệ thống điều khiển động cơ bước nguyên lí và phạm vi ứng dụng

### 2.1. Tổng quan hệ thống điều khiển động cơ bước

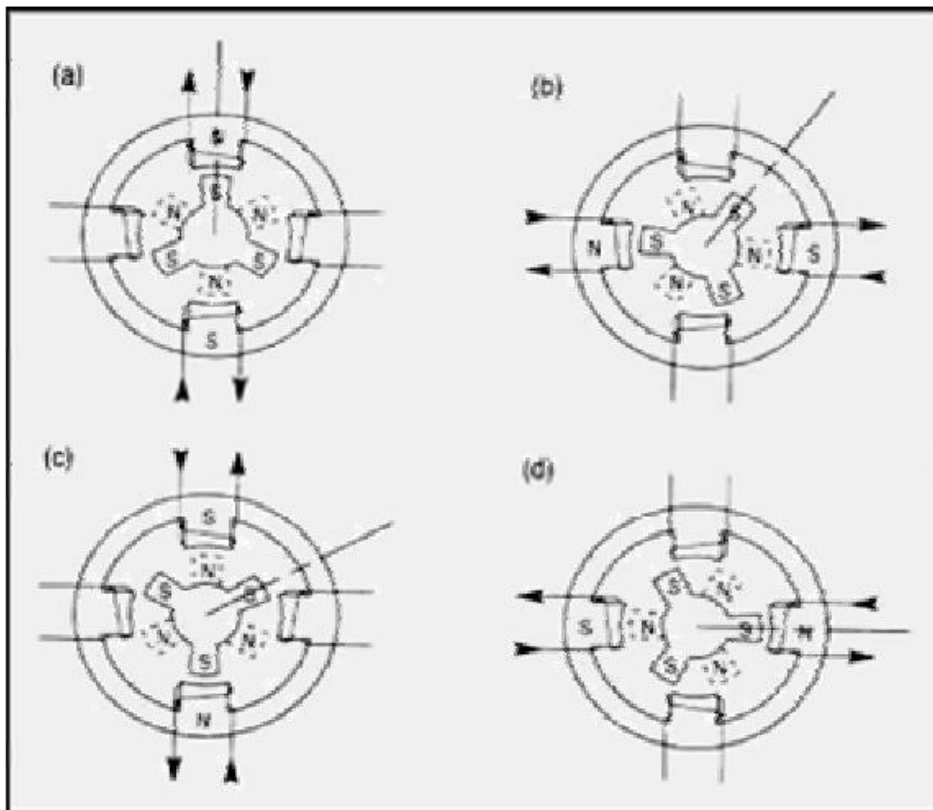
Động cơ bước cung cấp cho việc định vị chính xác và kiểm soát tốc độ mà không sử dụng các cảm biến hồi tiếp. Các hoạt động cơ bản của động cơ bước cho phép rotor di chuyển đến một vị trí chính xác các bằng số lượng cấp mỗi lần cấp xung điện được đưa tới động cơ. Vị trí của rotor của động cơ di chuyển chỉ số độ bằng số lượng xung được cung cấp. Chúng ta có thể kiểm soát các xung được số lượng xung cung cấp như vậy sẽ kiểm soát được về vị trí và tốc độ. Rotor của động cơ sinh ra mô-men xoắn từ sự tương tác từ trường giữa stator và rotor. Công suất của từ trường là tỷ lệ thuận với số lượng xung cung cấp cho stator và số vòng trong cuộn dây, làm cho trục động cơ biến đổi một chính xác. Giống như hai cực của một nam châm cùng cực đẩy nhau và khác cực thì hút nhau.



Hình 1.5: Mặt cắt ngang của rotor và stator

Hình trên cho thấy mặt cắt ngang điển hình của rotor và stator của một động cơ bước. Từ sơ đồ này, chúng ta có thể thấy stator đó có bốn cực, và rotor có 6 cực. Vì vậy rotor cần được cung cấp 12 xung điện để di chuyển 12 bước để hoàn thành một vòng. Nói một cách khác để nói điều này là rotor sẽ di chuyển chính xác 30 độ cho mỗi xung của động cơ điện nhận được. Khi không được cung cấp xung cho động cơ, từ tính còn lại trong các nam

châm rotor sẽ chốt chặt hoặc sắp xếp thiết lập các cực từ của rotor nó với các cực từ của một trong những nam châm stator. Điều này có nghĩa là rotor sẽ có 12 vị trí có thể bị chốt chặt. Khi rotor trong chốt chặt vị trí, nó sẽ duy trì lực từ trường để giữ cho trục di chuyển tiếp đến vị trí tiếp theo. Khi xung điện được cung cấp, nó tạo ra một từ trường trong cuộn dây của stator, khi đó cuộn dây trở thành một nam châm. Một trong các cuộn dây cho các cặp trở thành cực bắc, và cuộn dây khác sẽ trở thành cực nam. Khi điều này xảy ra, cuộn dây stator là cực bắc sẽ thu hút răng gần nhất rotor có tính phân cực ngược lại, và cuộn dây stator là cực Nam sẽ thu hút răng gần nhất rotor răng có phân cực đối diện. Khi dòng chảy thông qua các cực, rotor sẽ có một điểm thu hút mạnh hơn vào các cuộn dây stator, và mô-men xoắn tăng được gọi là moment xoắn giữ. Bằng cách thay đổi dòng chảy để các cuộn dây stator tiếp theo, từ trường sẽ có thay đổi  $90^\circ$ . Rotor sẽ chỉ di chuyển  $30^\circ$  trước khi từ trường của nó một lần nữa sẽ sắp xếp với sự thay đổi trong cuộn dây stator. Từ trường trong stator được liên tục thay đổi làm cho rotor di chuyển thông qua 12 bước để góc di chuyển tổng cộng là  $360^\circ$ . Trong hình trên, chúng ta có thể thấy rằng khi cung cấp cho các cuộn dây stator trên và dưới, các cuộn dây này sẽ trở thành một nam châm với phần đầu của cuộn dây là cực bắc, và phần dưới cùng của cuộn dây là cực nam.



Hình 1.6: Bước dịch chuyển của rotor so với vị trí cuộn dây stator

Kết thúc sự đối diện cực rotor, mà là cực bắc, sẽ sắp xếp với cực nam của stator. Một đường thẳng được đặt trên mảnh cực nam nằm ở vị trí 12 giờ. Trong hình. a để có thể theo dõi chuyển động của nó như dòng điện được chuyển từ một cuộn dây stator tiếp theo. Trong hình b dòng điện các cuộn dây trên và dưới đã được tắt, và dòng điện được cung cấp cho các cuộn dây stator ở bên phải và bên trái của động cơ. Cuộn dây phía bên phải là cực bắc cuộn dây trái là cực nam. Trong điều kiện này, cực rotor dịch chuyển đến vị trí tiếp theo sẽ có thể phù hợp với từ trường do stator tạo ra.

Trong hình c, chúng ta có thể thấy rằng các cuộn dây stator trên và dưới được cung cấp năng lượng một lần nữa, nhưng này thời gian đầu cuộn dây là cực nam của từ trường và phía dưới cuộn dây là cực bắc. Sự thay đổi trong từ trường sẽ làm cho rotor một lần nữa di chuyển một góc  $30^\circ$

Trong hình d chúng ta có thể thấy rằng hai bên cuộn dây stator được một lần nữa được cung cấp năng lượng, sự thay đổi này cực sẽ làm cho rotor di chuyển góc  $30^\circ$  trong chiều kim đồng hồ. Chúng ta sẽ nhận thấy rằng các rotor đã di chuyển bốn bước mỗi góc bước  $30^\circ$ , như vậy rotor đã di chuyển tổng cộng  $120^\circ$  so với vị trí ban đầu của nó

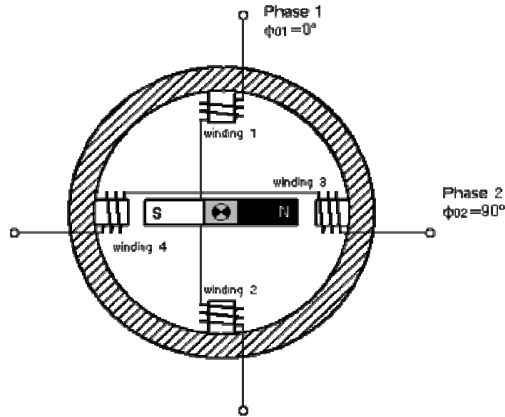
## **2.2. Ứng dụng động cơ bước**

Động cơ bước được ứng dụng nhiều trong ngành tự động hóa chúng được ứng dụng trong các thiết bị cần điều khiển chính xác. Ví dụ: Điều khiển robot, điều khiển tiêu cự trong các hệ quang học, điều khiển định vị trong các hệ quan trắc, điều khiển bắt, bám mục tiêu trong các khí tài quan sát, điều khiển lập trình trong các thiết bị gia công cắt gọt, điều khiển các cơ cấu lái phương và chiều trong máy bay.. Trong công nghệ máy tính, động cơ bước được sử dụng cho các loại ổ đĩa cứng, ổ đĩa mềm, máy in..

## Chương II: Mô hình toán học động cơ bước và điều khiển động cơ bước

### 1. Mô hình toán học của động cơ

Phần này sử dụng một mô hình của động cơ bước 2 pha PM thể hiện trong hình vẽ sau đây để nghiên cứu cơ cấu điều khiển động cơ bước



Hình 2.1: Mô hình động cơ bước

Khi các cuộn dây được cung cấp xung nó tạo ra hai cực từ ở trong stator. Ví dụ như trên hình vẽ cuộn dây 3 sinh ra từ trường là cực bắc và cuộn dây 4 cực nam từ trường này đẩy rotor chuyển động một góc  $90^0$ . khi cuộn 1 và 4 được cung cấp xung cuộn 2 là cực bắc, cuộn 1 là cực nam làm cho rotor chuyển động một góc tiếp theo là  $90^0$  như vậy rotor ở một vị trí ổn định với từng vị trí chỉ có pha 2 cung cấp. Ngoài ra từ trường do các cuộn dây stator sinh ra ngược chiều so với từ trường của rotor.

$S=NP$

S số bước đủ của rotor

N là số cực rotor

P là số pha stator

Góc bước (radian) trên mỗi bước được cho bởi:

$$\theta_0 = \frac{2\pi}{S} = \frac{2\pi}{N.P}$$

Mô-men xoắn của động cơ  $T_{MJ}$  có thể được viết là:

$$T_{Mj} = k_m \sin(\phi_j + N\theta(t)) I_j(t)$$

$K_m$  là hệ số không đổi của động cơ

$\theta(t)$  là vị trí thực tế rotor

$I_j(t)$  là dòng điện cuộn dây là hàm của thời gian

$\phi_j$  là vị trí cuộn dây j trong stator

Tuy nhiên,  $I_j(t)$  dòng điện trong cuộn dây là một hàm số của  $V_j(t)$  điện áp cung cấp và điện cảm của cuộn dây.



Phương trình chung giữa  $V_j(t)$  và  $I_j(t)$  được cho bởi:

$$V_j(t) = emf_j + R.I_j(t) + L.\frac{dI_j(t)}{dt}$$

Trường hợp,  $emf_j$  là sức điện động cảm ứng trong pha j

R là điện trở của các cuộn dây

L là điện cảm của cuộn dây

Tuy nhiên,  $emf_j$  trong mỗi cuộn dây có thể được thể hiện như sau:

$$emf_j = k_m. \sin(\phi_j + N\theta(t)). \omega(t)$$

$\omega$  là vận tốc quay của rotor

Mô-men xoắn tổng số tạo ra bởi các bước được đưa ra như sau:

$$T_M = \sum_{j=1}^P T_{Mj} \quad (1)$$

Sử dụng phương trình trên và xem xét các phương trình chuyển động của một động cơ bước

$$T_M = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_l \quad (2)$$

J là quán tính của rotor và tải

$T_l$  là ma sát mô-men xoắn / tải mô-men xoắn

B là ma sát

Vận tốc góc được cho bởi

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (3)$$

Ba phương trình 1,2,3 là cơ sở cho việc mô tả mô hình của một động cơ bước PM. Do đó có 2 vị trí chuyển động cơ PM với  $N_r$  là số răng của rotor và hai vị trí ( $j\phi$ ) ở mức 0 và ( $\pi/2$ ) các phương trình sau sẽ là cơ sở.

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad \% \text{ vận tốc góc}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{(-k_m I_a \sin(N\theta) + k_m I_b \cos(N\theta) - B\omega - T_l)}{J} \quad \% \text{ tải tăng tốc}$$

$$\frac{dI_a}{dt} = \frac{(V_a - R I_a + k_m \omega \sin(N\theta))}{L} \quad \% \text{ dòng điện qua cuộn a}$$

$$\frac{dI_b}{dt} = \frac{(V_b - R I_b + k_m \omega \sin(N\theta))}{L} \quad \% \text{ dòng điện qua cuộn b}$$

## 2. Tiêu chí lựa chọn động cơ bước và tính các thông số

### 2.1. Tiêu chí lựa chọn động cơ bước

Khi được chọn một động cơ bước, căn cứ vào các yếu tố sau:

- Tốc độ hoạt động các bước / giây
  - Mô-men xoắn trong
  - Tải quán tính trong
  - Yêu cầu của góc bước
  - Thời gian tăng tốc
  - Thời gian để giảm tốc
  - Loại điều khiển được sử dụng
- Xem xét kích thước và trọng lượng

## 2.2. Tính toán các tham số

### 2.2.1. Mô men xoắn

$$T = Fr$$

F là lực bên trong

r bán kính trong

Quán tính của tải ( $I =$  mô men tải ( $lb \cdot in^2$ ))

$$I(lb \cdot in^2) = \frac{W * r^2}{2} \quad \text{cho một phiến tròn mỏng}$$

$$I(lb \cdot in^2) = \frac{W * r^2}{2} (r_1^2 + r_2^2) \quad \text{hình trụ rỗng}$$

W là trọng lượng tính bằng pounds

r bán kính hình trụ

$r_1$  bán kính bên trong của hình trụ rỗng

$r_2$  bán kính bên ngoài của hình trụ rỗng

### 2.2.2. Tải

Công thức cho quán tính tương đương để vượt qua ma sát trong hệ thống và mô-men xoắn đủ để bắt đầu hoặc ngừng tất cả các tải quán tính như sau:

$$T = \frac{I * \alpha}{24}$$

T là mô men xoắn

I là mô men tải ( $lb \cdot in^2$ )

$\alpha$  là gia tốc góc trong rad/S<sup>2</sup>

1/24 là hệ số biến đổi để chuyển đổi đơn vị lực hút

### 2.2.3. Ma sát tăng tốc và ma sát quay

Công thức tính mô-men xoắn cần thiết để luân phiên tăng tốc tải quán tính là:

$$T = 2 * I_o * \frac{\omega}{t} * \frac{\Pi \phi}{180} * \frac{1}{24}$$

T là mô men xoắn

$I_o$  là quán tính tải  $lb \cdot in^2$

$\Pi = 3.1416$

$\Phi$  là góc bước ở bên trong

$\omega$  là tốc độ bước các bước trên giây

t là thời gian