

ĐỘNG CƠ BƯỚC

Nguyễn Trọng Thắng

Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật

(Bài nhận ngày 16/03/1999)

TÓM TẮT: Động cơ bước là một loại động cơ điện rất quan trọng trong các hệ thống điều khiển tự động, trong các máy tính, trong các máy công cụ điều khiển số và các ứng dụng điều khiển vị trí khác. Rotor dịch chuyển từng bước đáp ứng theo các xung điều khiển. Để điều khiển động cơ bước, người ta dùng các bộ chuyển mạch điện tử (đèn hoặc bán dẫn) tạo ra các xung điện áp có dạng sóng và tần số phù hợp. Tùy theo loại động cơ, tần số làm việc, thường từ 10 Hz đến 10 KHz. Động cơ bước giống như tất cả các máy điện đồng bộ được xếp loại như động cơ bước có nam châm vĩnh cửu, có từ trở biến đổi ...

Động cơ bước là loại động cơ được dùng để biến đổi các lệnh cho dưới dạng xung điện thành sự dịch chuyển dứt khoát về góc hay đường thẳng - như là bước từng bước mà không cần cảm biến phản hồi.

Động cơ làm việc phải có kèm theo bộ đổi chiều điện tử dùng để chuyển đổi các cuộn dây điều khiển của động cơ bước với thứ tự và tần số tùy theo lệnh đã cho. Góc quay tổng hợp của rotor động cơ bước tương ứng chính xác với số lần chuyển đổi các cuộn dây điều khiển, chiều quay phụ thuộc theo thứ tự chuyển đổi, tốc độ quay phụ thuộc tần số chuyển đổi. Như vậy trong trường hợp tổng quát có thể xem động cơ bước với bộ điều khiển đổi chiều điện tử như là một hệ thống điều chỉnh tần số của động cơ đồng bộ với khả năng định vị trí góc xoay rotor, tức là bằng cách thay đổi tần số cho đến không.

Động cơ bước được sử dụng nhiều trong các hệ thống điều khiển tự động, thí dụ trong các máy công cụ điều khiển theo chương trình, trong các thiết bị của kỹ thuật máy tính... Trong các hệ thống trên, động cơ bước được sử dụng hoặc để thực hiện sự truyền động theo chương trình điều khiển các cơ cấu thừa hành như nhiệm vụ động cơ chấp hành, hoặc như là một phần tử phụ biến đổi các mã xung thành tín hiệu điều chế cho một hệ thống nào đó.

Với nhiệm vụ và chức năng nói trên, động cơ bước đòi hỏi những yêu cầu riêng về kỹ thuật, ngoài những yêu cầu chung:

- Có bước chuyển dịch bé.
- Moment đồng bộ hóa đủ lớn đảm bảo được sai số góc nhỏ nhất khi thực hiện bước di chuyển.
- Không tích lũy sai số khi tăng số bước.
- Tác động nhanh.
- Làm việc bảo đảm khi số cuộn dây điều khiển ít nhất.
- Động cơ và cả bộ điều khiển đổi chiều có cấu tạo đơn giản.

Tùy theo cấu tạo, động cơ bước có những loại như:

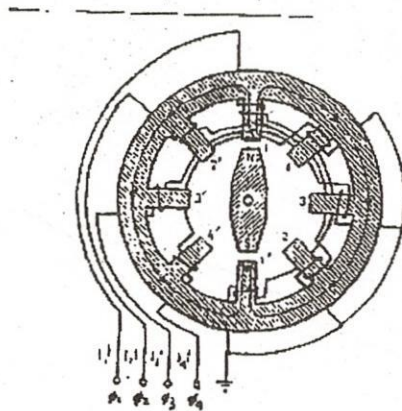
- Chỉ thị hay động lực.

- Thuận nghịch hay không thuận nghịch.
- Có một stator hay nhiều stator.
- Có một hay nhiều cuộn dây điều khiển (quấn tập trung hoặc quấn rải).
- Rotor phản kháng (không có dây quấn) và rotor tác dụng (có dây quấn kích thích hoặc nam châm vĩnh cửu).
- Rotor hình đĩa hay rotor mạch in.
- Bước dịch chuyển xoay hay dịch chuyển thẳng trực tiếp...

1. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (Permanent magnet stepper motor)

Cấu trúc tiêu biểu của động cơ bước nam châm vĩnh cửu được trình bày ở hình 1. Đây là động cơ 4 pha, mỗi pha quấn trên 2 cực stator. Stator trong thiết kế này phải có 8 cực. Rotor bằng nam châm vĩnh cửu có trục thẳng hàng với cực stator 1-1'. Nó được giữ ở vị trí này, khi đặt dòng điện I_1 vào pha 1 thì cực stator 1 được tự hóa như cực nam, còn cực stator 1' được từ hóa như cực bắc. Chú ý chiều quấn dây để tạo ra trạng thái từ hóa này. Đặt dòng điện I_4 vào pha 4, cực từ hóa 4 - 4' hình thành (I_1 được cắt ra). Khi đó lực từ hóa tác động tương hỗ với từ trường rotor sinh ra moment đồng bộ xoay rotor 1 góc 45° , theo chiều kim đồng hồ, để cực bắc rotor đến cực stator 4, Lần lượt đưa dòng điện I_3, I_2 (mỗi pha 1 lần) vào pha 3, pha 2. Khi đó rotor xoay theo chiều kim đồng hồ mỗi bước 45° . Để rotor xoay tiếp lần lượt đưa I_1, I_4, I_3, I_2 vào pha 1, 4, 3, 2 nhưng chiều dòng điện đổi lại. Như vậy nguồn điều khiển là loại đổi cực. Sau mỗi lần xoay 180° , dòng điện điều khiển đổi chiều.

Như vậy trình tự điều khiển cho động cơ tiến theo chiều kim đồng hồ là 1-4-3-2. Để cho động cơ tiến ngược chiều kim đồng hồ trình tự điều khiển phải được đảo ngược lại 1-2-



3-4.

Hình 1 : Cấu trúc động cơ bước nam châm vĩnh cửu.

2. Động cơ bước từ trở biến đổi, 1 tầng (Single stack variable - reluctance stepper motor)

Cấu tạo của động cơ này được trình bày ở hình 2. Rotor và stator được chế tạo bằng vật liệu từ. Động cơ có 3 pha, mỗi pha được quấn trên 4 cực hay răng của stator. Ví dụ pha 1 được quấn trên cực 1, 4, 7, 10 của stator. Stator có 12 răng và rotor có 16 răng. Cực ngược cực tính được quấn theo chiều ngược lại để tạo sự cân bằng giữa từ thông vào và ra khỏi

rotor. Giả sử dòng điện I_1 đặt vào pha 1 và 4 răng rotor đối đỉnh với răng 1, 4, 7, 10 của stator. Từ thông đi vào rotor từ răng stator 4, 10 và ra khỏi rotor qua răng 1, 7, từ thông khép kín qua khung stator, có thể thấy rằng đỉnh răng stator 4 là cực bắc và đỉnh răng đối đỉnh với răng stator 4 là cực nam (cảm ứng). Sự phân cực này phải tồn tại để cho phép từ thông lớn nhất qua khe hở giữa 2 răng đối đỉnh. Tương tự cho 2 pha còn lại.

Để rotor tiến 1 bước theo chiều kim đồng hồ thì pha 3 được quấn trên răng stator 2, 5, 8, 11 được đặt dòng điện I_3 vào và dòng điện I_1 được cắt. Bây giờ do đường sức chọn đường đi có từ dẫn lớn nhất hay từ trở bé nhất nên xuất hiện moment phản kháng kéo răng rotor gần răng stator 2, 5, 8, 11 nhất vào vị trí đối đỉnh. Đó là các răng rotor a, d, b, c, đối đỉnh với các răng tương ứng 2, 5, 8, 11 của stator. Kết quả rotor ở một vị trí cân bằng mới. Nếu dòng điện I_2 tiếp theo đưa vào pha 2, I_3 bị cắt thì rotor sẽ bước thêm 1 bước nữa theo chiều kim đồng hồ.

Như vậy trình tự 1-3-2-1 cho rotor động cơ tiến theo chiều kim đồng hồ. Muốn rotor quay ngược lại trình tự kích thích là 1-2-3-1. Nguồn kích thích là loại đơn cực.

Góc bước của rotor θ_s được xác định như sau :

Z_R : Số răng Rotor

Z_S : Số răng Stator

m : Số pha.

$$t_R = \frac{360^\circ}{Z_R} : \text{Bước răng Rotor (độ)}$$

$$t_S = \frac{360^\circ}{Z_S} : \text{Bước răng Stator (độ)}$$

$$\theta_s = \frac{t_R}{m} = \frac{360^\circ}{m \cdot Z_R} = \text{Góc bước (độ/bước)}$$

$$R_S = \frac{360^\circ}{\theta_s} = Z_R \cdot m \quad (\text{bước / vòng})$$

$$\text{Tốc độ: } n = \frac{60f}{R_S} = \frac{60f}{Z_R m} = \frac{\theta_s f}{6} \quad (\text{vòng/ phút})$$

Thì đối với động cơ ở hình 2, ta có:

$$t_R = \frac{360^\circ}{Z_R} = \frac{360^\circ}{16} = 22,5^\circ$$

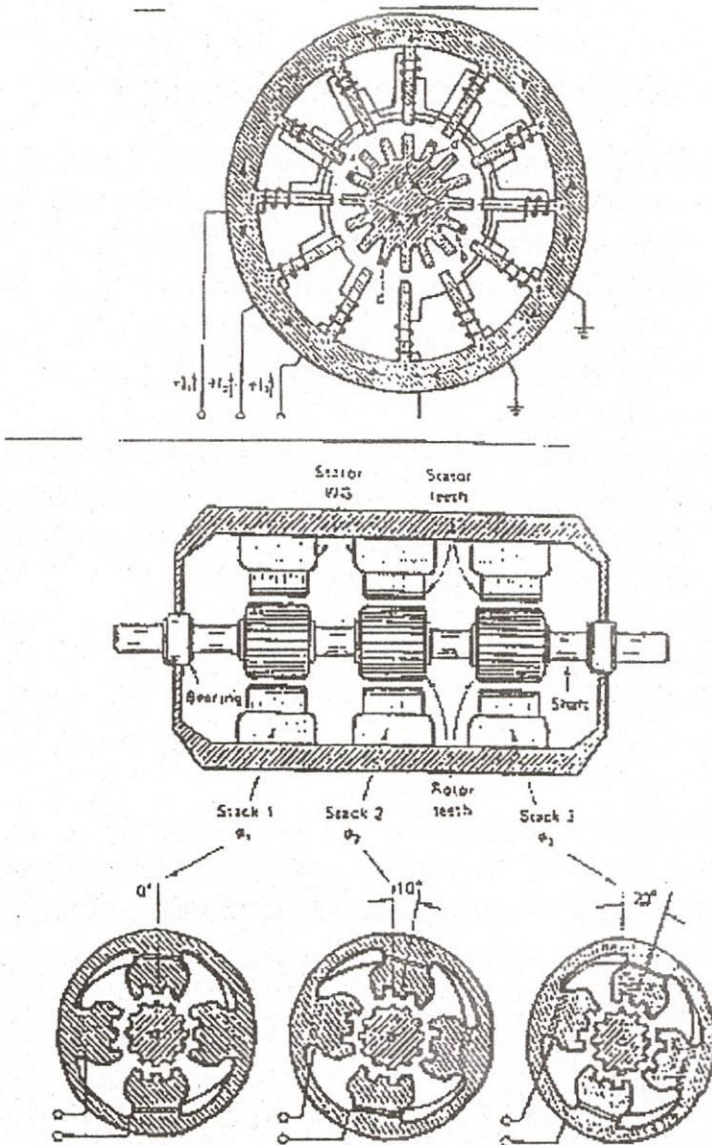
$$t_S = \frac{360^\circ}{Z_S} = \frac{360^\circ}{12} = 30^\circ$$

$$\theta_s = \frac{360^\circ}{m \cdot Z_R} = \frac{360^\circ}{3 \cdot 16} = 7,5^\circ$$

$$R_S = Z_R \cdot m = 16 \cdot 3 = 48 \text{ bước/ vòng}$$

3. Động cơ bước từ trở biến đổi nhiều tầng : (Multistack variable - reluctance stepper motor)

Động cơ bước từ trở biến đổi có thể có nhiều tầng. Thông thường là 2, 3, 4 hay nhiều tầng hơn nữa. Một tầng được xem như là 1 pha. Hình 3 trình bày cấu tạo của một động cơ bước từ trở biến đổi 3 pha (3 tầng). Stator của mỗi tầng có 4 cực, mỗi cực có 3 răng. Trong mỗi tầng số răng stator và rotor giống nhau. Răng của 3 rotor có vị trí đặt giống nhau nhưng răng của 3 stator đặt lệch nhau $1/3$ bước răng. Theo hình 3 răng rotor và stator tầng 1 đối đỉnh, răng rotor và stator tầng 2 lệch nhau 10^0 (cấu tạo stator tầng 2 xoay 1 góc 10^0 so với stator tầng 1), tương tự răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau 20^0 (stator xoay 1 góc 20^0 đối với stator tầng 1 hay 1 góc 10^0 đối với stator tầng 2). Răng của 3 rotor nằm trên cùng trục và thẳng hàng.



Hình 3 : Cấu tạo động cơ bước từ trở biến đổi, 3 tầng (3 pha)

Góc lệch của 2 tầng kề nhau θ_1 , xác định như sau :

$$\theta_1 = \frac{t_r}{m} = \frac{360}{Z_R \cdot m} \text{ (độ)}$$

Trong đó :

$$t_r : \text{bước răng của rotor, } t_r = \frac{360^\circ}{Z_R}$$

Z_R : số răng của rotor cũng như stator

m : số pha hay số tầng.

Trong trường hợp trên $Z_R = 12, m = 3$, do đó $\theta_1 = 10^\circ$.

Nguyên lý làm việc của động cơ như sau:

Giả sử ban đầu đặt dòng điện điều khiển vào tầng 1 thì răng rotor và stator của tầng 1 đối đỉnh (do từ thông chọn đường đi có từ trở bé nhất). Lúc này răng rotor và stator tầng 2 lệch nhau

10° , răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau 20° . Đặt dòng điện điều khiển vào tầng 2, dòng điện điều khiển tầng 1 được cắt. Rotor bước 1 góc 10° để răng rotor và stator tầng 2 đối đỉnh. Lúc này răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau 10° . Tiếp tục đặt dòng điện điều khiển vào tầng 3, dòng điện điều khiển tầng 2 được cắt. Rotor bước thêm 1 góc 10° để răng rotor và stator tầng 3 đối đỉnh. Lúc này răng rotor và stator tầng 1 lệch nhau 10° . Tiếp tục đặt dòng điện điều khiển vào tầng 1, quá trình lặp lại. Kết quả rotor tiến theo chiều kim đồng hồ với trình tự điều khiển 1-2-3-1.

Tổng quát, trục động cơ sẽ tiến 1 bước răng t_r trong m bước. Muốn trục động cơ bước theo chiều ngược lại trình tự điều khiển được đảo lại 1-3-2-1. Nguồn điều khiển là đơn cực. Muốn có góc bước nhỏ hơn có thể sử dụng, phương thức điều khiển như ở động cơ xung.

Ví dụ phương pháp điều khiển 6 nhịp hay 6 kỳ.

- Nhịp 1 : kích thích tầng 1
- Nhịp 2 : kích thích tầng 1 và 2
- Nhịp 3 : kích thích tầng 2
- Nhịp 4 : kích thích tầng 2 và 3
- Nhịp 5 : kích thích tầng 3
- Nhịp 6 : kích thích tầng 3 và 1.

Lập lại quá trình trên, rotor bước theo chiều kim đồng hồ. Mỗi nhịp rotor bước 1 góc 5° . Phương thức điều khiển này gọi là phương thức điều khiển nửa bước, ở đây có sự xen kẽ kích thích 1 pha và 2 pha. Phương thức này góc bước bằng 1 nửa góc bước thông thường.

Quá trình tóm tắt như sau :

Nhịp điều khiển	Dòng điện đặt vào cuộn điều khiển	Góc xoay rotor
1	S1	0°
2	S1 và S2	5°
3	S2	10°
4	S2 và S3	15°
5	S3	20°
6	S3 và S1	25°
1	S1	30°

STEPPER MOTORS

Nguyen Trong Thang

ABSTRACT: Stepper motors are important in automatic control systems, computers, numerically controlled machine - tools, and other position - control applications. Their rotors move in steps in response to control pulses. Control pulses of an appropriate waveform and frequency are generated by electronic (tube - type or semiconductor) switching circuits. Depending on type of motor, this frequency may extend from 10Hz to 10KHz. Stepper motors like all the synchronous machines are classified as permanent - magnet, variable - reluctance - type machines ...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. IRVING M.GOTTLIEB , Electric Motors and Control Techniques, p.292, second edition Mc. Graw - Hill, Inc, 1994.
2. TAKASHI KENJO, Power Elecltrics for the Microprocessor Age, p.342, Oxford University press - 1990.
3. A. IVANOV - SMOLENSKY, Electrical machines, Vol.2, p.464, MIR Publisher Moscow, 1982.
4. E.V. ARMENSKY G.B.FALK, Fractional Horsepower Electrical Machines, p.332, MIR Publisher Moscow, 1985.