
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO TECNOLÓGICO
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL
GRUPO PET-TELE

Motor de Passo

PETele))

Autor atual: Felipe Gonçalves Brites
Vinicius Puga de Almeida Santos

Niterói - RJ Julho / 2008

Capítulo 1

O que é o motor de passo?

1.1 Breve apresentação

Os Motores de Passo são dispositivos eletro-mecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada seqüência nos terminais deste. A rotação de tais motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a seqüência a qual tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados.

1.2 Onde ele é empregado

Um motor de passo pode ser uma boa escolha sempre que movimentos precisos são necessários. Eles podem ser usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O ponto forte de um motor de passo não é a sua força (torque), tampouco sua capacidade de desenvolver altas velocidades - ao contrário da maioria dos outros motores elétricos - mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Por conta disso este é amplamente usado em impressoras, scanners, robôs, câmeras de vídeo, brinquedos, automação industrial entre outros dispositivos eletrônicos que requerem de precisão.

Capítulo 2

Como funciona?

2.1 Motor de passo: Princípios Básicos

2.1.1 Um exemplo de funcionamento: Motor de quatro passos

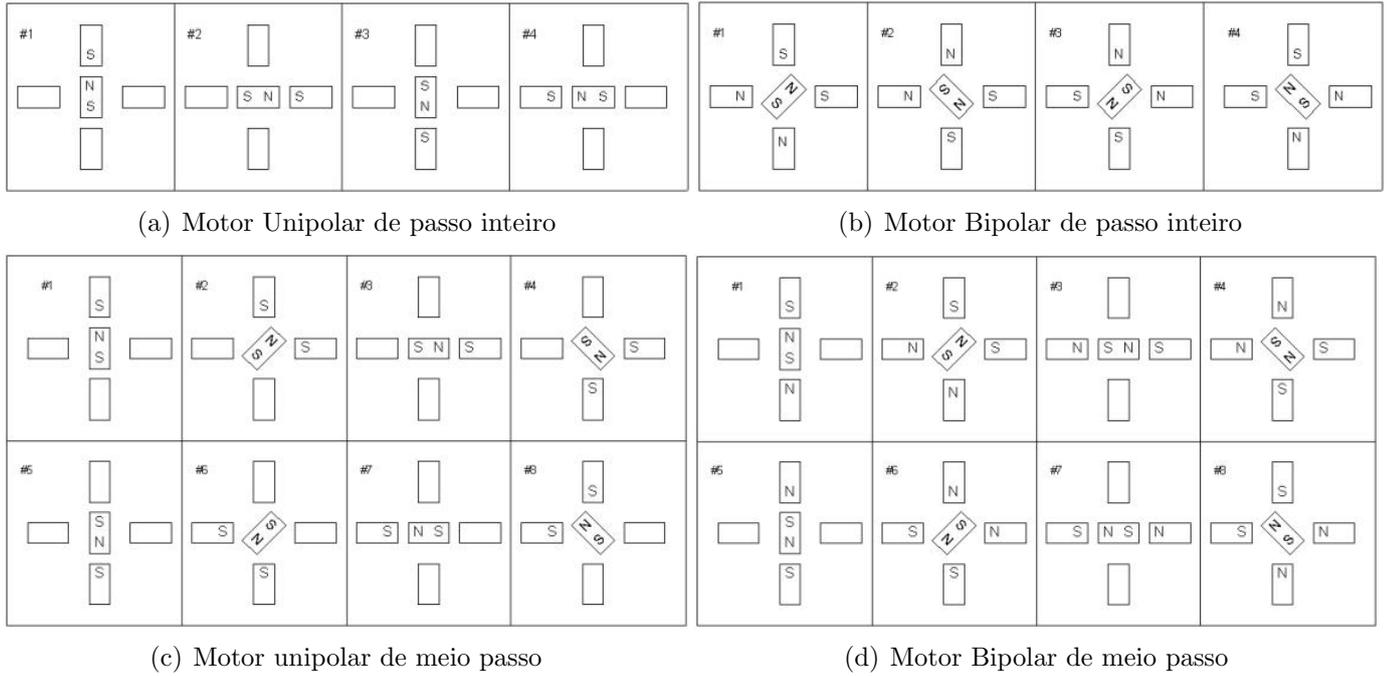
O funcionamento básico do motor de passo é dado pelo uso de solenóides alinhados dois a dois que quando energizados atraem o rotor fazendo-o se alinhar com o eixo determinado pelos solenóides, causando assim uma pequena variação de ângulo que é chamada de passo. A velocidade e o sentido de movimento são determinados pela forma como cada solenóide é ativado (sua ordem e a velocidade entre cada ativação).

2.1.2 Determinação do número de passos

O número de passos é dado pelo número de alinhamentos possíveis entre o rotor e as bobinas. Ou seja, para aumentar o número de passos de um motor usa-se um maior número de bobinas, maior número de pólos no rotor (para isso usa-se uma roda dentada).

2.1.3 Passos completos e meio-passos (full-step e half-step)

A energização de uma e somente uma bobina de cada vez produz um pequeno deslocamento no rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo fato de o rotor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas criar um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com os dentes do rotor. Assim, polarizando de forma adequada as bobinas, podemos movimentar o rotor entre as bobinas (meio passo ou “half-step”) ou alinhadas com as mesmas (passo completo ou “full-step”). Abaixo seguem os movimentos executados.



2.2 Tipos que existem:

2.2.1 Quanto a sua estrutura:

- Relutância Variável

Este tipo de motor consiste de um rotor de ferro, com múltiplos dentes e um estator com enrolamentos. Quando os enrolamentos do estator são energizados com corrente DC os pólos ficam magnetizados. A rotação ocorre quando os dentes do estator são atraídos para os pólos do estator energizado, devido à força que aparece, para que o sistema tenha o circuito com menor relutância.

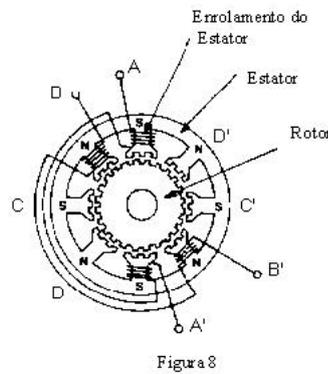


Figura 2.1: Motor de relutância variável

- **Ímã Permanente**

Motores de ímã permanente tem baixo custo e baixa resolução, com passos típicos de $7,5^\circ$ a 15° (48 - 24 passos/revolução). O rotor é construído com ímãs permanentes e não possui dentes. Os pólos magnetizados do rotor provém uma maior intensidade de fluxo magnético e por isto o motor de ímã permanente exhibe uma melhor característica de torque, quando comparado ao de relutância variável.

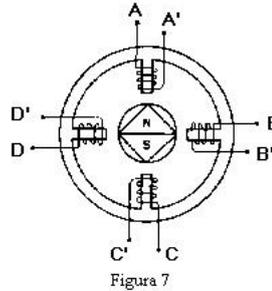


Figura 2.2: Motor de ímã permanente

- **Híbrido**

O motor de passo híbrido é mais caro do que o de ímã permanente, mas provém melhor desempenho com respeito à resolução de passo, torque e velocidade. Ângulos de passo típicos de motores híbridos estão entre $3,6^\circ$ a $0,9^\circ$ (100-400 passos por volta). O motor híbrido combina as melhores características dos motores de ímã permanente e motor de relutância variável. O rotor é multi-dentado como no motor de relutância variável e contém um ímã permanente ao redor do seu eixo. Os dentes do rotor provém um melhor caminho que ajuda a guiar o fluxo magnético para locais preferidos no GAP de ar.

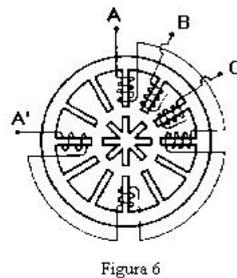


Figura 2.3: Motor Híbrido

2.2.2 Quanto a sua forma de operação

- **Motores Unipolares**

Um motor de passo unipolar tem dois enrolamentos por fase, um para cada sentido da corrente. Desde que neste arranjo um pólo magnético possa ser invertido sem comutar o sentido da corrente, o circuito da comutação pode ser feito de forma muito simples (por exemplo um único transistor) para cada enrolamento. Tipicamente,

dado uma fase, um terminal de cada enrolamento é feito como terra : dando três ligações por fase e seis ligações para um motor bifásico típico. Frequentemente, estas terras comuns bifásicas são juntadas internamente, assim o motor tem somente cinco ligações.

A resistência entre o fio comum e o fio de excitação da bobina é sempre metade do que entre os fios de excitação da bobina. Isto é, devido ao fato de que há realmente duas vezes o comprimento da bobina entre as extremidades e somente meio comprimento do centro (o fio comum) à extremidade. Os motores de passo unipolares com seis ou oito fios podem ser conduzidos usando excitadores bipolares deixando as terras comuns da fase desconectadas, e conduzindo os dois enrolamentos de cada fase junto. É igualmente possível usar um excitador bipolar para conduzir somente um enrolamento de cada fase, deixando a metade dos enrolamentos não utilizada.

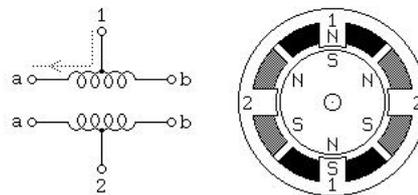


Figura 2.4: Motor Unipolar

• **Motores Bipolares**

Os motores bipolares têm um único enrolamento por fase. A corrente em um enrolamento precisa ser invertida a fim de inverter um pólo magnético, assim o circuito de condução é um pouco mais complicado, usando um arranjo de ponte H. Há duas ligações por fase, nenhuma está em comum. Os efeitos de estática da fricção que usam uma ponte são observadas em determinadas topologias de movimentação. Como os enrolamentos são melhor utilizados, são mais poderosos do que um motor unipolar do mesmo peso.

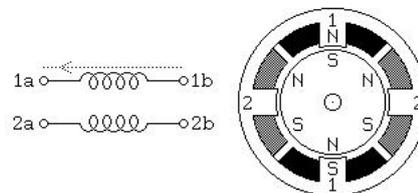


Figura 2.5: Motor Bipolar

• **Ponte H**

Ponte H é um circuito eletrônico que permite que um motor rode tanto para um sentido quanto para o outro. Estes circuitos são geralmente utilizados em robótica e estão disponíveis em circuitos prontos ou podem ser construídos por componentes. O nome ponte H é dado pela forma que assume o circuito quando montado. O circuito é construído com quatro “chaves” (S1-S4) que são acionadas de forma alternada

(S1 e S4 ou S2 e S3). Para cada configuração das chaves o motor gira em um sentido. As chaves S1 e S2 assim como as chaves S3 e S4 não podem ser ligadas ao mesmo tempo pois podem gerar um curto circuito. Para construção da ponte H pode ser utilizado qualquer tipo de componente que simule uma chave liga-desliga como transistores, relés, mosfets. Para que o circuito fique protegido, é aconselhável que sejam configuradas portas lógicas com componentes 7408 e 7406 a fim de que nunca ocorram as situações de curto circuito descritas acima. Outro melhoramento que pode ser feito à ponte , seria a colocação de diodos entre as “chaves”, pois quando a corrente não tem onde circular, no caso de o motor parar, ela volta para a fonte de alimentação economizando assim o gasto de energia de uma bateria por exemplo.

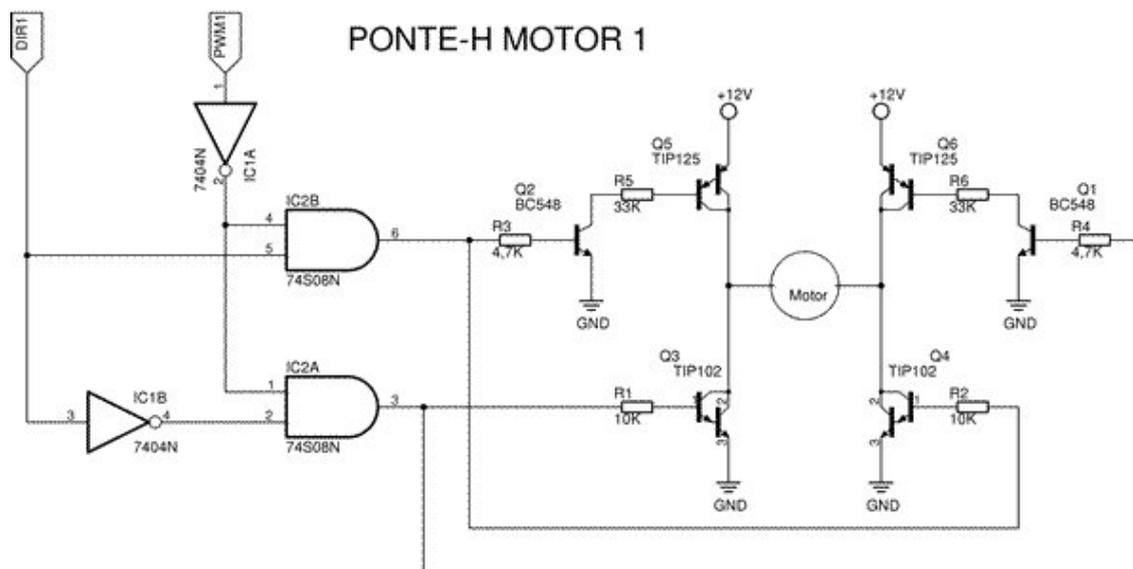


Figura 2.6: Exemplo de uma Ponte H

- Como identificar o número de fios (terminais)

Motor	Ligação
4 Fios	Bipolar
5 Fios	Unipolar
6 Fios	Unipolar/Bipolar(série)
7 Fios	Unipolar/Bipolar(série/paralelo)

2.2.3 Breve descrição de como é feito seu controle

A forma com que o motor irá operar dependerá bastante do que se deseja controlar. Há casos em que o torque é mais importante, outros a precisão ou a velocidade. Essas são características gerais dos motores de passos. Ao trabalhar com motores de passos, precisamos saber algumas características de funcionamento como a tensão de alimentação, a máxima corrente elétrica suportada nas bobinas, o grau de precisão. As características mais importantes que devemos ter atenção para controlar um motor de passo são a tensão de alimentação e a corrente elétrica que suas bobinas suportam.

Seqüências corretas para se controlar um motor de passo:

• **Passo completo 1 (Full Step)**

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	0	1	0	0	4
3	0	0	1	0	2
4	0	0	0	1	1

• **Passo Completo 2 (Full Step)**

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

• **Meio Passo (Half Step)**

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	1	1	0	0	12
3	0	1	0	0	4
4	0	1	1	0	6
5	0	0	1	0	2
6	0	0	1	1	3
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0	1	9

Capítulo 3

Apresentação mais específica

Segue uma apresentação mais específica das características de motores de passo.

3.1 Pontos fortes

Os motores de passo possuem como vantagem em relação aos outros tipos de motores disponíveis os seguintes pontos:

- Seguem uma lógica digital:

Diz-se que o motor de passo segue uma lógica digital, pois seu acionamento é feito através de pulsos elétricos que ativam sequencialmente suas bobinas, fazendo o rotor se alinhar com as mesmas e assim provocando um deslocamento do mesmo.

- Alta precisão em seu posicionamento:

O posicionamento do motor de passo é preciso uma vez que o rotor sempre se movimentará em ângulos bem determinados, chamados “passos” cujo erro de posicionamento é pequeno e não-cumulativo (em geral 5%).

- Precisão no torque aplicado:

As variações no torque aplicado por um motor de passo são pequenas, tendo em vista seu funcionamento.

- Excelente resposta a aceleração e desaceleração:

O movimento que um motor de passo produz é resultado das ativações em seqüência de suas bobinas. A resposta para tais solicitações de aceleração e desaceleração é rápida pois o rotor se alinha rapidamente com a(s) bobina(s) que se encontra(m) energizada(s).

3.2 Pontos fracos

Em relação com outros tipos de motores podemos destacar os seguintes fatos como vantagens no uso de motores de passo:

- Baixo desempenho em altas velocidades:

O aumento de rotações no motor de passo (sua aceleração) é gerado pela variação no tempo entre o acionamento de uma bobina e a seguinte. Entretanto é necessário um rápido chaveamento de um solenóide energizado para outro de forma que tal velocidade seja mantida, o que muitas vezes é complexo e pouco eficiente.

- Requer certo grau de complexidade para ser operado:

Pelo fato de usar uma lógica digital não basta apenas ligar o motor de passo a uma fonte de energia que o mesmo começará a girar sem parar. Sua complexidade reside no fato de ser necessário um aparato para controlá-lo ativando sequencialmente seus solenóides. O “custo computacional” e a complexidade do dispositivo de controle cresce a medida que o número de passos aumenta, uma vez que mais passos requerem um maior o número de terminais(fios) a serem ativados e controlados.

- Ocorrência de ressonância por controle inadequado:

Como todos os objetos que existem, o motor de passo também tem uma frequência de ressonância. Caso as revoluções do mesmo se deem nesta frequência, este pode começar a oscilar, aquecer e perder passos. Este problema pode ser contornado mudando-se o modo de operação do motor: utilizando-se meio-passo ou o passo-completo (“full-step”) com as bobinas energizadas duas a duas.

3.3 Pequena tabela de comparação com outros tipos de motores

	Motor de Corrente Contínua	Motor de Passo	Servo-Motor
Velocidade ¹	Alta	Baixa	Média
Torque ²	Zero/Alto	Alto/Médio	Baixo/Alto
Facilidade de controle ³	Fácil	Média	Complexo
Precisão ⁴	Nenhuma	Alta	Muito Alta
Durabilidade ⁵	Média	Ótima	Média
Requer Manutenção? ⁶	Sim	Não	Sim

1- Motores de Passo perdem passos em altas velocidades, já Servos Motores conseguem altas rotações por usarem para movimentar-se da mesma forma que os Motores de Corrente contínua.

2- Motores de Corrente contínua e Servo-Motores não conseguem se manter em uma posição fixa estando ligados, apenas o Motor de Passo tem esta característica. Entretanto é possível usar Servo-motores para tal fim, entretanto é necessário fazer com que este “corrija” sua posição na tentativa de manter-se parado o que é pouco prático uma vez que seu torque a baixas velocidades é pequeno.

3- Motores de Corrente contínua apenas precisam ser ligados para começar a funcionar, motores de passo requerem pulsos em determinada ordem para se movimentar, o que requer um “driver” para o mesmo. Servo motores no entanto requerem um hardware mais complexo que analise os dados como posicionamento e velocidade e envie as instruções de forma que o motor “mova” para a posição requisitada.

4- Motores de Corrente Contínua não possuem nenhum controle de posicionamento; os Motores de Passo podem ser controlados de forma a fazer movimentos discretos (passos); Servo-Motores podem fazer movimentos mais suaves que Motores de Passo (possuem maior resolução), bem como é possível fazer um controle de posicionamento com o mesmo.

5- Motores de passo são extremamente duráveis uma vez que não usa escovas ao contrário de Motores de Corrente Contínua ou Servo-Motores (que é um Motor de Corrente Contínua com controle de posicionamento). Este último ainda pode ter problemas com o aparato ótico que faz o controle do posicionamento (encoder).

3.4 Exemplos de aplicação

A seguir uma breve apresentação de aplicações recomendada e não recomendada.

- **Aplicação Recomendada** O motor de passo é recomendado no uso em equipamentos que exigem um posicionamento preciso de erro pequeno e não cumulativo. Podemos citar tais exemplos como scanners, impressoras, bem como certos dispositivos robóticos que não requerem “retorno” do posicionamento.

Também podemos citar exemplos que requerem rápida aceleração e desaceleração, mais uma vez inferindo aos motores de impressoras e dispositivos robóticos que efetuam movimentos rápidos e precisos, tais quais um motor de passo pode oferecer.

- **Aplicação Não-Recomendada** O motor de passo não é recomendado em casos em que o dispositivo trabalhe em altas velocidades uma vez que devido a inércia do rotor as bobinas podem não ser capazes de atrair o mesmo para uma determinada posição fazendo com o que o motor “perca passos”.

Também não se recomenda o uso do motor de passo em aplicações que exigem um torque grande uma vez que o torque do motor é dado pela atração entre o rotor e a bobina energizada. Uma vez que a carga exceda a força desta interação entre a bobina e rotor o motor perderá passos e sairá de controle.

Referências Bibliográficas

- [1] O que são Motores de Passo ,
<http://www.geocities.com/CollegePark/Dorm/8863/motordepasso.htm>
- [2] Estudo do Motor de Passo e seu Controle Digital ,
<http://www2.eletronica.org/artigos/outros/estudo-do-motor-de-passo-e-seu-controle-digital>
- [3] Motor de Passo Controlado por Computador ,
<http://www2.eletronica.org/projetos/motor-de-passo-controlado-pelo-computador>
- [4] Curso On-Line C/C++/Porta Paralela ,
<http://www.rogercom.com/pparalela/IntroMotorPasso.htm>
- [5] Mecânica ,
http://www.ime.eb.br/pinho/micro/trabalhos/Mecatronica_TP1.pdf
- [6] Tutorial Motor de Passo ,
<http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/Tutorial%20Programacao%20-%20Motor%20de%20Passo.pdf>
- [7] Motor de Passo ,
http://pessoal.cefetpr.br/brero/sist_micro/aula_motor_passo/motor%20de%20passo_10.pdf
- [8] Servo vs. stepper motor ,
http://www.woodweb.com/knowledge_base/Servo_vs_stepper_motors.html