

Estudo do Motor de Passo e seu controle digital

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS:

O objetivo deste trabalho é explicar as características e o funcionamento do chamado MOTOR DE PASSO, um tipo de motor elétrico que pode ser controlado por sinais digitais, tornando-o preciso e de recomendável utilização em aplicações que venham a requerer um ajuste fino de posicionamento. Iniciamos com um estudo rápido e pouco profundo dos motores elétricos em geral.

Depois apresentamos o MOTOR DE PASSO, damos alguns detalhes de seu funcionamento e falamos sobre como controlá-lo. Finalmente apresentamos algumas aplicações do motor em estudo, frisando sempre que o preciso controle sobre seus movimentos é o que mais o diferencia dos demais motores elétricos.

2. MOTORES ELÉTRICOS:

Um motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica, em geral energia cinética. Ou seja, num motor, a simples presença da corrente elétrica, seja cc ou ac, nos garante movimento em um eixo, que pode ser aproveitado de diversas maneiras dependendo da aplicação do motor.

O acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos por motores elétricos é um assunto de grande importância econômica. Estima-se que o mercado mundial de motores elétricos de todos os tipos seja da ordem de uma dezena de bilhões de dólares por ano. No campo dos acionamentos industriais, avalia-se que de 70 a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica através de motores elétricos.

Isto significa que, admitindo-se um rendimento médio da ordem de 80% do universo de motores em aplicações industriais, cerca de 15% da energia elétrica industrial transforma-se em perdas nos motores. No Brasil, a fabricação de motores elétricos é um segmento relevante da atividade econômica. No início da década de 80 a indústria brasileira de motores produziu em torno de três milhões de unidades por ano, tendo mais do que 80 mil unidades acima de 20cv.

Entre o fabricante e o usuário final deve existir uma estreita comunicação, de forma que seja feita uma correta seleção do motor a ser utilizado em determinada aplicação. Fundamentalmente o processo de seleção de um acionamento elétrico, corresponde à escolha de um motor que possa atender a, pelo menos, três requisitos do utilizador:

- Fonte de alimentação: tipo, tensão, frequência, simetria, equilíbrio, etc.
- Condições ambientais: agressividade, periculosidade, altitude, temperatura, etc.
- Exigências da carga e condições de serviço: potência solicitada, rotação, esforços mecânicos, configuração física, ciclos de operação, confiabilidade, etc.

A divisão em motores de corrente contínua e de corrente alternada é devida, obviamente, ao tipo de tensão de alimentação. Apresentamos abaixo algumas características básicas dos motores AC e DC:

Motores DC: São conhecidos por seu controle preciso de velocidade e por seu ajuste fino e são, portanto, largamente utilizados em aplicações que exigem tais características. Vale comentar que a utilização dos motores de corrente contínua teve um grande incremento nos últimos anos, graças à eletrônica de potência. Fontes estáticas de corrente contínua com tiristores confiáveis, de baixo custo e manutenção simples, substituíram os grupos conversores rotativos. Com isso, motores de corrente contínua passaram a constituir alternativa mais atrativa em uma série de aplicações.

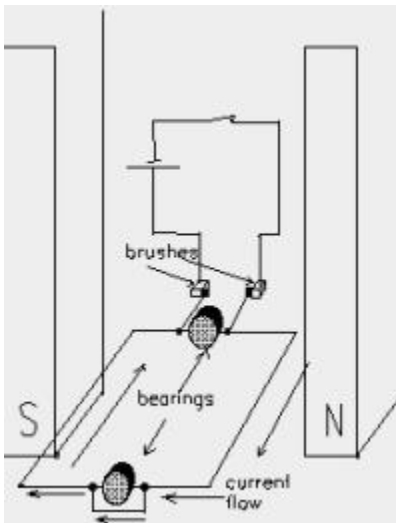
Motores AC: A grande maioria das aplicações tem sua configuração mais econômica com a utilização de motores de indução de gaiola. Estima-se que 90% (em unidades) dos motores fabricados sejam deste tipo. Quando não há necessidade de ajuste e controle de velocidade e a potência é inferior a cerca de 500cv, sua utilização é amplamente dominante. Pode-se dizer que outros tipos de motores são utilizados somente quando alguma peculiaridade determina tal opção.

OBS: Paradoxalmente ao que foi comentado no final da análise dos motores DC, o constante desenvolvimento da eletrônica de potência deverá levar a um progressivo abandono dos motores de corrente contínua. Isto porque fontes de tensão e frequência controladas, alimentando motores de corrente alternada, principalmente os de indução de gaiola, já estão se transformando em opções mais atraentes, quanto ao ajuste e ao controle de velocidade.

MOTOR DC

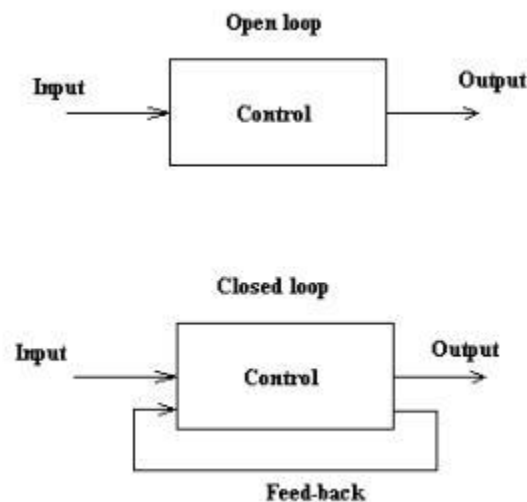
Apresentaremos apenas um resumo do funcionamento do motor DC, já que este não é o objeto principal do nosso estudo. Acreditamos relevante falar deste motor, pois com ele introduziremos os conceitos de controle e feedback, que servirão de introdução aos motores de passo. O funcionamento básico do motor DC está fundamentado na Força de

Lorentz aplicada em uma carga em movimento dentro de um campo magnético ($F = qvB$). Consideremos uma espira de corrente inserida num campo magnético criado por um ímã permanente, em que há uma corrente criada por uma bateria (fonte DC). De uma forma simplificada, a simples passagem desta corrente faz com que apareçam duas forças de sentidos contrários, aplicadas uma em cada lado da espira. Estas forças criam um torque que, obviamente, faz a espira girar, transformando a energia elétrica da corrente em energia cinética num eixo acoplado às espiras. A direção da rotação depende da polaridade da bateria e da direção das linhas de campo magnético criadas pelo ímã.



Um motor real é composto de conjuntos múltiplos de espiras, dispostas de tal forma que as forças que agem em cada espira sejam somadas e produzam um torque significativo para uma possível aplicação.

Os motores DC são utilizados, por exemplo, em aplicações como o posicionamento de um braço de robô. Mas eles apresentam uma grande desvantagem. Para que um computador dê um comando para que o braço se mova para uma determinada posição com precisão, é necessário um complicado circuito externo provido de sensores de posição, que informe ao computador que o braço já está na posição determinada (feedback).



É justamente para que se resolva este problema que foi desenvolvido o chamado MOTOR DE PASSO, descrito no item a seguir.

4.MOTOR DE PASSO

O motor de passo é um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo, onde passo é o menor deslocamento angular.

Com o passar dos anos houve um aumento na popularidade deste motor, principalmente pelo seu tamanho e custo reduzidos e também a total adaptação por controle digitais.

Outra vantagem do motor de passos em relação aos outros motores é a estabilidade. Quando quisermos obter uma rotação específica de um certo grau, calcularemos o número de rotação por pulsos o que nos possibilita uma boa precisão no movimento.

Os antigos motores passavam do ponto e, para voltar, precisavam da realimentação negativa. Por não girar por passos a inércia destes é maior e assim são mais instáveis.

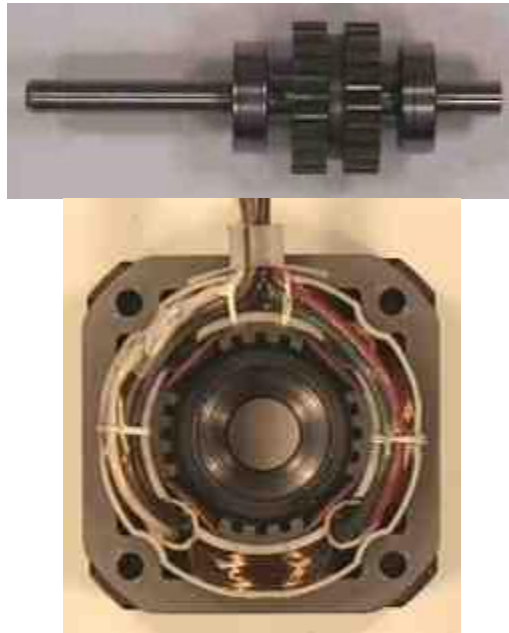
4.A. Definições para Motores a Passo

Antes de explicarmos os tipos de motores e o funcionamento em si, definiremos algumas outras expressões a fim de tornar o texto mais claro.

Rotor = É denominado rotor o conjunto eixo-imã que rodam solidariamente na parte móvel do motor.

Estator = Define-se como estator a trave fixa onde as bobinas são enroladas.

Abaixo segue uma figura onde podemos ver as partes mencionadas (o rotor à esquerda e o estator a direita).



4.B. Parâmetros Importantes

- Graus por Passo = sem dúvida a característica mais importante ao se escolher o motor, o número de graus por passo está intimamente vinculado com o número de passos por volta. Os valores mais comuns para esta característica, também referida como resolution, são 0.72, 1.8, 3.6, 7.5, 15 e até 90 graus.

- Momento de Frenagem = momento máximo com o rotor bloqueado, sem perda de passos.

- Momento (Torque) = efeito rotativo de uma força, medindo a partir do produto da mesma pela distância perpendicular até o ponto em que ela atua partindo de sua linha de ação.

- Taxa de Andamento = regime de operação atingido após uma aceleração suave.

- Momento de Inércia = medida da resistência mecânica oferecida por um corpo à aceleração angular.

- Auto-Indutância = determina a magnitude da corrente média em regimes pesados de operação, de acordo com o tipo de enrolamento do estator: relaciona o fluxo magnético com as correntes que o produzem.

- Resistências Ôhmicas = determina a magnitude da corrente do estator com o rotor parado.

- Corrente máxima do estator = determinada pela bitola do fio empregado nos enrolamentos.

- "Holding Torque" = é mínima potência para fazer o motor mudar de posição parada.

- Torque Residual = é a resultante de todos os fluxos magnético presente nos pólos do estator.

- Resposta de Passo = é tempo que o motor gasta para executar o comando.

- Ressonância = como todo material, o motor de passos tem sua frequência natural. Quando o motor gira com uma frequência igual a sua, ele começa a oscilar e a perder passos.

- Tensão de trabalho = normalmente impresso na própria chassi do motor, a tensão em que trabalha o motor é fundamental na obtenção do torque do componente.

Tensões acima do estipulado pelo fabricante em seu datasheet costumam aumentar o torque do motor, porém, tal procedimento resulta na diminuição da vida útil do mesmo. Destaca-se que a tensão de trabalho do motor não necessariamente deve ser a tensão utilizada na lógica do circuito. Os valores normalmente encontrados variam de +5V à +48V.

4.C. Tipos de Motores de Passo

- Relutância Variável = Apresenta um rotor com muitas polaridades construídas a partir de ferro doce, apresenta também em estator laminado. Por não possuir imã, quando energizado apresenta torque estático nulo. Tendo assim baixa inércia de rotor não pode ser utilizado como carga inercial grande.
- Imã Permanente = Apresenta um rotor de material alnico ou ferrite e é magnetizado radialmente devido a isto o torque estático não é nulo.
- Híbridos = É uma mistura dos dois anteriores e apresenta rotor e estator multidentados. O rotor é de imã permanente e magnetizado axialmente. Apresenta grande precisão (3%), boa relação torque/tamanho e ângulos pequenos (0,9 e 1,8 graus). Para que o rotor avance um passo é necessário que a polaridade magnética de um dente do estator se alinha com a polaridade magnética oposta de um dente do rotor.

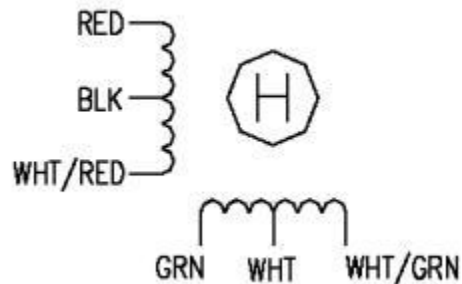
5. FUNCIONAMENTO BÁSICO DO MOTOR DE PASSO

Normalmente os motores de passo são projetados com enrolamento de estator polifásico o que não foge muito dos demais motores. O número de pólos é determinado pelo passo angular desejado por pulsos de entrada. Os motores de passo têm alimentação externa.

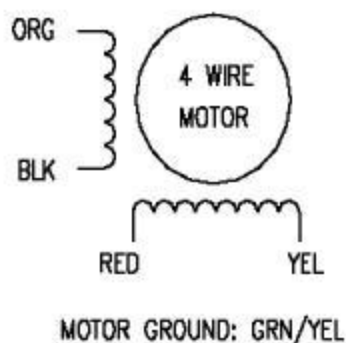
Conforme os pulsos na entrada do circuito de alimentação, este oferece correntes aos enrolamentos certos para fornecer o deslocamento desejado, como veremos em breve.

Falaremos agora então, mais um pouco sobre motores com imã permanente. Além do número de fases do motor, existe outra subdivisão entre estes componentes, a sua polaridade.

Motores de passo unipolares são caracterizados por possuírem um center-tape entre o enrolamento de suas bobinas. Normalmente utiliza-se este center-tape para alimentar o motor, que é controlado aterrando-se as extremidades dos enrolamentos. Abaixo segue uma figura ilustrativa onde podemos ver que tal motor possui duas bobinas e quatro fases.



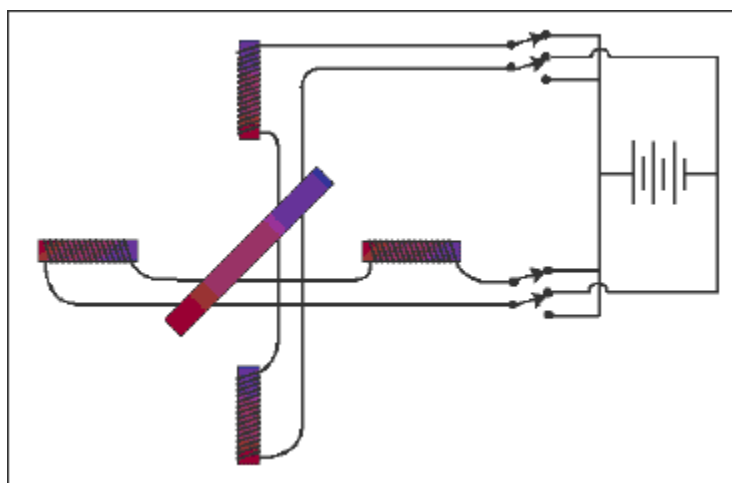
Diferentes dos unipolares, os motores bipolares exigem circuitos mais complexos. A grande vantagem em se usar os bipolares é prover maior torque, além de ter uma maior proporção entre tamanho e torque. Fisicamente os motores têm enrolamentos separados, sendo necessário uma polarização reversa durante a operação para o passo acontecer. Em seguida vemos uma ilustração do motor bipolar.



Um motor de corrente contínua, quando alimentado, gira no mesmo sentido e com rotação constante, ou seja, para que estes motores funcionem, é necessário apenas estabelecer sua alimentação. Com o auxílio de circuitos externos de controle, estes motores de corrente contínua poderão inverter o sentido de rotação ou variar sua velocidade.

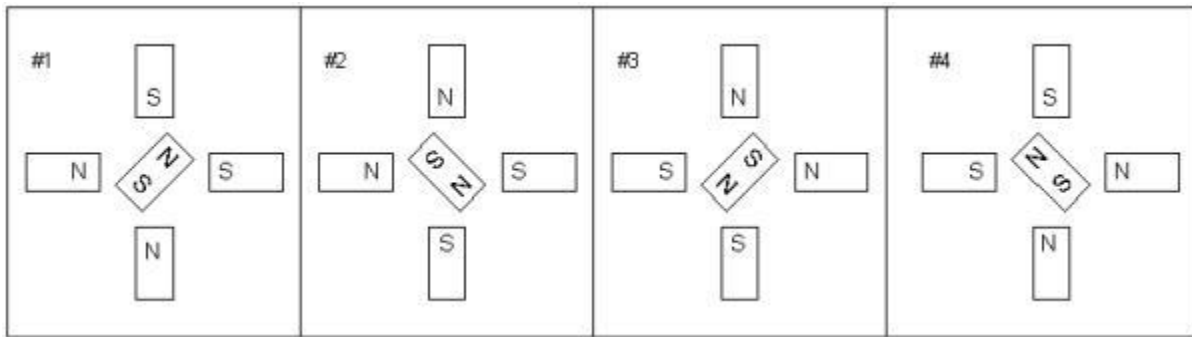
Para que um motor de passo funcione, é necessário que sua alimentação seja feita de forma seqüencial e repetida. Não basta apenas ligar os fios do motor de passo a uma fonte de energia e sim ligá-los a um circuito que execute a seqüência requerida pelo motor.

Existem três tipos básicos de movimentos o de passo inteiro e o de meio passo e o micropasso, tanto para o motor bipolar como para o unipolar. O de micropasso tem sua tecnologia não muito divulgada, e baseia-se no controle da corrente que flui por cada bobina multiplicado pelo numero de passos por revolução. Internamente os motores têm seus enrolamentos similares a figura.

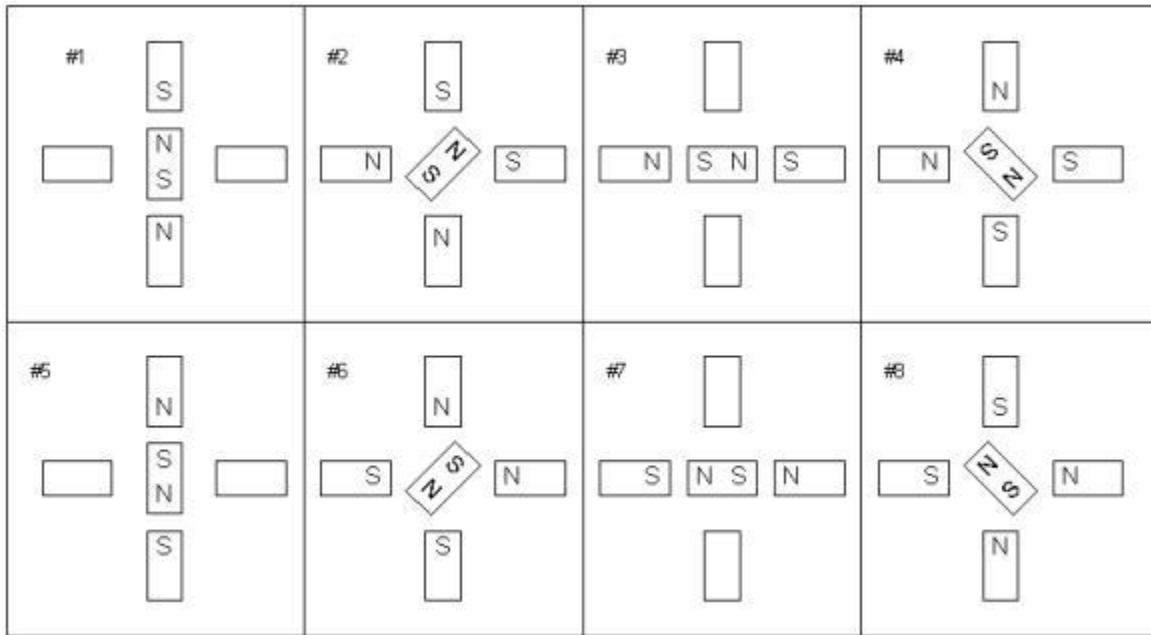


A energização de uma e somente uma bobina de cada vez produz um pequeno deslocamento no rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo fato de o rotor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas criar um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com as pás do rotor. Assim,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

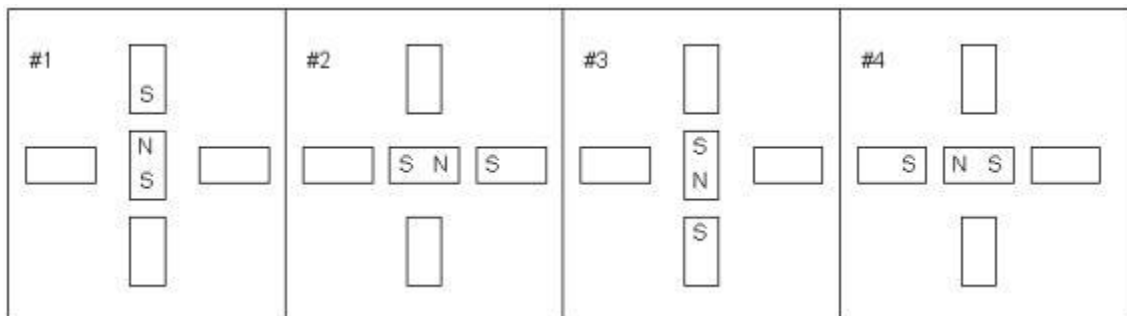
- Motor bipolar com passo inteiro



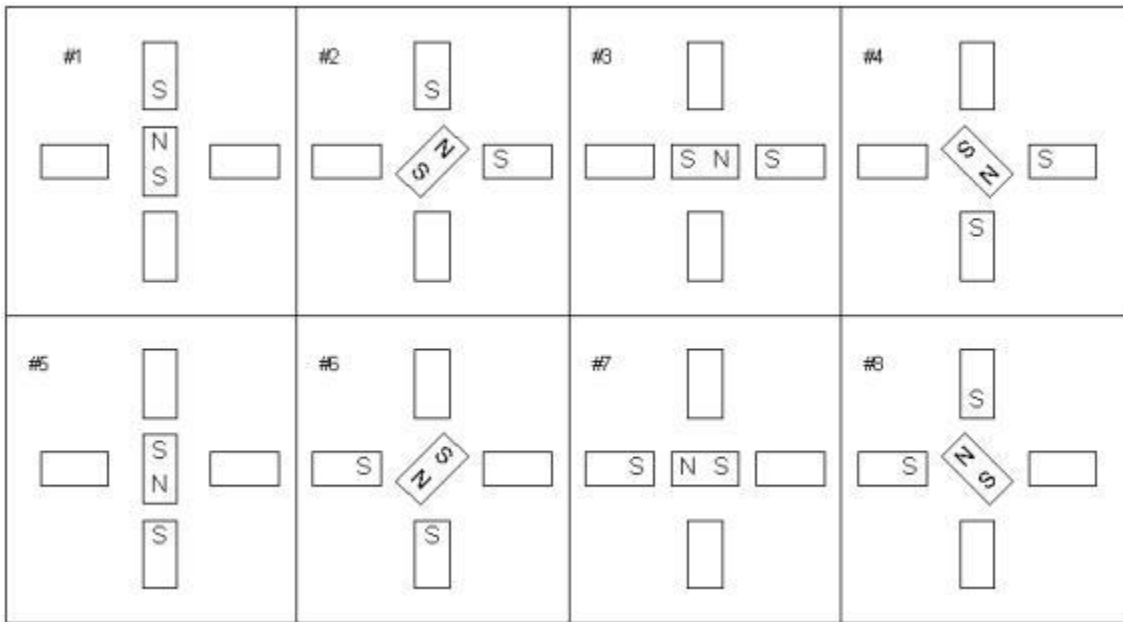
- Motor bipolar com meio passo



- Motor unipolar com passo inteiro



- Motor unipolar com meio passo



Abaixo segue uma tabela com a seqüência que deve ser alimentada as bobinas do motor.

FULL STEP # SEQUENCE (BIPOLAR)				
	ORG	BLK	RED	YEL
PHASE	A	\bar{A}	B	\bar{B}
1	+	-	-	+
2	+	-	+	-
3	-	+	+	-
4	-	+	-	+
1	+	-	-	+

HALF STEP # SEQUENCE (BIPOLAR)				
	ORG	BLK	RED	YEL
PHASE	A	\bar{A}	B	\bar{B}
1	+	-	-	+
2	+	-	0	0
3	+	-	+	-
4	0	0	+	-
5	-	+	+	-
6	-	+	0	0
7	-	+	-	+
8	0	0	-	+
1	+	-	-	+

PHASE SEQUENCE (UNIPOLAR)					
STEP	RED	GRN	WHT-RED	WHT-GRN	COM
1	-	-	0	0	+
2	0	-	-	0	+
3	0	0	-	-	+
4	-	0	0	-	+

COMMON: BLK & WHT

+ = POSITIVE CURRENT FLOW
- = NEGATIVE CURRENT FLOW

Para que se obtenha uma rotação constante é necessário que a energização das bobinas seja periódica. Esta periodicidade é proporcionada por circuitos eletrônicos que controlam a velocidade e o sentido de rotação do motor.

A pequeno ângulo deslocado pelo rotor depende do número de dentes do mesmo assim como o número de fases do motor.

Preferimos não explicar mais detalhadamente este tópico minuciosamente, por ser de grande dificuldade de se explicar à movimentação dos dentes do rotor pelo estator bidimensionalmente. Em geral, o número de dentes do rotor multiplicado pelo número de fases revela o número de passos por revolução.

Por se tratar de sinais digitais, fica fácil compreender a versatilidade dos motores de passo. São motores que apresentam uma gama de rotação muito ampla que pode variar de zero até 7200 rpm; apresentam boa relação peso/potência; permitem a inversão de rotação em pleno funcionamento; alguns motores possuem precisão de 97%; possuem ótima frenagem do rotor e podem mover-se passo-a-passo. Mover o motor passo-a-passo resume-se ao seguinte: se um determinado motor de passo possuir 170 passos, isto significa que cada volta do eixo do motor é dividida

170 vezes, ou seja, cada passo corresponde a 2,1 graus e o rotor tem a capacidade para mover-se apenas estes 2,1 graus.

Didaticamente falando, o sistema de controle se baseia em um circuito oscilador onde seria gerado um sinal cuja frequência estaria diretamente relacionado com a velocidade de rotação do motor de passo. Esta frequência seria facilmente alterada (seja por atuação em componentes passivos seja por meio eletrônico) dentro de um determinado valor assim, o motor apresentaria uma rotação mínima e uma máxima. A função "Freio" se daria simplesmente pela inibição do sinal gerado pelo oscilador.

O próximo passo seria providenciar um circuito amplificador de saída, pois algumas aplicações exigem uma demanda de corrente relativamente elevada. Caberia ao circuito amplificador de saída fornecer estas correntes de forma segura, econômica e rápida.

O circuito amplificador de saída seria constituído de transistores e/ou dispositivos de potência que drenam corrente em torno de 500 mA ou mais.

Motores de passo geralmente suportam correntes acima de 1,5 Ampère. O amplificador de saída é o dispositivo mais solicitado em um projeto de controle de motor de passo.

Devido às variações de trabalho a que pode ser submetido o motor de passo, um amplificador mal projetado pode limitar muito o conjunto como um todo.

Um exemplo destas limitações pode ser facilmente entendido.

Um motor de passo girando a altas rotações, repentinamente é solicitado a inverter sua rotação (como ocorre em máquinas CNC e cabeçotes de impressão). No momento da inversão as correntes envolvidas são muito altas e o circuito amplificador deve suportar tais drenagens de corrente.

O torque do motor de passo depende da frequência aplicada a alimentação. Quanto maior a frequência, menor o torque, porque o rotor tem menos tempo para mover-se de um ângulo para outro.

A faixa de partida deste motor é aquela na qual a posição da carga segue os pulsos sem perder passos, a faixa de giro é aquela na qual a velocidade da carga também segue a frequência dos pulsos, mas com uma diferença: não pode partir, parar ou inverter, independente do comando.

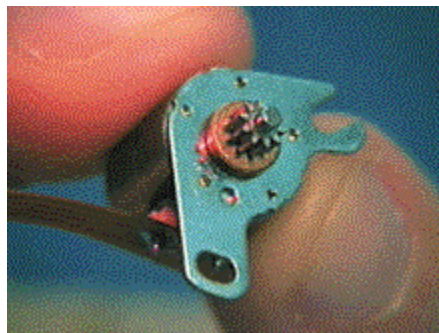
6. APLICAÇÕES COM MOTOR DE PASSO

Como os motores de passos têm movimentos precisos, qualquer equipamento que precise de precisão no movimento utilizaram estes motores.

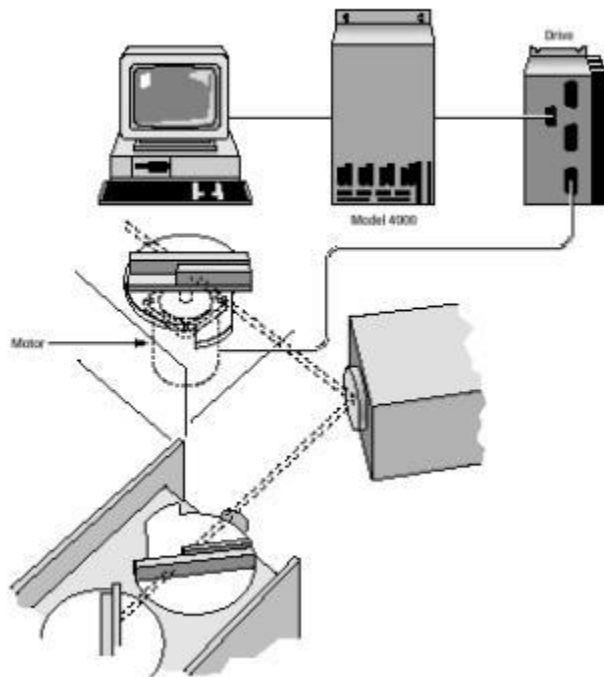
Podemos citar pôr exemplo o controle de microcâmeras num circuito interno de vigilância, em clínicas radiológicas no auxílio de operadores para os mesmos orientarem o posicionamento das pessoas submetidas a uma radiografia, posicionamento de uma mesa de trabalho em duas dimensões, furação automática de acordo com instruções em fita sobre as posições dos furos. A seguir veremos algumas aplicações mais detalhadamente.

Aplicação #1

A primeira aplicação relatada é de um scanner óptico. O projetista do laser utilizado para o scanner tem que rotacionar precisamente uma rede de difração com o controle do computador para ajustar a frequência do laser. A rede precisa ser posicionada com um erro máximo de 0.05°. A alta resolução do micromotor de passo e a ausência de movimentos não previstos quando este pára o tornam ideal.



A solução encontrada: como a inércia da rede é igual a 2% da inércia do motor ela pode ser ignorada. A situação exigia um pequeno motor. Um micromotor de passo, que produzia um grande torque foi selecionado. Através da interface utilizando o protocolo IEEE-4888 controlada por um simples programa escrito em BASIC, o micromotor funcionou de forma satisfatória. Abaixo segue uma figura ilustrativa do problema.



Aplicação #2 Esta segunda aplicação tem por objetivo mostrar o uso dos motores de passo, acoplado a engrenagens, na movimentação de telescópios. Comparadas às aplicações que utilizam apenas micromotores, as engrenagens apresentam baixa eficiência, desgaste e podem ser barulhentas.

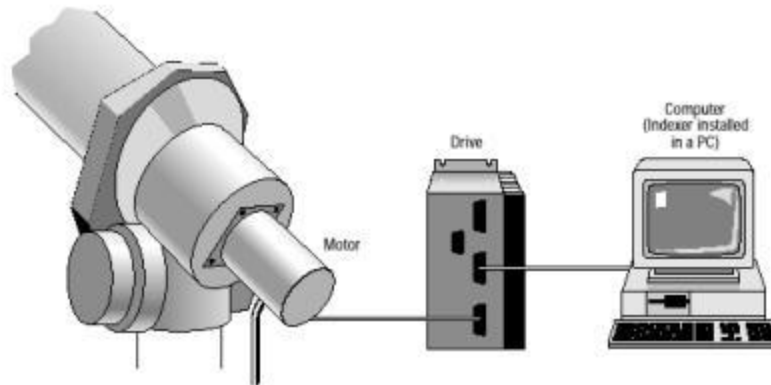
As engrenagens são justamente úteis, para romper grandes inércias, pois a inércia refletida de volta para o motor através das engrenagens é dividida pelo quadrado da inércia aplicada a elas. Desta maneira, grandes cargas inerciais podem ser movimentadas enquanto o rotor mantém uma carga menor.

No caso descrito era necessário vasculhar fenômenos celestiais em velocidade baixa de 15° por hora e em velocidade alta em 15° por segundo.

Assim, utilizando uma caixa de engrenagens que reduz de 30:1, 30 revoluções dadas pelo motor equivalem a uma rotação de 360° dada pelo telescópio, foi desenvolvido o projeto.

A velocidade de tracking de 15° por hora corresponde 1.25 revoluções por hora, ou em torno de 9 passos por segundo para uma resolução de 25000 passos por revolução. A velocidade de 15° por segundo requer 1.25 rps para o mesmo motor. A lei do inverso do quadrado faz com que o motor sofra uma carga de $1/900$ da inércia rotacional do telescópio.

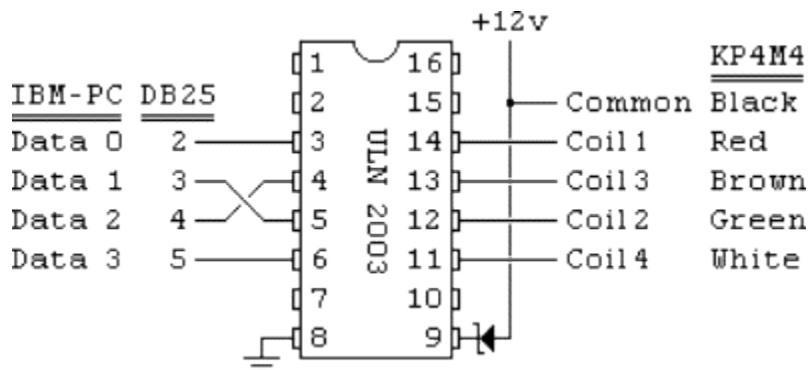
Na figura abaixo mostra o esquema do projeto.



7. CONTROLADORES PARA MOTOR DE PASSO

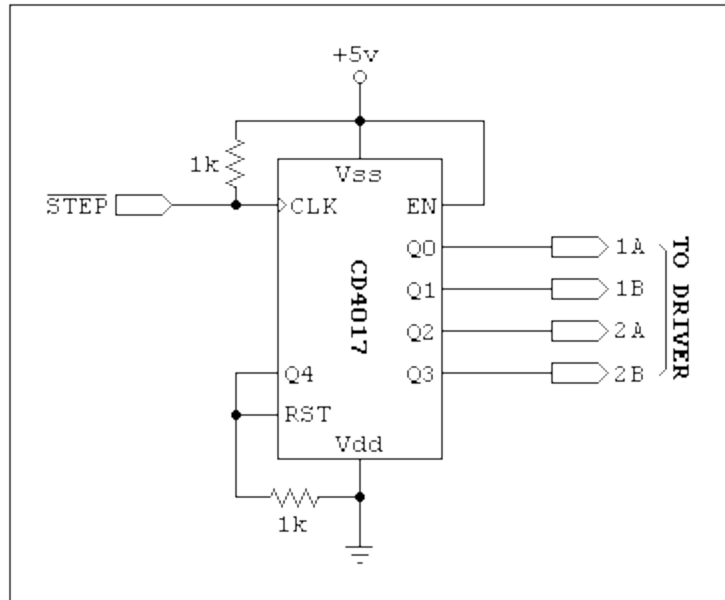
Nesta etapa falaremos um pouco sobre circuitos que podem controlar os motores adequadamente. Destacamos que como as cores dos fios que levam energia as bobinas não são padronizados. Portanto não comentaremos sobre a ordem certa de polarização utilizando as cores dos fios.

Na primeira etapa, falaremos sobre o controle de um motor de passo diretamente pelo computador. Através da porta paralela visaremos controlar um motor de quatro fases e unipolar através da excitação por passo-inteiro. Pesquisando os drivers existentes, descobrimos o CI ULN2003 que é um 7bit 50V 500mA TTL-input NPN darlington driver, que funciona como amplificador. Obviamente toda a lógica deve ser exercida pelo computador inclusive a da ordem de excitação das bobinas. Abaixo segue o circuito elétrico mostrando a ligação entre o motor e a porta.

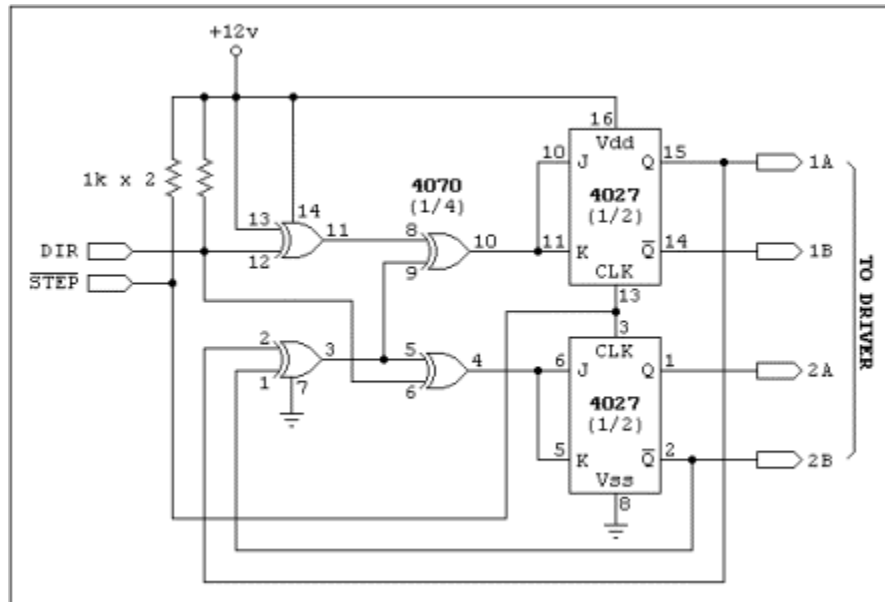


Destaca-se que o diodo zener foi utilizado como intuito de absorver o campo eletromagnético reverso produzido pelo motor quando o mesmo é desligado. A inversão observada nos pinos de entrada 3 e 4 do ULN2003 são necessárias para manter a ordem certa de ativação das bobinas.

Agora veremos o controle ser feito através de componentes discretos. Utilizando um contador Johnson CMOS que controla a etapa de potência não mostrada, podemos exercer um simples comando ao motor somente através dos clock. Este circuito tem a desvantagem de não exercer o controle da direção e observa-se que o mesmo executa o procedimento de passo inteiro. Abaixo segue o esquema elétrico.



Utilizando agora portas lógicas e flip-flops, exerceremos o controle tanto da direção (através de DIR) quanto da velocidade do motor. Abaixo segue o esquema a ser analisado.



O circuito funciona basicamente invertendo a saída Q e Qinv de um dos flip-flops em cada borda de descida. Na borda seguinte, podemos esperar que a saída do outro flip-flop seja invertida mantendo a do primeiro igual, repetindo o ciclo a partir de então. A porta XOR superior esquerda funciona como uma inversora, o que permite só um dos flip-flops alterar o seu estado de acordo com as saídas. Abaixo segue a tabela que se espera encontrar para este circuito, trabalhando por consequência em passo inteiro.

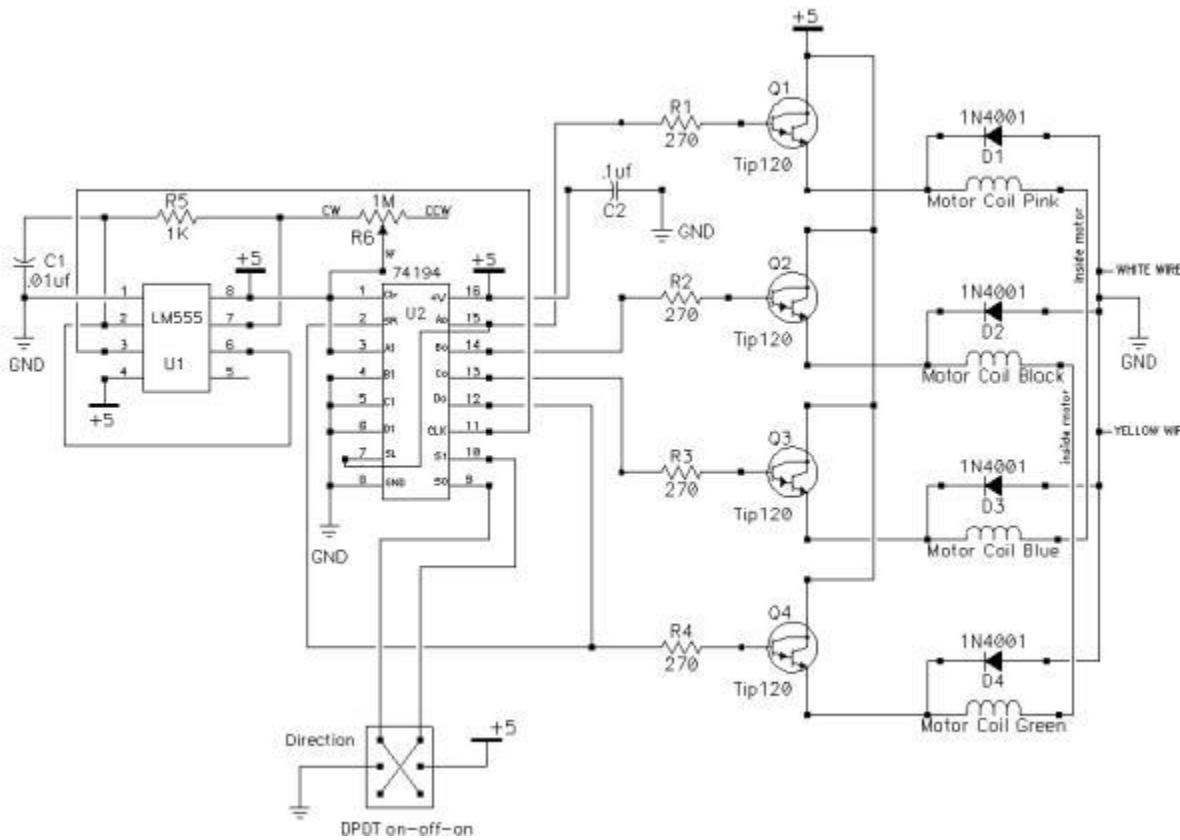
Para DIR low (sentido anti-horário)

4A	1A	2A	3A
1	1	0	0
1	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	1

Para DIR high (sentido horário)

3A	4A	1A	2A
0	0	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0
0	1	0	1

Por último veremos um circuito com todas as etapas do processo. Abaixo segue o circuito a ser analisado.



À esquerda vemos o LM555 que é responsável pela produção dos pulsos necessários para o CI 74194. Através do potenciômetro R6, podemos controlar o sentido da rotação. Através do resistor R5 e do capacitor C1 podemos controlar o ton e o toff do trem de pulsos, controlando então a velocidade. O CI74194 é um TTL registrador de deslocamento bidirecional acionado pelo clock do LM555. Os pinos S0 e S1 são os responsáveis por determinar se o deslocamento é direito ou esquerdo, ativando as saídas de A0 a D0. SR (serial right) e SL (serial left) são os pinos responsáveis pelo o bit high, inicialmente ativado por A1 estar high, efetuarem um deslocamento em anel. Assim, deve-se constatar somente um bobina do motor ser ativada por vez, após a etapa amplificadora constituída pelos transistores de potência TIP120. Como explicado anteriormente, os diodos são utilizados para proteger o circuito de tensões inversas provocadas pelo armazenamento de energia dos indutores. No caso específico, podemos verificar que a alimentação do motor é idêntica a alimentação da parte lógica.

8. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Em relação aos primeiros motores o motor de passos apresenta evidentes vantagens, como tamanho e custo reduzidos, total adaptação a lógica digital (o que permite o controle preciso da velocidade direção e distância), características de

bloqueio , pouco desgaste e dispensa realimentação.

São poucas as desvantagens mais elas existem: má relação potência - volume e principalmente controle relativamente complexo

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA E SITES

- Lobosco, Orlando Silvio & Dias, José Luiz P. da Costa; Seleção e Aplicação de motores Elétricos; Makron Books - Gajski, Daniel D.; Principles of Digital Designer; Prentice-Hall; 1997 - Taub, Herbert; Circuitos Digitais e Microprocessadores; McGraw-Hill; 1984 <http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/>
<http://www.eng.morgan.edu/~malone/dskdrv/dskdrv.html> <http://www.ohmslaw.com/robot.htm>
<http://www.eaglehawksc.vic.edu.au/kla/technology/stepmotr/intro.htm>
<http://www.hut.fi/Misc/Electronics/circuits/diskstepper.html> http://www.ee.washington.edu/circuit_archive/text/ddmotor.html
<http://www.eece.ksu.edu/~starret/581/topic.F95/schartz.html>
http://laguna.fmedic.unam.mx/~daniel/handy_board/handy_bipolar.html <http://www.globalspec.com/>
<http://eio.com/jasstep.htm> <http://www.wirz.com/stepper/> <http://www.robotics.com/motors.html>
<http://members.tripod.com/~schematics/stepper.gif> <http://www.eio.com/stepindx.htm>

Informações e vendas de componentes

Visite: www.mutcom.no.comunidades.net