

Sensores e Atuadores (2)



4º Engenharia de Controle e Automação
FACIT / 2009

Prof. Maurílio J. Inácio



Sensores e Atuadores

- Atuadores
 - São componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em energia mecânica.
 - Através dos sistemas de transmissão, a energia mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos links do manipulador para que se movimentem.
 - Podem ser classificados em:
 - Atuadores hidráulicos e pneumáticos (cilindros ou motores).
 - Atuadores eletromagnéticos (motores).

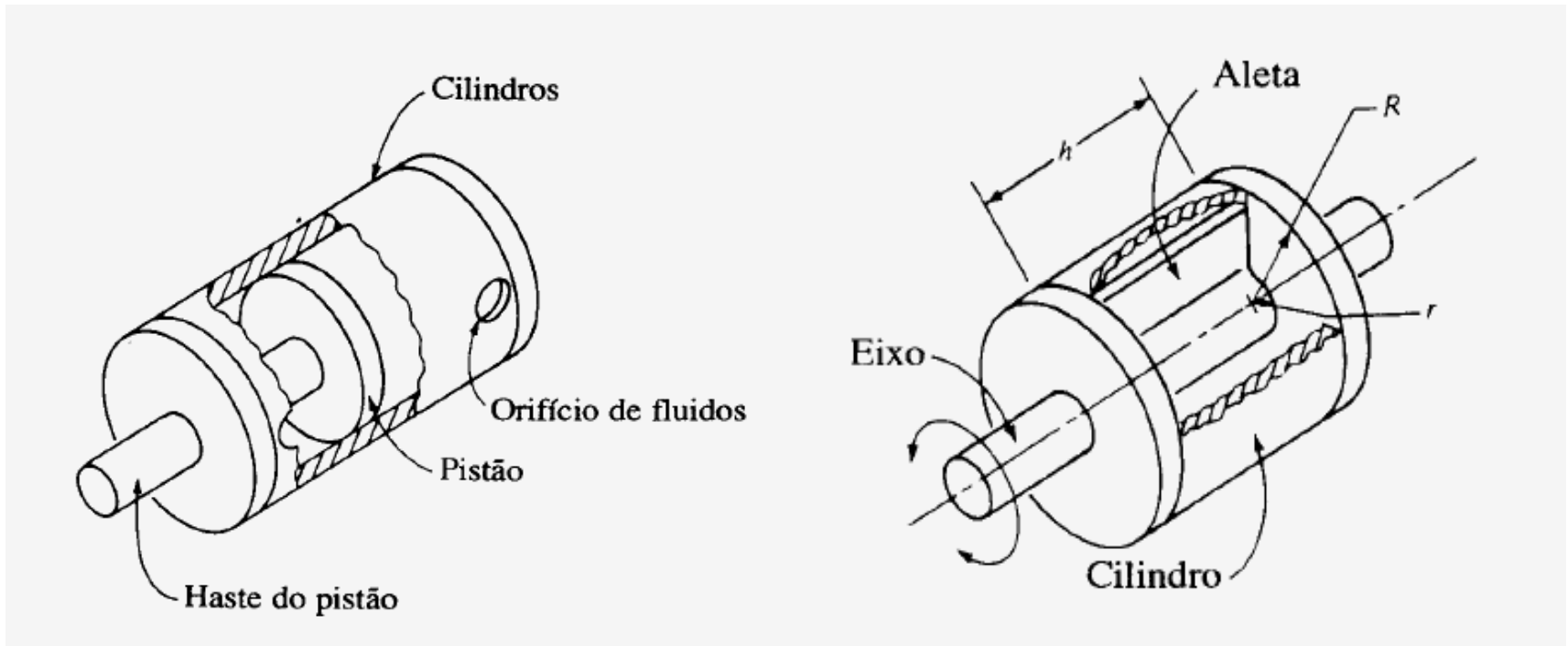


Sensores e Atuadores

- Atuadores hidráulicos e pneumáticos
 - Tanto os atuadores hidráulicos quanto os pneumáticos são acionados por fluidos em movimento. No primeiro caso, o fluido é geralmente óleo pressurizado e no segundo caso, o fluido é ar comprimido.
 - A operação desses acionamentos é semelhante, exceto em sua capacidade para conter a pressão do fluido. Os sistemas pneumáticos operam tipicamente a 100 lb/in² (68,96 N/cm²) e os sistemas hidráulicos de 100 a 3000 lb/in² (2068,8 N/cm²).
 - Podem ter a forma de cilindros lineares para gerar os movimentos lineares ou cilindros rotativos para proporcionar deslocamentos angulares.

Sensores e Atuadores

- Atuadores hidráulicos e pneumáticos



- Cilindro linear e cilindro rotativo

Sensores e Atuadores

- Atuadores hidráulicos e pneumáticos





Sensores e Atuadores

- Atuadores hidráulicos e pneumáticos
 - Ambos são conectados a válvulas direcionais (pré-atuadores), que gerenciam a direção do deslocamento do fluido nos atuadores, a partir de sinais gerados por uma unidade de controle.
 - O custo das válvulas direcionais de alto desempenho ainda é muito elevado.



Sensores e Atuadores

- Atuadores hidráulicos
 - Permitem a implementação de controle contínuo e preciso de posicionamento e velocidade, devido à incompressibilidade do fluido (óleo hidráulico), resultado numa elevada rigidez.
 - Porém, isso torna instável o controle da força.
 - Outra característica é a elevada relação entre a potência mecânica transmitida pelo atuador e seu peso, o que possibilita a construção de unidades compactas de alta potência.
 - Uma bomba fornece o óleo para o atuador através das válvulas direcionais.



Sensores e Atuadores

- Atuadores pneumáticos
 - Utilizados em robôs industriais que operam com movimentação de cargas entre posições bem definidas, limitadas por batentes mecânicos.
 - Devido à compressibilidade do fluido (ar comprimido) possuem baixa rigidez.
 - Permite que sejam obtidas operações suaves, porém com pouco precisas quanto ao controle de posicionamento entre as posições-limites.
 - A natureza binária do movimento de cilindros pneumáticos (estendido ou retraído) implica em um controle simples e de baixo custo.



Sensores e Atuadores

- Atuadores pneumáticos
 - Utiliza um compressor para fornecer o ar comprimido ao atuador pneumático, através das válvulas direcionais.
 - Para correto funcionamento dos atuadores, recomenda-se a instalação de unidades de preparação (filtro, dreno, regulador de pressão, etc.) no circuito de ar comprimido, antes das válvulas direcionais.



Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - São os atuadores mais utilizados em robôs, principalmente os motores C.C. e os motores de passo.
 - Como vantagens, pode-se citar:
 - Grande variedade de fabricantes e modelos no mercado.
 - Motores elétricos, quando associados a sensores, podem ser empregados tanto pra o controle de força quando para o controle de posição do robô.
 - São mais fáceis de programar seus movimentos, já que podem ser controlados por sinais elétricos, permitindo a utilização de controladores de movimento.



Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores de corrente contínua (C.C.)
 - São compactos e geralmente mantêm o valor de torque numa faixa constante para grandes variações de velocidade.
 - Porém, necessitam de sensores de posição e de velocidade, para controle de posicionamento em malha fechada (servocontrole).
 - A máxima eficiência mecânica desses motores normalmente ocorre a velocidades elevadas, por isso é comum o uso de redutores.



Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores de corrente contínua (C.C.)
 - Com o uso de redutores se obtém a redução da velocidade e, conseqüentemente, o aumento de torque necessário à transmissão de potência mecânica.
 - Atualmente, os fabricantes de robôs tem utilizado os motores C.C. sem escovas (*brushless*), devido à redução da manutenção, decorrente da diminuição de desgastes e otimização da dissipação térmica entre o rotor e o estator.

Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores de corrente contínua (C.C.)





Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores de passo
 - É essencialmente um motor C.C., mas com um controle sobre o deslocamento do eixo. Cada deslocamento angular é chamado de passo.
 - Podem funcionar em controle de malha aberta, em posição e velocidade, e são facilmente interligados a unidades de controle simples e de baixo custo.
 - Entretanto, no motores de passo a curva de torque decresce com o aumento de velocidade e, em baixas velocidades, podem gerar vibrações mecânicas.
 - Em robótica, são mais empregados na movimentação de garras.

Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores de passo





Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores C.A.
 - Embora muito utilizado em varias aplicações industriais, somente recentemente os motores C.A. vem sendo empregados em projetos de manipuladores, principalmente os motores lineares.
 - Motores de indução lineares são motores que produzem um movimento de translação diretamente, sem necessitar de sistemas de engrenagens ou quaisquer outros mecanismos de conversão de movimento rotativo em movimento de translação.

Sensores e Atuadores

- Atuadores eletromagnéticos
 - Motores C.A.





Sensores e Atuadores

- Comparação entre os atuadores

HIDRÁULICOS	PNEUMÁTICOS	ELETROMAGNÉTICOS
<ul style="list-style-type: none">- Transporte de cargas pesadas.- De média para alta precisão no controle de posição e velocidade.	<ul style="list-style-type: none">- Transporte de cargas pequenas e medias.- Altas velocidades.- Baixa precisão.- Baixo custo.	<ul style="list-style-type: none">- Transporte de cargas pequenas e médias.- Alta precisão.- Ocupa pouco espaço.

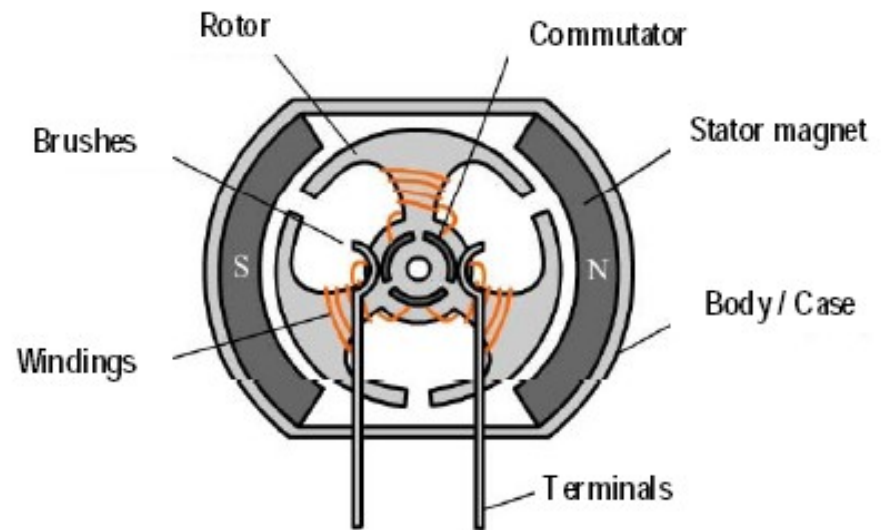
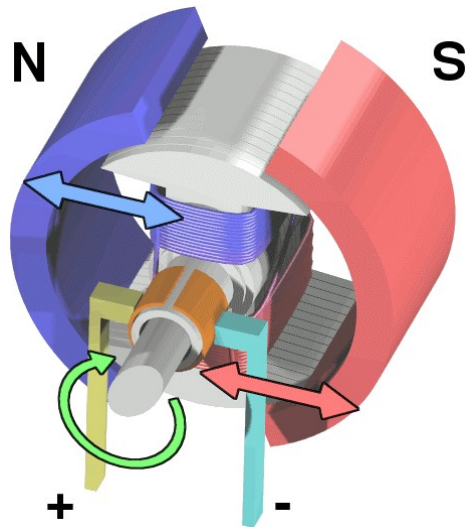


Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.
 - Motores de corrente contínua consistem basicamente de um ímã permanente fixo (o estator) e uma bobina móvel montada sobre um núcleo de ferro (o rotor).
 - Por atração ou repulsão de pólos magnéticos, um torque atua no rotor fazendo-o girar.
 - Conforme o motor gira, a bobina do rotor é energizada e deenergizada pelo conjunto escova-comutador.
 - Invertendo a alimentação do motor, a corrente inverte o sentido e o motor muda a direção da rotação.
 - A velocidade e o torque no motor dependem da intensidade da corrente através do mesmo.

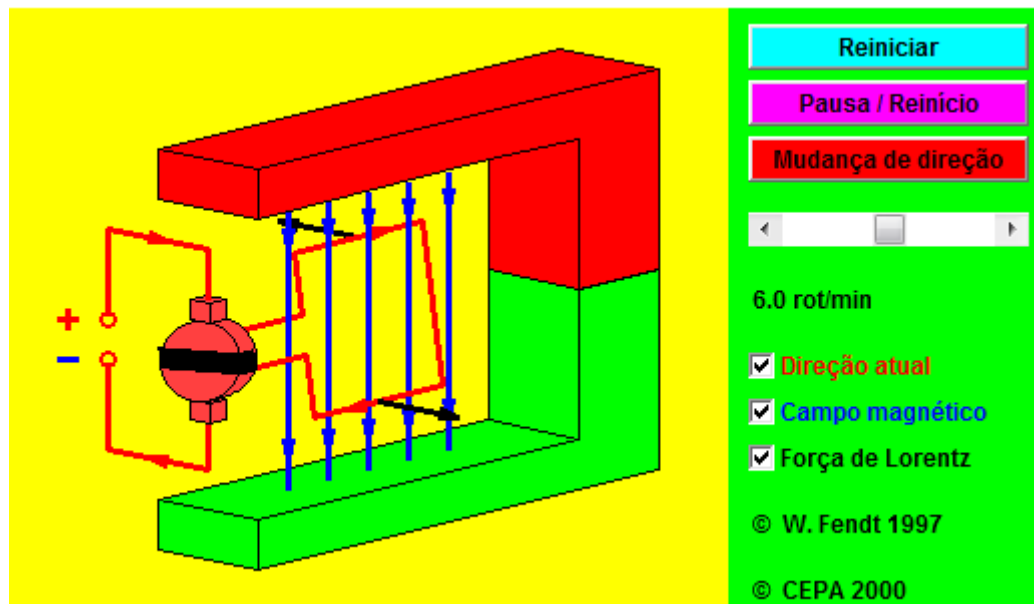
Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.



Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.



- Simulador de um motor C.C.



Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.
 - O ajuste da corrente no motor pode ser obtido pelo controle da tensão aplicada.
 - O controle linear da tensão no motor empregando, por exemplo, um transistor bipolar não é eficiente devido às grandes perdas por dissipação de calor.
 - Uma técnica mais eficiente é o controle não-linear por PWM (*Pulse Width Modulation*).
 - Essa técnica pode ser facilmente implementada por sistemas digitais, utilizando um microprocessador ou um microcontrolador para gerar o sinal PWM.

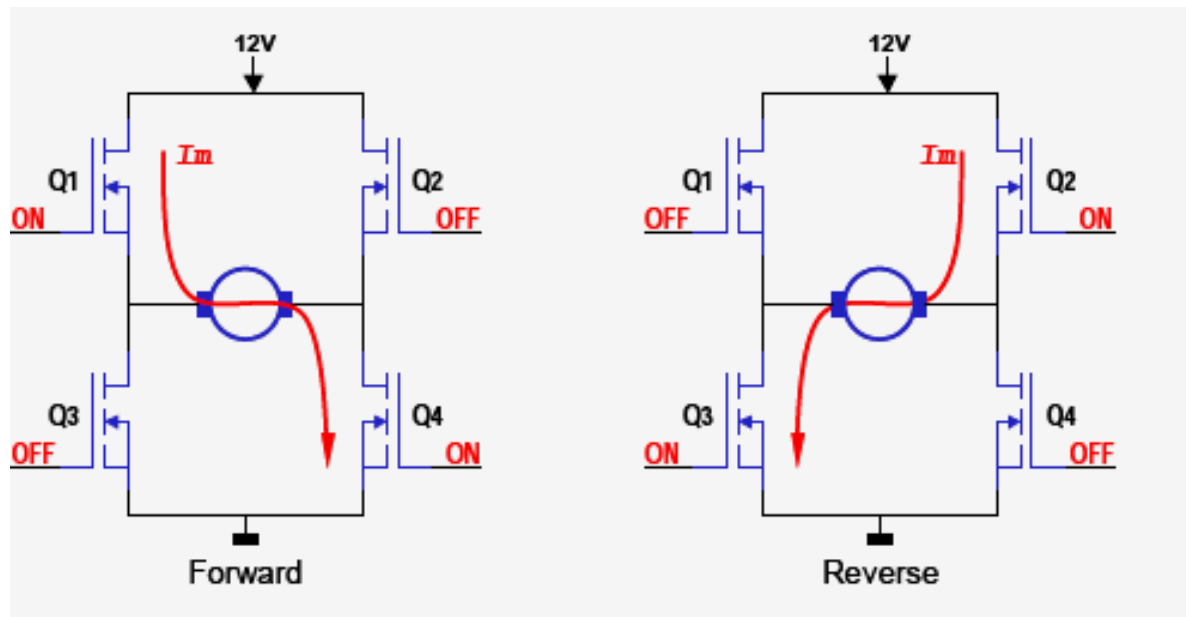


Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.
 - Controle da direção de rotação
 - A mudança do sentido de rotação é obtido empregando-se uma ponte-H de transistores.
 - Normalmente se empregam transistores tipo MOSFET, para minimizar a dissipação de potencia.
 - Os transistores são controlados de tal forma que apenas dois transistores nos ramos opostos da ponte conduzam de cada vez. A mudança de rotação é obtida invertendo o par de transistor que conduz.
 - O motor também pode ser 'freado' pela ponte, fazendo os dois transistores superiores ou os dois

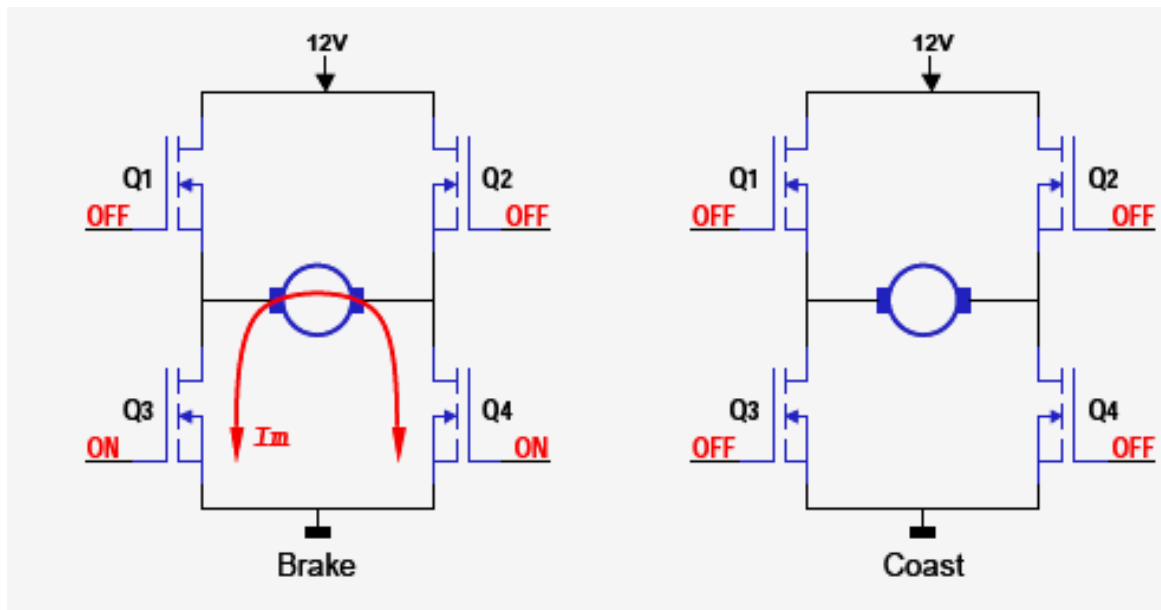
Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.



Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.



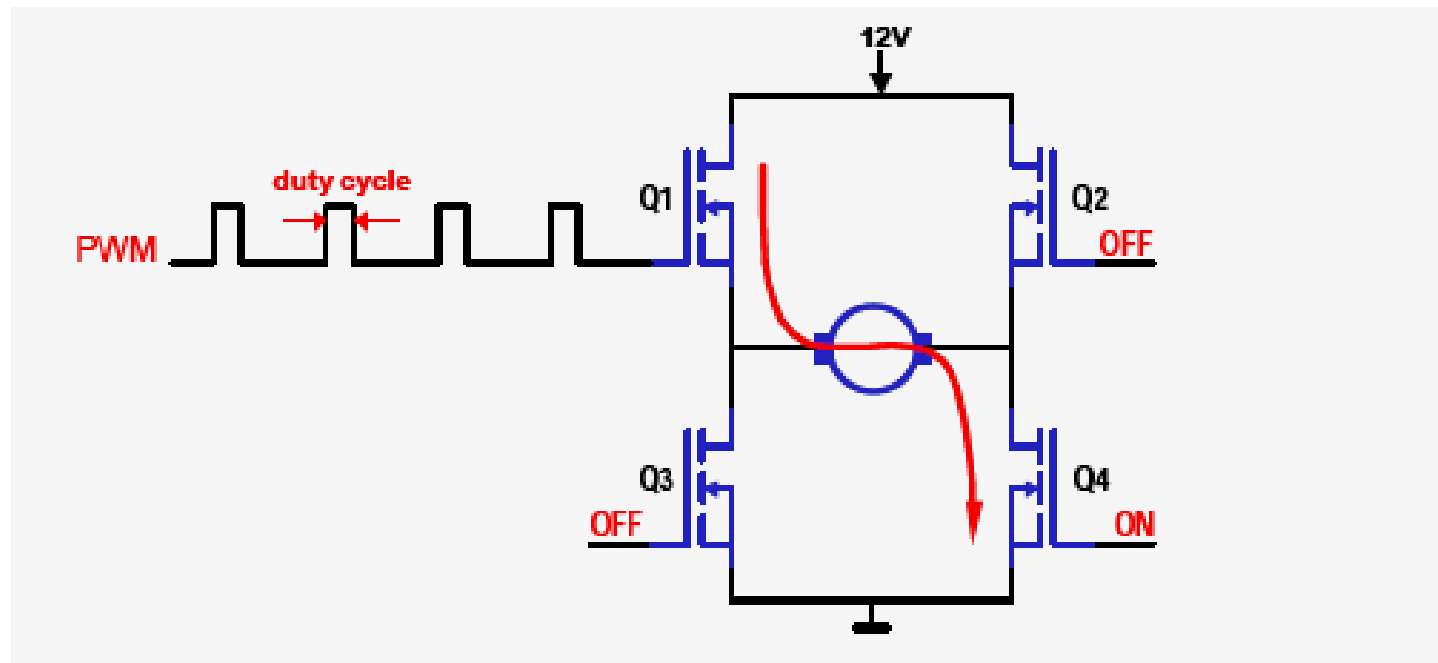


Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.
 - Controle da velocidade
 - Como a velocidade do motor é proporcional à tensão, varia-se a tensão aplicada no motor pela técnica PWM.
 - A técnica consiste em gerar um sinal retangular, de frequência fixa, mas de ciclo ativo variável.
 - A tensão média no motor é proporcional ao ciclo ativo do sinal PWM.
 - O sinal PWM é aplicado nos transistores da ponte-H, determinando o tempo de condução dos mesmos.

Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.
 - Controle da velocidade





Sensores e Atuadores

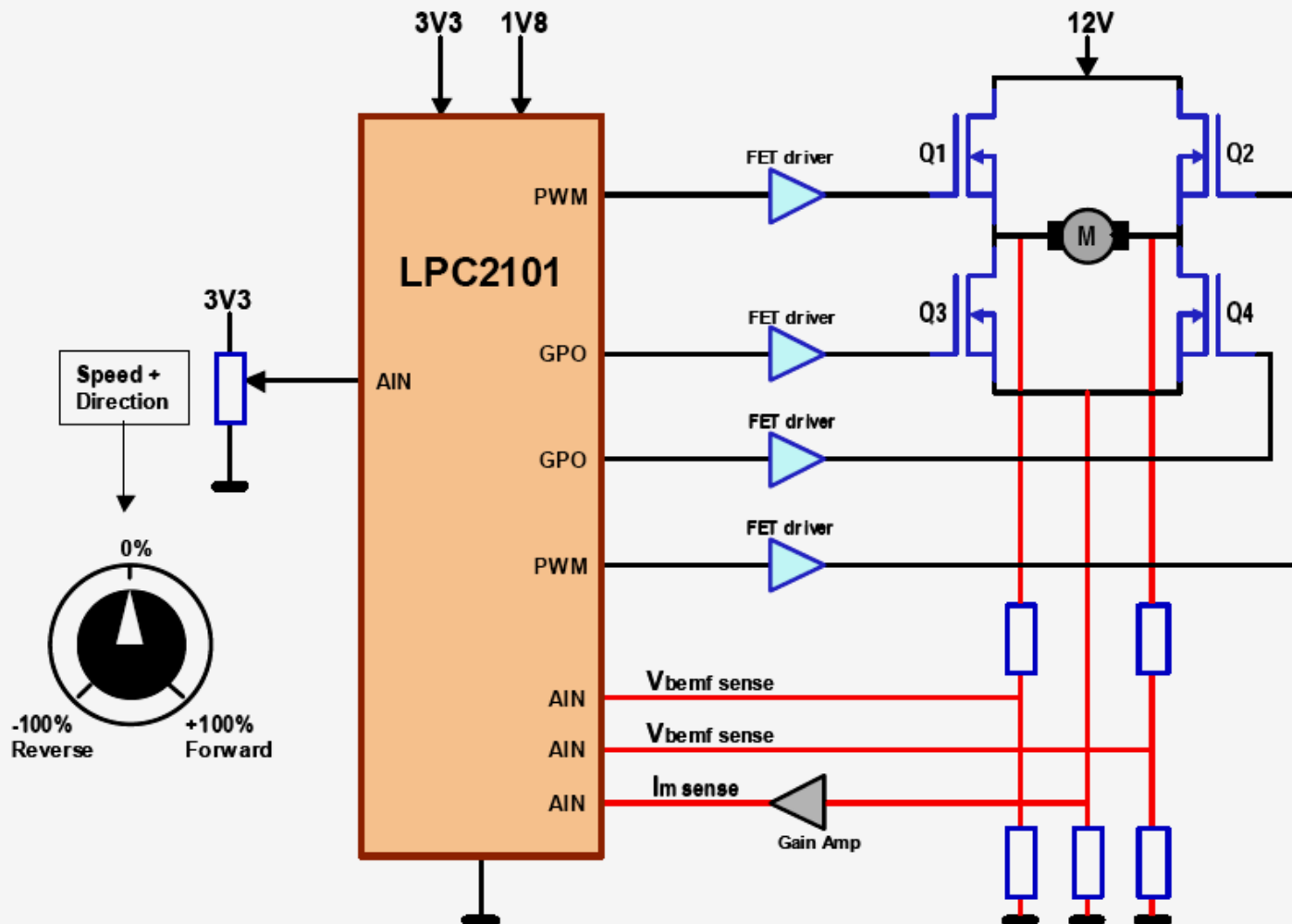
- Acionamento de Motores C.C.
 - Realimentação do motor
 - Sensor de corrente
 - Uma forma simples e de baixo custo para monitorar a corrente no motor é inserir um resistor entre a ponte-H e o terra. A tensão nesse resistor será proporcional a corrente no motor. Essa corrente passa por um conversor A/D, que permite a medida do valor digital pelo microcontrolador.



Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores C.C.
 - Realimentação do motor
 - Sensor de velocidade
 - Um forma simples para monitorar a velocidade do motor e sem utilizar sensor, é através da medição da força contra-eletromotriz produzida pelo motor (tensão reversa). A velocidade é proporcional à força contra-eletromotriz, que pode ser medida na ponte-H, nos instantes em que os MOSFETS estão em corte.

Sensores e Atuadores



- Ex. de acionamento de motor CC com CI dedicado

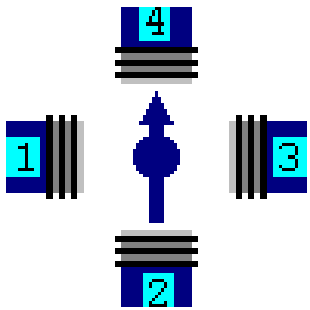


Sensores e Atuadores

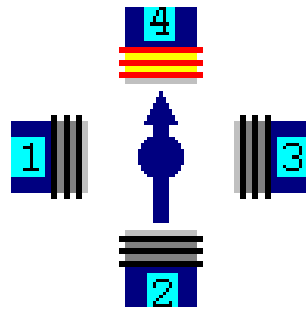
- Acionamento de Motores de Passo
 - Motores de passo são basicamente motores CC sem escovas, que acionado por pulsos elétricos, produzem um movimento discreto mecânico.
 - O eixo do motor de passo gira em incrementos discretos (passos) quando pulsos elétricos são aplicados na sequência apropriada.
 - A velocidade de rotação do eixo do motor é proporcional à frequência dos pulsos aplicados.
 - Motores de passo possuem um número fixo de pólos magnéticos que determinam o número de passos por revolução. Os mais comuns possuem de 3 a 200 passos/revolução

Sensores e Atuadores

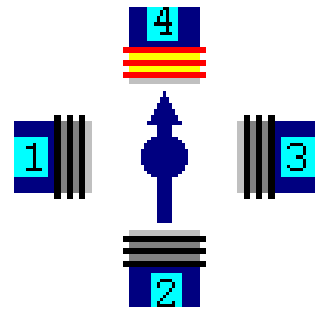
- Acionamento de Motores de Passo
 - Estados do motor



- Motor
parado
deenergizado



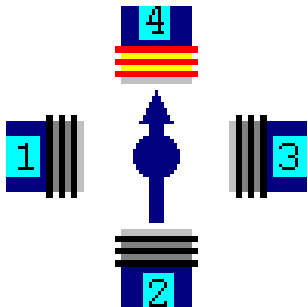
- Motor
parado
energizado



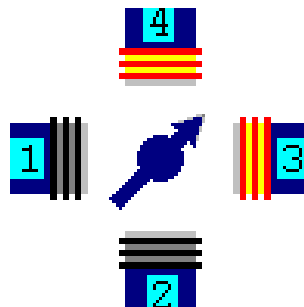
- Motor em
movimento

Sensores e Atuadores

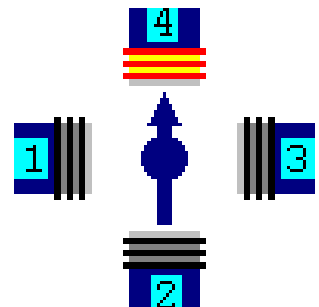
- Acionamento de Motores de Passo
 - Modos de acionamento do motor



- Passo completo
(*full step*) 1:
- . Maior velocidade
- . Menor torque
- . Menor precisão



- Passo completo
(*full step*) 2:
- . Menor velocidade
- . Maior torque
- . Menor precisão



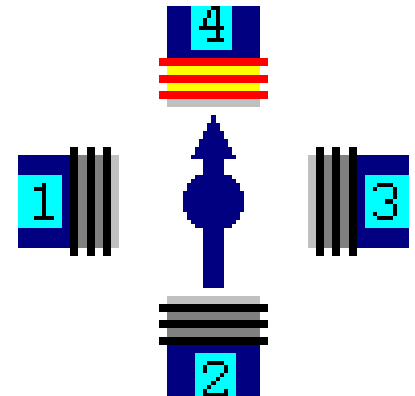
- Meio passo (*half step*):
- . Menor velocidade
- . Maior torque
- . Maior precisão

Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Sequência para controle do motor
 - Passo completo 1

Passo	B4	B3	B2	B1
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

(0 = OFF ; 1 = ON)

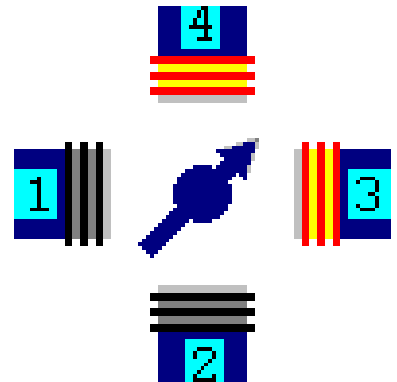


Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Sequência para controle do motor
 - Passo completo 2

Passo	B4	B3	B2	B1
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

(0 = OFF ; 1 = ON)

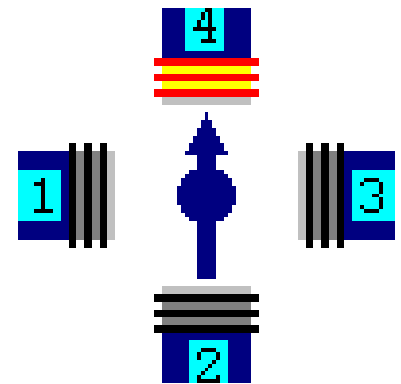


Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Sequência para controle do motor
 - Meio passo

Passo	B4	B3	B2	B1
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

(0 = OFF ; 1 = ON)





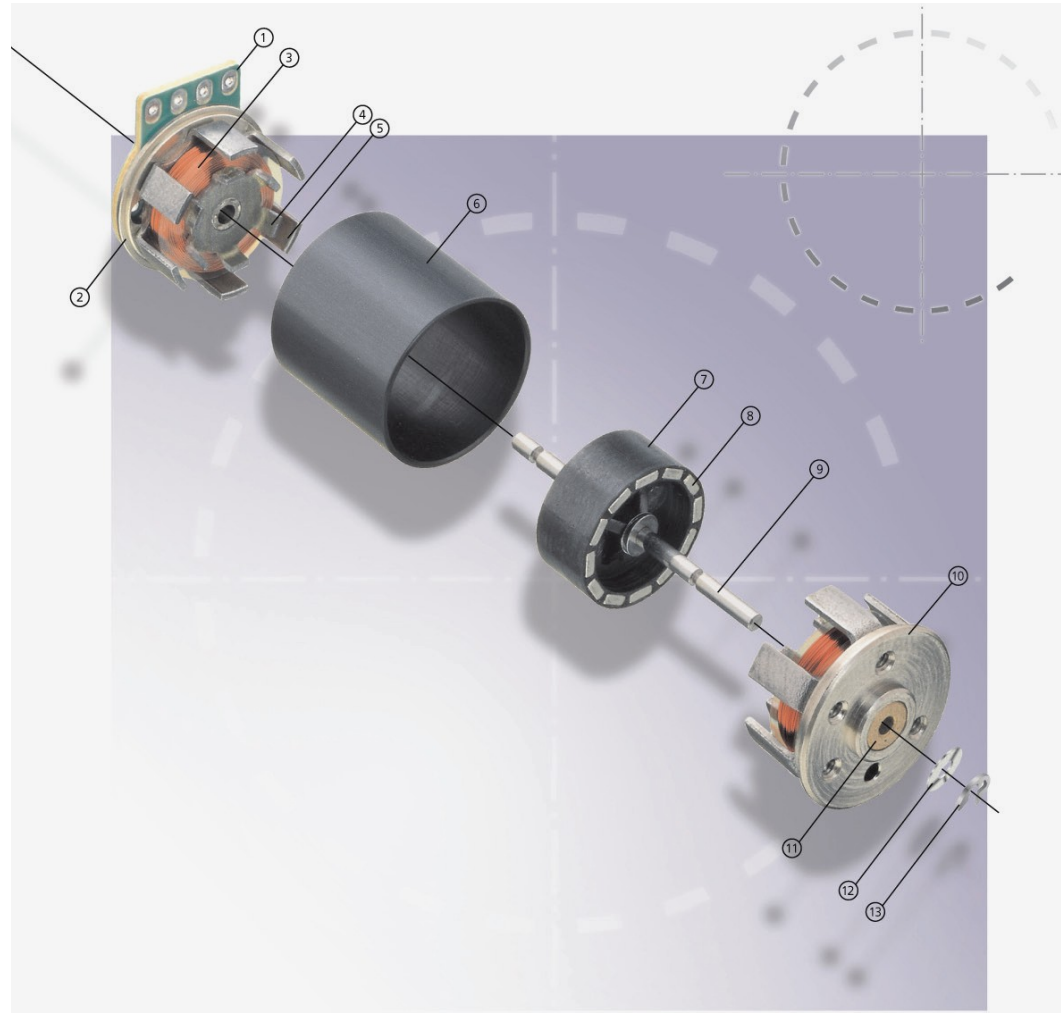
Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Tipos de motor de passo
 - Relutância variável: constituído por um rotor de ferro, com múltiplos dentes, e um estator com enrolamentos.
 - Ímã permanente: constituído por um rotor com ímãs permanentes e não possui dentes.
 - Híbrido: constituído por um rotor multi-dentado como no motor de relutância variável e contém um ímã permanente ao redor do seu eixo
 - Por combinar as melhores características dos motores de ímã permanente e de relutância variável, o motor híbrido possui elevados torques e alta velocidade.

Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo

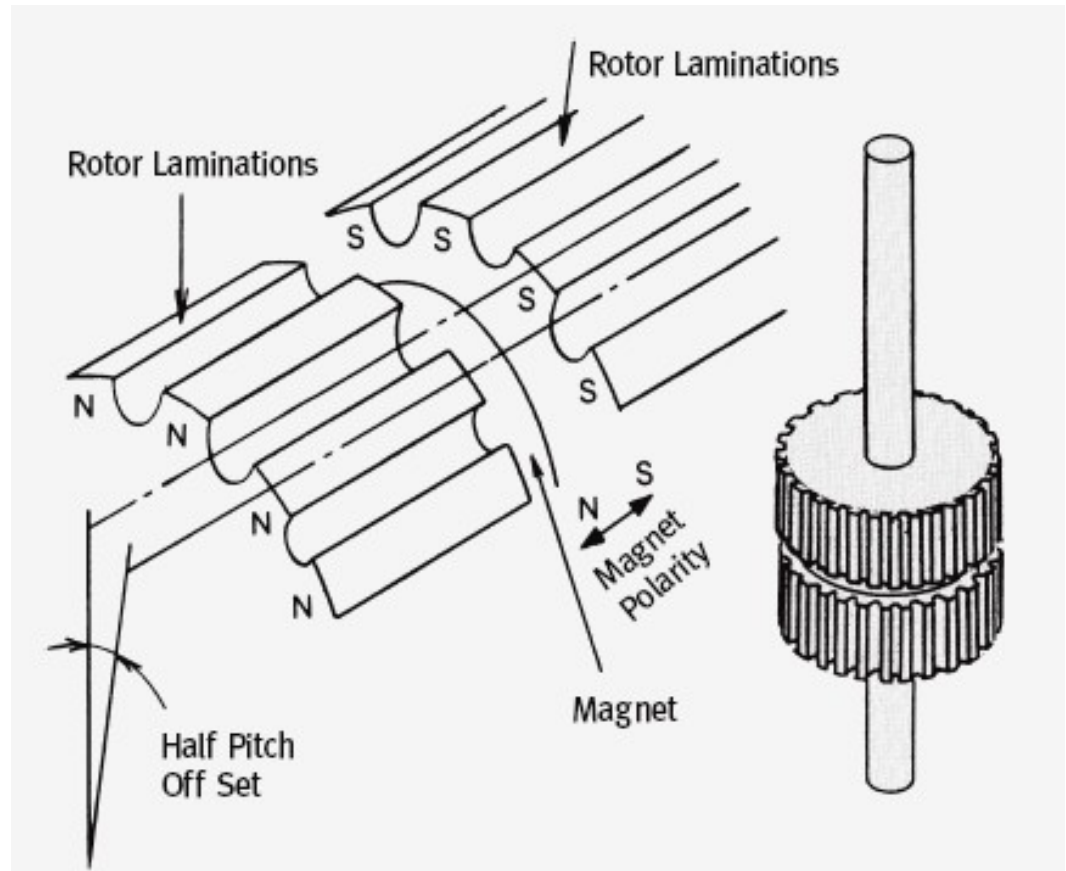
- Vista explodida de um motor de passo de ímã permanente.



Sensores e Atuadores

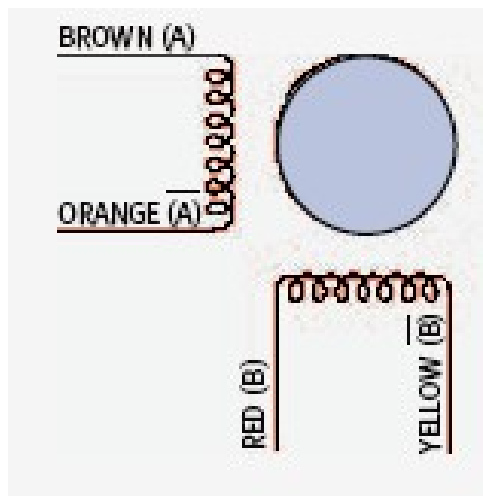
- Acionamento de Motores de Passo

- Detalhes da construção do rotor um motor de passo híbrido

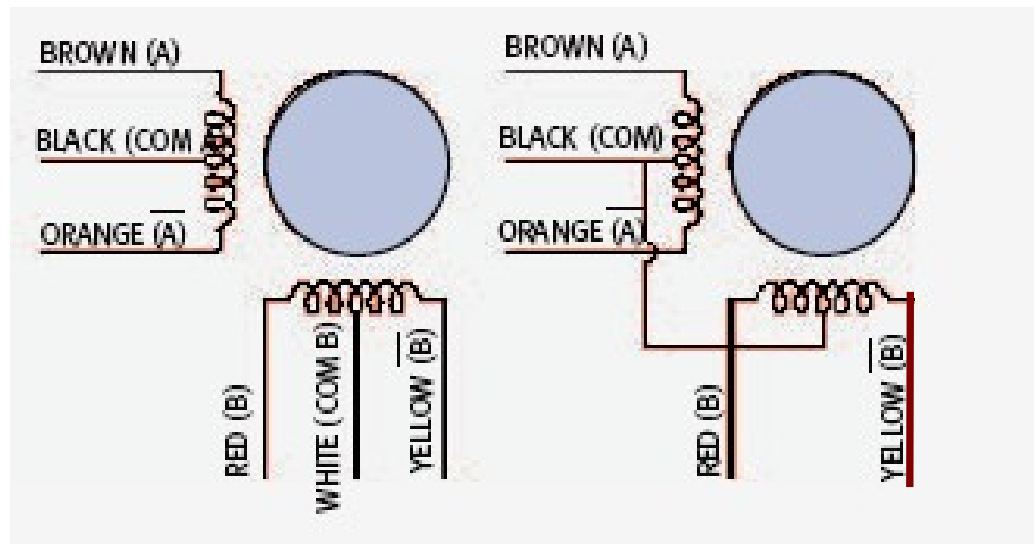


Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Número de fases do motor de passo



- Bipolar: duas fases, dois fios.



- Unipolar: quatro fases, cinco ou 6 fios.



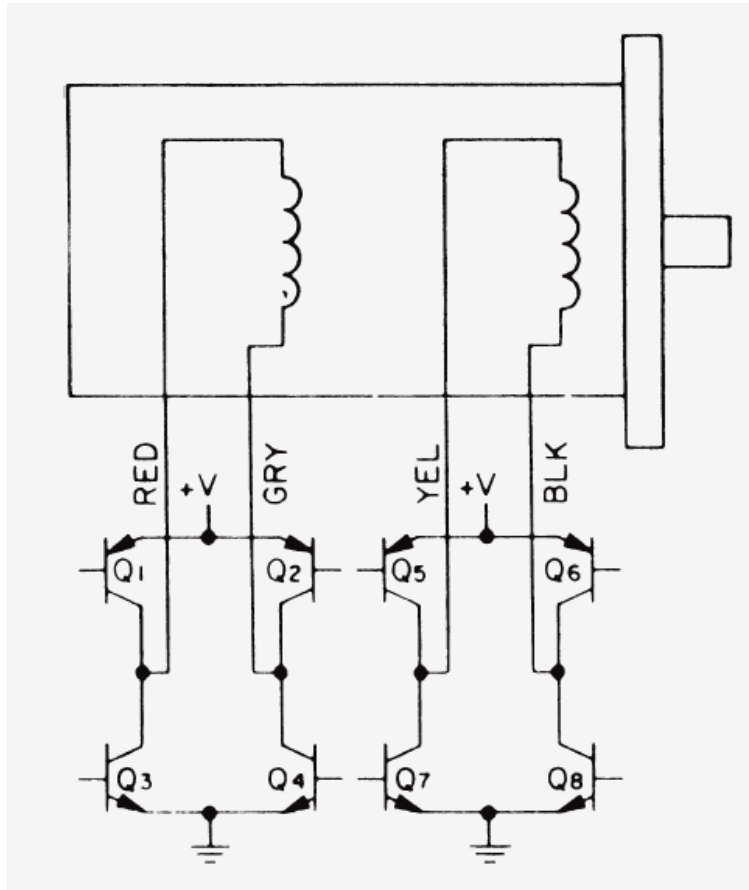
Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento
 - O motor de passo exige um circuito de acionamento constituído basicamente por um gerador de pulsos e um “*driver*” de potência.
 - O gerador de pulsos (um contador binário) excita o *driver* de potência, que por sua vez aciona as bobinas do motor.
 - O número e a taxa de pulsos determina a velocidade, a direção e a quantidade de rotação do motor.
 - A seleção do *driver* de potência é um fator crítico para a performance do motor de passo.

Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento

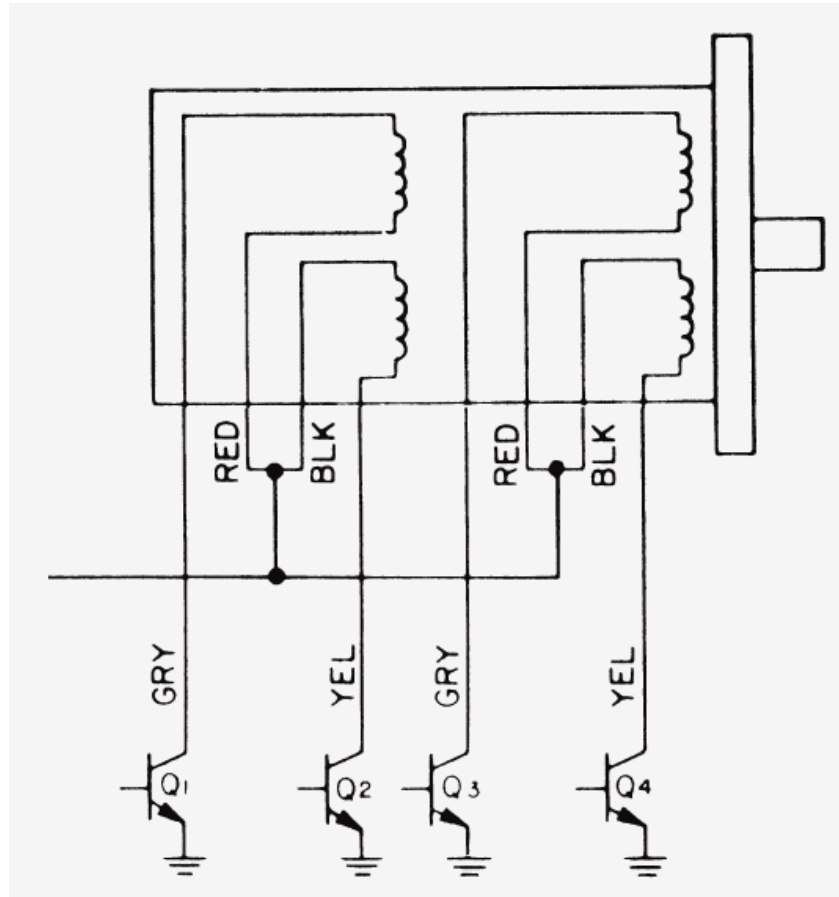
- *Driver* para motor de passo bipolar.



Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento

- *Driver* para motor de passo unipolar.



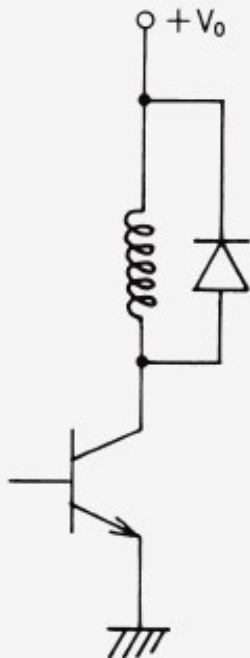


Sensores e Atuadores

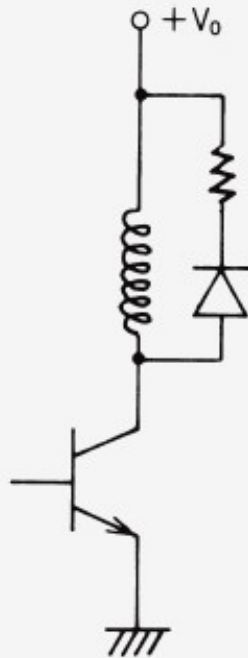
- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento
 - O *driver* de potência deve possuir proteção contra transientes de tensão reversa produzidos no motor.
 - Existem vários métodos de proteção que podem ser empregados, tais como:
 - a) Método do diodo.
 - b) Método do diodo + resistor.
 - c) Método do diodo + zener.
 - d) Método do capacitor.

Sensores e Atuadores

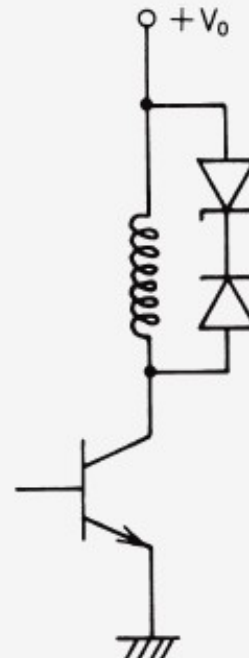
- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento



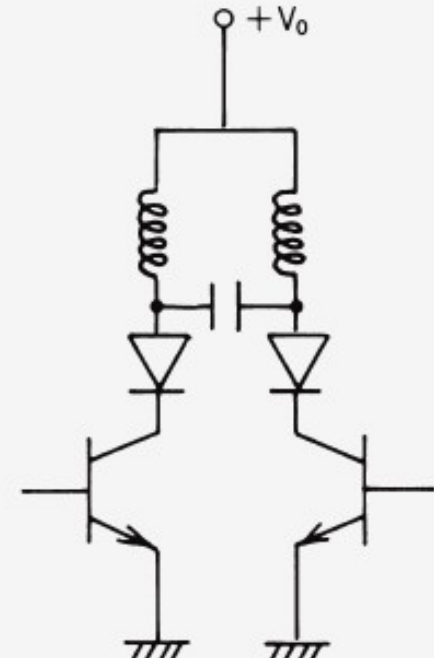
(a)



(b)



(c)



(d)

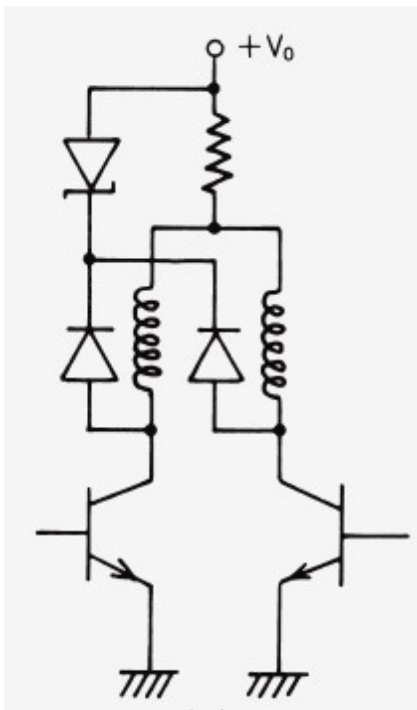


Sensores e Atuadores

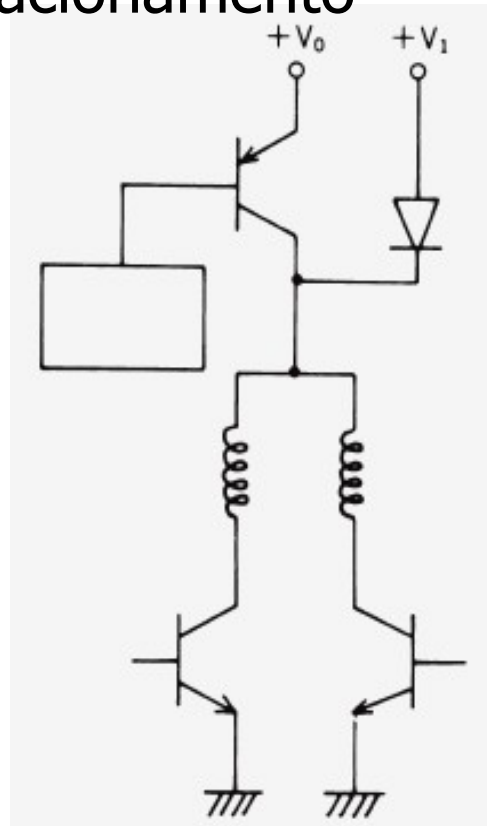
- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento
 - Em motores de passo acionado com tensão fixa, o torque diminui com o aumento da taxa ou frequência do passo. Isso ocorre devido à limitação da taxa de crescimento da corrente pela constante de tempo (L/R) do enrolamento.
 - Existem, basicamente, dois métodos para corrigir essa deficiência:
 - a) Reduzir a constante de tempo pela inclusão de uma resistência em série.
 - b) Aumentar a tensão de acionamento, o que exige um circuito de limitação de corrente.

Sensores e Atuadores

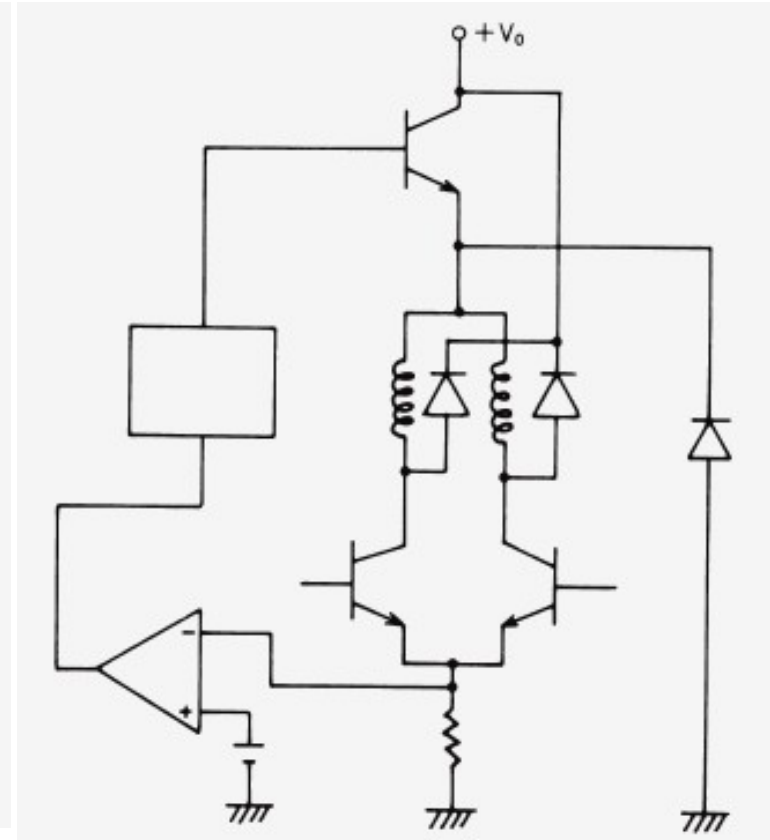
- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento



- Método da inclusão de resistência em série .



- Método do aumento da tensão.

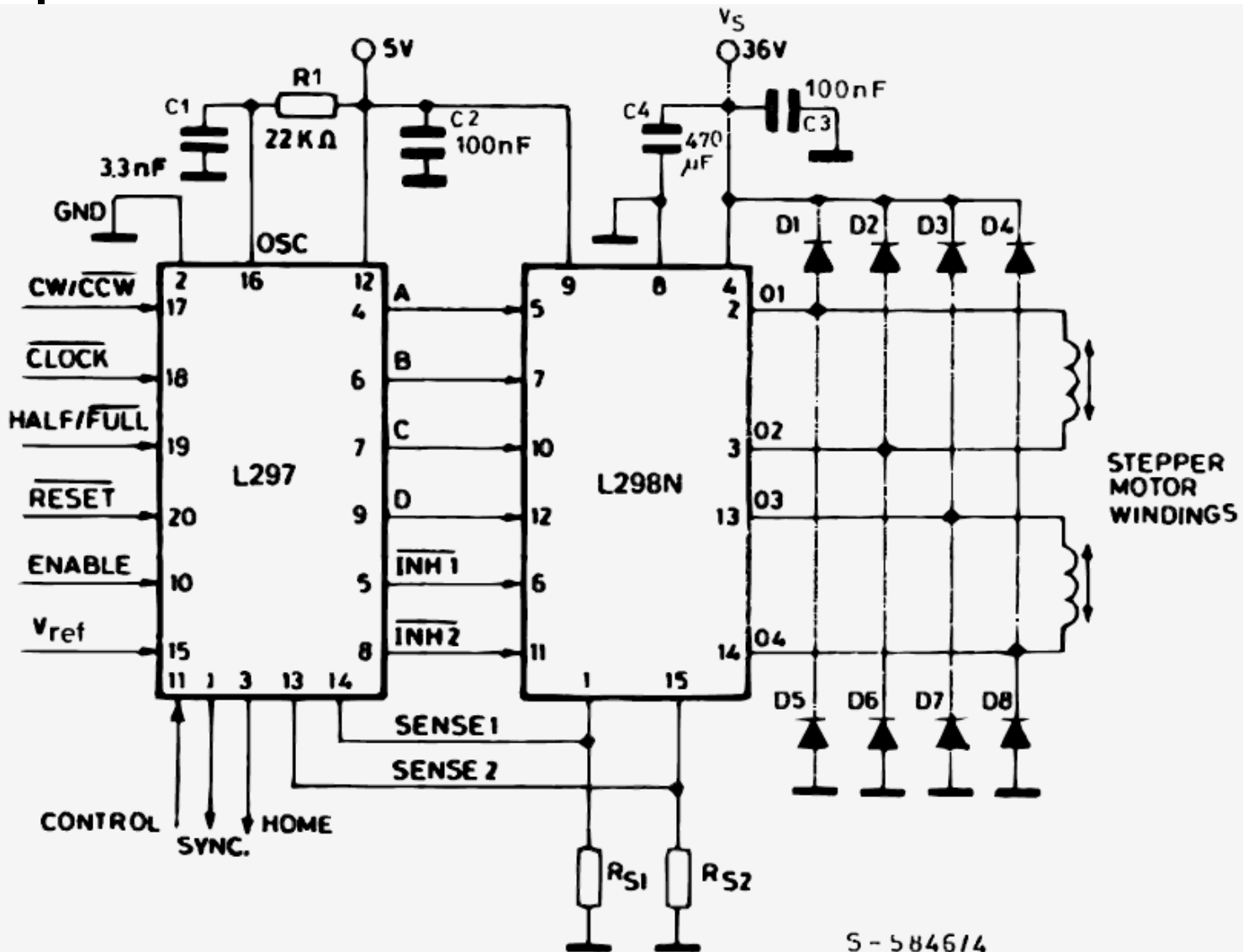




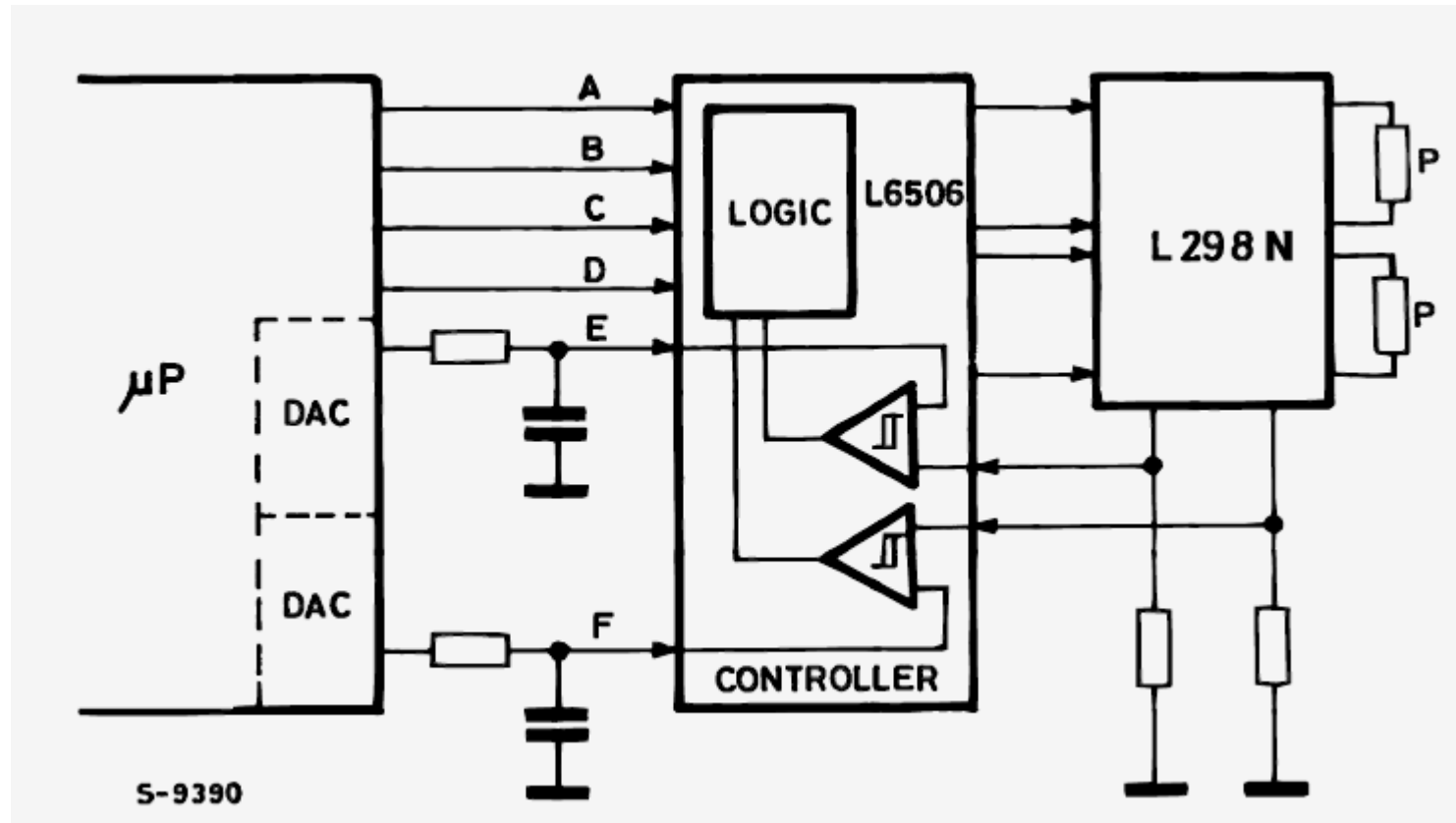
Sensores e Atuadores

- Acionamento de Motores de Passo
 - Circuito para acionamento
 - Existem no mercado CIs dedicados para acionamento de motores de passos.
 - Esses CIs simplificam drasticamente o acionamento do motor, evitando-se a construção de uma lógica para geração dos pulsos e do *driver* de potência.
 - Um exemplo é o par de CIs L297 e L298N, da SGS-THOMSON.
 - O CI L297 é um controlador de motor e o CI L298N é um *driver* de potência.

Sensores e Atuadores



Sensores e Atuadores



- Interfaceamento do controlador do motor com um microprocessador.