



Treinamento de Motores de Passo, Drivers e Introdução a Servo Acionamentos

Setembro 2009

SUMÁRIO

1. Introdução.....	03
2. Princípio de Funcionamento.....	03
2.1 – Controle de Malha Fechada.....	03
2.2 – Aplicações dos Motores de Passo.....	03
2.3 – Vantagens.....	04
2.4 – Limitações.....	04
2.5 – Estados de Operação.....	05
2.6 - Configurações do Motor de Passo.....	06
2.6.1 – Motores de Passo Unipolar (6 ou 8 fios).....	06
2.6.2 – Motores de Passo Bipolar (4 fios).....	06
2.7 – Classificação dos Motores de Passo.....	07
3. Drivers de Motores de Passo.....	07
3.1- Classificação.....	07
3.1.1 – Driver Unipolar.....	08
3.1.2 – Driver Bipolar.....	08
3.2 – Tipos de Acionamento.....	08
3.3 – Modos de Ligação dos Motores de Passo.....	09
3.4 – Diferenças entre Ligação Série e Paralela.....	11
4. Introdução aos Servo Acionamentos AC.....	12
4.1 – Servo drivers.....	12
4.2 – Aplicações com Servo Acionamentos.....	13
4.3 – Comparativo entre Servo motores e Motores de Passo.....	13
5. Controladores.....	14
5.1 – Controle de Motor de Passo Via Porta Paralela do PC.....	14
5.1.1 – Procedimentos para a Inicialização do Software.....	14
5.1.2 – Configurações Básicas.....	14
5.1.3 – Parametrização do Movimento.....	15
5.2 – Outros Tipos de Controladores.....	15
6. Dimensionamento de Motores de Passo e Servo Motores.....	17
6.1 – Transmissão Mecânica Acionada por Fuso e Guia.....	17
6.2 – Transmissão Mecânica por Polia e Correia.....	19
6.3 – Transmissão por Relação de Engrenagens.....	20
6.4 – Verificação do torque Requerido pelo Motor.....	22
6.5 – Cálculo do Torque Médio ou (rms).....	23
7. Aplicação dos Motores de passo e Servo Motores.....	24
8. Bibliografia.....	27

1. Introdução

Nos últimos anos a automação dos processos de fabricação tem recebido um grande impulso com o desenvolvimento da microeletrônica digital e com a aplicação dessa tecnologia no controle de acionadores. A automação é hoje, mais que uma ferramenta de apoio, fator indispensável para a qualidade da operação industrial e comercial. Existe, particularmente, uma classe de motores elétricos muito utilizados em automação, pois permite controle de posição e de velocidade com certa facilidade. Esses motores são denominados motores de passo.

2. Princípio de Funcionamento

O motor de passo é um dispositivo atuador incremental que realiza movimentos angulares discretos. Dessa forma, é razoável tratá-los como atuadores digitais, cujo movimento é resposta a um pulso de entrada. Deve-se lembrar que, da mesma forma que um motor elétrico convencional, o motor de passo também é um atuador eletromagnético que converte energia eletromagnética em trabalho mecânico. Assim, a cada pulso recebido pela unidade de controle o eixo do motor gira um determinado ângulo, denominado ângulo de passo do motor.

O fato da magnitude do ângulo de passo ser constante faz com que o motor seja de grande utilidade em aplicações relacionadas a posicionamento, uma vez que, caso a operação se dê dentro dos limites de trabalho do motor, não é necessário monitorar a posição do seu eixo a cada instante, o que caracteriza o seu controle como sendo de malha aberta.

2.1 Controle de Malha Aberta

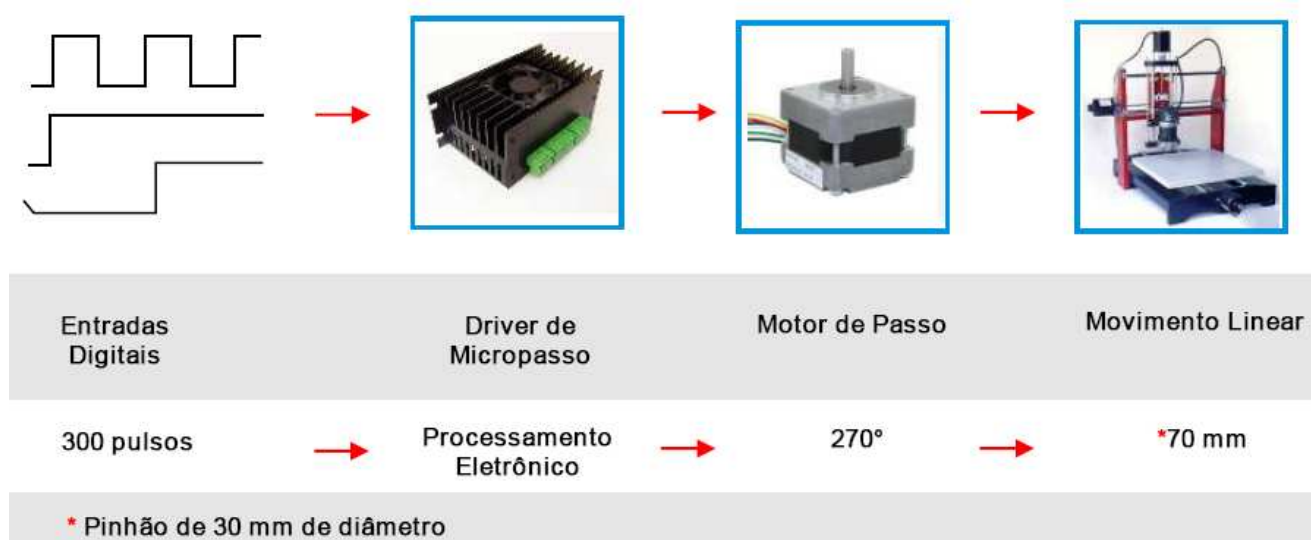


Fig 1. Controle em malha aberta

2.2 Aplicações dos Motores de passo

Os motores de passo são amplamente usados nas indústrias de automação industrial, instrumentação, máquinas CNC, impressoras industriais, máquinas de embalagens, forno de difusão, iluminação de palcos, máquinas etiquetadoras, etc, ideais para aplicações que requerem baixas e médias velocidades

2.3 Vantagens

Os motores de passo podem ser controlados por sinais digitais que podem ser gerados de diversas formas por inúmeros controladores; são motores compactos que podem apresentar excelentes torques; o controle pode ser feito por malha aberta, não necessitando de sistemas de controle ou sensores para posicionamento como encoders, resolvers, outros..Possuem excelente custo benefício.

2.4 Limitações

Um dos principais inconvenientes da atuação por motor de passo é a trepidação característica que ocorre em algumas velocidades. Essa trepidação deve-se ao fato do motor de passo ser um atuador discreto, o que torna o torque em seu eixo pulsante com a frequência do trem de passos. No caso dessa frequência aproximar-se de uma das frequências naturais de vibração do conjunto, haverá sua excitação e surge a conhecida trepidação (ressonância). Várias formas de atenuar esta trepidação têm sido reportadas na literatura incluindo-se amortecimento mecânico, amortecimento eletrônico, utilização de micropassos, etc. Deve-se registrar que, em geral, os resultados são apenas razoáveis.

Outra limitação dos motores de passo é a perda de torque conforme aumentam-se a frequência de pulsos ou PPS (Passos por segundo), o gráfico da fig 2 abaixo apresenta uma curva típica de torque x PPS de um motor de passo.

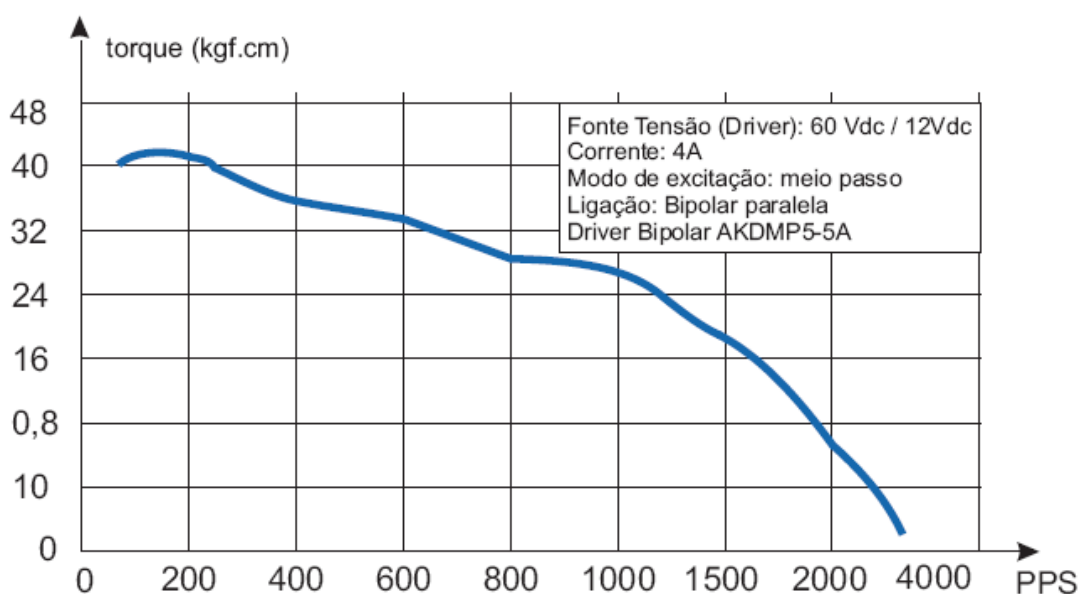


Fig.02 –Exemplo do gráfico de desempenho do motor de passo

2.5 Estados de Operação

O motor de passo possui três estados de operação:

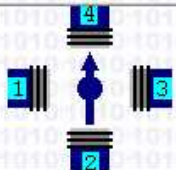
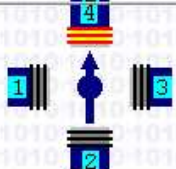
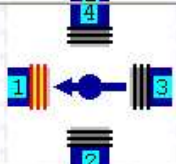
	<p>Desligado: Não há alimentação suprindo o motor. Nesse caso não existe consumo de energia, e todas as bobinas estão desligadas. Na maioria dos circuitos este estado ocorre quando a fonte de alimentação é desligada.</p>
	<p>Parado: Pelo menos uma das bobinas fica energizada e o motor permanece estático num determinado sentido. Nesse caso há consumo de energia, mas em compensação o motor mantém-se alinhado numa posição fixa.</p>
	<p>Rodando: As bobinas são energizadas em intervalos de tempos determinados, impulsionando o motor a girar numa direção.</p>

Fig.03 – Estados de operação do motor de passo

Há três formas de acionamento do motor de passo utilizando um driver unipolar, ver item 2

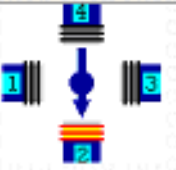

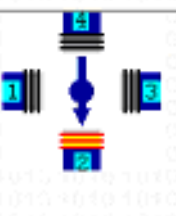
	<p>Passo completo 1 (Full-step) -Somente uma bobina é energizada a cada passo; -Menor torque; -Pouco consumo de energia; -Maior velocidade.</p>
	<p>Meio passo (Half-step) -Duas bobinas são energizadas a cada passo; -Maior torque; -Consome mais energia que o Passo completo 1; -Maior velocidade.</p>
	<p>Passo completo 2 (Full-step) -A combinação do passo completo1 e do passo completo 2 gera um efeito de meio passo; -Consome mais energia que os passo anteriores; -É muito mais preciso que os passos anteriores; -O torque é próximo ao do Passo completo 2; -A velocidade é menor que as dos passos anteriores.</p>

Fig.04 – Formas de acionamentos do motor de passo

A seguir apresentamos a sequência de fases unipolar para o acionamento do motor de passo Full step (passo completo 2)

PASSO	A	B	A'	B'	Branco	Preto
0	+	+			-	-
1		+	+		-	-
2			+	+	-	-
3	+			+	-	-

Fig.05 – Exemplo de sequencias de fases do motor de passo 6 ou 8 fios

2.6 Configuração dos Motores de Passo

2.6.1 Motor de Passo Unipolar (6 e 8 fios):

Os motores de passo unipolares possuem a seguinte configuração esquemática das bobinas.

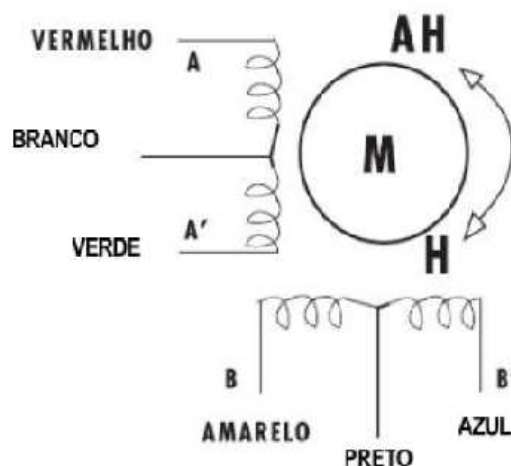


Fig.06 – Exemplo de configuração das bobinas de fase de um motor de passo de 6 fios

2.6.2 Motores de Passo Bipolar (4 fios)

Os motores de passo bipolares possuem as seguintes configurações:

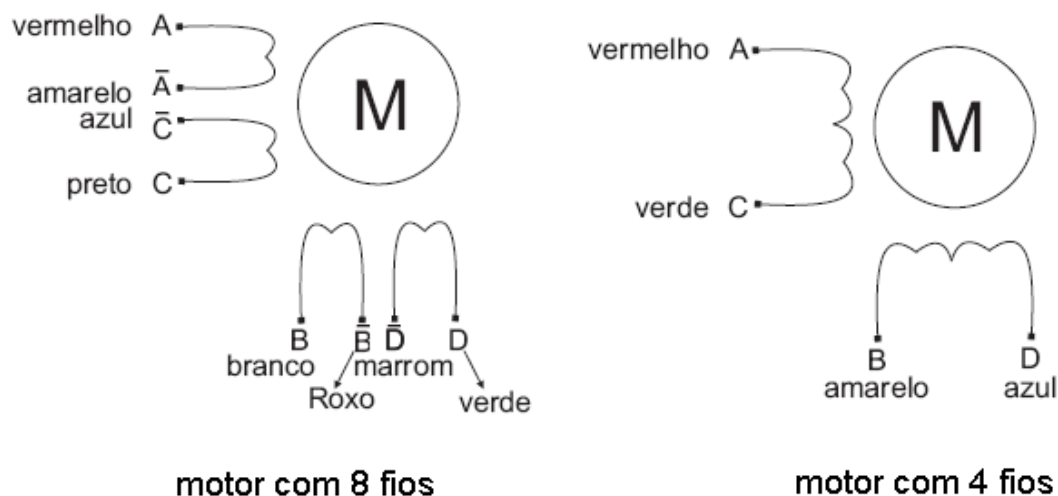


Fig 07 - Exemplo de configuração das bobinas de fase de um motor de passo de 8 e 4 fios respectivamente

Obs: A configuração das cores não seguem um padrão rígido.

2.7 Classificação dos 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 com 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.

3. Driver de Motor de Passo

Além do motor de passo em si, é necessário para a sua operação um dispositivo eletrônico denominado acionamento, que controla o chaveamento da corrente, que pode chegar a vários ampères, a partir de sinais lógicos (pulsos) recebidos como entrada.

Existem diversos tipos de Drivers de motores de passo, ou seja, cada driver possui uma configuração eletrônica diferente. As principais configurações são: Drivers unipolares e drivers bipolares.

3.1 Classificação:

- Driver Unipolar
- Driver Bipolar

3.1.1 Driver Unipolar

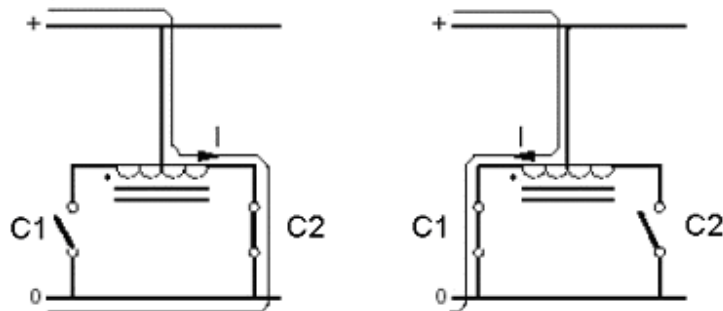


Fig. 08 – Esquema elétrico simplificado de um driver unipolar

Esta configuração possibilita a passagem de corrente pela metade das bobinas do motor a cada pulso elétrico nas chaves C1 e C2, a corrente não muda de sentido.

3.1.2 Driver Bipolar

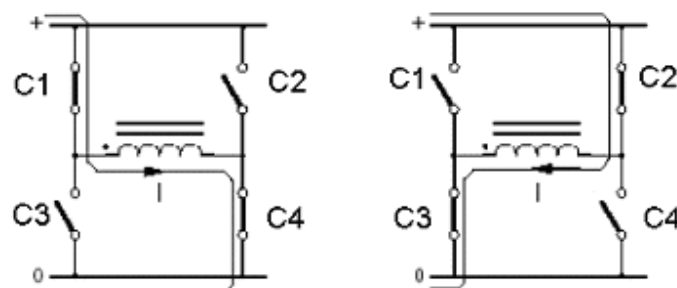


Fig. 09 – Esquema elétrico simplificado de um driver bipolar

A configuração ponte H acima, é um típico acionamento bipolar, esta configuração possibilita a passagem de corrente por toda a bobina do motor, acarretando em maior torque. A corrente muda de sentido a cada alternância de comando nas chaves C1, C2, C3 e C4.

3.2 Tipos de Acionamento:

- Passo / Direção
- Fase

O acionamento do tipo Passo / Direção, trabalha com apenas dois sinais de controle, o sinal de passo e o sinal de direção.

O sinal de passo, é um sinal digital do tipo trem de pulsos, que deverá ter amplitude e frequência limitadas conforme modelo do driver, ver especificações no manual. Conforme varia-se a frequência do trem de pulsos varia-se conseqüentemente a velocidade de rotação do motor de passo.

O sinal de direção (Dir), também deverá ser um sinal digital, onde sinal baixo, sentido de rotação do eixo é horário e sinal alto (5V) sentido de rotação do eixo do motor é anti-horário.

A maioria dos drivers de motor de passo do tipo Passo / Dir, possuem uma terceira entrada de habilitação (Livre), ou seja esta entrada, como as outras, é uma entrada digital ,onde um sinal de nível baixo faz a interrupção imediata do movimento, poderá ser usada como parada de emergência ou entrada para uma chave fim de curso.

Os Drivers de motor de passo Akiyama, são drivers industriais, bipolares, para motores de passo de duas fases, foram construídos para as aplicações mais diversas, onde se deseja precisão, velocidade e robustez , possuem entradas digitais de Passo / Dir e Livre com isolamento óptico; não de micro passo, com capacidade de divisão do passo ($1,8^\circ$) em 2 , 5, 10, 20 e 40 vezes, ou seja, 400, 1000, 2000, 4000 e 8000 PPR (passos por revolução); possuem saídas de corrente selecionáveis, conforme o modelo, possibilitando o máximo rendimento aos motores de passo, fonte de corrente; frequência máxima de chaveamento de 50 Khz; possuem proteção de sobre tensão e sobre corrente; reduzidas condições de ressonância entre outras.

3.3 Modo de Ligação dos motores de passo

Antes de iniciar qualquer procedimento de teste, consultar o manual do usuário.

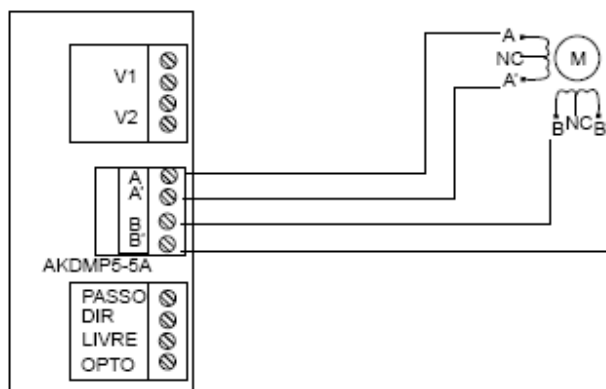
Existem três formas de ligar um motor de passo no driver bipolar, são as seguintes:

Ligação Unipolar

Ligação Bipolar Série

Ligação Bipolar Paralela

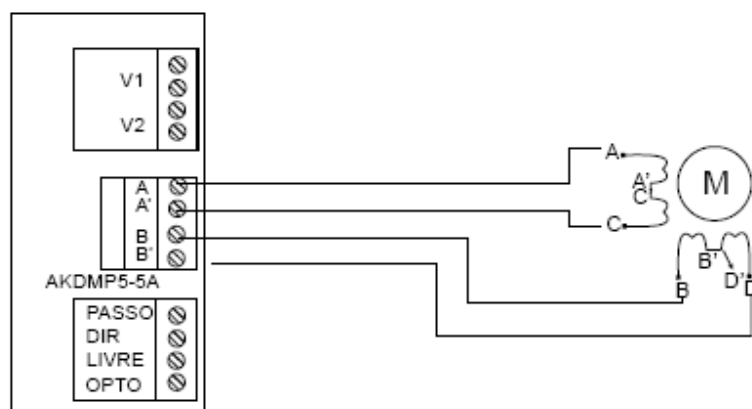
Na ligação bipolar com motores de 6 fios, os fios branco e preto (tap central) ficam desconectados, e os fios extremos das bobinas são ligados a cada uma das fases A e B respectivamente conforme esquema de ligação 1 abaixo.



Esquema de ligação para motores de 6 fios

Fig. 10 – Esquema de ligação bipolar em um motor unipolar de 6 fios

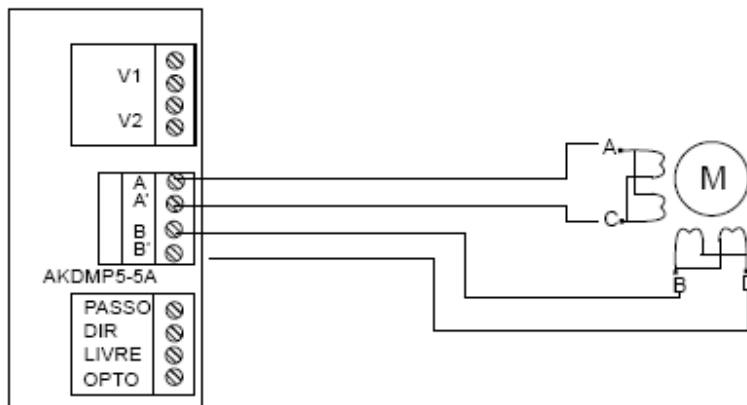
A ligação bipolar série só poderá ser feita com motores de passo de 4 ou 8 fios, nesse tipo de ligação as bobinas de cada fase ficam em série, conforme esquema de ligação 2:



Esquema de ligação série para motores de 8 fios

Fig. 11 – Esquema de ligação bipolar série em um motor unipolar de 8 fios

A ligação bipolar paralela também deverá ser apenas com motores de passo de 4 ou 8 fios, nesse tipo de ligação as bobinas de cada fase ficam em paralelo, conforme esquema de ligação 3.



Esquema de ligação série para motores de 8 fios

Fig. 12 – Esquema de ligação bipolar paralelo em um motor unipolar de 8 fios

3.4 Diferenças entre as ligações série e paralela

Uma conexão série promove um alto valor de indutância e com isto um melhor desempenho em baixas velocidades. Aumento aproximado de 40% no torque e tensão.

Uma conexão paralela ira diminuir a indutância, mas há um perceptível aumento do torque em maiores velocidades.

Na figura abaixo temos curvas típicas típica de velocidade/torque para motores em serie e paralelo.

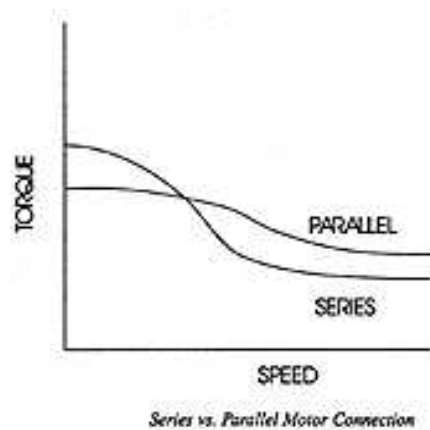


Fig. 13 – Curvas de desempenho Típicas de motores de passo nas ligações paralela e série.

4 – Introdução aos Servo Acionamentos AC



Fig. 14 – Servo Acionamentos AC - Panasonic

Servo motor é uma máquina, mecânica ou eletromecânica, que apresenta movimento proporcional a um comando, rotaciona o eixo com controle efetivo de posição.

É um motor síncrono com parte fixa (estator) e outra móvel (rotor). O estator é bobinado como no motor elétrico convencional, possui um enrolamento de 3 fases, porém não pode ser ligado diretamente à rede, pois utiliza uma bobinagem especialmente confeccionada para proporcionar alta dinâmica ao sistema. O rotor é composto por ímãs permanentes dispostos linearmente e um gerador de sinais (encoders) instalado para fornecer sinais de velocidade e posição.

De um servo motor são exigidos, dinâmica, controle de rotação, torque constante velocidade constante e precisão de posicionamento. As características mais desejadas nos servomotores são o torque constante em larga faixa de rotação (até 6.000 rpm), uma larga faixa de controle da rotação e variação e alta capacidade de sobrecarga.

4.1 - Servo drivers

Assim como os motores de passo, é imprescindível o acionamento dos servo motores através de servo drivers, que são circuitos eletrônicos complexos que tem recursos avançados de controle por malha fechada (realimentação de sinais de encoder do servo motor).

Um servo driver aciona exclusivamente um servo motor, podendo ser alimentados com tensão monofásica (110 ou 220Vac) ou trifásica (220 ou 380Vac)

4.2 - Aplicações com Servo Acionamentos

Fresadoras CNC, Corte a plasma, rotuladoras, envasadoras, máquinas de embalagem, bobinadoras, máquinas de flexografia, robótica, braços mecânicos, mesas indexadoras, entre outras.

4.3 - Comparativos entre Servo motores e Motores de passo

Motor de Passo	
Vantagens	Desvantagens
Motores e drivers mais simplificados	Baixo torque em alta rotação
Não precisam de encoders para posicionamento (malha aberta)	Rotação max de apenas 1000 rpm com carga (dependendo do modelo)
Menor custo	Sujeito a vibrações em baixas rotações
Alto torque em baixas rotações	Não há controle real da posição atual
Controle de posicionamento (boa precisão)	Sujeito a ressonâncias em determinadas faixas de frequência
	Alta inércia de rotor

Servo motor	
Vantagens	Desvantagens
Controle por velocidade	Menor Torque em baixas rotações
Controle de Torque	
Controle de posicionamento (excelente precisão)	
Curva de torque constante	

Alto torque em altas rotações	Maior Custo
Há controle real da posição atual	
Baixa vibração e ruído	
Baixa inércia de rotor e alta dinâmica	

5. Controladores

Além do driver de acionamento é necessário um sistema de controle capaz de gerar sinais digitais (nível TTL) de tal forma a produzir nos motores, movimentos coordenados e precisos. Os controladores mais utilizados são: micro controladores, microcomputadores e CLPs.

5.1 - Controle de motores de passo via porta paralela do PC

Um dos recursos muito utilizados para controle de motores de passo é por softwares dedicados ao controle de máquinas CNCs, ou seja, máquinas que são controladas numericamente ou digitalmente.

Existem no mercado uma variedade grande de softwares dedicados ao controle de máquinas CNC, que utilizam a porta paralela do computador para controle, como por exemplo : Mach3, KCam, EMC2 entre outros.

5.1.1 - Procedimento para inicialização do software

- 1 – Fazer download do software no site: www.turbocnc.com.br ,
- 2 – Antes de iniciar, ler o manual Turbocnc – PT – BR, Tabela do conteúdo Parte 1
- 3 – Instalar o Software;

5.1.2 - Configurações Básicas

- 1 – Criar um novo arquivo, formato *.G, em ARQUIVO – NOVO , inserir as linhas de programas conforme Tabela do conteúdo, Parte 3 Guia de programação.
- 2 – Salvar o arquivo
- 3 – em seguida, CONFIGURAR – NUMERO DE EIXOS – “Escolher nº de eixos” – em seguida, CONFIGURAR EIXOS . Na figura abaixo, segue um exemplo de configuração.

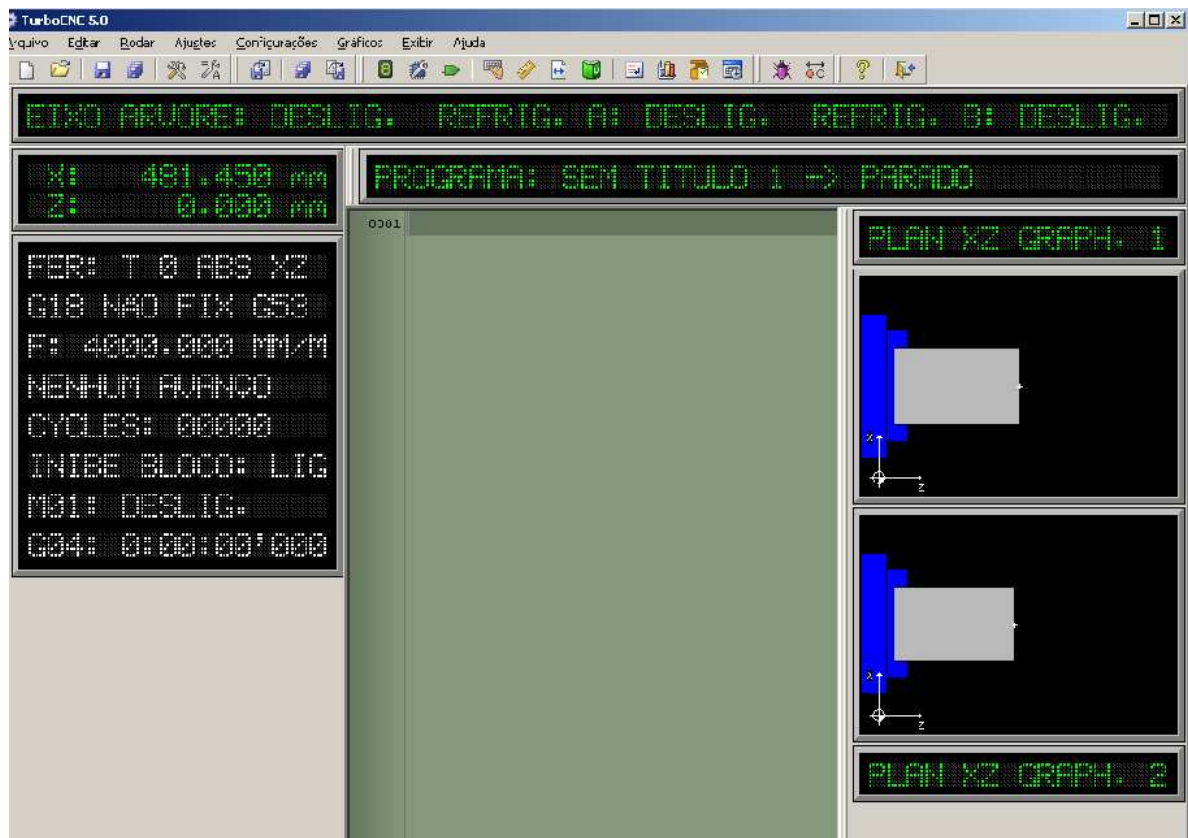


Fig. 15 – Lay out do Software Turbo CNC for Windows

5.1.3 - Parametrização de Movimento

Calculo Escala: o Cálculo da escala deverá ser feito de acordo com os parâmetros mecânicos do equipamento, e configurações de driver (micro passo utilizado).

Aceleração: aceleração do trem de pulsos até atingir a velocidade inicial e depois a velocidade final;

Velocidade inicial: frequência do trem de pulsos na velocidade inicial

Veloc. Máxima: frequência do trem de pulsos na velocidade máxima

Jog rápido / Lento: velocidade de posicionamento dos eixos.

. Os mesmos procedimentos devem ser feitos nos eixos subseqüentes. Após feita as configurações salva-los com a extensão *.INI.

Obs: Para maiores detalhes devem ser consultados Manual TurboCNC

5.2 - Outros Tipos de Controladores

Os controladores Lógicos Programáveis (CLPs), são uma ferramenta de controle automática muito usada no meio industrial, são capazes de controlar além de motores de passo ou servos, processos industriais de pequeno, médio e grande porte, as principais vantagens e recursos dos CLPs são:

- Altamente flexíveis, podendo ser usado nas mais diversas aplicações que envolvam controle de processos;
- Programáveis com linguagem simples como: ladder, lista de instruções; outras..
- São bastante versáteis (diversas aplicações);
- Opção com: módulos de expansão, conexão com redes de comunicação, I/Os, entre outros;
- São bastante robustos para ambiente industrial.



Fig. 16 - CPLs – Família FPX - Panasonic

Os micro controladores por sua vez, são ferramentas com muitos recursos porém exigem desenvolvimentos de projetos eletrônicos, programação em linguagens de baixo nível, montagens de placas eletrônicas entre outros, são usados por empresas desenvolvedora de produtos dedicados, as principais vantagens são:

- Baixo Custo do componente;
- Programáveis com opções em diversas linguagens de programação , como: linguagem C, Assembly, Basic até mesmo Ladder com compiladores adequados;
- Desenvolvimento dedicado.

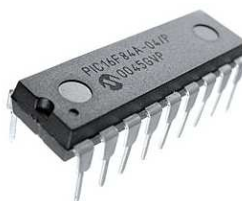


Fig. 17 – Micro controlador PIC

6 - Dimensionamentos de Motores de Passo e Servo Motores

Para selecionar o motor e driver apropriado para atender a necessidades específicas de uma aplicação, é essencial o cálculo de torque requerido pelo motor, para isso o projetista deve seguir os passos abaixo:

- Determinar o perfil do movimento e calcular a aceleração, desaceleração e velocidade máxima exigida para fazer o movimento desejado.
- Selecionar o mecanismo de acionamento adequado a ser usado, calcular a inércia de carga, torque de aceleração, fricção e de carga utilizando as fórmulas fornecidas abaixo;
- Determinar o torque do motor necessário para a aplicação específica.
- Selecionar o motor e o controlador de velocidade com base em suas características de torque, observados nos gráficos de desempenho dos datasheets dos motores.

6.1 - Transmissão Mecânica acionada por Fuso e Guias

As cargas acionadas por Fusos e Guias são amplamente utilizadas em aplicações como: mesas coordenadas XY, slides, máquinas ferramenta, routers CNC, máquinas gráficas, etc

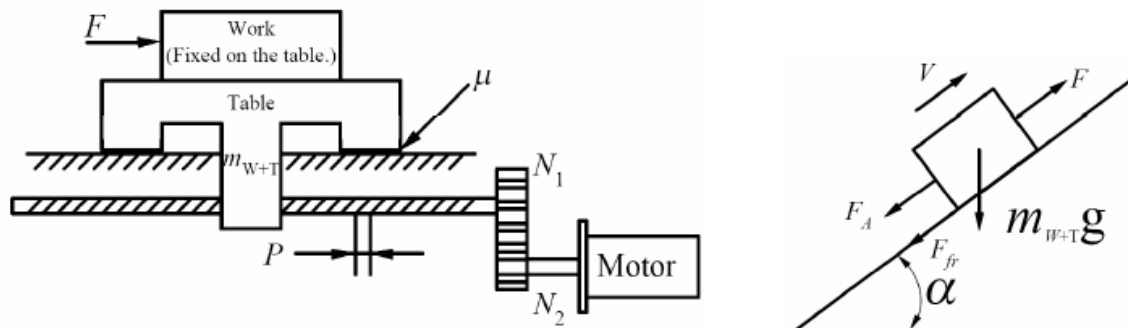


Fig. 18 – Representação da transmissão mecânica por engrenagens e fusos.

J_L – Inércia de carga [Kgf.cm²]

J_{G1} – Inércia da engrenagem 1 [Kgf.cm²]

J_{G2} – Inércia da engrenagem 2 [Kgf.cm²]

J_S – Inércia do fuso [Kgf.cm²]

J_M – Inércia do motor [Kgf.cm²]

J_T – Inércia Total do Sistema [Kgf.cm²]

m_{W+T} – Massa da mesa [Kg]

ω_0 – Velocidade inicial do motor [rad/s]

ω_1 - Velocidade final do motor [rad/s]

t — tempo de aceleração [s]

T_a - Torque de aceleração [N.m]

T_L - Torque de carga [N.m]

T_T - Torque total [N.m] - $T_T = T_L + T_a$

T_M - Torque requerido do motor [N.m] - $T_M = K_S \cdot T_T$

K_S - Fator de segurança (valor de referência 1.5 a 2.0)

α — Ângulo de inclinação

μ — Coeficiente de fricção das superfícies deslizantes

η — Eficiência (valor de referência é 0.85 a 0.95)

g — aceleração da gravidade (9.8m/s²)

Cálculo de Inércia:

$$J_L = m_{W+T} \left(\frac{P}{2\pi} \cdot \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_{G1} = \frac{1}{8} m_{G1} D_{G1}^2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_{G2} = \frac{1}{8} m_{G2} D_{G2}^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_T = J_L + J_{G1} + J_{G2} + J_S \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 + J_M \quad [kg \cdot m^2]$$

Cálculo de Torque:

$$T_a = J_T a = (J_L + J_{G1} + J_{G2} + J_S \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 + J_M) \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} \quad [N \cdot m]^*$$

$$T_L = \frac{m_{W+T} g P (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{2\pi \eta} \quad [N \cdot m]$$

$$T_T = T_L + T_a \quad [N \cdot m]$$

$$T_M = K_S T_T \quad [N \cdot m]$$

*Usar máxima aceleração.

6.2 - Transmissão Mecânica por polia e correia

As polias e correias, são normalmente usadas para máquinas com longas transmissões mecânicas, tais como máquinas transportadoras, máquinas de jato de tinta, plotters, linhas de montagem, entre outras.

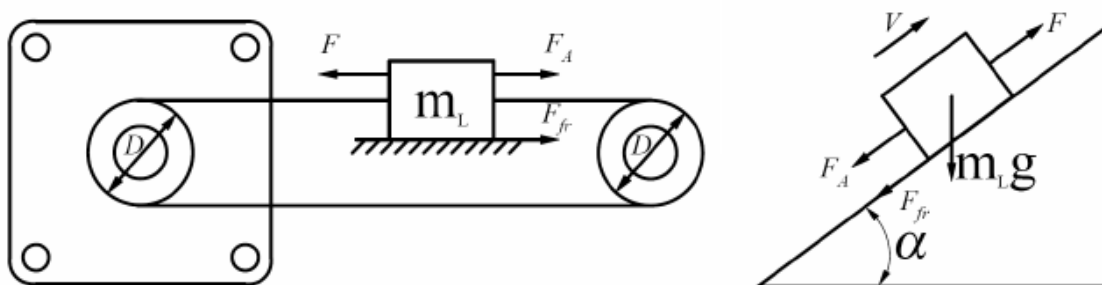


Fig. 19 – Representação da transmissão mecânica por polias e correia

J_L – Inércia de carga [Kgf.cm²]

J_p – Inércia da polia [Kgf.cm²]

J_B – Inércia da correia [Kgf.cm²]

J_M – Inércia do motor [Kgf.cm²]

J_T – Inércia Total do Sistema [Kgf.cm²]

m_L – massa da carga [Kg]

m_p – massa da polia [Kg]

m_B – massa da correia [Kg]

m_L – Massa da carga [Kg]

D – Diâmetro [m]

ω_0 - Velocidade inicial do motor [rad/s]

ω_1 - Velocidade final do motor [rad/s]

t – tempo de aceleração [s]

T_a – Torque de aceleração [N.m]

T_L – Torque de carga [N.m]

T_T – Torque total [N.m] - $T_T = T_L + T_a$

T_M – Torque requerido do motor [N.m] - $T_M = K_S \cdot T_T$

K_S – Fator de segurança (valor de referência 1.5 a 2.0)

α – Ângulo de inclinação

μ – Coeficiente de fricção das superfícies deslizantes

η – Eficiência (valor de referência é 0.85 a 0.95)

g – aceleração da gravidade (9.8m/s²)

Cálculo de Inércia:

$$J_L = \frac{1}{4} m_L D^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_P = \frac{1}{8} m_P D^2 \quad [kg \cdot m^2]^*$$

*Multiplicar por dois para duas polias por exemplo

$$J_B = \frac{1}{4} m_B D^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_T = J_L + J_P + J_B + J_M \quad [kg \cdot m^2]$$

Cálculo de Torque:

$$T_a = J_T a = (J_L + J_P + J_B + J_M) \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} \quad [N \cdot m]**$$

$$T_L = \frac{m_L g D (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{2\eta} \quad [N \cdot m]**$$

**Usar máxima aceleração.

$$T_T = T_L + T_a \quad [N \cdot m]$$

$$T_M = K_S T_T \quad [N \cdot m]$$

6.3 - Transmissão mecânica por relação de engrenagens:

Este tipo de transmissão são muitos usados com motores passo. A resolução fina de um motor com driver de micro passo, pode fazer engrenagem desnecessária em muitas aplicações, onde as engrenagens são utilizadas apenas para aumentar a precisão do sistema. As engrenagens geralmente têm eficiências indesejáveis, características de desgastes, folgas, e podem ser barulhentas. As engrenagens são úteis, quando a inércia de carga é muito grande porque a inércia da carga refletida de volta ao motor através da engrenagem é dividido pelo quadrado da relação de transmissão. Dessa maneira, grandes cargas inerciais podem ser movidas, mantendo uma boa carga de inércia do rotor com relação de inércia (menos de 10:1).

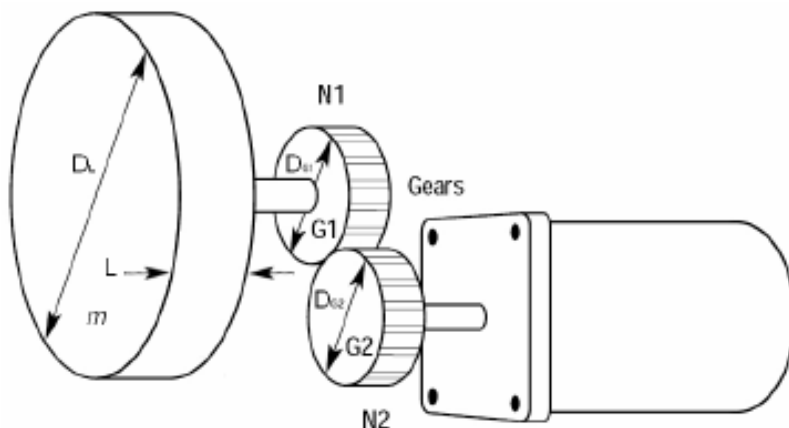


Fig. 20 – Representação da transmissão mecânica por relação de engrenagens

J_L – Inércia de carga [Kgf.cm²]

J_{G1} – Inércia da engrenagem 1 [Kgf.cm²]

J_{G2} – Inércia de da engrenagem 2 [Kgf.cm²]

J_M – Inércia do motor [Kgf.cm²]

J_T – Inércia Total do Sistema [Kgf.cm²]

N_1 – Número de dentes da engrenagem 1

N_2 – Número de dentes da engrenagem 2

m_{G1} – Massa da engrenagem 1

m_{G2} - Massa da engrenagem 2

m – massa da carga [Kg]

D_L – Diâmetro [m]

ρ - densidade de carga [Kg/m³]

L – Comprimento da carga [m]

ω_0 - Velocidade inicial do motor [rad/s]

ω_1 - Velocidade final do motor [rad/s]

t – tempo de aceleração [s]

T_a – Torque de aceleração [N.m]

T_L – Torque de carga [N.m]

T_T – Torque total [N.m] - $T_T = T_L + T_a$

T_M – Torque requerido do motor [N.m] - $T_M = K_S \cdot T_T$

K_S – Fator de segurança (valor de referência 1.5 a 2.0)

α – Ângulo de inclinação

μ – Coeficiente de fricção das superfícies deslizantes

η – Eficiência (valor de referência é 0.85 a 0.95)

g – aceleração da gravidade (9.8m/s²)

Cálculo de Inércia:

$$J_L = \frac{1}{8} m D_L^2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = \frac{\pi}{32} \rho L D_L^4 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad [kg \cdot m^2]^*$$

**Multiplicar por dois para duas engrenagens por exemplo

$$J_{G1} = \frac{1}{8} m_{G1} D_{G1}^2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_{G2} = \frac{1}{8} m_{G2} D_{G2}^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

$$J_T = J_L + J_{G1} + J_{G2} + J_M \quad [kg \cdot m^2]$$

Cálculo de Torque:

$$T_a = J_T a = (J_L + J_{G1} + J_{G2} + J_M) \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} \quad [N \cdot m]**$$

$$T_T = T_L + T_a \quad [N \cdot m]**$$

** Usar máxima aceleração.

$$T_M = K_S T_T \quad [N \cdot m]$$

6.4 - Verificação do Torque requerido pelo Motor

Selecione um motor, e pelo gráfico de desempenho verificar se o torque do motor está dentro da faixa de torque requerido pelo motor observando a velocidade de rotação ou PPS (Passos por segundo).

Para conversão de PPS em RPM, temos:

$$\text{RPM} = (\text{PPS} \times 60) / \text{PPR}$$

PPS – Passos por segundo [Hz]

PPR – Passos por revolução

RPM – Rotações por minuto.

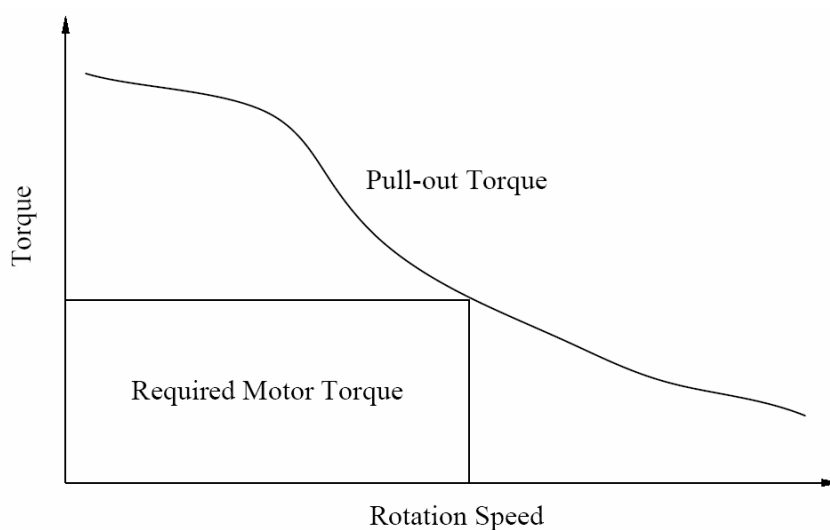


Fig. 21 – Representação típica de uma curva de desempenho do motor de passo

6.5 - Cálculo do torque médio ou (rms)

O cálculo do torque médio ou (rms) do motor é geralmente mais usado para dimensionamento de servo motores, pois movimentos rápidos e variáveis exigem muito do motor, que poderá sofrer sobre aquecimento caso movimentos bruscos e intermitentes sejam insuficientes para o resfriamento entre um movimento e outro. Como potência, torque e temperatura são variáveis diretamente relacionadas, poderá ser usado o cálculo médio de torque requerido da carga para o dimensionamento adequado do motor.

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots}}$$

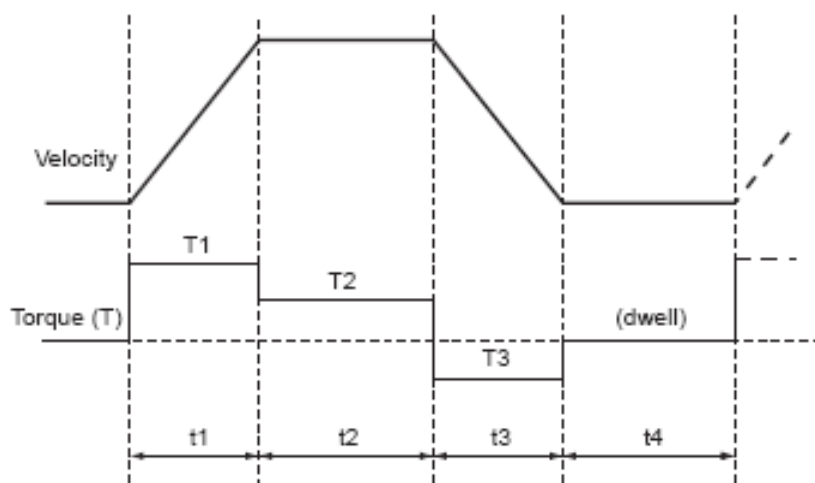


Fig. 22 – Representação gráfica de velocidade e torque com rampas de aceleração e desaceleração

7. Aplicações dos Motores de Passo e Servo Motores

Em alguns ramos da indústria, os motores de passo e servo motores compartilham as mesmas aplicações, como por exemplo: Fresadoras CNC, Corte a plasma, rotuladoras, envasadoras, máquinas têxteis, máquinas de flexografia, braços mecânicos, mesas indexadoras, entre outras. Porém há aplicações específicas em que o uso de servo motores é essencial como: robótica aero espacial, bobinadoras, alguns tipos de embaladoras, ou seja equipamentos que requeiram extrema precisão, controle de velocidade e/ou torque.



Fig. 23 - Máquina CNC, ferramentaria

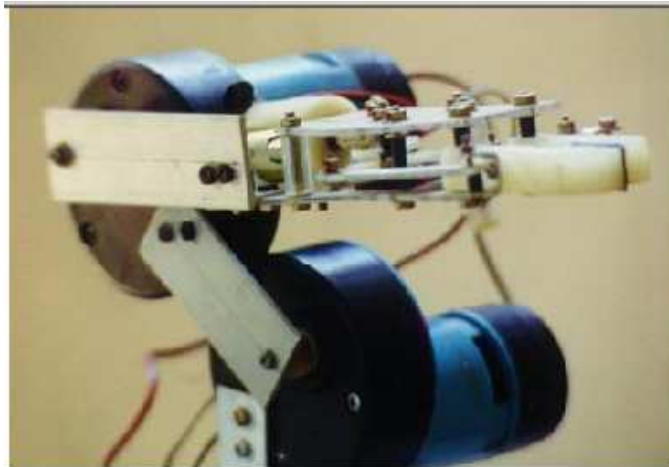


Fig. 24 - Robótica, braço mecânico



Fig. 25 - Fresadora CNC

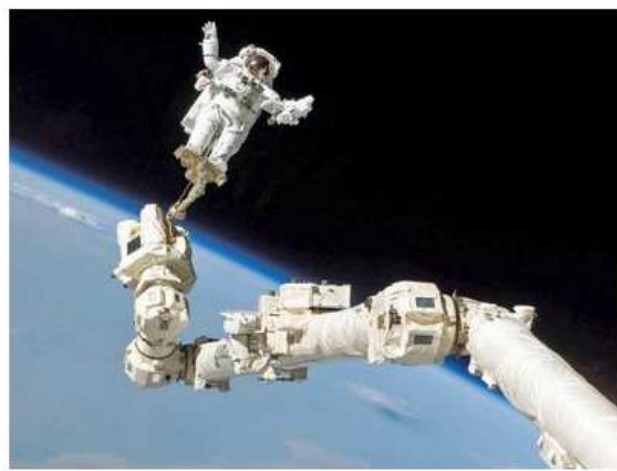


Fig. 26 - Robô utilizado pela NASA



Fig.27 - Máquina Envasadora



Fig. 28 - Máquina de impressão



Fig. 29 - Plotters, máquinas gráficas



Fig. 30 - Seladoras

8. Bibliografia

www.akiyama.com.br

www.rogercom.com

http://www.ime.eb.br/~pinho/micro/trabalhos/Mecatronica_TP1.pdf

<http://www.geocities.com/CollegePark/Dorm/8863/motordepasso.htm>

Curso de especialização em Automação industrial Prof. Joaquim Eloir Rocha - UTFPR