

# *Tecnologia de Comando Numérico*

164399

## Aula 11

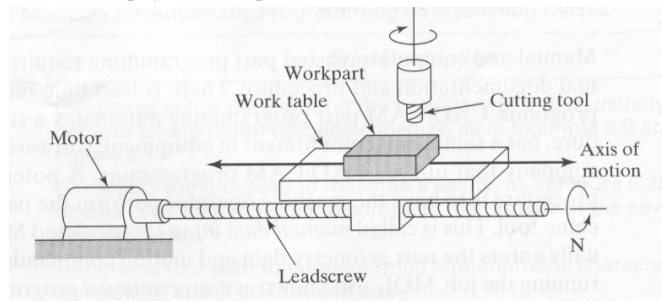
# Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

Prof. Edson Paulo da Silva

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

### Sistemas de posicionamento de máquinas CN

→ O sistema de posicionamento de máquinas CN converte os valores das coordenadas dos eixos especificados no programa CN em posições relativas da ferramenta e peça durante processamento;



→ No exemplo acima a mesa se movimenta linearmente por meio de um fuso acionado por um motor (de passo ou contínuo). A cada rotação do fuso a mesa se desloca uma determinada distância, e a velocidade da mesa é determinada em função da rotação do fuso;

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

→ Há dois tipos básicos de sistemas de posicionamento usados em máquinas CN:

*a) Sistemas de posicionamento de malha aberta;*

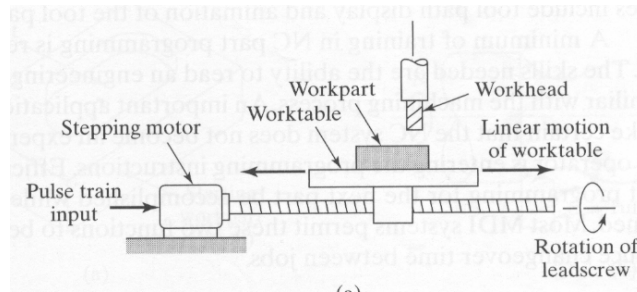
- Não verificam se a posição atingida corresponde à posição programada (especificada no programa);
- São mais baratos e apropriados para situações onde as forças resistentes ao movimento são mínimas;

*b) Sistemas de posicionamento de malha fechada;*

- Usam sistemas de feedback para verificar se a posição atingida corresponde à programada, e fazer correções se necessário;
- São sistemas mais caros e normalmente especificados para máquinas que realizam movimentos contínuos (fresamento, torneamento) e as forças resistentes ao movimento são significativas;

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

### Sistema de posicionamento de malha aberta



→ O sistema de malha aberta usa normalmente um motor de passo para girar o fuso:

- O motor de passo é acionado por uma série de pulsos elétricos, que são gerados pela MCU num sistema CN;
- Cada pulso causa a rotação do motor em uma fração de revolução denominada *ângulo de passo*;

### Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

- Os possíveis ângulos de passo devem ser consistentes com a relação:

$$\alpha = \frac{360}{n_s} \quad (1)$$

onde  $\alpha$  = ângulo de passo (graus/pulso) e  $n_s$  = Número de ângulos de passo do motor (um inteiro);

- O ângulo descrito pelo eixo do motor é dado por:

$$A_m = n_p \cdot \alpha \quad (2)$$

onde  $A_m$  = ângulo descrito pelo eixo do motor (graus) e  $n_p$  = número de pulsos;

### Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

- O motor é geralmente acoplado ao fuso através de um redutor que reduz a rotação do fuso:
  - O ângulo de rotação do fuso  $A$  é dado por:

$$A = \frac{n_p \cdot \alpha}{r_g} \quad (3)$$

onde  $r_g$  = redução entre motor e fuso. É definida como sendo o número de revoluções do motor para cada revolução do fuso e é dada por:

$$r_g = \frac{A_m}{A} = \frac{N_m}{N} \quad (4)$$

onde  $N_m$  = rotação do eixo do motor (RPM) e  $N$  = rotação do fuso (RPM),  $A_m$  = ângulo descrito pelo eixo do motor (graus),  $A$  = ângulo descrito pelo fuso (graus);

### Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

- O movimento linear da mesa é dado pelo número de rotações completas e parciais do fuso multiplicado pelo seu passo:

$$x = \frac{A}{360} \cdot p \quad (5)$$

onde  $x$  = posição relativa à posição inicial (mm,in),  $p$  = passo do fuso (mm/rev; in/rev) e  $A/360$  = número de revoluções do fuso;

- O número de pulsos necessários para se atingir uma posição  $x$  específica (incremental) num sistema ponto-a-ponto pode ser obtida pela combinação das equações (3) e (5);

$$n_p = \frac{360 \cdot x \cdot r_g}{p \cdot \alpha} \quad (6)_1$$

e fazendo uso da (1):

$$n_p = \frac{n_s \cdot x \cdot r_g}{p} \quad (6)_2$$

### Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

- Os pulsos são transmitidos de um gerador de pulsos a uma certa frequência. A rotação do fuso depende desta frequência dos pulsos de acordo com a seguinte relação:

$$N = \frac{60 \cdot f_p}{n_s \cdot r_g} \quad (7)$$

onde  $N$  = rotação do fuso (RPM),  $f_p$  = frequência dos pulsos e  $n_s$  = passo por revolução ou pulsos por revolução;

- A velocidade de deslocamento da mesa na direção do eixo fuso é determinada pela rotação como segue:

$$v_t = f_r = N \cdot p \quad (8)$$

onde  $v_t$  = velocidade de deslocamento da mesa (mm/min; in/min),  
 $f_r$  = avanço da mesa (mm/rev; in/rev),  $N$  = rotação do fuso (RPM) e  
 $p$  = passo do fuso (mm/rev; in/rev);

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

- Combinando as equações (7) e (8) pode-se obter uma expressão que forneça a frequência de pulso  $f_p$  necessária para mover a mesa com um avanço específico  $f_r$ . Tem-se:

$$f_p = \frac{v_t \cdot n_s \cdot r_g}{60 \cdot p} = \frac{f_r \cdot n_s \cdot r_g}{60 \cdot p} \quad (9)$$

### Problema exemplo - Sistema de posicionamento de malha aberta

A mesa de um dado sistema de posicionamento é acionada por um fuso cujo passo = 6.0mm. O fuso é conectado ao eixo de saída de um motor de passo através de um redutor cuja redução é 5:1 (cinco revoluções do motor para uma do fuso). O motor tem 48 passos. A mesa deve se mover uma distância de 250mm da sua posição atual a uma velocidade de 500mm/min. Determine:

- O número de pulsos necessários para gerar o deslocamento;
- A velocidade do motor e a frequência dos pulsos para se obter a velocidade da mesa desejada;

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

### Solução

a) Da equação (5) temos:

$$x = \frac{A}{360} \cdot p \Rightarrow A = \frac{360 \cdot x}{p}$$

Para  $x = 250\text{mm}$  e  $p = 6\text{ mm}$  o ângulo de rotação do fuso será:

$$A = \frac{360 \cdot (250)}{6} \Rightarrow A = 15.000^\circ$$

Com 48 passos cada passo será, de acordo com a equação (1) de:

$$\alpha = \frac{360}{n_s} \rightarrow \alpha = \frac{360}{48} = 7,5^\circ$$

Assim, de acordo com a equação (6), o número de pulsos para mover a mesa em 250mm será:

$$n_p = \frac{360 \cdot x \cdot r_g}{p \cdot \alpha} = \frac{A \cdot r_g}{\alpha} = \frac{15.000(5)}{7,5} = 10.000 \text{ pulsos.}$$

$$n_p = 10.000 \text{ pulsos}$$

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

b) A rotação do fuso correspondente à velocidade da mesa de 500mm/min pode ser obtida da equação (8) temos:

$$v_t = N \cdot p \rightarrow N = \frac{v_t}{p} = \frac{500}{6} = 83,333 \text{ rev / min}$$

Da equação (4) obtém-se a velocidade do motor:

$$r_g = \frac{N_m}{N} \rightarrow N_m = r_g \cdot N = 5 \cdot (83,333) = 416,667 \text{ rev/min}$$

$$N_m = 416,667 \text{ rev/min}$$

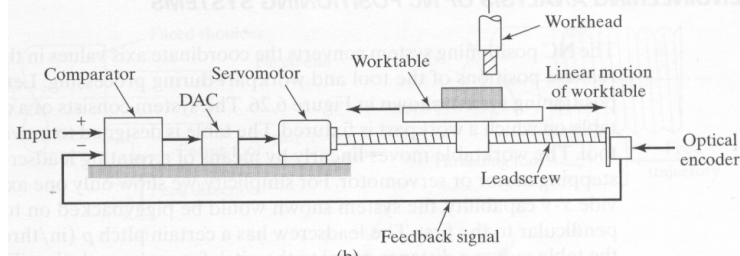
Por fim, da equação (9) pode-se obter a frequência dos pulsos:

$$f_p = \frac{v_t \cdot n_s \cdot r_g}{60 \cdot p} = \frac{500 \cdot (48) \cdot 5}{60 \cdot (6)} = 333,333 \text{ Hz}$$

$$f_p = 333,333 \text{ Hz}$$

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

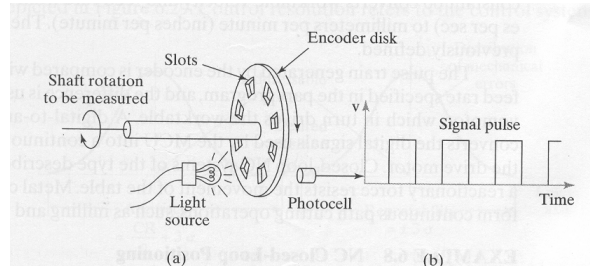
### Sistemas de posicionamento de malha fechada



- O sistema de posicionamento de malha fechada usa normalmente motores de corrente contínua e uma unidade de realimentação (feedback Unit) que informa ao sistema as posições atuais, de forma que possam ser comparadas com as posições desejadas e seus movimentos sejam planejados;
- As equações que definem a operação de um sistema de posicionamento CN de malha fechada são similares àquelas do sistema de malha aberta;

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

→ Um sensor muito utilizado como unidade de realimentação é o encoder óptico;



- O encoder óptico é constituído, basicamente, de uma fonte de luz, um receptor e um disco perfurado. O disco é preso ao eixo rotativo, enquanto a fonte de luz e o receptor são fixos. A rotação do disco cria uma série de pulsos pela interrupção ou não da luz emitida pela fonte. Estes pulsos de luz são transformados pelo detector em uma série de pulsos elétricos, cujo frequência é diretamente proporcional ao número de rotações no intervalo de tempo, e ao número de furos ao longo do disco;

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

→ No encoder óptico básico o ângulo entre os furos do disco deve satisfazer a seguinte equação:

$$\alpha = \frac{360}{n_s} \quad (10)$$

onde  $\alpha$  = ângulo entre furos (graus/furo) e  $n_s$  = número de furos no disco;

→ Para uma dada rotação do eixo do encoder, o número de pulsos sentidos pelo receptor é dado por:

$$n_p = \frac{A_e}{\alpha} \quad (11)$$

onde  $n_p$  = número de pulsos sentidos pelo receptor,  $A_e$  = ângulo de rotação do eixo do encoder (graus),  $\alpha$  = ângulo entre furos do disco;

### Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

→ A contagem de pulsos pode ser usada para se determinar a posição em  $x$  (linear) da mesa através de seguinte equação:

$$x = \frac{p \cdot n_p}{n_s \cdot r_{ge}} \quad (12)$$

onde  $r_{ge}$  = redução entre o eixo do encoder e o fuso. É definida como o número de revoluções do eixo do encoder para cada revolução do fuso, ou seja:

$$r_{ge} = \frac{A_e}{A} = \frac{N_e}{N} \quad (13)$$

onde  $A_e$  = ângulo descrito pelo eixo do encoder (graus),  $A$  = ângulo descrito pelo fuso (graus),  $N_e$  = rotação do encoder (RPM),  $N$  = rotação do fuso (RPM);

### Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

→ A velocidade da mesa, que normalmente é dada em forma de avanço, é obtida da frequência do pulso:

$$v_t = f_r = \frac{60 \cdot p \cdot f_p}{n_s \cdot r_{ge}} \quad (14)$$

onde  $v_t$  = velocidade da mesa (mm/min, in/min),  $f_r$  = avanço da mesa (mm/min; in/min),  $f_p$  = frequência do pulso emitido pelo encoder (Hz, pulsos/seg). A constante 60 converte a velocidade da mesa e o avanço de mm/seg para mm/min;

→ Os pulsos gerados pelo encoder são comparados com as coordenadas de posição e o avanço especificados no programa, e a diferença é usada pela MCU para acionar o motor, que por sua vez aciona a mesa;

→ Um conversor digital-analógico converte os sinais digitais usados pela MCU em um sinal analógico de corrente que aciona o motor;



## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

### Problema exemplo - Sistema de posicionamento de malha fechada

Considere uma mesa comandada por um sistema constituído de um motor, um fuso e um encoder óptico. O fuso tem um passo de 6mm/rev e é acoplado ao eixo do motor por um redutor com redução de 5:1 (cinco revoluções do motor para uma revolução do fuso). O encoder óptico gera 48 pulsos/rev em seu eixo de saída, que é acoplado a um fuso com redução de 4:1 (quatro revoluções do encoder para uma revolução do fuso). A mesa foi programada para mover 250mm com um avanço de 500mm/min. Determine: a) Quantos pulsos devem ser recebidos pelo receptor para a mesa executar o movimento especificado, b) a frequência de pulsos do encoder e c) a velocidade do motor que corresponde ao avanço especificado.

**Solução:** a) Da equação (12) temos:

$$x = \frac{p \cdot n_p}{n_s \cdot r_{ge}} \rightarrow n_p = \frac{x \cdot n_s \cdot r_{ge}}{p} = \frac{250 \cdot (48) \cdot 4}{6} = 8000 \text{ pulsos}$$

## Sistemas de Posicionamento de Máquinas CN

b) A frequência de pulso correspondente a 500mm/min pode ser obtida rearranjando a equação (14):

$$f_r = \frac{60 \cdot p \cdot f_p}{n_s \cdot r_{ge}} \rightarrow f_p = \frac{f_r \cdot n_s \cdot r_{ge}}{60 \cdot p} = \frac{500 \cdot (48) \cdot 4}{60 \cdot (6)} = 266,667 \text{ Hz}$$

c) Rotação do motor = velocidade da mesa (avanço)/passo do fuso corrigido pela redução entre eixo do motor e fuso. Assim tem-se:

$$N_m = \frac{f_r}{p} \cdot r_g \rightarrow N_m = \frac{500}{6} \cdot 5 = 416,667 \text{ rev / min}$$

Note que a velocidade do motor para este sistema é igual à velocidade do sistema analisado anteriormente (malha aberta), devido à velocidade da mesa e a redução do motor serem as mesmas;