

1088 - INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Cópia das transparências sobre:

TRANSDUTORES DE POSIÇÃO

Prof. Demarchi

Capítulo 4 – TRANSDUTORES DE POSIÇÃO

4.1 – Potenciômetros Resistivos

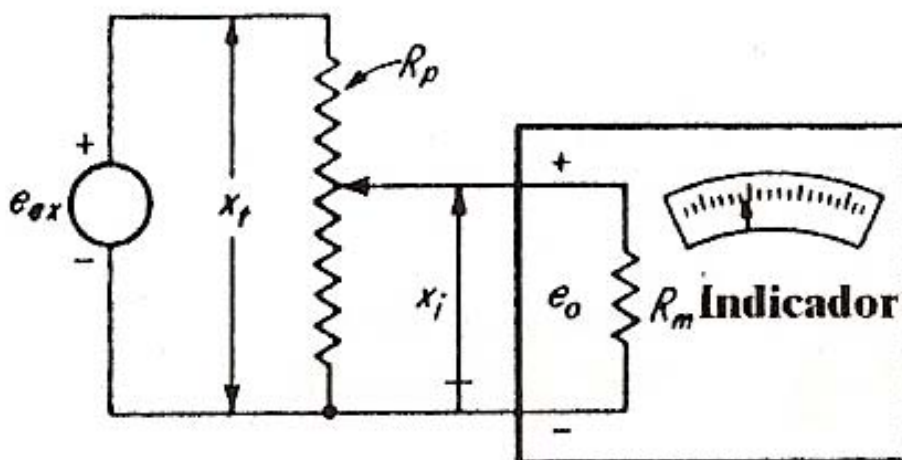
A resistência de um condutor elétrico varia de acordo com a relação:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

onde: R = resistência elétrica
 ρ = resistividade do material
 L = comprimento do condutor
 A = área da seção transversal do condutor

Um transdutor resistivo de contato deslizante (potenciômetro) converte deslocamento mecânico (translação ou rotação) em um sinal elétrico, através da variação do comprimento L da relação acima.

Consiste de uma resistência com um contato móvel. O elemento resistivo é alimentado com uma tensão “dc” ou “ac” e a tensão de saída é idealmente uma função linear do deslocamento.

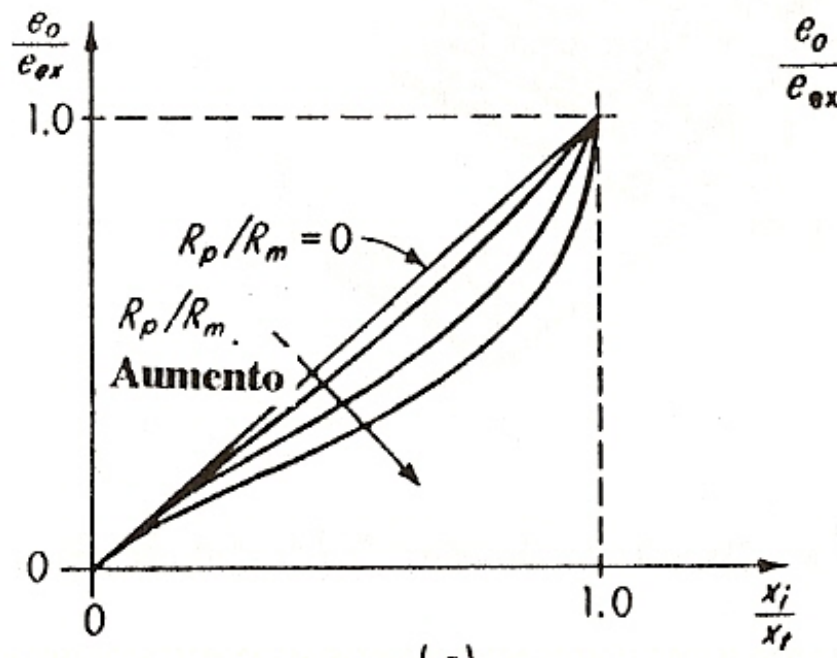


$$\frac{E_o}{E_{ex.}} = \frac{1}{\left(\frac{X_i}{X_t}\right) + \frac{R_p}{R_m} \left(1 - \frac{X_i}{X_t}\right)}$$

Para o caso ideal, com um medidor com alta impedância de entrada:

$$R_m \rightarrow \infty \quad \text{e} \quad \frac{R_p}{R_m} \cong 0 \quad \text{Assim:} \quad \frac{E_o}{E_{ex.}} = \frac{X_i}{X_t}$$

Na prática, entretanto, $R_m \neq \infty$ e o desvio de linearidade é mostrado abaixo:



Boa linearidade é obtida para potenciômetro de baixa resistência em relação a R_m . Esta condição conflita com o interesse de alta sensibilidade, pois E_o é diretamente proporcional a $E_{ex.}$, que está limitada pela máxima potência que pode ser dissipada na forma de calor:

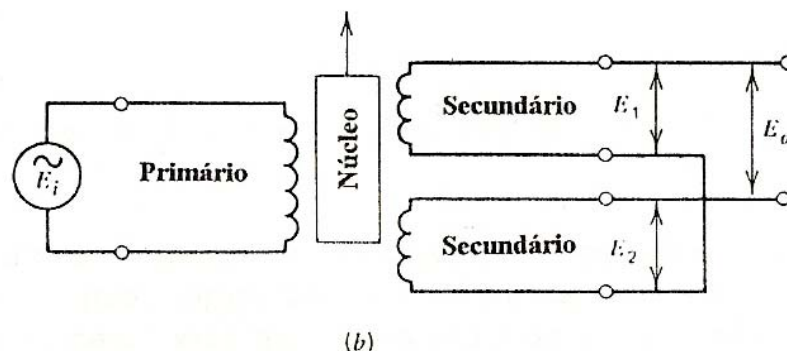
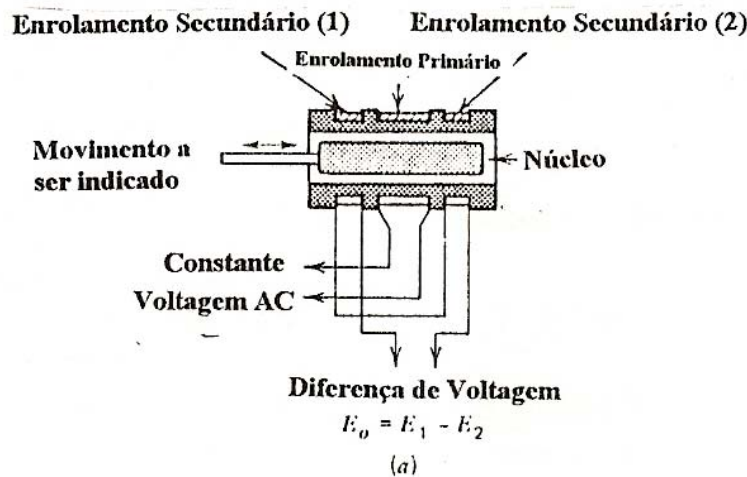
$$E_{ex.} = \sqrt{PR_p}$$

Assim, baixo $R_p \rightarrow$ baixo $E_{ex.} \rightarrow$ baixa sensibilidade.

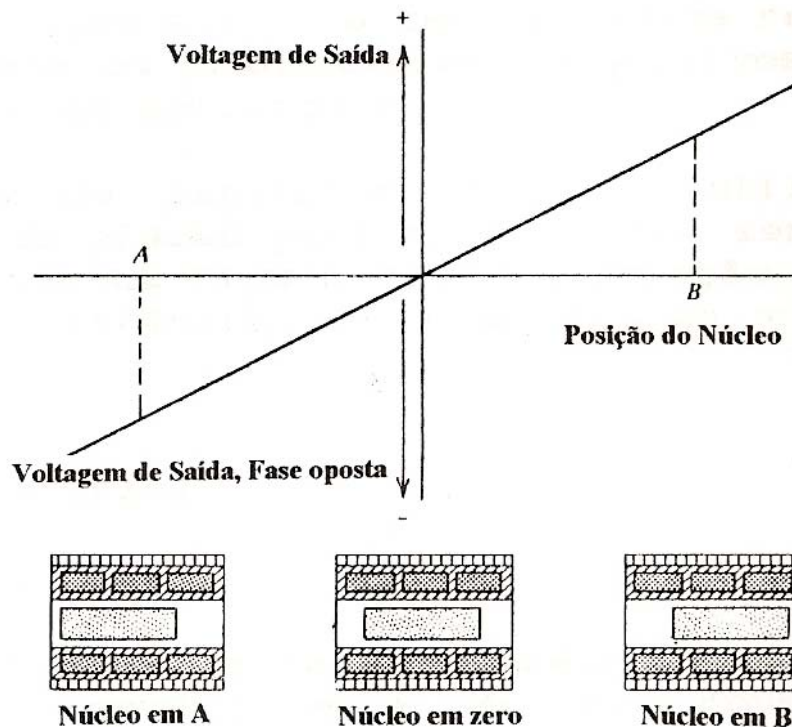
4.2 – Transdutores Indutivos

4.2.1 – Transformadores Lineares Diferenciais Variáveis (LVDT)

Baseiam-se no princípio de variação de indutância e fornecem um sinal elétrico de saída proporcional à posição de um núcleo no interior de bobinas. O LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) consiste de três bobinas dispostas simetricamente, no interior das quais se move uma barra magnética que gera uma trajetória para o fluxo magnético entre as bobinas. A posição da barra ou núcleo controla a indutância mútua entre a bobina primária e as duas bobinas secundárias.



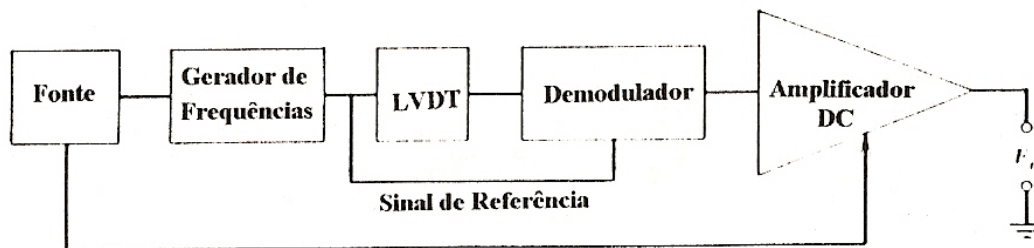
Quando uma excitação “ac” é aplicada à bobina primária, tensões são induzidas nas duas bobinas secundárias, que são instaladas em série e opostas. Quando o núcleo está exatamente entre as duas bobinas secundárias, as tensões induzidas são iguais e opostas, conseqüentemente, a tensão de saída é nula. Quando o núcleo se move da posição central, ocorre um desbalanceamento das indutâncias mútuas entre as bobinas primária e secundárias e aparece uma tensão de saída. Esta tensão varia linearmente com o deslocamento do núcleo e o sentido do movimento pode ser determinado pelo sinal da tensão de saída.



A frequência associada à tensão de entrada na bobina primária pode variar entre 50 e 25000Hz. Se o LVDT for utilizado para medidas dinâmicas, a frequência de excitação deve ser 10 vezes maior que a mais alta componente de frequência do sinal dinâmico. A tensão de entrada varia de 5 a 15V. A potência requerida é normalmente inferior a 1W e a sensibilidade pode variar de 0,02 a 0,2 V/mm de deslocamento para cada Volt da tensão de alimentação da bobina primária.

As maiores sensibilidades estão associadas a núcleos curtos, que operam na faixa de $\pm 2\text{mm}$, enquanto que as menores sensibilidades estão associadas a núcleos mais longos que operam na faixa de $\pm 150\text{mm}$.

Uma vez que o LVDT é um sensor passivo, requerendo uma excitação “ac”, a uma tensão e frequência nem sempre disponíveis, circuitos condicionadores de sinais devem ser utilizados em sua operação. Um circuito típico para o condicionamento do sinal de um LVDT é mostrado a seguir, onde o demodulador converte o sinal de saída do LVDT de “ac” para “dc”.



Vantagens:

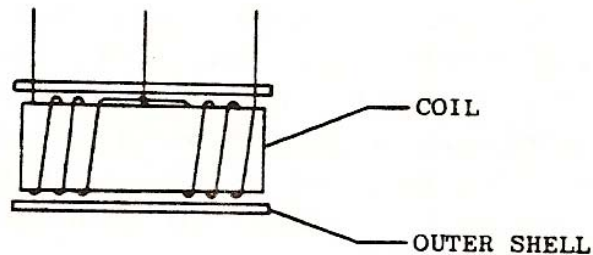
- Excelentes precisão, sensibilidade e linearidade;
- Resolução;
- Baixo atrito;
- Eliminação de movimentos transversais;
- Resistência mecânica;
- Boa isolamento elétrica e ambiental.

Desvantagens:

- Tamanho;
- Massa (inércia);
- Susceptíveis a interferências magnéticas.

4.2.2 – Sensor de Proximidade

São sensores que alteram sua indutância devido à aproximação de materiais magnéticos ou condutivos. Basicamente consistem de uma bobina excitada por uma tensão “ac” de alta frequência, geralmente da ordem de 400 kHz.



O campo magnético gerado por esta bobina induz correntes parasitas (correntes de Foucault) nos materiais magnéticos ou condutores que se aproximam da bobina. Isto faz com que o campo magnético seja alterado e este altera a amplitude da tensão de excitação. O sinal de excitação, assim, fica modulado em amplitude pela aproximação dos materiais magnéticos ou condutores. A tensão de excitação é gerada por um circuito que também funciona como demulador do sinal, fornecendo um sinal “dc” proporcional à distância do núcleo da bobina até o material cuja distância deseja-se medir. Para a obtenção de um valor numérico para esta distância, é feita a calibração do instrumento com lâminas de espessuras conhecidas.

A principal desvantagem é a pequena distância necessária entre o objeto de interesse e a extremidade da bobina, da ordem de 0,5 a 5mm. Sua faixa linear é da ordem de 1 a 2mm.

Possuem sensibilidade da ordem de 200mV/milésimo de polegada. Dentro de sua faixa linear, apresentam excelente resolução, podendo chegar a 0,1µm. A principal vantagem é a curva de resposta em frequência, que é totalmente plana desde 0 até aprox. 100 kHz.

4.2.3 – Tacômetros de Pulso

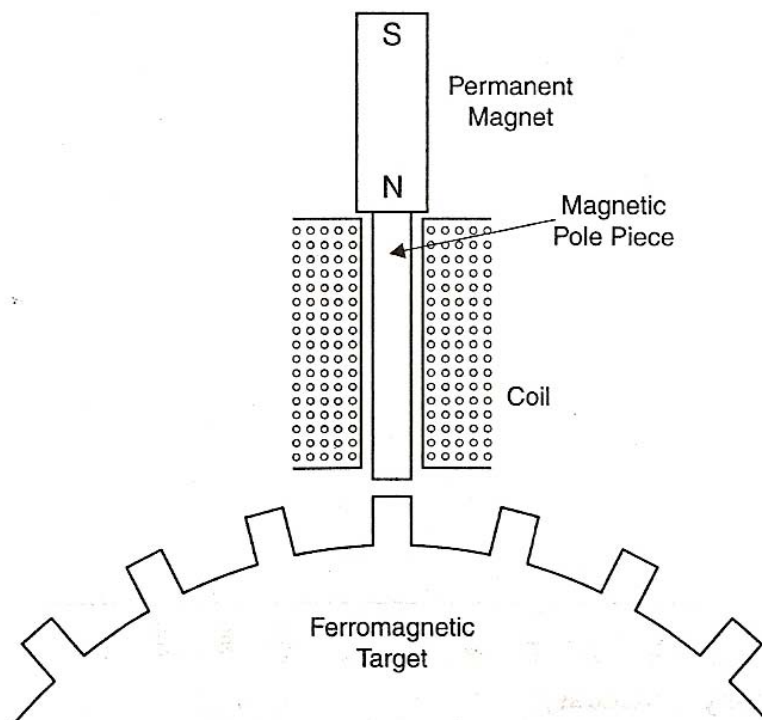
São transdutores de proximidade que geram um ou mais pulsos elétricos a cada giro de um eixo. Baseiam-se em três princípios relacionados a campos magnéticos:

- a) Relutância variável (VR – Variable Reluctance)
- b) Efeito Hall (HE – Hall Effect)
- c) Magnetoresistência (MR – Magnetoresistance)

4.2.3.1 – Sensores de Relutância Variável

“Relutância está para campo magnético assim como a resistência está para corrente elétrica.”

Geram uma pequena tensão elétrica quando sofrem variações no campo magnético.



O “gap” (vazio) entre os dentes da roda dentada (engrenagem) não conduz o campo magnético tão bem quanto o material metálico do dente (o ar tem uma relutância maior que o metal). A passagem de dentes e “gaps”, ou a variação da relutância altera a densidade do

campo magnético através da bobina do sensor, gerando um sinal:

$$V = n \frac{d\Phi}{dt}$$

onde: V – tensão do sinal gerado
 n – nº de voltas da bobina
 $d\Phi/dt$ – razão de variação do fluxo magnético com o tempo

O sinal de saída é senoidal (tensão) com a amplitude proporcional à velocidade de rotação e a frequência igual ao número de dentes que passam em frente ao sensor por segundo.

Desempenho do sensor depende:

- das dimensões do núcleo e bobina;
- das dimensões dos dentes e “gaps”;
- da distância entre o sensor e os dentes.

Para melhor desempenho, deve-se ter:

- dimensão do núcleo $\approx$ dimensão do dente;
- gap entre dentes $\approx$ 2 a 3 vezes a dimensão do dente;
- distância do sensor ao dente $< 1\text{mm}$.

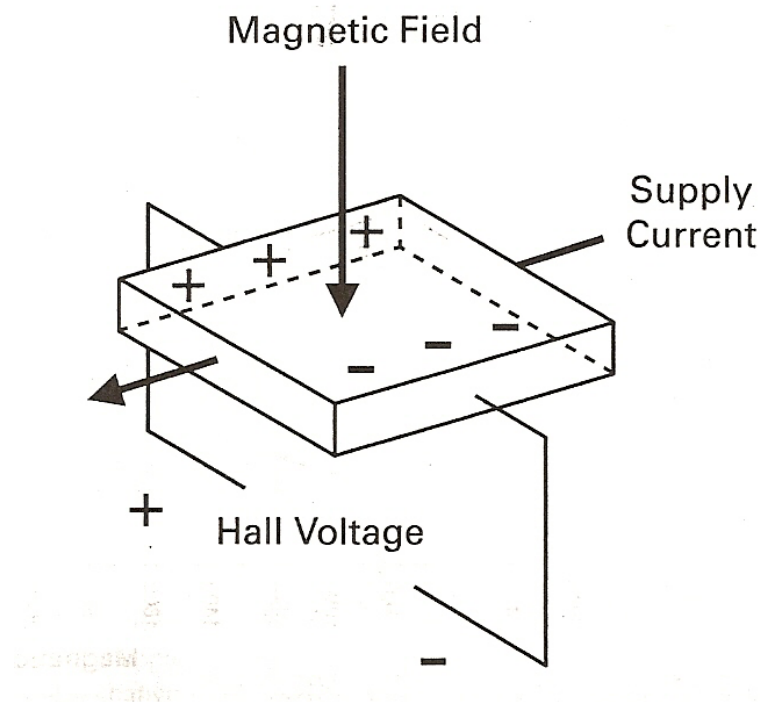
Vantagens: Baixo custo
 Não necessitam de alimentação elétrica

Desvantagens: Sinal muito baixo para rotações baixas
 Relação sinal / ruído baixa

Além de rodas dentadas (engrenagens), podem ser usados eixos com descontinuidades em sua superfície (furos, rasgos, etc.). Rodas dentadas são mais utilizadas por fornecerem uma quantidade maior de pulsos por rotação do eixo (melhor qualidade do sinal e melhor resolução).

4.2.3.2 – Sensores de Efeito Hall

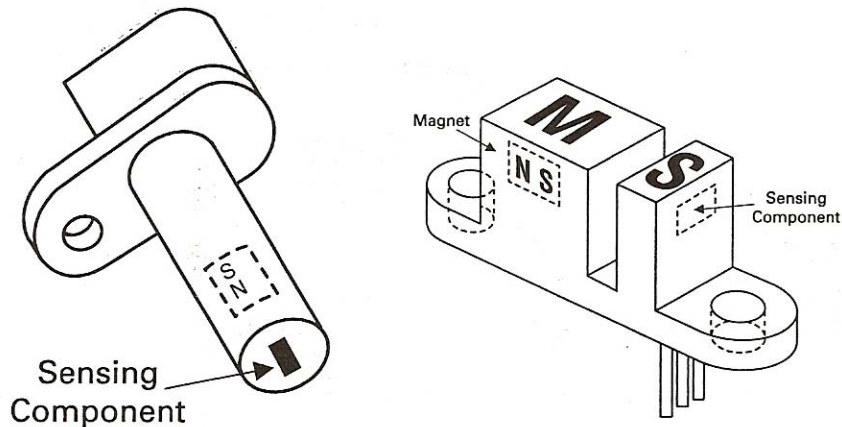
Possuem melhor repetibilidade e exatidão que os anteriores. Consistem de um elemento plano de material semiconductor através do qual se passa uma corrente elétrica (3 a 10 mA). Um ímã permanente é colocado sobre este elemento, de tal modo que se tenha um campo magnético perpendicular à superfície.



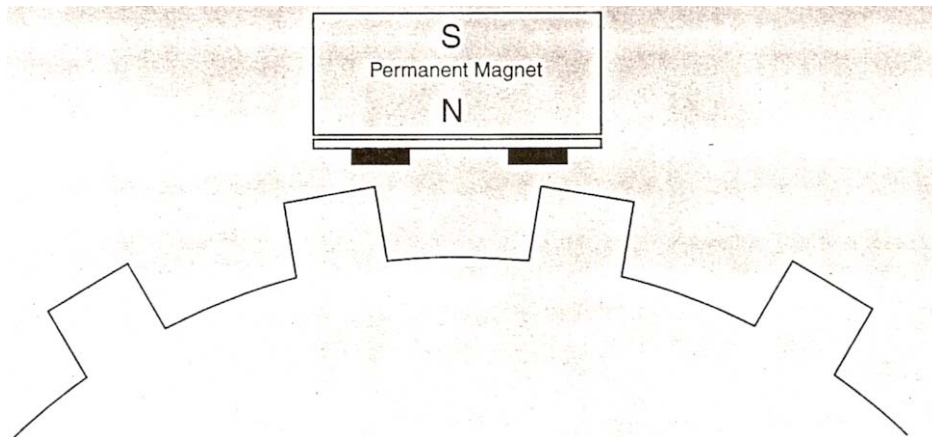
Surge então uma tensão elétrica na superfície do elemento Hall perpendicular à corrente e esta tensão elétrica é detectada como o sinal de saída do sensor.

A tensão de saída no elemento Hall é proporcional à densidade do campo magnético através do elemento. Valores típicos de tensão: 100 a 500mV para um campo magnético na faixa de 250 a 800 Gauss.

De forma semelhante aos sensores de relutância variável, a passagem dos dentes de uma roda dentada provoca a variação na densidade do fluxo magnético através do sensor Hall, resultando em variações no sinal de saída.



Outra configuração de sensor utiliza dois sensores de Efeito Hall e compara a diferença de sinais entre eles. Também conhecido como “comparador magnético diferencial”.

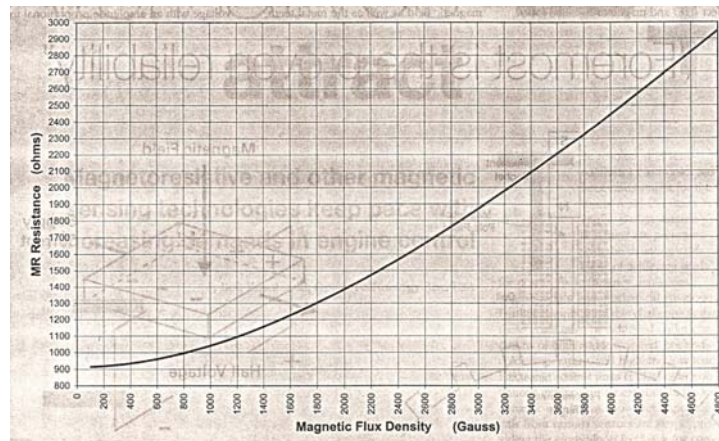


O espaçamento entre os sensores e entre os dentes é tal que quando um dos sensores se aproxima de um dente, o outro se aproxima de um “gap”. Permite a detecção de posição com velocidade zero. Problemas: requer menores tolerâncias de desalinhamento, distância entre o sensor e o dente, espaçamento entre os sensores e o balanceamento entre os campos magnéticos nos dois sensores (deve ser igual para os dois).

4.2.3.3 – Sensores Magnetoresistivos

Nestes sensores, sua resistência elétrica é proporcional à densidade do campo magnético a que estão sujeitos. Ligas de índio-antimônio apresentam esta característica.

Construção similar à dos sensores Efeito Hall, porém são passivos, requerendo circuitos para detectar a variação de resistência.



Maiores variações de resistência na faixa de 2000 a 3000 Gauss: 500Ω/1000 Gauss.

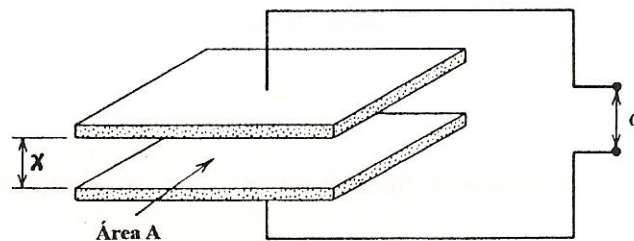
Possuem elevados sinais de saída, o que proporciona melhor exatidão na determinação de posição angular.

Comparação entre os sensores magnéticos				
Tipo	Relutância variável	Efeito Hall	Efeito Hall Diferencial	Magneto-resistivo
Máxima distância sensor ao dente	< 1mm	≤ 1mm	≤ 1mm	≤ 3mm
Exatidão	± 2°	± 2°	± 1°	± 0.5°
Precisão	± 0.1°	± 0.1°	± 0.05°	± 0.025°
Relação sinal/ruído	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Tolerância de alinhamento	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Campo típico (Gauss)	2000 a 4000	250 a 800	250 a 4000	2000 a 4000

4.3 – Transdutores Capacitivos

Um movimento de translação ou rotação pode ser utilizado de várias formas para alterar a capacitância de um capacitor. Esta variação de capacitância pode ser convertida em um sinal elétrico por meio de um circuito.

Apresentam facilidade de construção e alta sensibilidade com pequenos deslocamentos.



$$C = K \frac{A}{X}$$

onde: C – Capacitância

K – Constante dielétrica do meio entre as placas

A – Área comum das placas

X – Distância entre as placas

Meios de medição: - variação de distância
- variação de área
- variação do meio entre as placas

Sensibilidade para variação da distância:

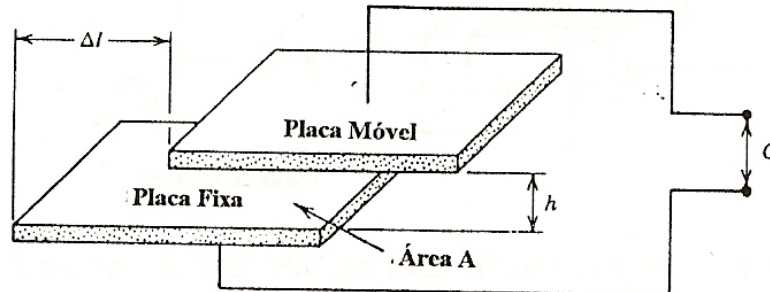
$$\frac{dC}{dX} = \frac{-KA}{X^2}$$

Sensibilidade aumenta quando X diminui. Para pequenas mudanças de X em torno de uma posição neutra, pode-se considerar:

$$\frac{dC}{dX} = \frac{-C}{X}$$

Sensibilidade para variação de área:

Um transdutor capacitivo pode também utilizar placas paralelas com distância h constante e variar sua capacitância pela área A , conforme figura:



Neste caso, a sensibilidade é constante e pode ser expressa por:

$$\frac{dC}{dX} = \frac{kKw}{h}$$

onde w é a largura das placas (constante).

Para medição da variação de capacitância utiliza-se uma Ponte de Wheatstone.

Outra grande vantagem dos transdutores capacitivos é que as forças envolvidas no movimento de uma placa em relação à outra são extremamente pequenas.

4.4 – Transdutores Ultra-sônicos

Um cristal piezoelétrico emite salvas de sinais senoidais em frequência ultra-sônica (acima de 20 kHz). Esse trem de pulsos reflete-se em qualquer objeto e volta ao emissor. Nos intervalos entre as salvas de sinais, o transmissor se comporta como receptor e é sensibilizado pela energia refletida. O sinal assim obtido é amplificado e usado para desabilitar um contador de tempo que foi disparado quando o sinal do pulso original deixou o transmissor. A distância

do transdutor ao objeto é igual à velocidade do som no meio vezes a metade do tempo decorrido entre a emissão do pulso e a sua volta. A distância medida é fornecida em forma de corrente ou tensão. A principal desvantagem deste tipo de transdutor é a dependência da velocidade de propagação do som no meio em função de fatores externos, como por exemplo, a temperatura.

4.5 – Transdutores Digitais

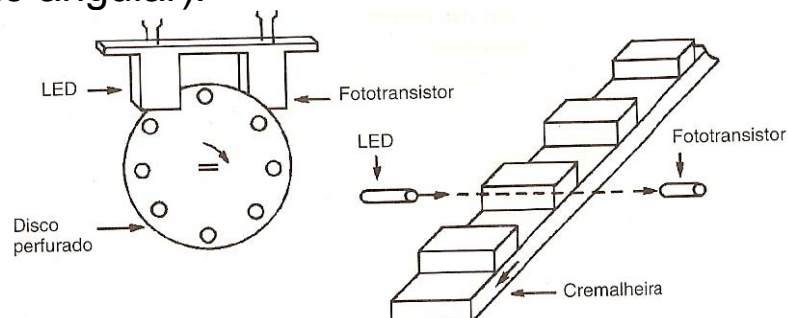
O termo digital implica na discretização do sinal de posição, isto é, a resolução do sistema fica limitada ao mínimo incremento que o sistema digital permitir:

$$R = \frac{L}{2^n}$$

onde: R – resolução
L – maior dimensão que se deseja medir
n – número de bits utilizado pelo sistema de posicionamento

Exemplo: Posição angular de uma peça: 360°
Sensor de 8 bits
Resolução = 360 / 256 = 1.4°

Estes sensores de posição funcionam através do sistema LED / Fototransistor. Uma peça dentada (cremalheira) ou perfurada pode ser usada para interromper periodicamente a luz dentro da abertura do sensor. O mesmo efeito é obtido com um disco dentado ou perfurado (para medição de posição angular).

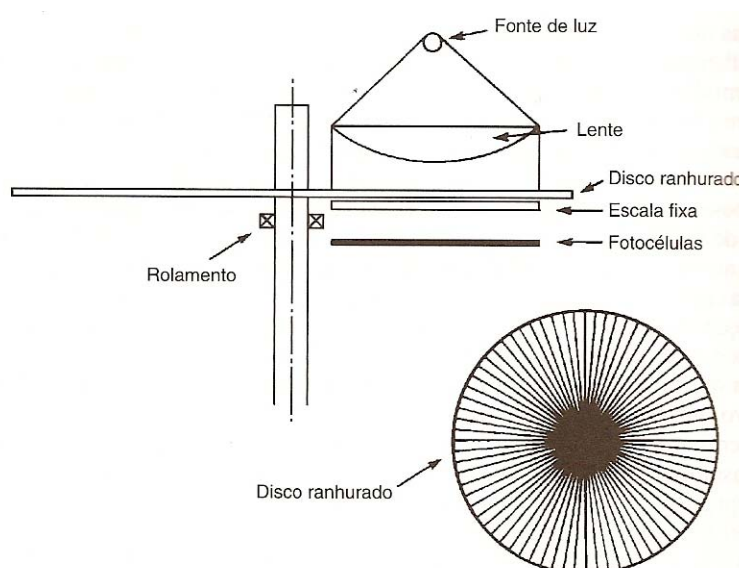


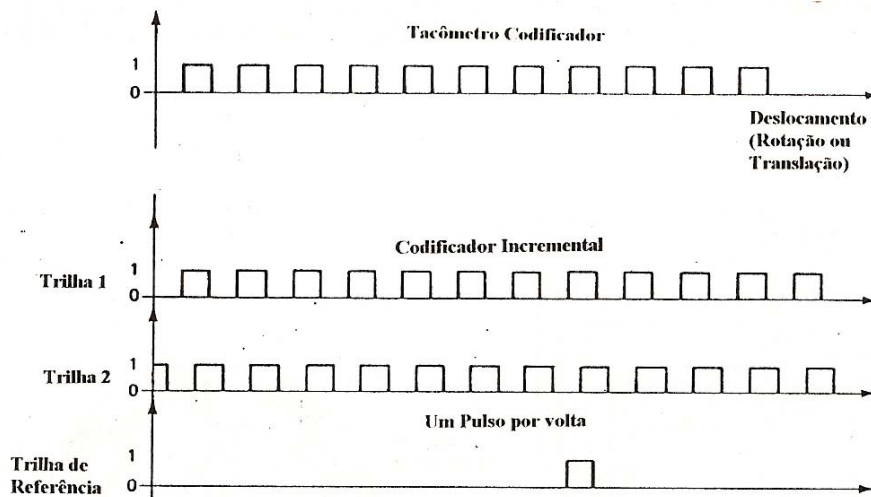
Para que o sistema tenha condições de diferenciar uma posição da outra, é necessário um contador de pulsos. O sistema só monitora a posição de peças com apenas um sentido de movimento.

No caso de movimento em ambos os sentidos, é necessário um contador “up/down” (incrementa num sentido e decrementa no outro). Utilizam-se dois conjuntos LED/Fototransistor colocados de tal modo que para cada sentido haverá uma ordem de excitação. Sempre que houver uma inversão de sentido, haverá duas obstruções de luz consecutivas em um dos sensores. Esta informação é usada para inverter a contagem. Neste caso, a resolução é metade da resolução obtida com apenas um conjunto (para cada passagem de furo haverá dois pulsos, um de cada conjunto): 720 pulsos por volta; resolução de 0.5°; palavra de 10 bits para representar todas as posições possíveis.

Resolução do sistema = distância / número de dentes ou furos
(relacionada com a precisão de usinagem das peças).

Estes tipos de sensores são chamados de “**encoders incrementais**”.





Exemplo:

Movimento da peça p/ esquerda		Movimento da peça p/ direita	
Trilha 1	Trilha 2	Trilha 1	Trilha 2
B	B	B	B
P	B	B	P
P	P	P	P
B	P	P	B
B	B	B	B
P	B	B	P
P	P	P	P
B	P	P	B

Para melhorar a resolução, utilizam-se vários sensores ao longo da cremalheira de forma que a distância entre eles seja tal que para um movimento da cremalheira equivalente a um dente, haja uma obstrução de luz em cada um dos sensores (passagem de um dente gera tantos pulsos quanto o número de sensores).

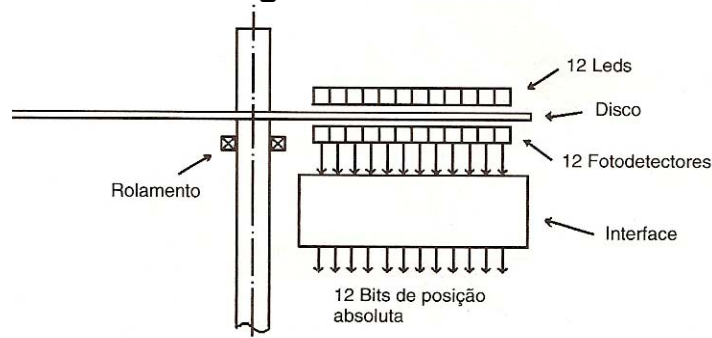
Exemplo: Máquinas ferramenta com controle numérico → escala linear de vidro com graduações gravadas por laser a cada 20μm → 4 sensores → resolução de 5μm

Exemplo: idem para rotação → escala circular (disco)

Desvantagem dos encoders incrementais: contagem eletrônica, devido ao posicionamento relativo; perda de energia provoca perda de informações e o sistema “se perde”, necessitando nova regulagem por parte do operador (“zeragem” com um padrão).

“Encoders” absolutos: medem a posição de maneira absoluta, utilizando várias trilhas com um sensor em cada uma delas.

Exemplo: 12 trilhas - angular



12 trilhas → 12 sensores → 2^{12} leituras por rotação → resolução de 0.09°

Exemplo: 4 trilhas - angular e linear

