

# Robótica

Sensores  
Aplicações de sensores

IPT  
Carlos Ferreira

# Organização da Apresentação

- Revisões?
- Resolver
  - Princípio de funcionamento;
  - Processamento dos sinais;
  - Resolver versus outros sensores;
  - Considerações finais.
- Outros sensores
  - LVDT
  - Efeito de Hall
  - Inductosyn

# Organização da Apresentação

- Potenciómetros
- Tacómetro
- Ópticos: encoders
- Capacitivos e indutivos
- Ultrassónicos
- Interruptor
- Extensómetro
- Exemplos de aplicações de sensores

# Sensores em robótica

- Internos
  - Posição
    - Eléctricos
      - Potenciómetros, Synchros e Resolvers, Inductosyn
    - Ópticos
      - Opto-interruptores, Codificadores absolutos e incrementais
  - Velocidade
    - Eléctricos: Tacómetros, Ópticos: Encoders
  - Acelerómetros

# Sensores em robótica

- Externos
  - Proximidade
    - Contacto – microinterruptores
    - Sem contacto
      - Reflexão de luz
      - Fibra óptica
      - Laser
      - Ultrasons
      - Corrente induzida, capacitivos e indutivos
      - Efeito de Hall
  - Tacto
    - Fotodetectores
    - Elastómetros
    - Pressão pneumática
    - Transferência de carga
  - Força
    - Medição de corrente no motor
    - Deflexão de zonas (dedos)
  - Visão

# Sensores em robótica

- Parâmetros estáticos
  - Gama: valores máximos e mínimos para as variáveis de entrada e saída de um sensor;
  - Exactidão: desvio da leitura de um sistema de medida face a uma entrada conhecida. O maior erro esperado entre os sinais medidos e o sinal ideal;
  - Repetibilidade: capacidade de reproduzir uma leitura com uma dada precisão;
  - Reproducibilidade: tem o mesmo sentido da repetibilidade, excepto que é utilizado quando se referem leituras distintas sob diferentes condições;
  - Resolução: a quantidade mais pequena que se pode medir ou detectar;
  - Erro: diferença entre o valor medido e o valor real;
  - Não linearidades: desvio entre a medida e o seu valor real, supondo que a resposta do sensor é linear. Tipicamente: saturação, zona morta e histerese;
  - Sensibilidade: taxa de variação da saída face a variações da entrada.  $s = \partial V / \partial x$ ;
  - Excitação: quantidade de corrente ou voltagem, necessária para o funcionamento do sensor;
  - Estabilidade: medida da possibilidade de um sensor indicar a mesma saída numa gama em que a entrada permanece constante.

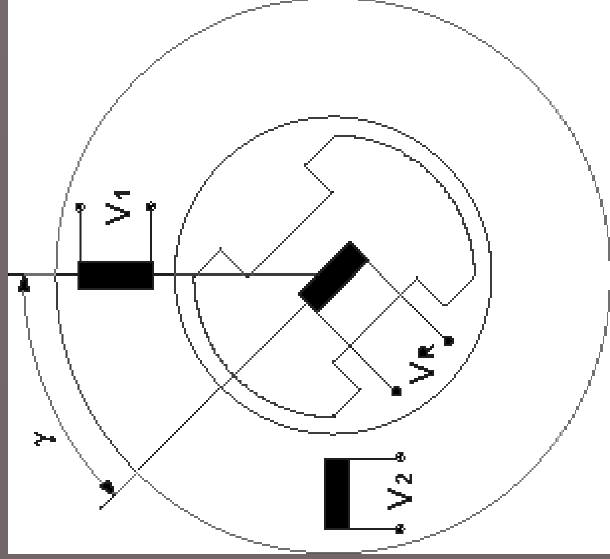
# Sensores em robótica

- Parâmetros dinâmicos
  - Tempo de atraso (td): tempo que a saída demora a alcançar 50% do seu valor final;
  - Tempo de subida (tr): tempo que a saída do sensor demora a alcançar o seu valor final;
    - Nota: “velocidade” do sensor
  - Tempo de pico (tp): tempo a saída de um sensor demora a atingir o valor de “overshoot”;
  - “Overshoot” (Mp): valor máximo da saída do sensor face ao valor final da saída;
  - Tempo de estabelecimento (ts): tempo que a saída demora a entrar numa banda de 5% em redor do valor final.



## Resolver – princípio de funcionamento

- Transformador rotativo que produz um sinal de saída, proporcional à posição do rotor.



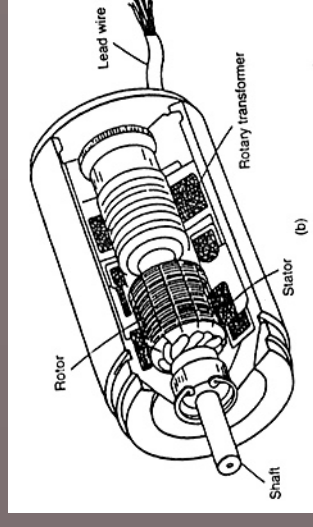
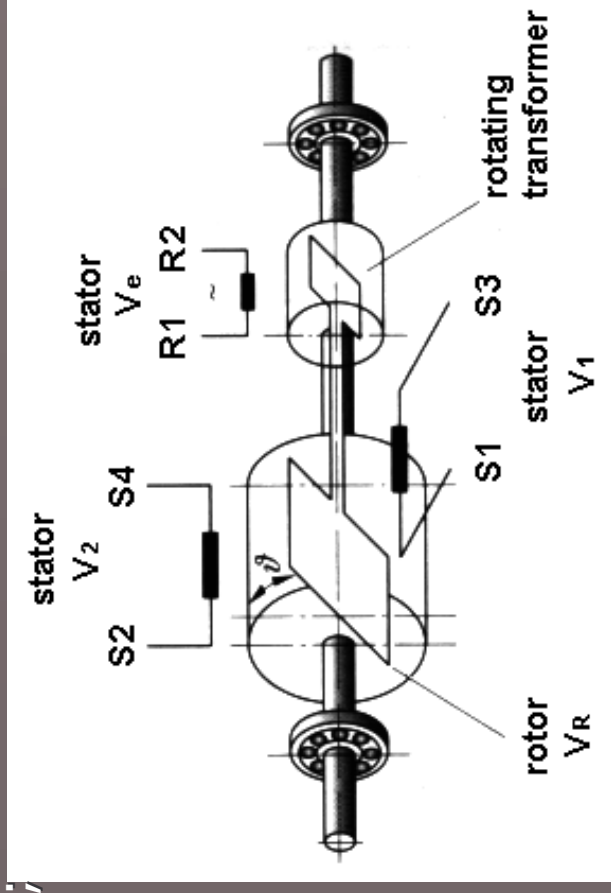


## Resolver – princípio de funcionamento

- Num RVDT o rotor consiste num enrolamento que em conjunto com a bobine do estator constituem o transformador;
- O resolver tem construção similar ao RVDT;
- No resolver, o estator é constituído por duas bobinas, desfasadas  $90^\circ$ ;
- Permite determinar a posição absoluta do veio do motor, ao longo de uma rotação;
- O sinal fornecido, permite calcular a velocidade e simular um encoder para controlo de posição.

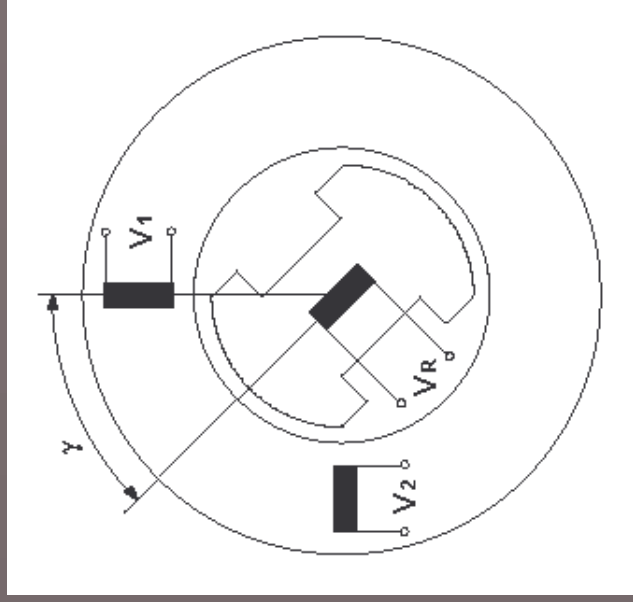
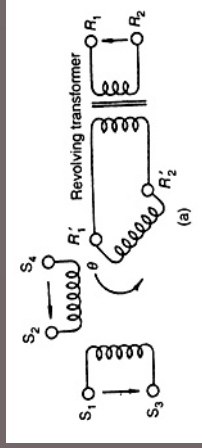
# Resolver – princípio de funcionamento

- A tensão transmitida pelo estator ao rotor está presente no segundo enrolamento;
- Tensão fornecida ao primário do estator é transmitida ao primário do rotor;
- Os dois enrolamentos do rotor estão electricamente acoplados;
- Tensões de diferentes magnitudes, são induzidas nos enrolamentos do estator;



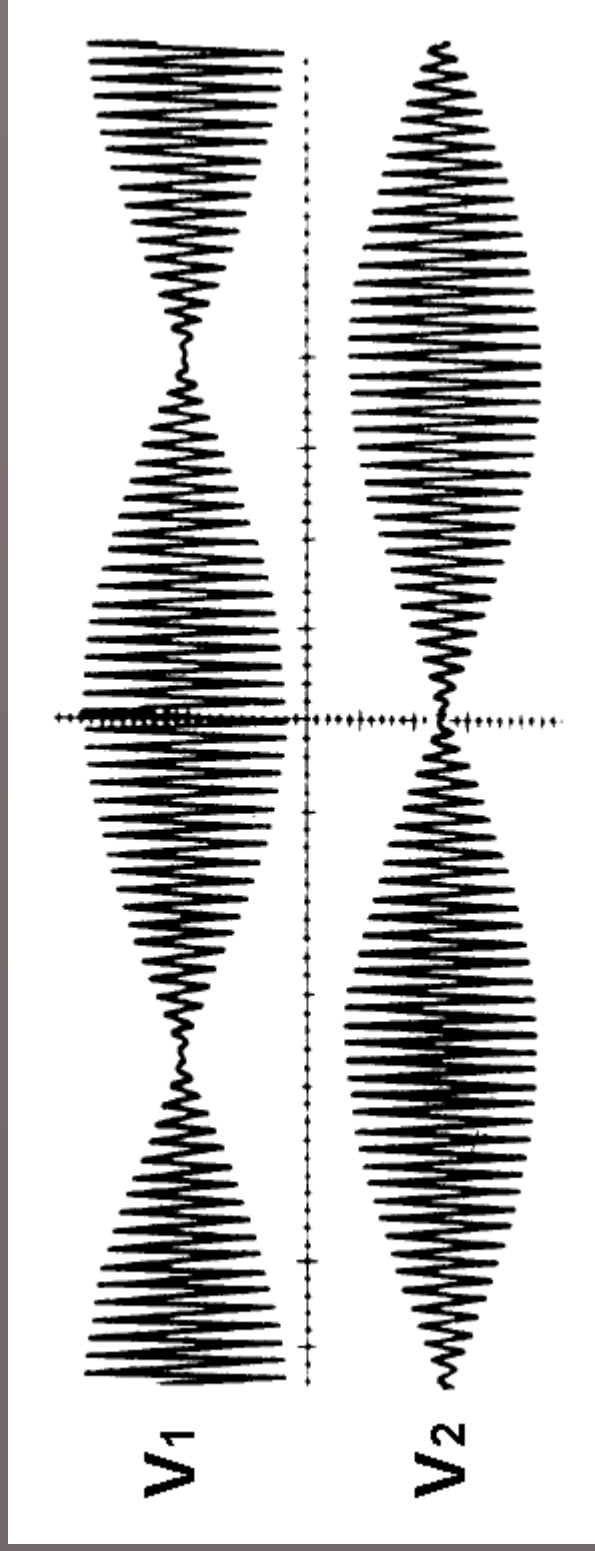
# Resolver – princípio de funcionamento

- Com a rotação do rotor, a tensão  $V_1$ , aumenta com polaridade invertida;
- $V_1$  atinge de novo o máximo em  $\gamma = 180^\circ$ ;
- Quando  $\gamma = 0^\circ$ , então  $V_1$  apresenta o valor de tensão máxima;
- Se  $\gamma = 90^\circ \Rightarrow V_1 = 0$ ;



## Resolver – princípio de funcionamento

- A tensão de saída  $V_1$  apresenta uma curva em cosseno;
- A tensão de saída  $V_2$  apresenta uma curva em seno;



# Resolver – princípio de funcionamento

- Com:

$\gamma$  - Ângulo do rotor

$\omega$  - Frequência de  $V_e$

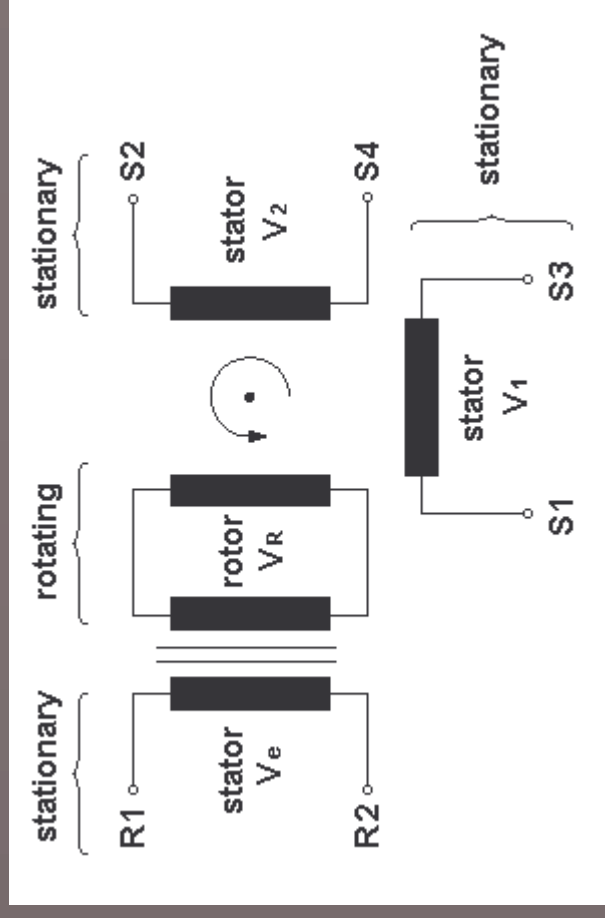
$V_s$  - Valor de pico da tensão

- Tensão de referência;

$$V_e = V_s \cdot \sin(\omega t)$$

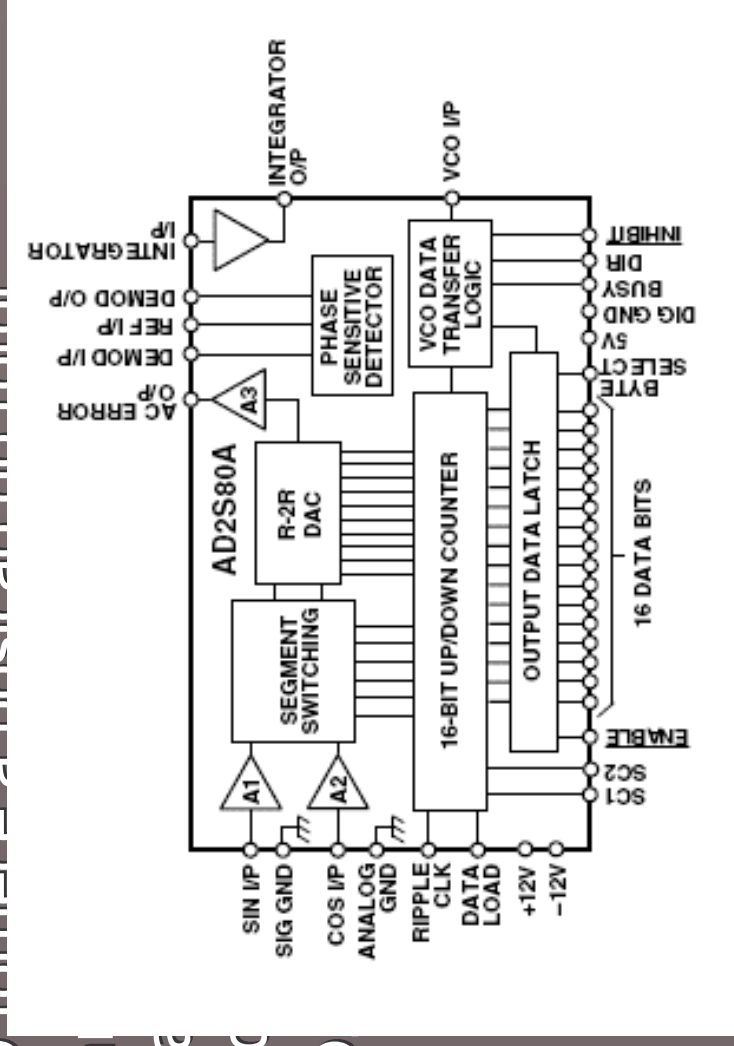
- Saídas

$$\begin{cases} V_1 = V_s \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\gamma) \\ V_2 = V_s \cdot \sin(\omega t) \cdot \sin(\gamma) \end{cases}$$

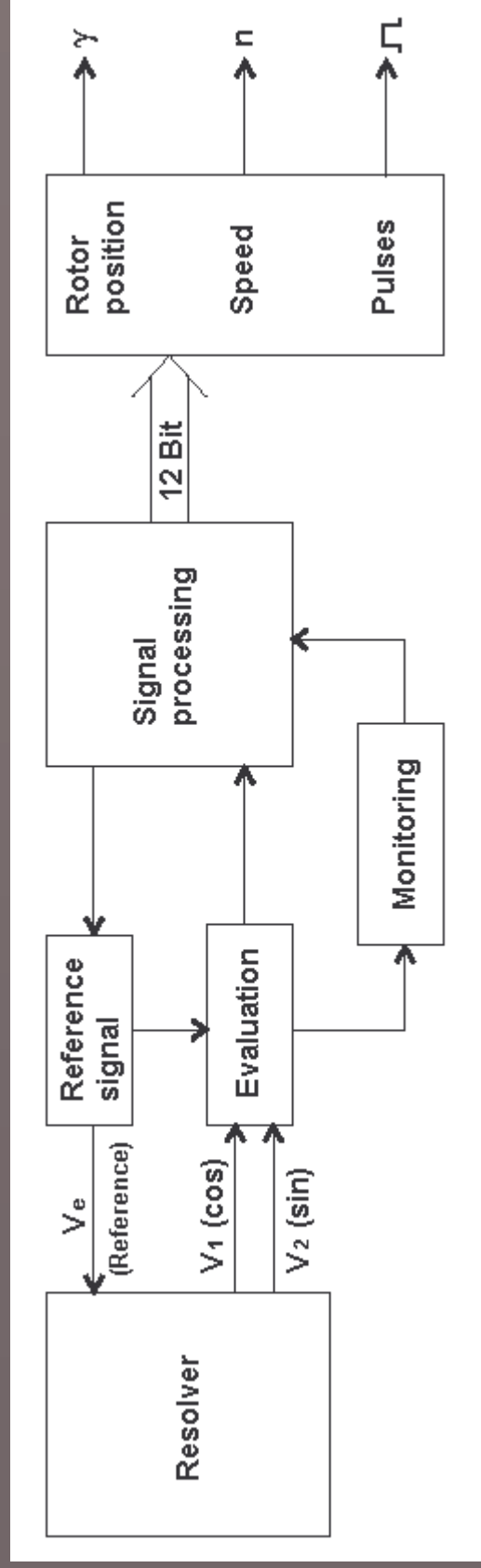


# Resolver – processamento dos sinais

- OS sinais são convertidos em valores numéricos através de um R/D (resolver/digital converter);
- O R/D fornece a posição do rotor;
- Utiliza intervalos de velocidade;
- Ex:AD



# Resolver – processamento dos sinais



## Resolver – processamento dos sinais

- Aplica-se o ângulo digital  $\varphi$ :

$$\begin{cases} V_1 \cdot \cos \varphi = V \cdot \sin(\omega t) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \varphi \\ V_2 \cdot \sin \varphi = V \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos \gamma \cdot \sin \varphi \end{cases}$$

- Os dois sinais são subtraídos um do outro:  
 $V \cdot \sin(\omega t) \cdot [\sin \gamma \cdot \cos \varphi - \cos \gamma \cdot \sin \varphi]$
- Comparando com a tensão de referência do rotor, resulta num erro proporcional a:

$$\sin(\gamma - \varphi)$$



# Resolver – processamento dos sinais



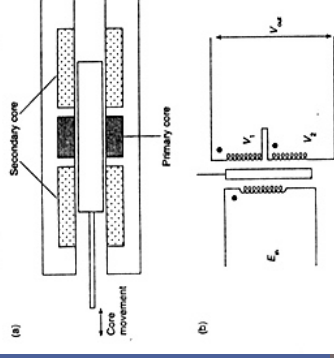
# Resolver versus outros sensores

	Robustez mecânica	Gama dinâmica	Resolução	Estabilidade térmica
Resolver	+++++	+++++	+++++	+++++
Encoder	++	+++	+++++	++++
Potenciómetro	+++	+	++	+

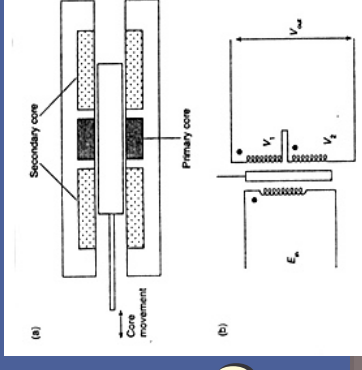
## Resolver – considerações finais

- Boa robustez mecânica;
- Imunidade a contaminações (grave problema nos encoders);
- Imunidade à humidade;
- Boa tolerância a temperaturas extremas (-55°C a 175°C)
- Não afectado por vibrações;
- Reduzido momento de inércia;
- Pouca carga mecânica sobre o funcionamento do veio;
- Electrónica associada mais complexa que nos encoders;
- Preço mais elevado que o dos encoders.

# Posição e deslocamento LVDT - princípio de funcionamento



# Posição e deslocamento LVDT - princípio de funcionamento



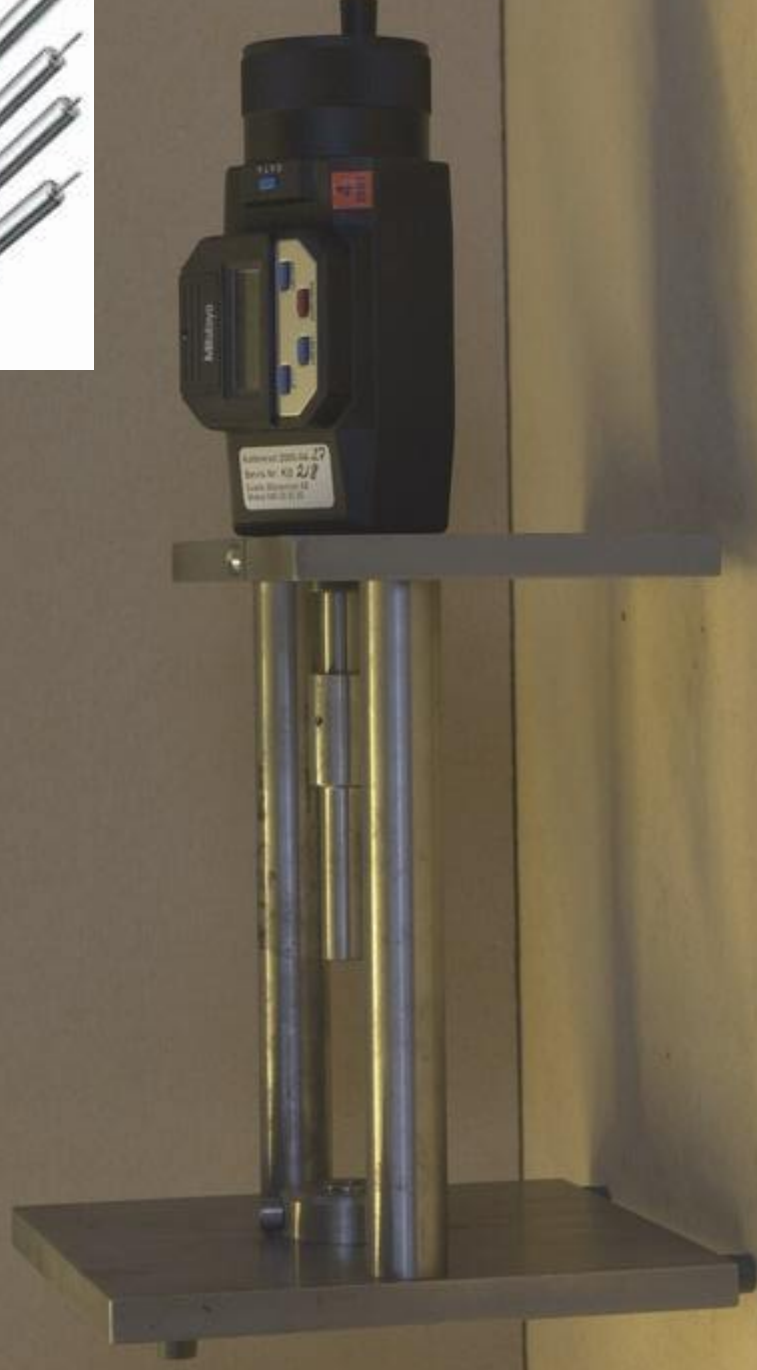
- Sensor cujo sinal eléctrico é proporcional ao deslocamento;
- O núcleo move-se linearmente no interior de um transformador;
- O primário é excitado com um tensão AC, induzindo tensões variáveis nas bobinas de saída;
- Os enrolamentos do secundário estão em oposição;
- Quando o núcleo está centrado, as tensões de saída anulam-se;
- Quando o núcleo se desloca, uma tensão aumenta e a outra diminui;
- Saída diferencial que varia linearmente com o deslocamento do núcleo.

# Posição e deslocamento LVDT - processamento

- O "zero" não ocorre quando o núcleo está centrado;
- A tensão de saída não nos diz para qual dos lados se produziu o deslocamento;
- A solução é utilizar valores absolutos.



# Posição e deslocamento LVDT – outras considerações



# Posição e deslocamento

## Efeito de Hall - princípio de funcionamento

- Aparecimento de uma tensão –  $V_H$  – num condutor, ou semicondutor, que é submetido a um campo magnético perpendicular à direcção da corrente que nele flui;





# Posição e deslocamento Efeito de Hall – sensor de rotação



# Posição e deslocamento - Inductosyn

- Similar ao resolver;
- Movimentos lineares.

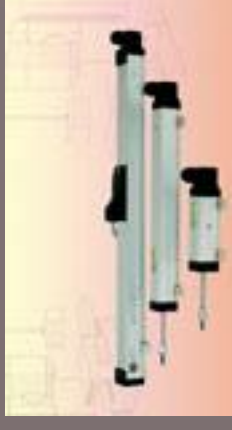


# Posição e deslocamento - Potenciômetro

- Contacto que se move sobre um fio de material resistivo;

$$V_0 = \frac{r}{R} V_s$$

- $r$  deve ser o mais possível linear com a distância  $d$  ou o ângulo  $\theta$ ;



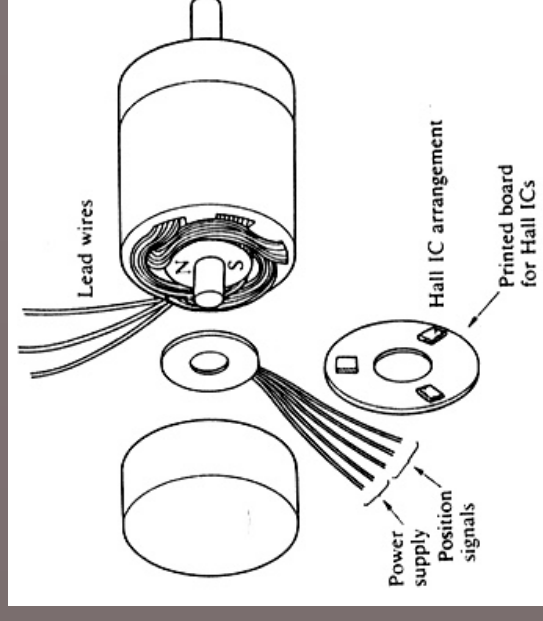
# Velocidade - Tacómetro



- Bobine sujeita um campo magnético com/sem (sensor de Hall) escovas para rectificar;

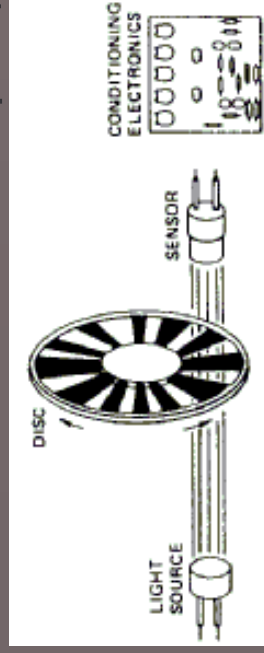
$$V_0 = KN$$

- “ripple” em função do nº de pólos

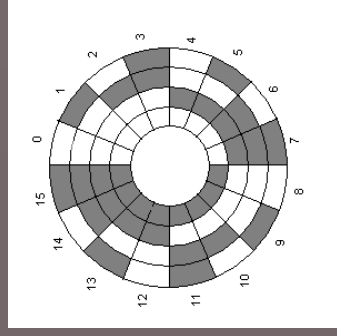


# Ópticos - Encoders

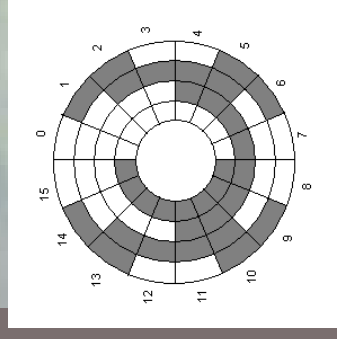
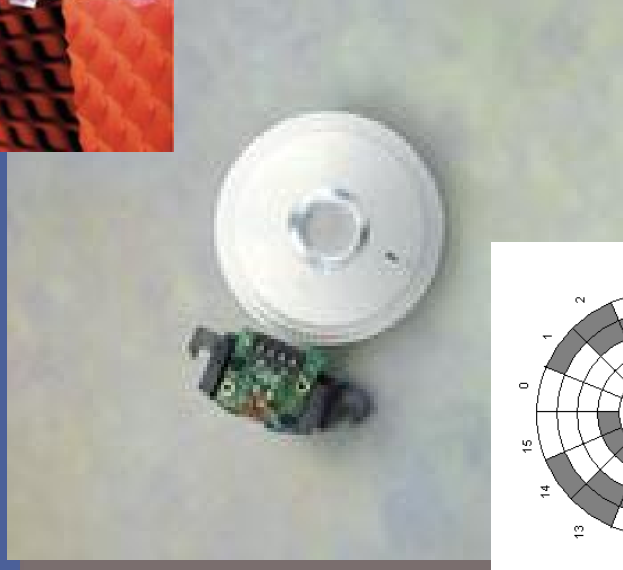
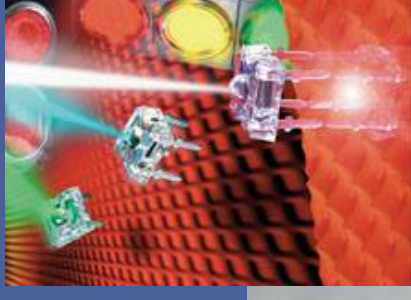
- Emissor de luz e receptor;



- Absolutos



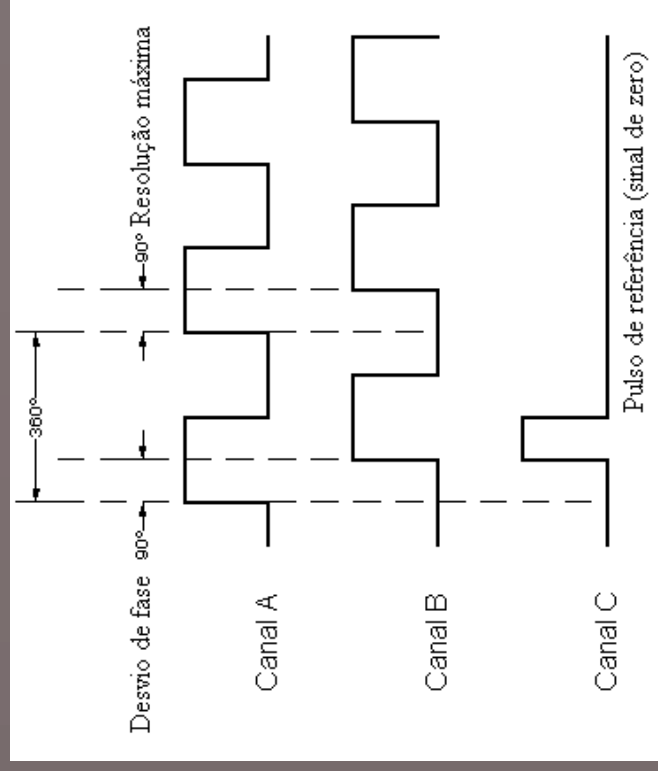
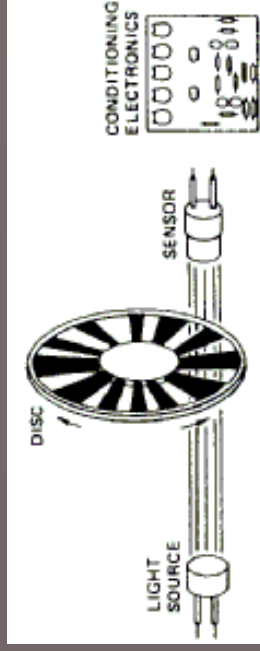
Natural



Gray  
Muda 1 bit/estado

# Ópticos - Encoders

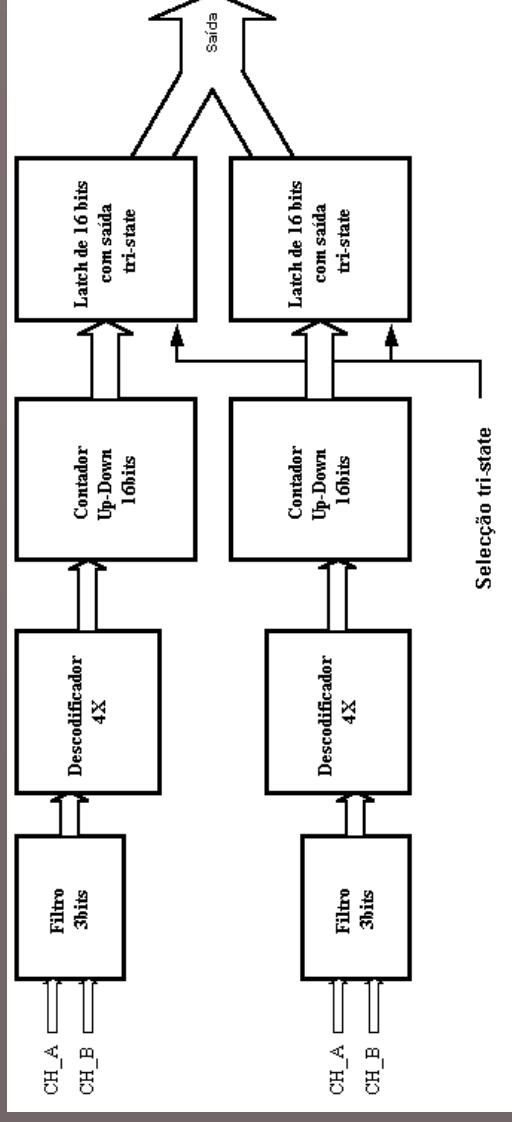
- Incrementais;



Dois canais em quadratura (90°) mais referência

# Ópticos - Encoders

- Lógica de descodificação;



- Filtro: 3 bits consecutivos no mesmo estado
- 4X: comparação entre estados consecutivos
- Contador UP/DWN
- Clock com  $f > 3f_{max}$





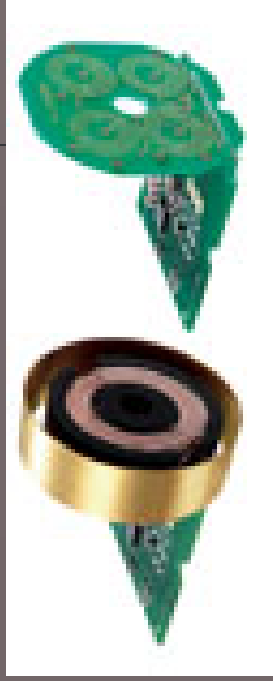
# Capacitivos

- Detector capacitivo
- $C = uA/d$ ,  $V = Q/C$



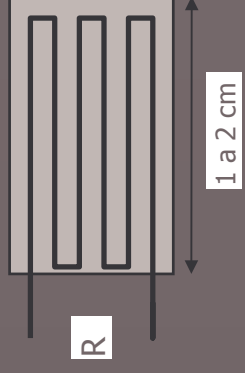
# Indutivos

- Detector indutivo
- $L=(u)$ ,  $Z=2\pi i.f.L$



# Extensómetros

- Extensómetros
  - 1 – cinta de extensómetros
  - 2 – corpo



# Ultrasonicos

- Ultrasonicos  
1 – detector, 2 – objecto, 3 – propagação acústica  
 $v=342\text{m/s}$ ,  $d=vt$ , medição do tempo



# Interruptor



- Detector electromecânico
  - 1 – batente
  - 2 – parte móvel
  - 3 – lingueta de contacto
  - 4 - contacto



# Aplicações de sensores

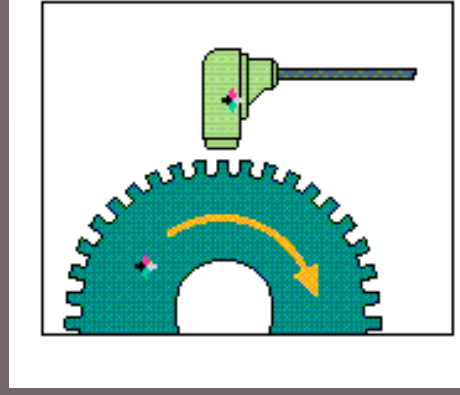
- Detector indutivo



# Aplicações de sensores

- Detector magnético-indutivo

- 1 – corpo
- 2 – detector
- 3 – íman permanente
- 4 – bobine
- 5 – núcleo de ferro
- 6 – disco dentado



# Aplicações de sensores

- Detector capacitivo





# Aplicações de sensores

- Efeito de Hall
  - 1 – íman
  - 2 – gerador de Hall
  - 3 – segmento giratório
  - 4 – barra magnética



# Aplicações de sensores

- Magnéticos



# Aplicações de sensores

- Ópticos - barreiras
  - 1 – corpo
  - 2 – conector
  - 3 – barreira de feixes
  - 4 – feixe de luz
  - 5 – feixes cruzados
  - 6 - suporte



# Aplicações de sensores

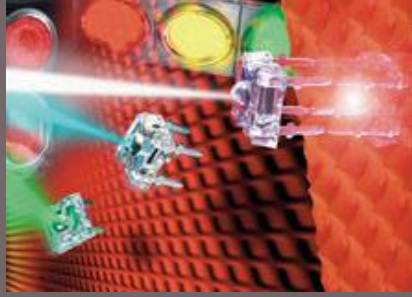
- Ópticos - barreiras



# Aplicações de sensores

- Ópticos - orientação

- 1 – detector
- 2 – tapete
- 3 - peça



# Aplicações de sensores



- Laser



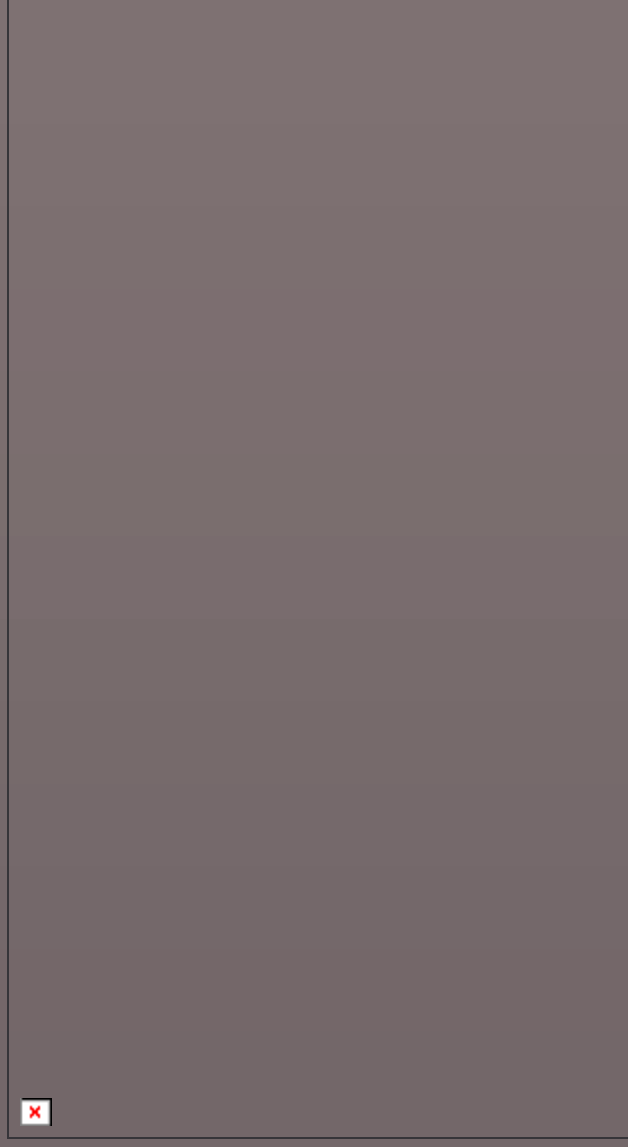
# Aplicações de sensores

- Laser



# Aplicações de sensores

- Extensómetros
  - 1 – cinta de extensómetros
  - 2 – corpo





**FIM**

IPT - Carlos Ferreira