



Introdução aos Sistemas de Instrumentação

Electrónica e Instrumentação

2º Semestre 2002/2003

Electrónica e Instrumentação - 1

Filipe Moreira



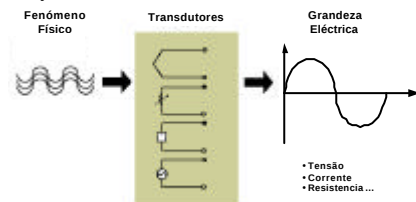
Elementos Constituintes do Sistema

➤ Mesurando

⇒ Processo ou variável física a medir: Temperatura; Força; Posição; Pressão...

➤ Transdutor/Sensor

⇒ Transdutores são dispositivos que convertem um dado fenómeno físico (mesurando) num outro. Os transdutores mais comuns convertem grandezas físicas não eléctricas em grandezas eléctricas.

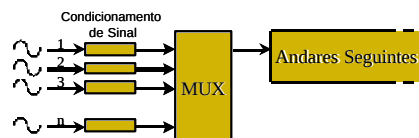


➤ Condicionamento de Sinal

⇒ Circuito de suporte ao transdutor e de optimização do sinal eléctrico gerado pelo transdutor à gama de entrada do sistema de aquisição. É constituído por um *sistema de alimentação ao sensor, amplificadores, filtros e sistemas de isolamento*.

➤ Multiplexagem

⇒ Consiste num comutador analógico que permite a distribuição de diversos sinais analógicos de entrada para um único andar de saída, regra geral o amplificador e o conversor A/D. O software pode controlar o multiplexer seleccionando o canal de interesse num dado momento.



Electrónica e Instrumentação - 2

Filipe Moreira



Princípios de Medição



A Medição e os Erros de Medida

- Medida:
 - ⇒ O acto da medição envolve um conjunto de operações que tem como objectivo a determinação do valor de uma grandeza. Processo de quantificação de uma grandeza.

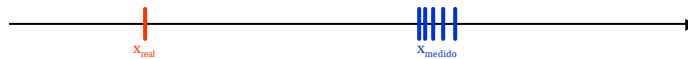
- Na concepção de um sistema de medida estão envolvidas múltiplas questões, tais como :
 - ⇒ Qual o método mais adequado?
 - ⇒ Como visualizar ou registar os dados?
 - ⇒ Qual a margem de erro admissível?
 - ⇒ Que tipo de comunicação deverá existir entre os diferentes módulos?
 - ⇒ Que capacidade de cálculo é necessária?

 - ⇒ Que tipo de controlo resultará da medida efectuada?



Os Erros de Medida

- O resultado da medida não conduz ao conhecimento do verdadeiro valor da grandeza, fornece apenas uma indicação de uma quantidade que vem sempre afectada de um erro;
- Exactidão:
 - ⇒ É o grau de proximidade entre o resultado da medição e o verdadeiro valor da grandeza medida.
- Precisão:
 - ⇒ É o grau de aproximação entre os resultados de medições sucessivas de uma mesma grandeza, efectuadas nas mesmas condições. Afere a repetibilidade de uma medida.



- No exemplo anterior pode-se dizer que a medida foi precisa pois os valores medidos estão próximos entre si, mas não será exacta porque estão afastados do valor real.



Os Erros de Medida

- Erro Absoluto:
 - ⇒ Valor absoluto da diferença entre o valor medido e o valor real. Por vezes é expresso sobre a forma de uma percentagem do valor fim de escala do instrumento ou sistema de medida.

$$\text{Erro Absoluto} = \pm | \text{Valor Medido} - \text{Valor Real} |$$

- ⇒ O Erro absoluto deve ser representado sobre a forma de uma grandeza com unidades, por exemplo: $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Erro Relativo:
 - ⇒ Quociente entre o erro absoluto e o valor real. Quando o valor real não é conhecido pode utilizar-se o valor medido.

$$\text{Erro Relativo} = \text{Erro Absoluto} / \text{Valor Real}$$

- ⇒ O Erro Relativo deve ser representado sobre a forma de uma percentagem, por exemplo: $20^{\circ}\text{C} \pm 1\%$.

- A medida e o seu erro devem ser expressos por números com a mesmas precisão:

⇒ $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ✓

~~$20^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ e $20.5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$~~



Transdutores e Sensores



Transdutores, Sensores e Actuadores

- Transdutor:
 - ⇒ Transdutor é um dispositivo capaz de converter um dado fenómeno físico num outro. Os transdutores mais comuns convertem grandezas físicas não eléctricas em grandezas eléctricas. Conversor de energia.
- Sensor:
 - ⇒ Um sensor é um dispositivo capaz de adquirir informação sobre fenómenos físicos não perceptíveis aos sentidos humanos, quer pela sua natureza quer pela sua ordem de grandeza.
- Actuador:
 - ⇒ É um transdutor de saída. Convertem grandezas físicas eléctricas noutros tipos de grandezas para controlo de qualquer processo.
 - ⇒ Exemplos:
 - Trinco Eléctrico;
 - Electrovalvula;
 - Motor eléctrico;
 - ...



Classificação dos Sensores

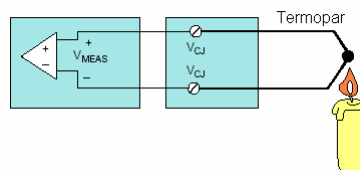
- Os Sensores podem ser classificados segundo diferentes critérios, o mais comum classifica-os de *Activos* e *Passivos*.

- **Sensores Activos:**

- ⇒ Sensores que geram energia eléctrica.

- ⇒ **Exemplos:**

- Sensor piezoeléctrico (Membrana de um microfone) – geram uma tensão eléctrica quando são deformados.
 - Termopares – geram uma tensão eléctrica quando as junções estão a temperaturas diferentes

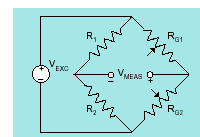


- **Sensores Passivos:**

- ⇒ Não geram energia eléctrica, é necessária uma fonte de energia auxiliar para se extrair o sinal.

- ⇒ **Exemplos:**

- Sensores resistivos – variação da resistência com a grandeza física : extensómetros, termistores, RTD's, LDR's, ...



Características Estáticas dos Sensores

- **Exactidão:**

- ⇒ Grau de proximidade entre o resultado da medição e o verdadeiro valor da grandeza medida.

- **Precisão:**

- ⇒ É o grau de aproximação entre os resultados de medições sucessivas de uma mesma grandeza, efectuadas nas mesmas condições. Afere a repetibilidade de uma medida.

- **Sensibilidade:**

- ⇒ Quociente entre a variação dos valores da grandeza de saída pela correspondente variação da grandeza de entrada.

- ⇒ Para um sensor cuja saída se relacione com a entrada pela curva $y=f(x)$, a sensibilidade no ponto, x_a , é :

$$S(x_a) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_a}$$

- ⇒ É desejável que a sensibilidade seja **máxima e constante**.

- ⇒ **Por exemplo:**

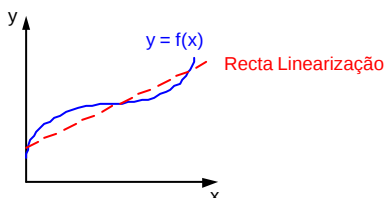
- $y=kx+b$ $\Rightarrow S = k$ (constante)
 - $y=kx^2+b$ $\Rightarrow S = 2kx$ (variável)



Características Estáticas dos Sensores

➤ Linearidade:

- ⇒ Grau de aproximação entre a curva de calibração do sensor e uma recta de aproximação.
- ⇒ Determina a constância da Sensibilidade. Sendo linear é mais simples estabelecer a relação entrada saída.



➤ Resolução:

- ⇒ Define a mínima variação de entrada que produz uma variação da saída.



Características Dinâmicas dos Sensores

➤ Descrevem o comportamento do sensor quando o sinal de entrada varia no tempo.

➤ Erro Dinâmico:

- ⇒ Traduz o erro introduzido pelo sensor quando o sinal de entrada varia no tempo, sabendo -se que o erro estático é nulo.

➤ Velocidade de Resposta:

- ⇒ Define o tempo de reacção do sensor às variações da entrada.
- ⇒ Em sistemas de monitorização o tempo de resposta não é preponderante, mas em sistemas de controlo é quase sempre.

➤ Os sistemas de medida podem também ser classificados pela ordem da característica de resposta.

- ⇒ Ordem zero: $\frac{Y(s)}{X(s)} = k$
- ⇒ Primeira Ordem: $\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{ts + 1}$
- ⇒ Segunda Ordem: $\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$



Fenómenos de Base ao Funcionamento

- Resistência eléctrica como função do comprimento: $R = r \frac{\ell}{S}$
- Resistência eléctrica como função da temperatura: $R_f = R_i [1 + a (t_f - t_i)]$

- Resistência eléctrica como função da radiação:

$$R = a \cdot e^{\frac{\epsilon}{kT}} \quad \epsilon \text{ varia com a intensidade e o tipo da radiação}$$

- Capacidade como função da variação da distância e área das placas:

$$C = e_0 e_r \frac{A}{d} \quad e_r - \text{constante do dieléctrico}$$

- Indutância como função das propriedades magnéticas do circuito:

$$L = m_0 m_r \frac{A \cdot N^2}{\ell} \quad \mu_r - \text{permeabilidade magnética do meio}$$



Fenómenos de Base ao Funcionamento

- Cristais piezoeléctricos:
 - ⇒ Quando é sujeito a uma deformação, cria uma diferença de potencial entre as suas faces - **conversão mecano-eléctrica**;
 - ⇒ Quando se aplica uma tensão entre faces opostas do cristal, este sofre uma deformação - **conversão electro-mecânica**.
- Efeito termoeléctrico:
 - ⇒ Uma junção formada por dois materiais distintos, que se encontram a diferentes temperaturas, cria uma f.e.m. função da composição dos metais e da diferença de temperatura.

Exemplos de transdutores:

- **Termopar** - sensor baseado no efeito termoeléctrico
- **LDR** - resistência variável com a luminosidade
- **Termistor** - resistência de sensibilidade térmica



Técnicas de Construção

- Transdutores de estado sólido:
 - ⇒ Constituídos por silício e outros materiais semicondutores, permitem a obtenção de vantagens a nível de fiabilidade, condicionamento de sinal, redução da relação sinal/ruído e diminuição de custos.
- Transdutores ópticos:
 - ⇒ Têm por base os desenvolvimentos surgidos na área dos laser, dos foto-detectors e das fibras ópticas. Aliados à visão artificial através de câmaras de vídeo;
 - ⇒ Permite a sua utilização em aplicações que vão desde a medida de distâncias, controlo de qualidade baseado em visão artificial e reconstrução tridimensional do local de trabalho de um robô.
- Transdutores piezoelétricos
 - ⇒ Baseiam o seu funcionamento num fenómeno de polarização provocada em determinados cristais através de contracções mecânicas. Utilizados em acelerómetros e medição por ultra-sons. Têm, também, aplicação na detecção de gases e como sensores de pressão.



Técnicas de Construção

- Transdutores ultra-sónicos:
 - ⇒ Permite uma forma de medida que não invade o meio, sendo utilizados em campos como o controlo de processos ou a electromedicina (recolha de imagens por ultra-sons).
 - reduzem o nível de risco;
 - eliminam o risco de contaminação dos elementos que são alvo da medida, como por exemplo, produtos alimentares;
 - não interferem com o meio.
- Transdutor ideal:
 - ⇒ Alta fidelidade – forma de onda Independente da distorção;
 - ⇒ Efeito de carga nulo;
 - ⇒ Linearidade absoluta da função de transferencia;
 - ⇒ Insensibilidade à influência de grandezas externas;
 - ⇒ Dimensões bem adaptadas ao local de instalação;
 - ⇒ Medida isenta de erros.

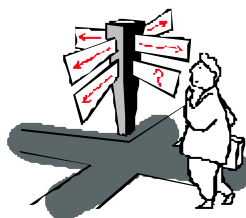


Transdutores de Deslocamento

- São sensíveis à alteração da posição ou ao deslocamento de um objecto. Ligados às medidas de movimento e de alterações dimensionais.

- Tipos:

- ⇒ Potenciométricos;
- ⇒ Extensómetros;
- ⇒ Capacitivos;
- ⇒ Indutivos;
- ⇒ Ópticos.

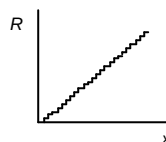
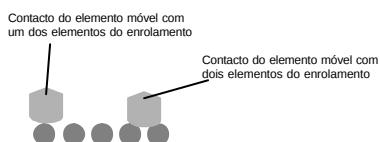


Transdutores Potenciométricos

- São os transdutores de deslocamento mais simples e eficientes;
- Compostos por um enrolamento de fio condutor e um contacto móvel solidário com o objecto em movimento (cursor).



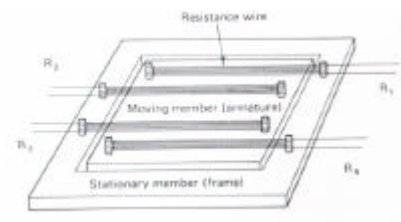
O cursor estabelece contacto com cada um dos elementos do enrolamento ou curto-circuita elementos consecutivos → **resistência não é contínua**, o que limita a resolução destes transdutores.





Extensómetros de Resistência

- O material que compõe o transdutor sofre uma variação da sua resistência de modo proporcional com a deformação a que é sujeito, devido a pequenos deslocamentos ou deformações relativas.
- Estes transdutores medem deslocamentos muito pequenos ($<20\mu\text{m}$)
- Normalmente são usados como transdutores de força, binário e pressão.



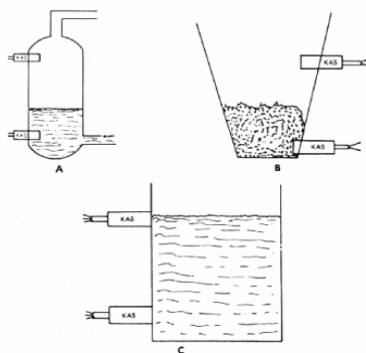
$$\text{Gauge Factor} = \frac{\partial R / R}{\partial l / l}$$



Transdutores Capacitivos

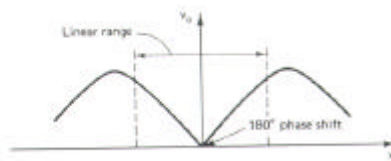
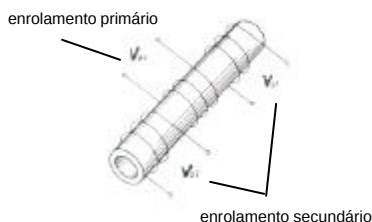
- Baseiam-se na variação da capacidade entre duas placas em função da variação da separação entre elas ou da variação do dielétrico que as separa.

- ⇒ Electrónica mais complexa
- ⇒ facilidade de acoplamento mecânico
- ⇒ elevada sensibilidade





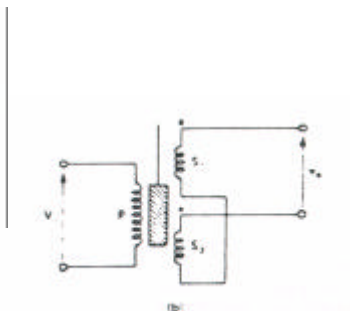
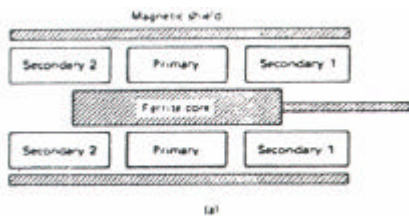
Transdutores Indutivos (LVDT)



- O enrolamento primário recebe uma tensão alternada. Nos enrolamentos secundários são induzidas tensões sinusoidais com frequência igual à da excitação, variando a amplitude com a posição do núcleo magnético.



Transdutores Indutivos (LVDT)



- O afastamento do núcleo relativamente à sua posição central aumenta a indutância mútua de um dos enrolamentos secundários e diminui a do outro.



Transdutores Indutivos (LVDT)

➤ Características:

- ⇒ **Medições sem atrito** - não existe contacto entre o núcleo móvel e a estrutura dos enrolamentos;
- ⇒ **Resolução “infinita”** - a ausência de fricção permite ao LVDT responder a qualquer alteração de posição do núcleo;
- ⇒ **Repetibilidade da “posição nula”** - a simetria de construção conduz a uma posição zero que não sofre alteração;
- ⇒ **Isolamento da entrada/saída** - o isolamento inerente aos enrolamentos não requer a utilização de amplificadores de isolamento;
- ⇒ **Vida mecânica “infinita”** - conferida pela ausência de contacto.



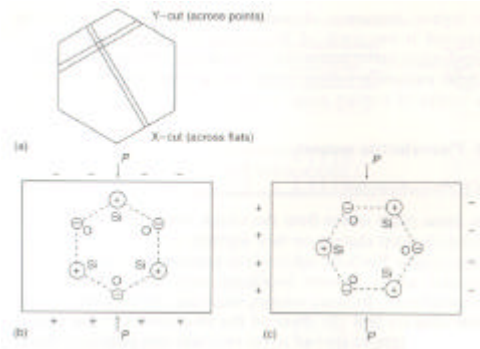
Transdutores Piezoeléctricos

- O nome piezo, tem a sua origem na palavra grega que significa **pressão**.
- Certos materiais, quando pressionados, produzem cargas eléctricas nas suas superfícies.
- **Exemplos:**
 - ⇒ materiais cristalinos assimétricos naturais: quartzo, sais de Rochelle;
 - ⇒ cristais sintéticos: sulfato de lítio;
 - ⇒ materiais cerâmicos: bário/titânio;
 - ⇒ polímeros (produzidos a partir da década de 80).
- Um elemento piezoeléctrico deve ser encarado como um gerador de carga e um condensador; a deformação mecânica gera uma carga.



Transdutores Piezoelétricos

- Apresentam uma sensibilidade direccional, isto é, a d.d.p. que corresponde a uma **tracção** é igual e oposta à produzida por uma **compressão** de igual intensidade.
- Estes materiais podem ser encarados como sensores de deslocamento, embora sejam, geralmente, integrados em transdutores de força, pressão e aceleração.
- Um microfone, constituído por um material piezoelétrico, pode ser visto como um sensor de pressão especializado.



Transdutores Piezoelétricos

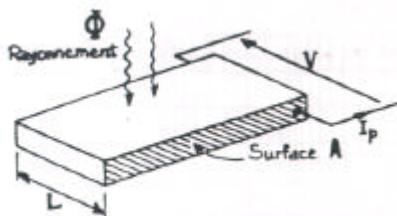
- As principais vantagens dos transdutores piezoelétricos são:
 - ⇒ A resolução é uma pequena fracção do máximo valor medido;
 - ⇒ Exemplo:
 - Um sensor de quartzo consegue medir pressões da ordem dos 20 000 N com uma resolução de 0.02 N
 - ⇒ A resposta em alta frequência é constante, a partir dos 10 kHz.
- A desvantagem é que não apresentam resposta estática, dado que a d.d.p. nas superfícies desaparece rapidamente.
- Com um amplificador de alta impedância de entrada, eléctrodos e superfícies limpas é possível obter uma constante de tempo de alguns minutos, para um sensor de quartzo.



Transdutores Optoelectrónicos

➤ Efeito fotoelétrico:

- ⇒ Traduz-se pela modificação das propriedades eléctricas de um material, devido à influência de um raio de luz incidente.



- A intensidade do efeito fotoelétrico, em regime permanente, é proporcional ao número de cargas libertadas em cada segundo



Transdutores Optoelectrónicos

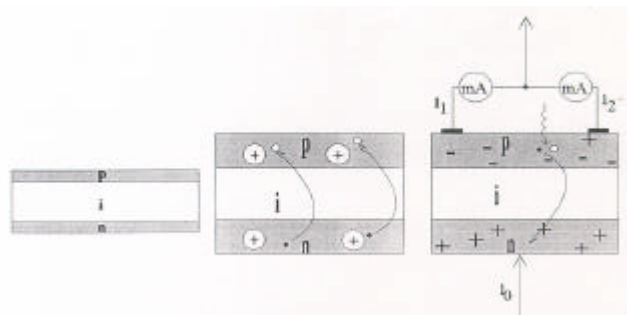
Parâmetro	Alteração	Medida
Direcção da propagação	Desvio	posição angular, deformação
Fluxo	Absorção	composição química
	Presença ou ausência	velocidade de rotação de um disco, número de objectos
Frequência	Alteração da frequência	velocidade de deslocamento
Comprimento de onda	Repartição espectral da energia	temperatura da fonte de emissão
Fase	Desfasamento entre dois raios luminosos	posição, dimensão, deslocamento



Transdutores Optoelectrónicos

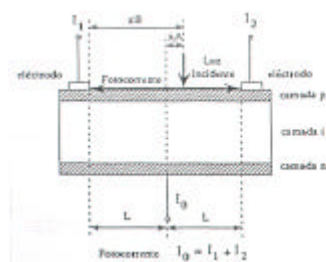
➤ Sensores PSD (Position-Sensitive Detector)

⇒ É um dispositivo optoelectrónico do tipo PIN (Positivo-Impurezas-Negativo) planar capaz de fornecer informação contínua da posição de um feixe incidente que se desloca na sua superfície.



Transdutores Optoelectrónicos

➤ As concentrações de vazios e electrões nas camadas p e n dão origem a correntes de deslocamento e difusão de transportadores de carga, sendo a corrente total nula se não houver qualquer fonte exterior de energia.



$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I_0 \frac{L - xA}{2L}$$

$$I_2 = I_0 \frac{L + xA}{2L}$$

➤ A resolução destes sensores está relacionada com a homogeneidade conseguida na produção e com a dimensão do feixe luminoso.



Transdutores de Temperatura

- Temperatura
 - ⇒ Medida escalar que determina a direcção do fluxo de calor entre dois corpos; uma medição estatística.
- Medição Temperatura:
 - ⇒ Sensores Mecânicos
 - ⇒ Sensores Eléctricos
 - Pirómetro óptico
 - RTD (Resistive Temperature Detector)
 - Termómetro, IC
 - Termo par



Transdutores de Temperatura

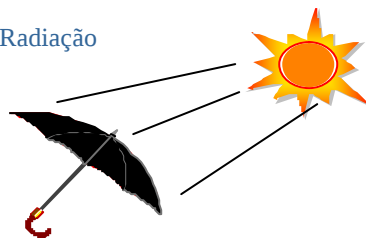
- Como é transferido o calor?

Condução

Caneca metálica de café



Radiação



Convecção



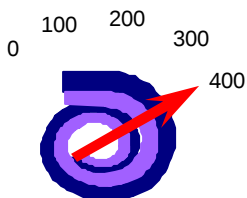


Transdutores de Temperatura

➤ Sensores Mecânicos

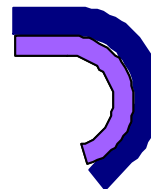
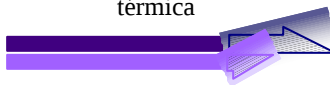


Dois metais diferentes
firmemente unidos



Termómetro bimetalico

Forças devidas à expansão
térmica



Resultado

Termómetro bimetalico

- ⇒ Fraca precisão
- ⇒ Histerese

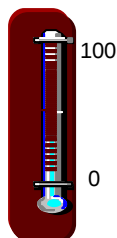
A expansão térmica causa grandes
problemas em outras aplicações:

- ⇒ interferência mecânica



Transdutores de Temperatura

Termómetro líquido



➤ Termómetro líquido:

- ⇒ exacto numa gama reduzida;
- ⇒ exactidão & resolução = $f(\text{comprimento})$;
- ⇒ gama limitada pelo líquido;
- ⇒ frágil;
- ⇒ massa térmica grande;
- ⇒ lento.

Tinta



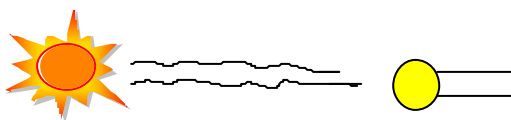
➤ Tintas térmicas:

- ⇒ mudança irreversível;
- ⇒ fraca resolução;
- ⇒ úteis para grandes áreas.



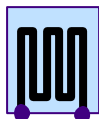
Pirómetro Óptico

- Sensível à radiação infravermelha;
- Fotodiodo ou fototransistor;
- Exactidão= $f\{\text{emissão}\}$;
- Útil para temperaturas elevadas;
- Sem contacto;
- Alto custo;
- Pouca precisão.



RTD's

- Resistance Temperature Detector:



- Mais exacta e estável;
- Bom até 800 graus Celsius;
- Resistência= $f\{\text{Temperatura absoluta}\}$;
- O auto-aquecimento é um problema;
- Baixa resistência;
- Não-linear.



RTD's

➤ Equação RTD

⇒ $R = 100 \text{ Ohms}$ para 0°C

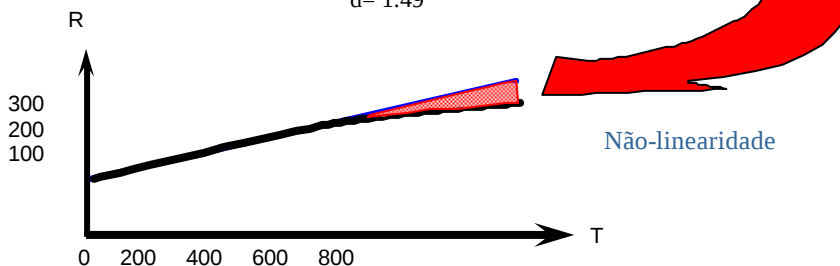
⇒ Equação de Callendar-Van Deusen:

⇒ Para $T > 0^\circ\text{C}$ $R = R_0(1 + aT) - R_0(ad(0.01T)(0.01T - 1))$

$R_0 = 100 \text{ } \Omega$ para 0°C

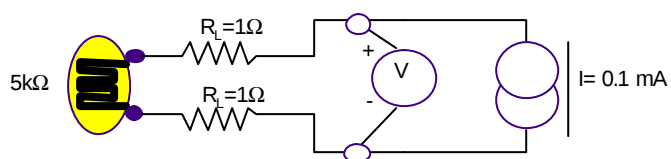
$a = 0.00385^\circ\text{C}^{-1}$

$d = 1.49$



Termistores

➤ Construído com material semiconductor



➤ Sensibilidade: $5 \text{ k}\Omega$ para 25°C ; $\Delta R = 4\%/^\circ\text{C}$;

➤ Gama limitada;

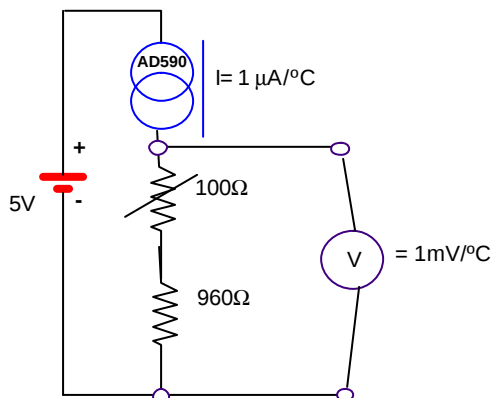
➤ Baixa massa térmica: Alto auto-aquecimento;

➤ Pouco linear.



Sensores Integrados

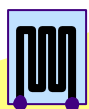
➤ AD590



- Saída elevada;
- Muito linear;
- Exactidão em ambientes fechados;
- Gama limitada;
- Barato.



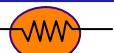
Sumário



RTD

- ✓ Mais exacto
- ✓ Mais estável
- ✓ Relativamente linear

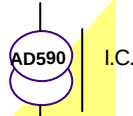
- ✗ Caro
- ✗ Lento
- ✗ Necessita fonte de I
- ✗ Aquecimento



Termistor

- ✓ Saída elevada
- ✓ Rápido

- ✗ Pouco linear
- ✗ gama limitada
- ✗ Necessita fonte de I
- ✗ Aquecimento
- ✗ Fragilidade



I.C.

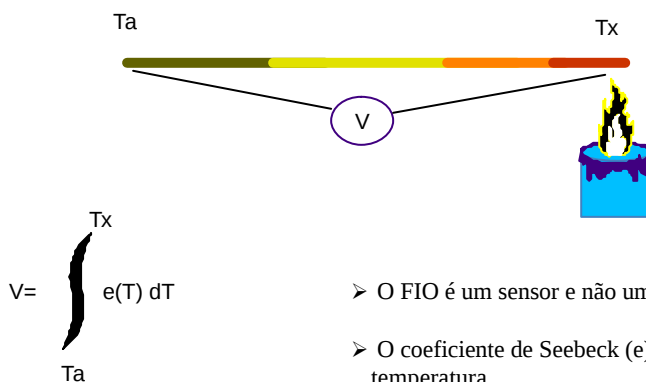
- ✓ Saída elevada
- ✓ Muito linear
- ✓ Barato

- ✗ Variedade limitada
- ✗ Gama limitada
- ✗ Necessita fonte V
- ✗ Aquecimento



Termopar

➤ A teoria dos Gradientes

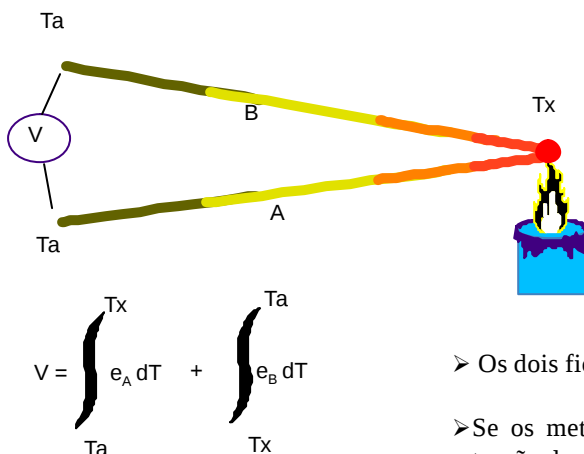


- O FIO é um sensor e não uma junção
- O coeficiente de Seebeck (e) é função da temperatura



Termopar

➤ Criação de um termopar

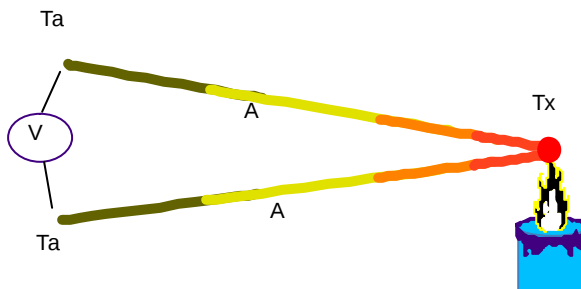


- Os dois fios formam um termopar
- Se os metais forem diferentes, a tensão de saída é diferente de zero



Termopar

- A teoria dos Gradientes diz ainda que...



$$V = \int_{Ta}^{Tx} e_A dT + \int_{Tx}^{Ta} e_A dT = 0$$

- Se os fios forem do mesmo tipo, se existir apenas um fio, ou ambos os limites estiverem à mesma temperatura, a saída é zero



Considerações Finais

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

Licenciatura em Engenharia Informática

Estes acetatos servem de apoio à disciplina de Electrónica e Instrumentação

Ano lectivo 2001/2002

Os acetatos são uma adaptação aos originalmente realizados pelo Eng.º Fernando Monteiro e pelo Eng.º Henrique Gonçalves