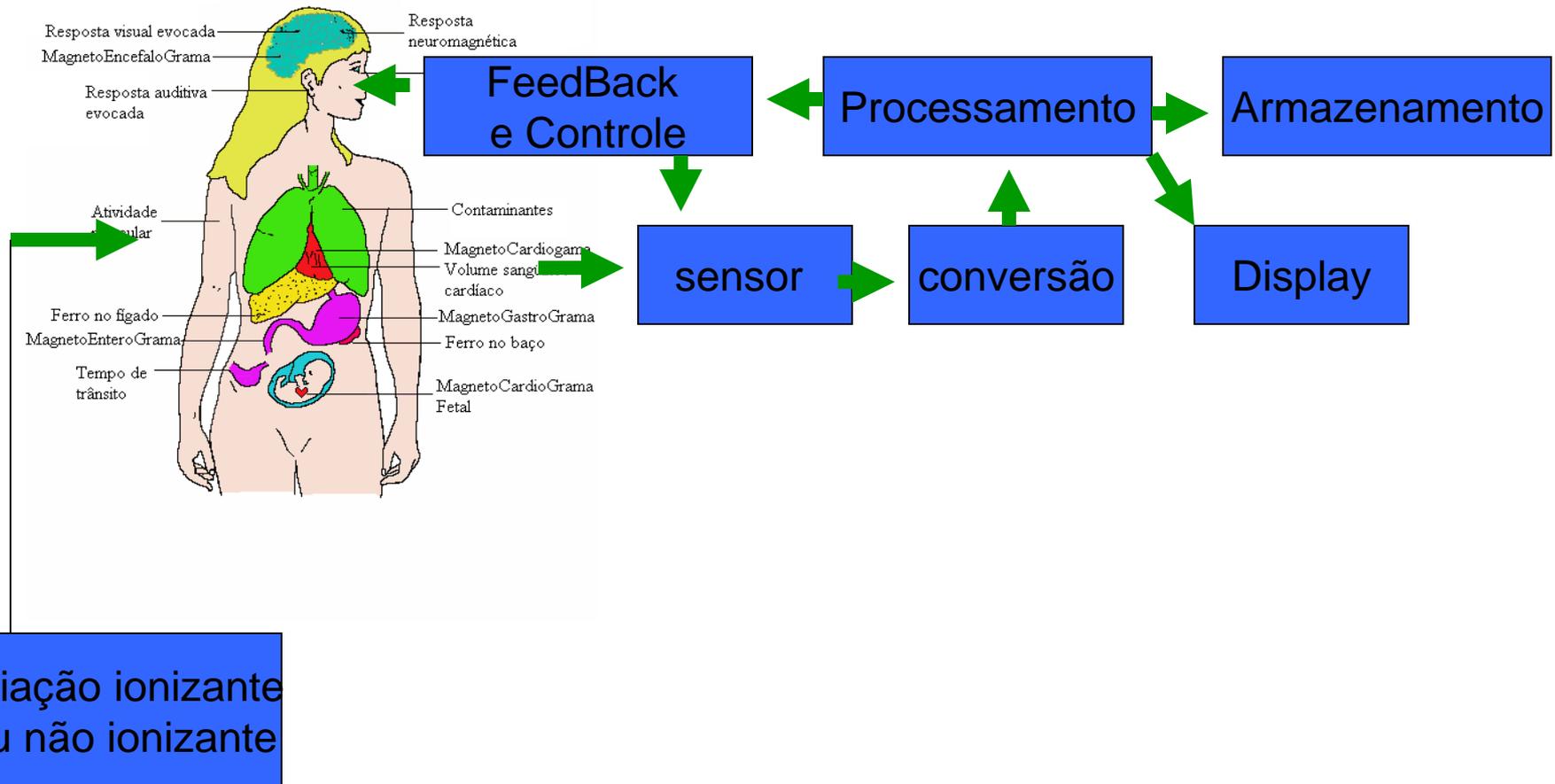


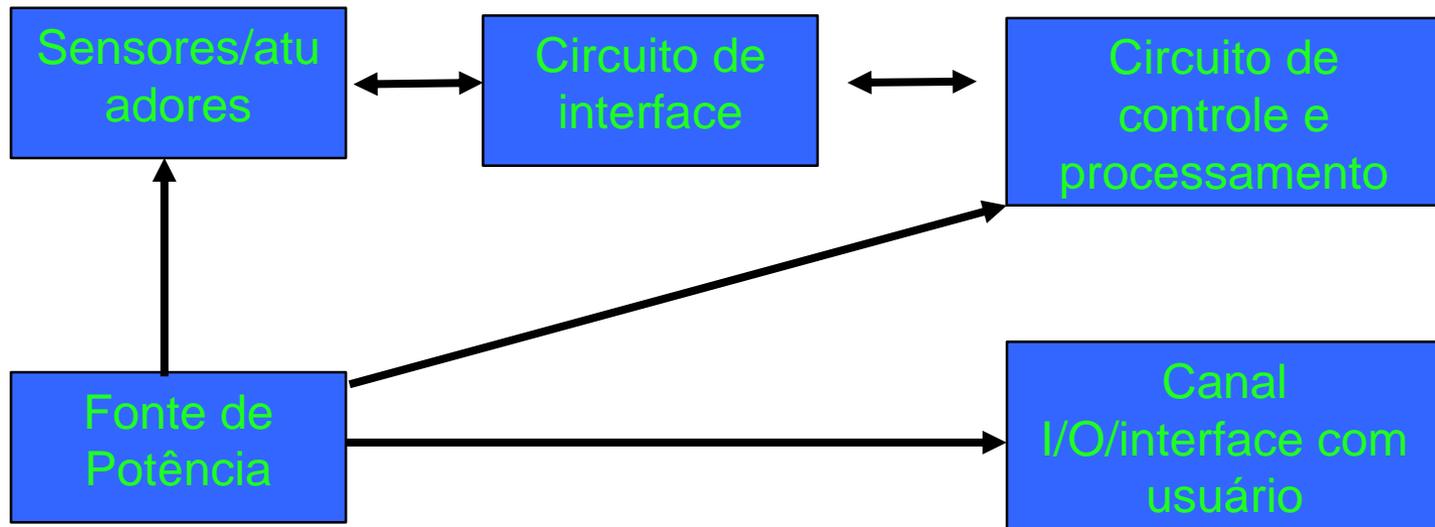
Biomedical Instrumentation

Sensores e Transdutores Biomédicos

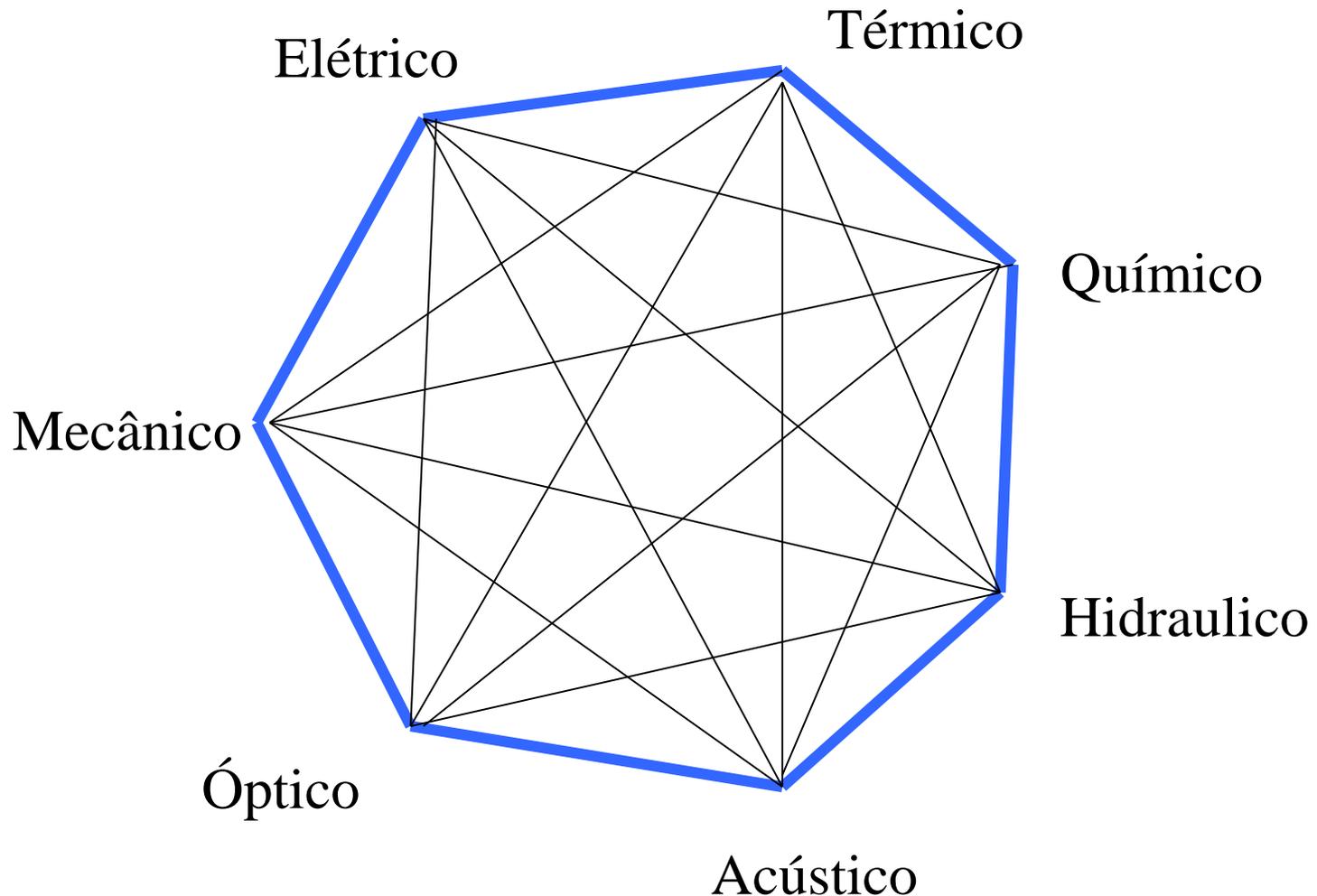
Diagrama generalizado do sistema de instrumentação médica



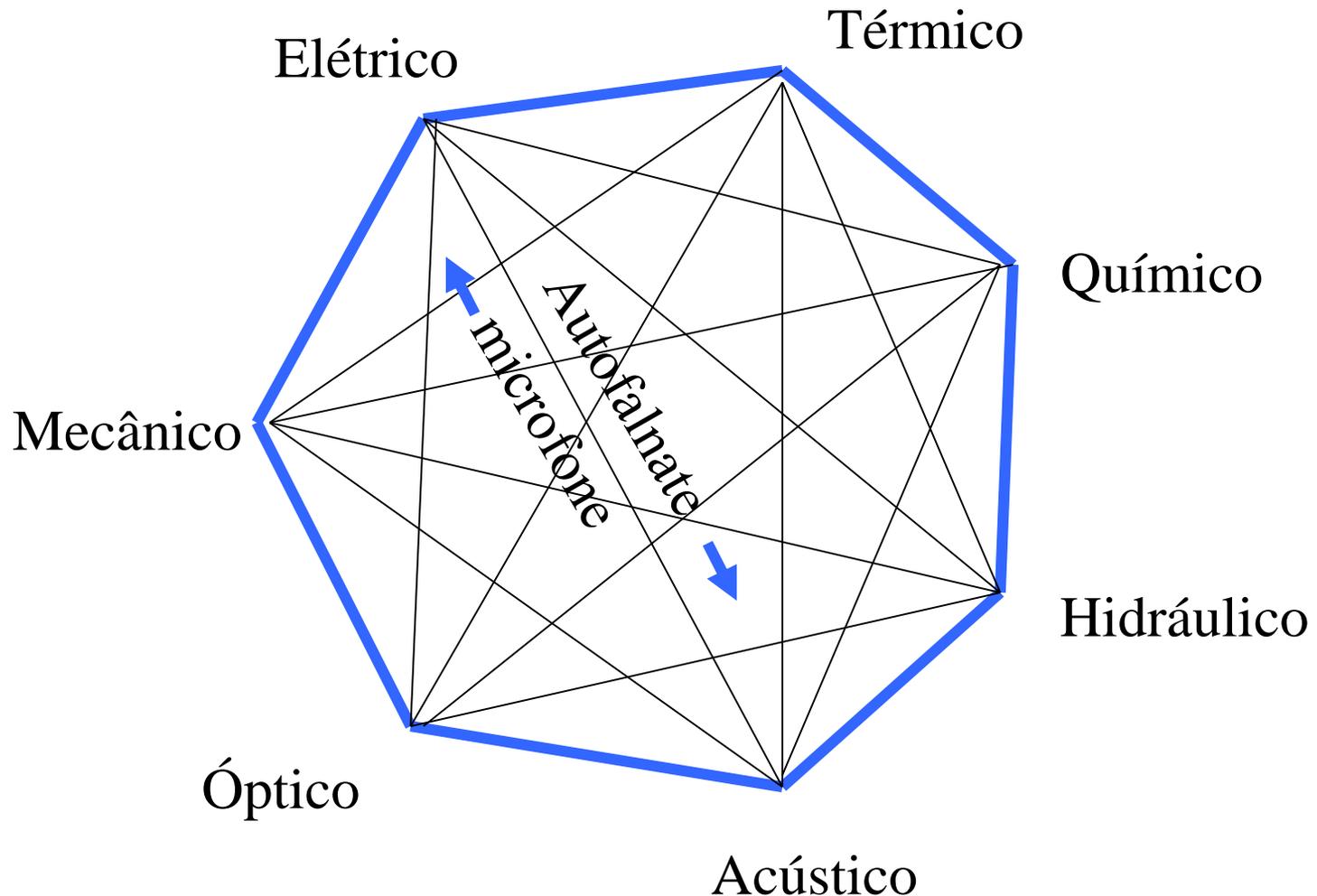
O Transdutor



Possíveis tipos de transdutores e de transferência de energia



transdutor acústico



OBS: O aparelho de Ultra-Som usa um sofisticado transdutor acústico

Transdutores Passivos

Tipo/classe de transdutores	Princípio de funcionamento	Aplicações típicas
Potenciômetro/Resistivo	Variando a posição de uma chave por uma força externa, varia a resistência no potenciômetro;	Deslocamento, pressão
Strain gage/resistivo	A resistência de um fio ou um semicondutor que varia quando alongado ou comprimido	Força, torque, deslocamento
Pirani Gage	Resistencia de uma elemento de aqcimento	Fluxo de gás, pressão de gás,
Termômetro resistivo	Resistencia de um fio metálico puro que apresenta uma variação positiva do coeficiente resistivo com a temperatura	temperatura, calor de radiação,etc
Termistor	Resistencia de um metal óxido que cujo coeficiente varia com a temperatura	Temperatura
Higrômetro resistivo	Fita metálica condutiva que varia a resistência com a umidade	Umidade relativa
Célula fotocondutiva	Célula cuja resistência varia com a presença de luz.	Presença de luz/fotosensor.

Transdutores Passivos

Tipo/classe de transdutores	Princípio de funcionamento	Aplicações típicas
Sensores capacitivos	Distancia entre duas placas paralelas é variada por forças externas	Deslocamento, pressão
Microfone capacitivo	A pressão sonora varia a capacitância entre uma placa fixa e um diafragma.	Som/ pressão sonora
Dielétrico Gage	Variação na capacitância por mudanças no dielétrico;	Nível de líquido, espessura
Indutância/ transdutor de circuito magnético.	A indutância mutua ou a autoindutância de uma bobina excitada com corrente alternada é modificada por mudança no circuito magnético	Pressão, deslocamento
Relutância	A relutância de um circuito magnético muda com a variação na posição do núcleo no interior de uma bobina.	Pressão, deslocamento, vibração, posição
Magnetostricção gage	Propriedades magnéticas mudam com a pressão ou tensão.	Força, deslocamento, pressão, etc

Transdutores Ativo

Tipo/classe de transdutores	Princípio de funcionamento	Aplicações típicas
Sensor termocoplador	Uma diferença de potencial é gerado entre as extremidades de duas junções de dois diferentes metais ou semicondutores quando submetido a uma variação termica	Temperatura, fluxo de calor, radiação termica
Gerador por bobina oscilatória	Movimento alternado de uma bobina em um campo magnético gera uma voltagem	Velocidade, vibração
Sensor piezoelétrico	Uma diferença de potencial é gerada quando uma força externa é aplicada em determinados matérias cristalinos e cerâmicos	Som, vibração, variação de pressão
Célula fotovoltaica	Uma voltagem é gerada em uma junção semicondutora quando uma energia radiante estimula a célula	Medidor de nível de luz, célula solar, etc.

Selecionando um Transdutor

- Qual a quantidade física a ser medida?
- Qual o tipo de sensor, cujo princípio físico é o mais indicado, ou seja, apresenta uma maior sensibilidade, para esta medida?
- Qual a acurácia requerida para esta medida?
 - Parâmetros fundamentais do transdutor
 - As condições físicas
 - condições ambientais
 - Compatibilidade do equipamento associado
- A redução do erro de medição:
 - Usando uma calibração do sistema no local com correções de erros sistemáticos na aquisição dos dados
 - Controlar o ambiente para minimizar possíveis erros devido a variações térmicas, magnéticos, vibrações, etc

Transdutor, Sensor e Atuador

- Sensor:
 - um dispositivo que converte energia de uma forma para outra
- Transdutor:
 - converte um parâmetro físico para uma saída eléctrica (por exemplo, um microfone)
- Atuador:
 - converte um sinal eléctrico para uma saída física (por exemplo, um altofalante)

Tipos de sensores

- Sensores de deslocamento :
 - Resistivo, indutivo, capacitivo, piezoelétrico
- Sensores de Temperatura :
 - Termistores, termoacopladores, etc
- Sensores de Radiação Eletromagnética :
 - Detectores térmicos and detectores de fóton

Medida de Deslocamento

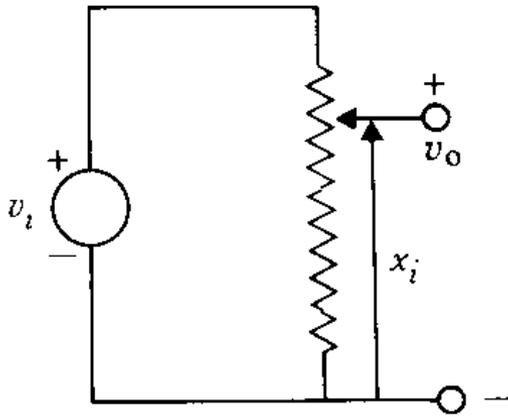
- Usado para medir o tamanho, forma e posição dos órgãos de forma direta e indireta.
- **A medida de Deslocamento** pode ser realizada usando sensores projetados para exibir variações de Resistencia, indutancia, capacitancia ou piezoeletricidade em função de mudanças na posição do objeto em análise

Potenciômetros- Sensores Resistivos

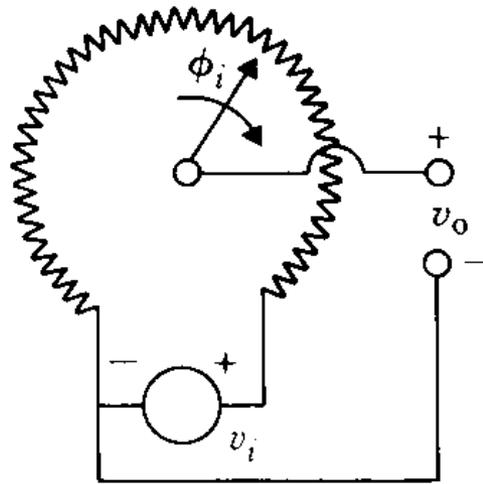
Mede posição linear e angular

Sua resolução depende da qualidade de construção do potenciômetro;

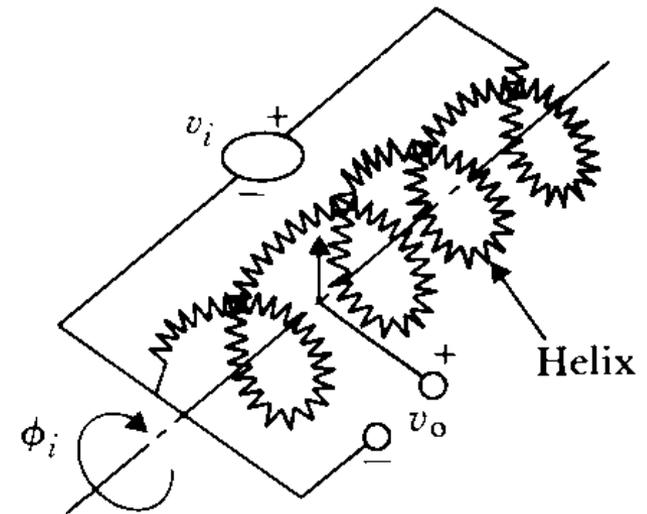
A partir da medida da variação do deslocamento, determina-se também a velocidade e a aceleração de um alvo.



(a) Translational



(b) Single-turn



(c) Multi-turn

Strain gages - Sensor Resistivo

Dispositivos concebido para apresentar uma mudança na resistência quando submetidos a uma deformação para medir o deslocamento da ordem de nanómetros.

Para um único filamento:

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

Uma alteração em R resultará de uma mudança na resistividade (ρ), ou uma alteração no comprimento (L) e/ou na seção reta (A) do filamento;

O fator Gage, G, é usado para comparar vários materiais strain-gage

$$G = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta L / L}$$

μ é a taxa de Poisson = $-\frac{\Delta D / D}{\Delta L / L}$ para muitos materiais $\mu=0,3$

Materiais semicondutores tem um fator G alto e é bastante sensível à temperatura

Table 2.1 Properties of Strain-gage Materials

Material	Composition (%)	Gage Factor	Temperature Coefficient of Resistivity ($^{\circ}\text{C}^{-1} - 10^{-5}$)
Constantan (advance)	Ni ₄₅ , Cu ₅₅	2.1	± 2
Isoelastic	Ni ₃₆ , Cr ₈ (Mn, Si, Mo) ₄ Fe ₅₂	3.52 to 3.6	+17
Karma	Ni ₇₄ , Cr ₂₀ , Fe ₃ Cu ₃	2.1	+2
Manganin	Cu ₈₄ , Mn ₁₂ , Ni ₄	0.3 to 0.47	± 2
Alloy 479	Pt ₉₂ , W ₈	3.6 to 4.4	+24
Nickel	Pure	-12 to -20	670
Nichrome V	Ni ₈₀ , Cr ₂₀	2.1 to 2.63	10
Silicon	(<i>p</i> type)	100 to 170	70 to 700
Silicon	(<i>n</i> type)	-100 to -140	70 to 700
Germanium	(<i>p</i> type)	102	
Germanium	(<i>n</i> type)	-150	

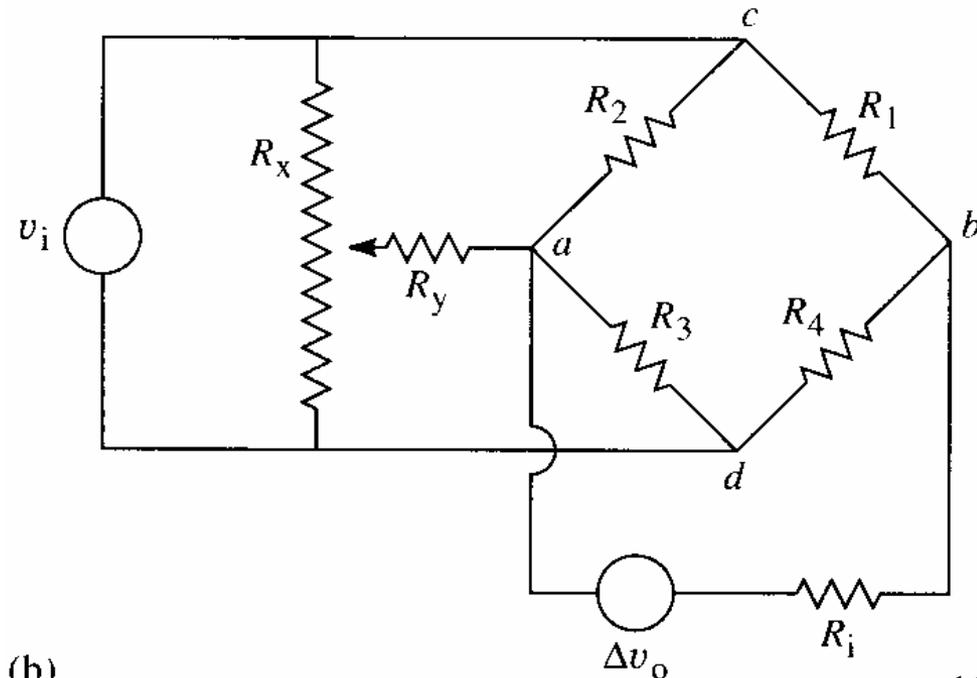
Ponte Wheatstone

Δv_o é zero quando a ponte é balanceada, isto é, quando $R_1 / R_2 = R_4 / R_3$

Considere que todos os resistores tem valor inicial $R_1=R_2=R_3=R_4=R_0$. Se durante a medida R_1 and R_3 aumenta de ΔR , mas R_2 e R_4 diminui de ΔR , então

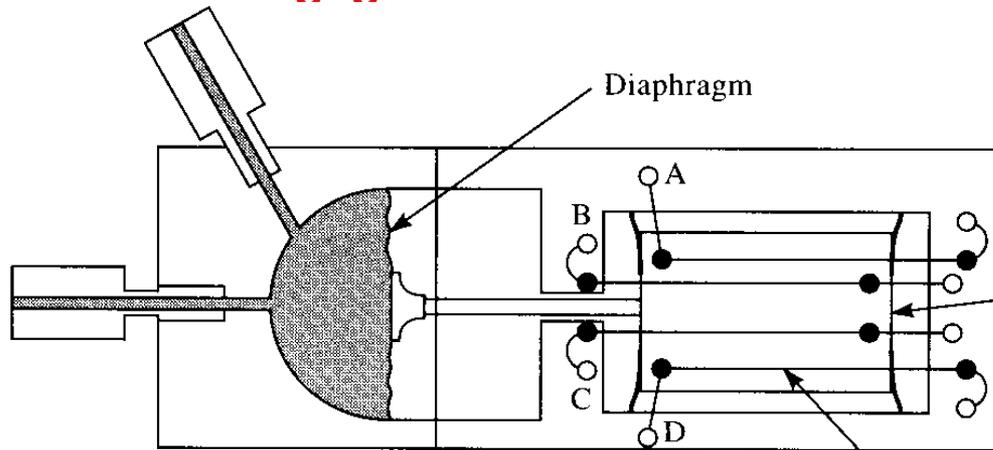
$$\Delta v_o = \frac{\Delta R}{R_0} v_i$$

Demonstre isso!!!



Sensor de pressão de fluxo sanguíneo:

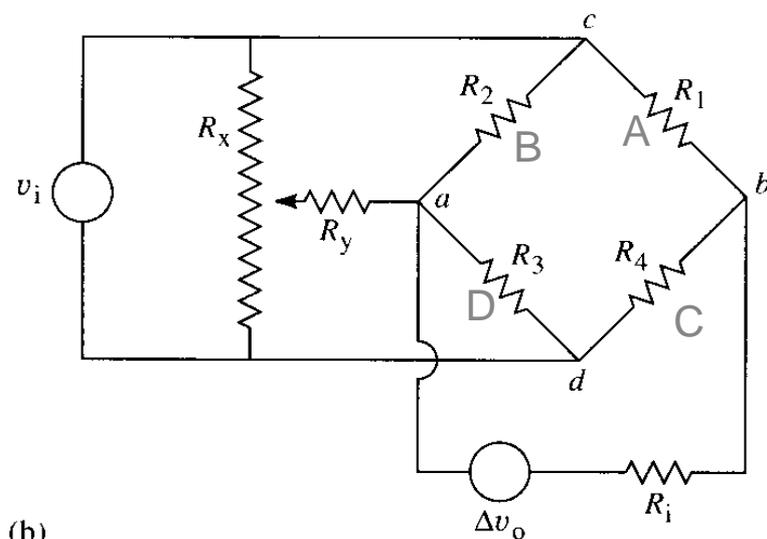
Strain gage livre:



Com o aumento da pressão, a deformação nos pares dos elementos strain gage **B** e **C** é aumentada, enquanto que nos pares **A** e **D** é reduzido.

Inicialmente, antes de qualquer pressão $R_1 = R_4$ and $R_3 = R_2$

(a) Ponte de Wheatstone



(b)

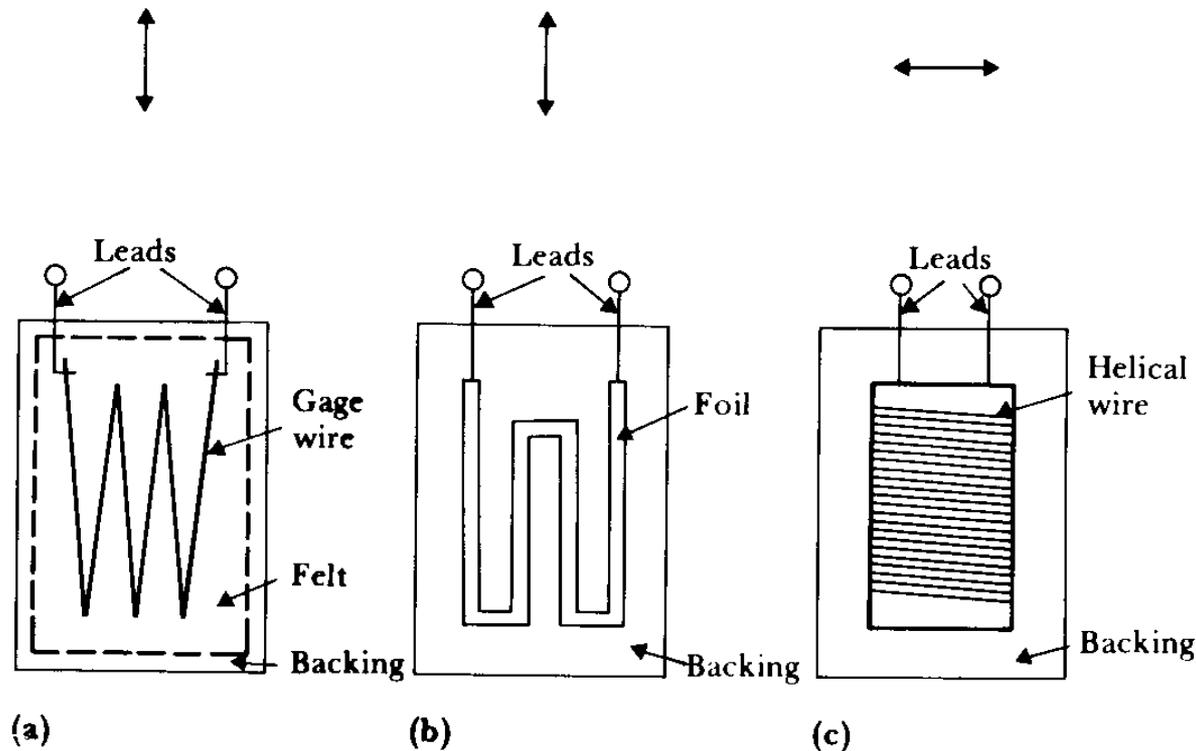
$$V_a = V_i \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \quad V_b = V_i \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} \right)$$

$$V_o = V_a - V_b = V_i \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right)$$

$$V_o = V_i \left(\frac{R_4(R_3 - R_2) + R_3(R_1 - R_4)}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} \right)$$

mação com strain gage colado em estruturas:

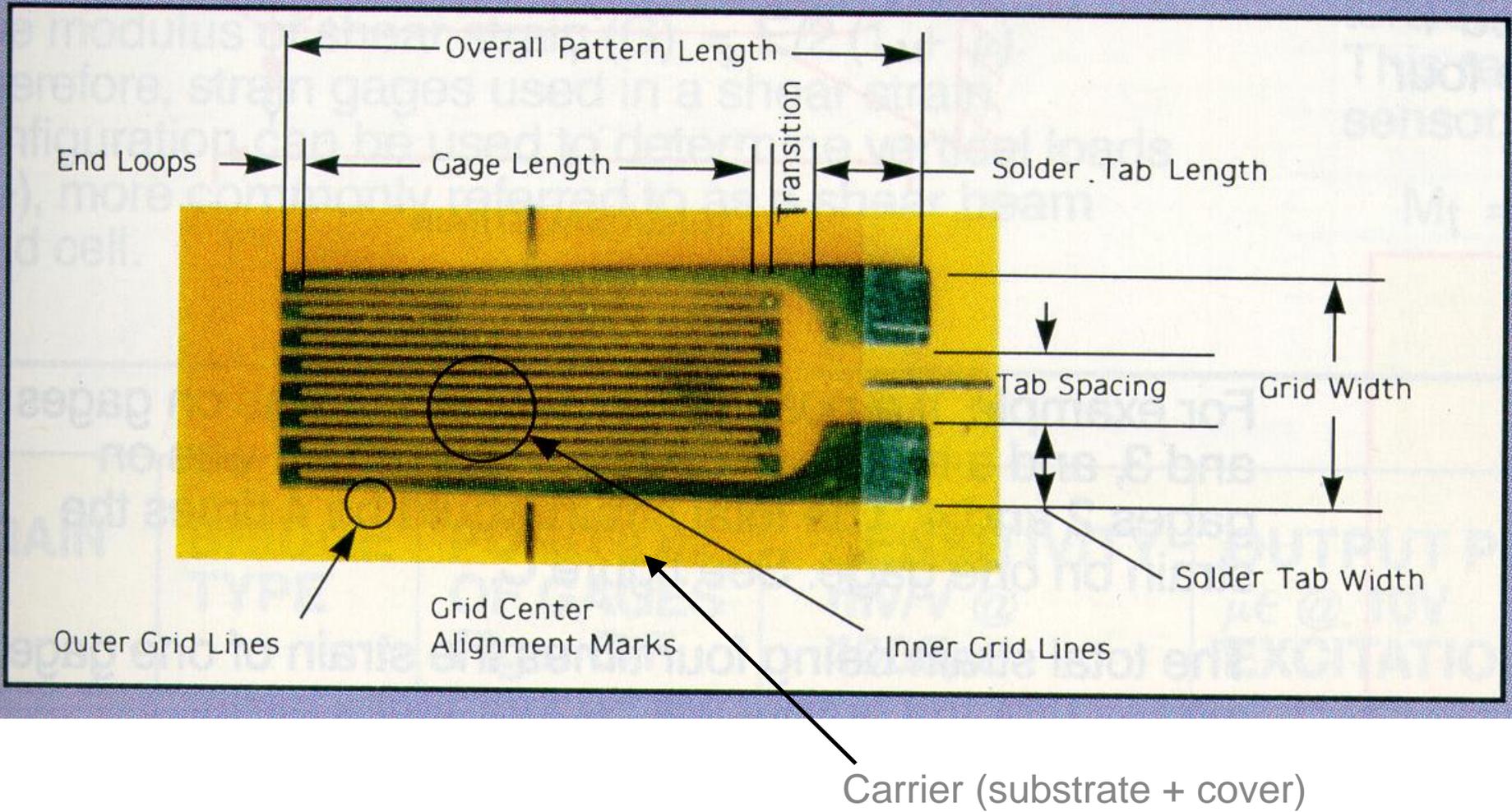
- Confeccionado com fio metálico, ou tiras gravadas ou filme depositado a vácuo ou com semicondutor depositado sobre uma superfície flexível

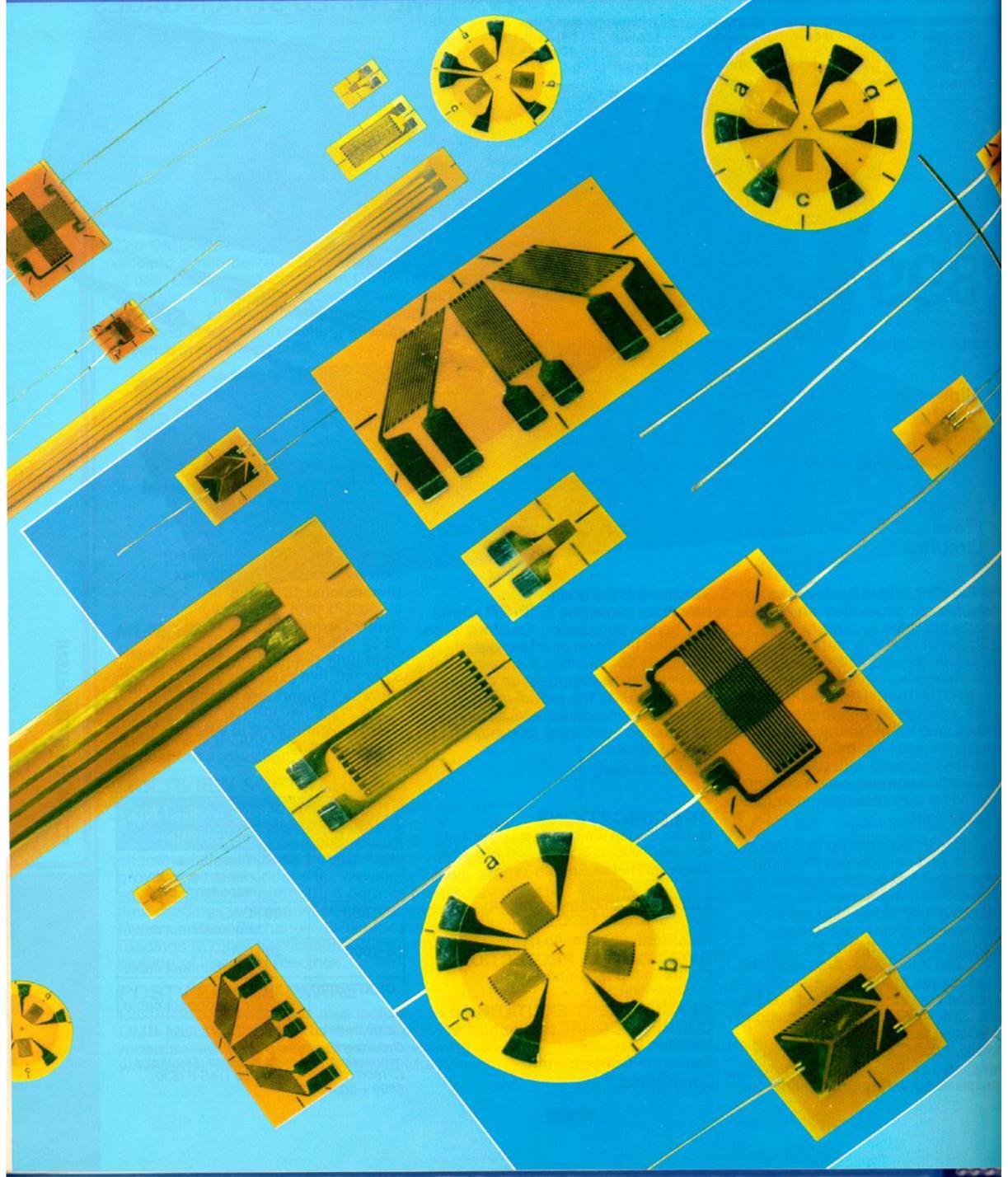


Robusto, barato, baixa massa, disponíveis em várias configurações e tamanhos

Para compensar a deformação por variação térmica é usado um elemento exposto as mesmas variações térmicas mas não exposto a deformação;

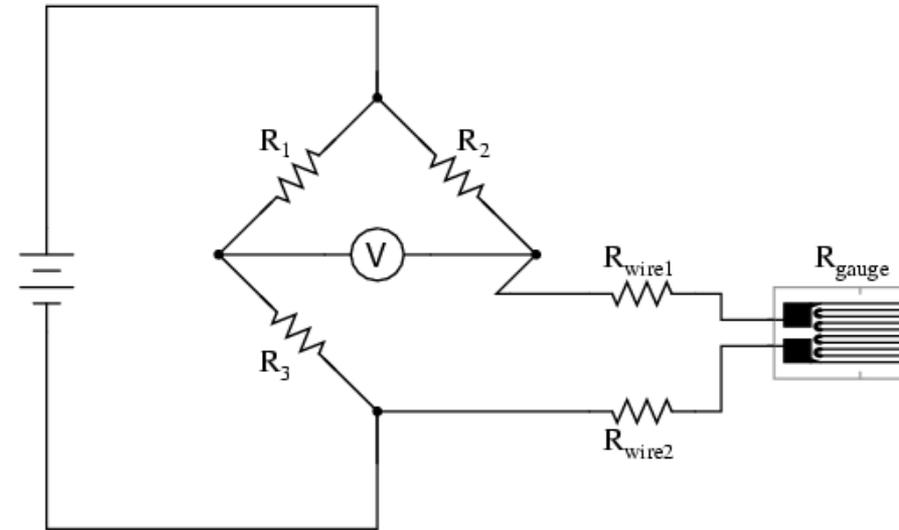
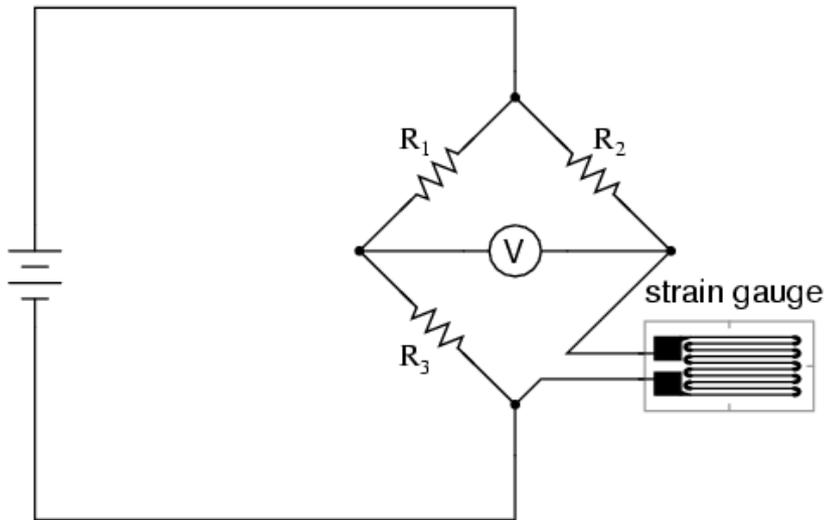
Terminologia de strain gage de superficie flexivel para ser colado nas estruturas

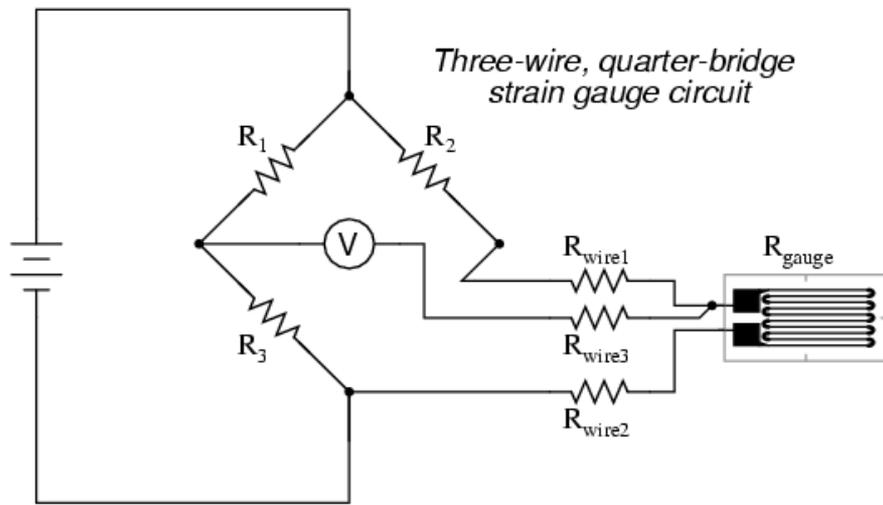




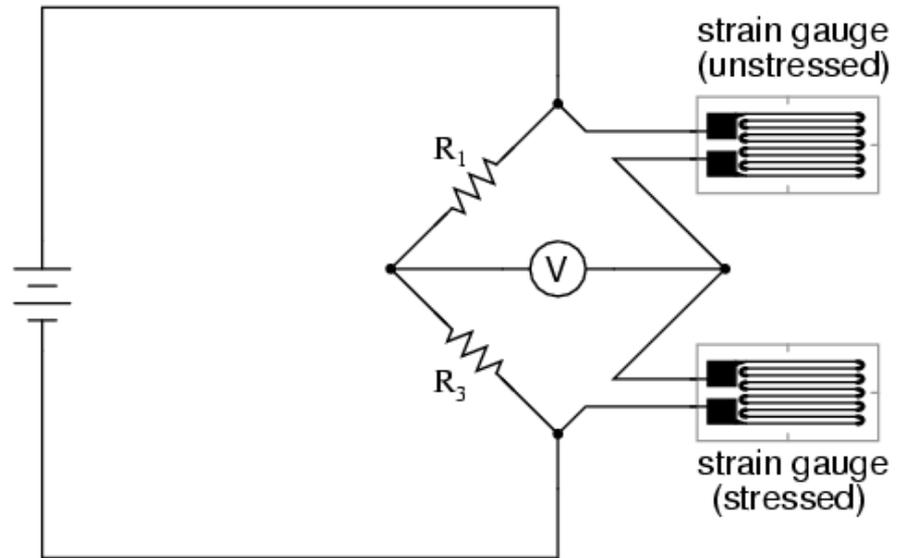
Exemplos de pontes de Wheatstone com strain-gage

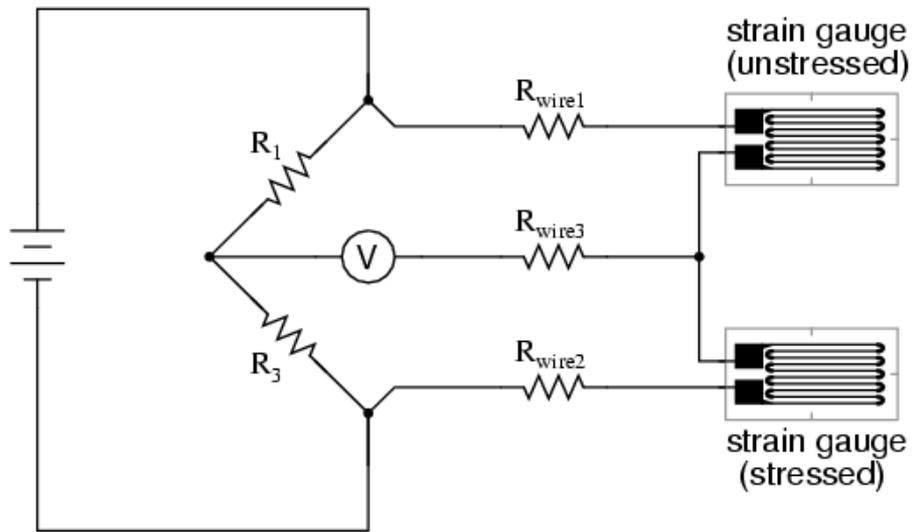
Quarter-bridge strain gauge circuit



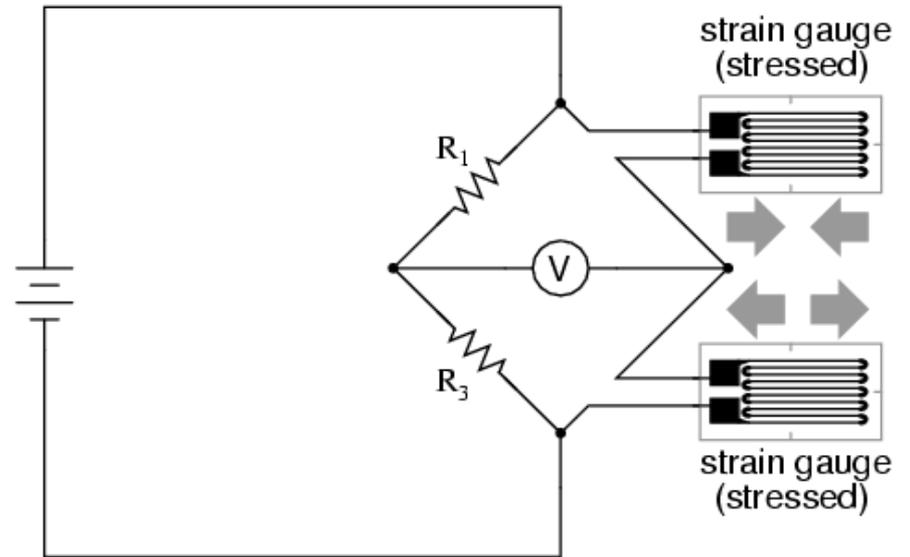


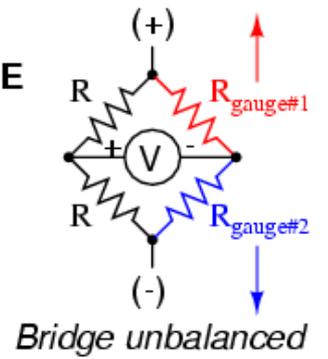
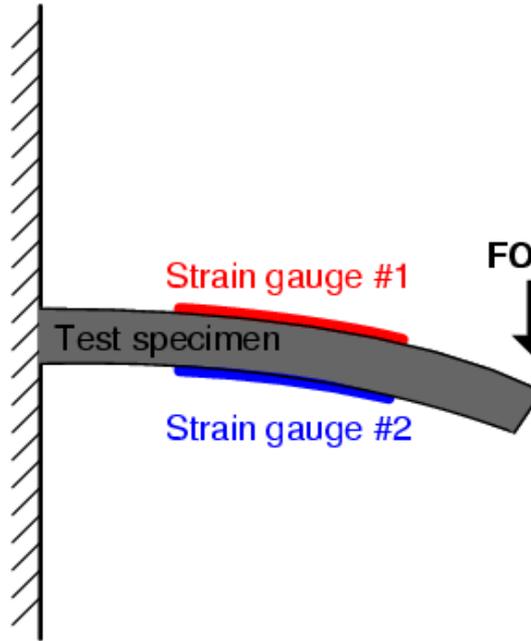
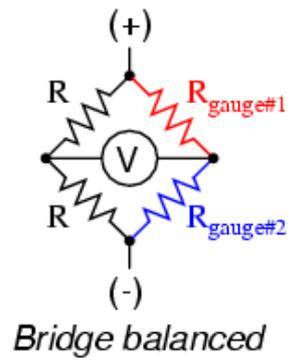
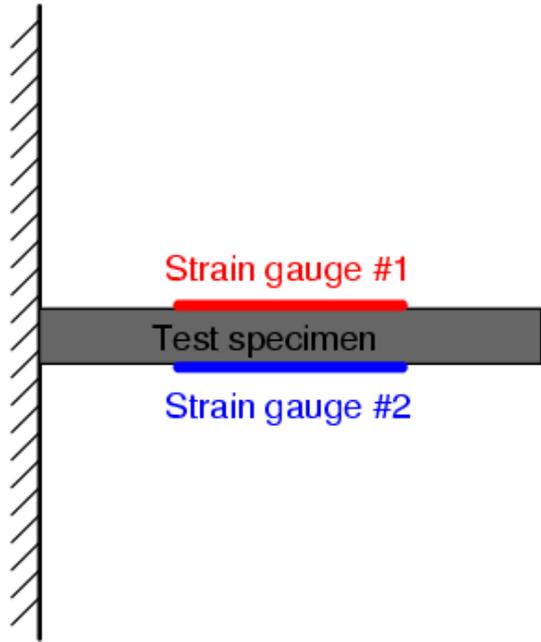
Quarter-bridge strain gauge circuit with temperature compensation



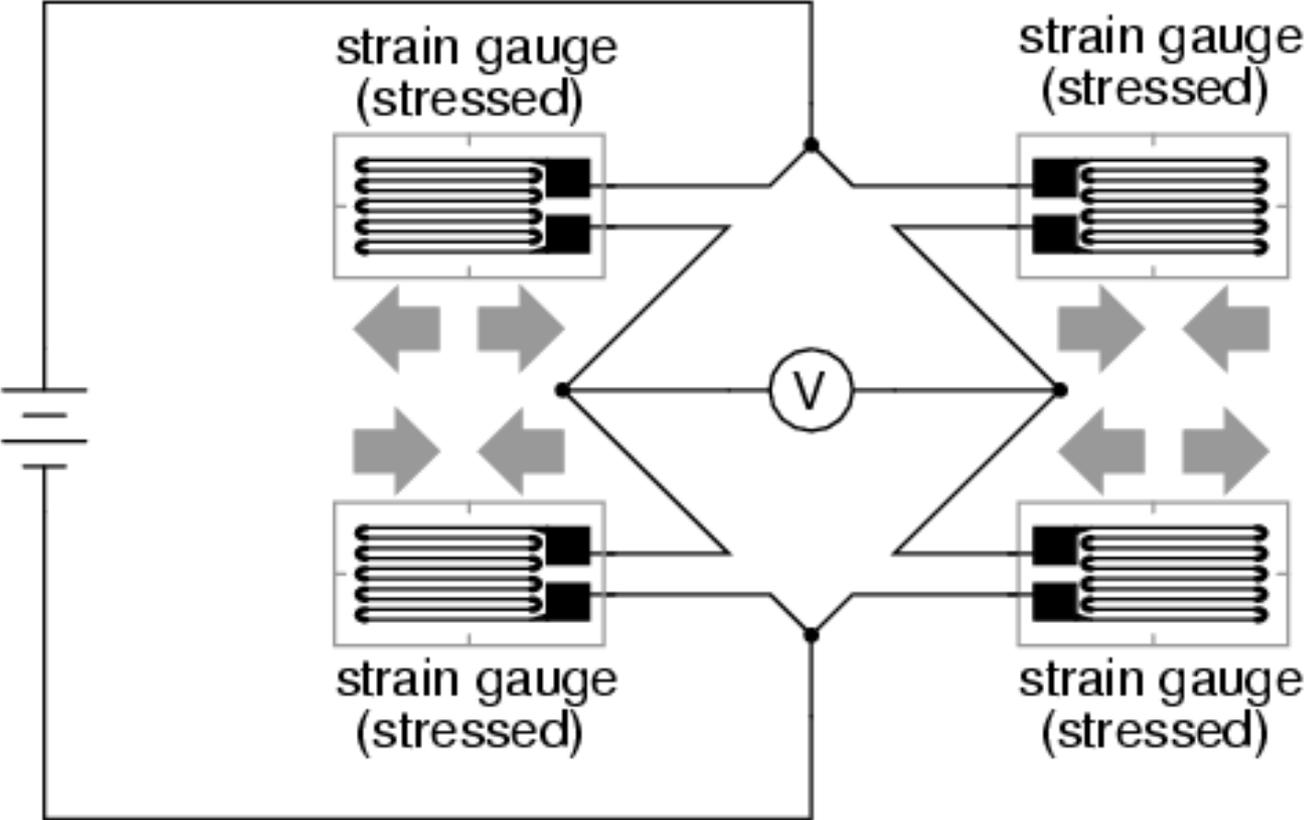


Half-bridge strain gauge circuit

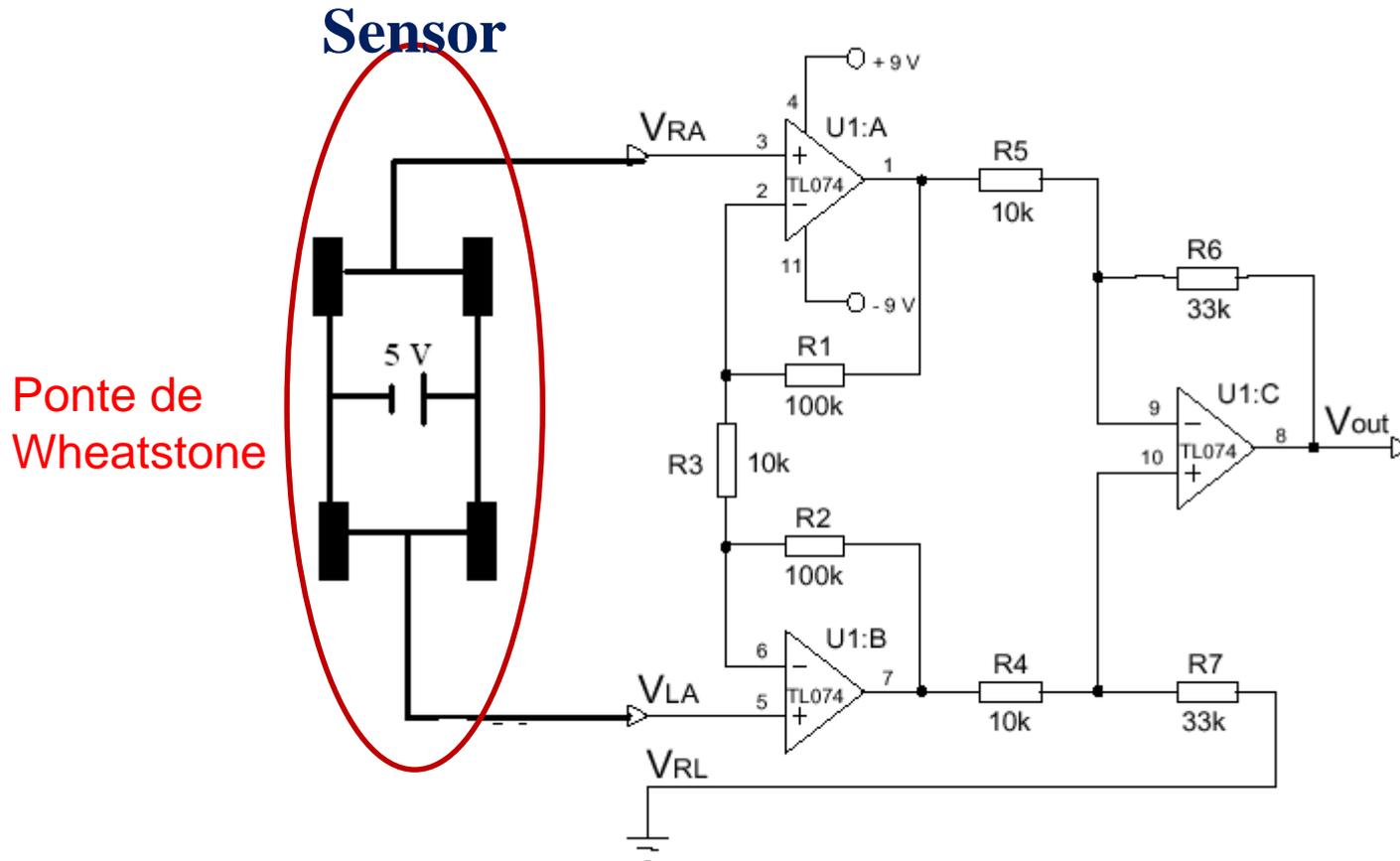




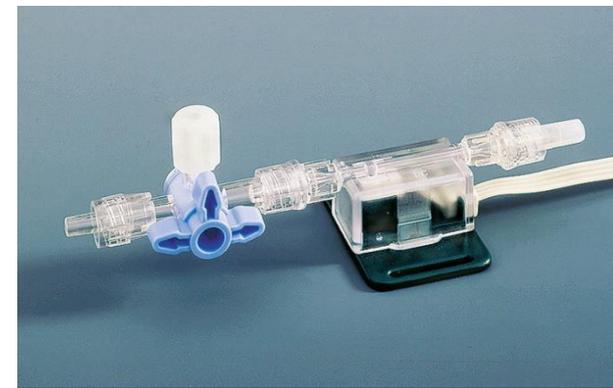
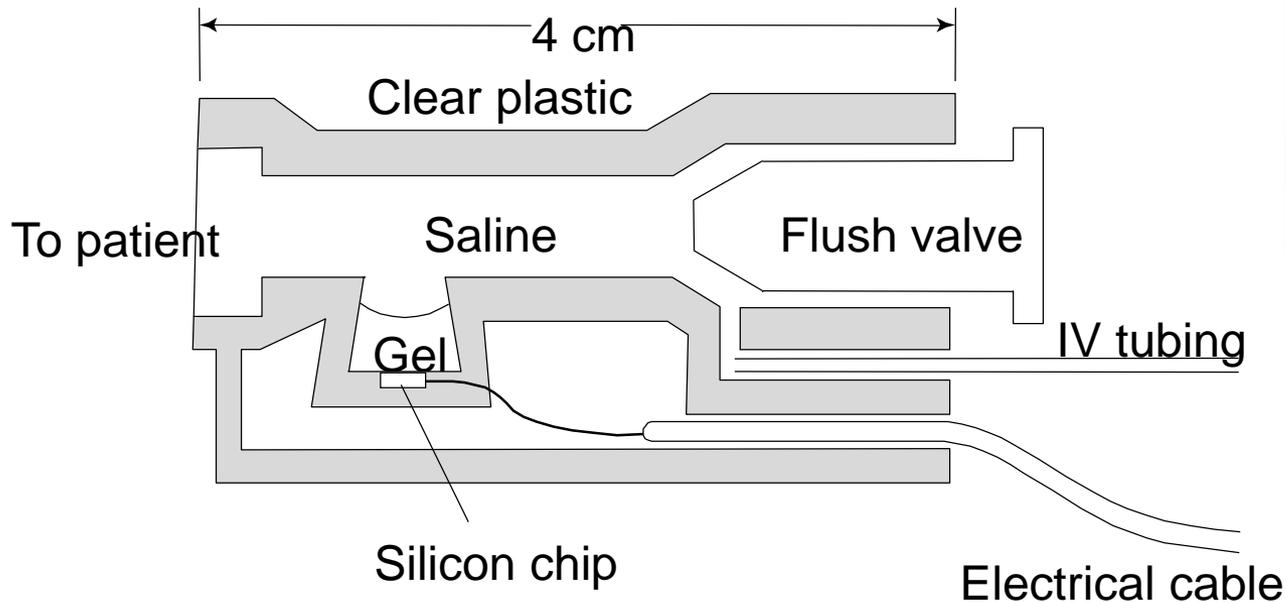
Full-bridge strain gauge circuit



O transdutor



Sensor de pressão arterial descartável

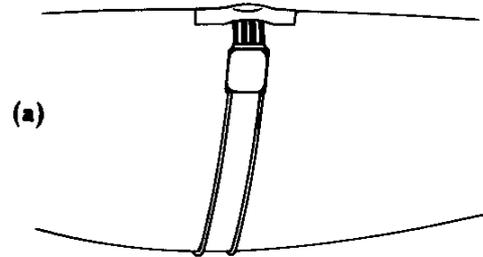


Sensores de pressão arterial descartáveis são feitos de plástico transparente de modo que bolhas de ar sejam facilmente vistas. Salina flui em saco intravenoso através do tubo transparente IV e do sensor no paciente. Isto nivela o sangue para fora da ponta do cateter para prevenir a coagulação. A alavanca pode abrir ou fechar a válvula de descarga. O chip de silício tem um diafragma de silício com uma ponte de Wheatstone com quatro resistências strain gage. As suas ligações eléctricas são protegidos a partir do gel de solução salina por um elastómero de silicone em conformidade, o que também proporciona um isolamento eléctrico. Isto impede um choque eléctrico a partir do sensor para o paciente e evita que as correntes destrutivas durante a desfibrilação do paciente para o chip de silício.

Elástico-Resistivo Strain Gages

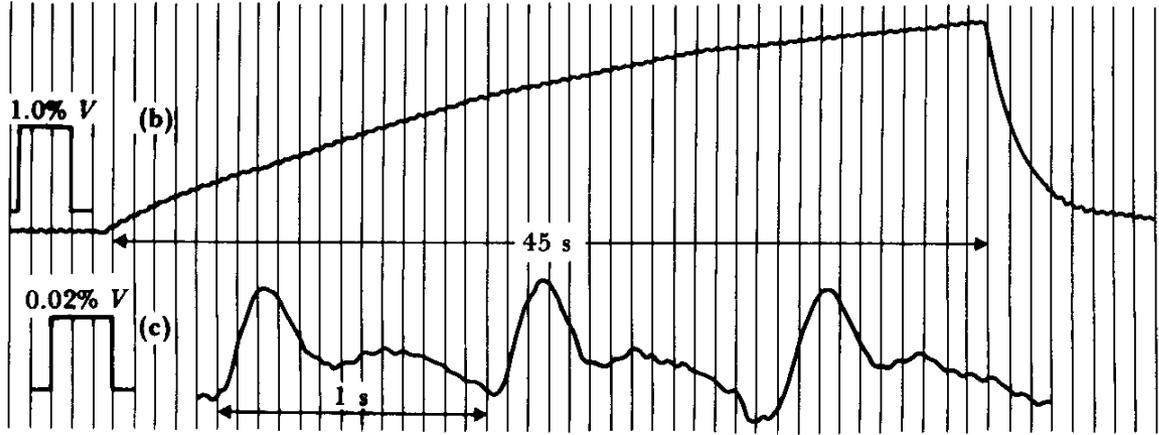
Amplamente utilizado em Cardiovascular e em medidas de dimensionais e de volume respiratórios

Quando o tubo é alongado, o diâmetro reduz e o comprimento aumenta, fazendo com que a resistência aumente



b) Pletismografia veno-occlusão

c) Pletismografia pulso-arterial

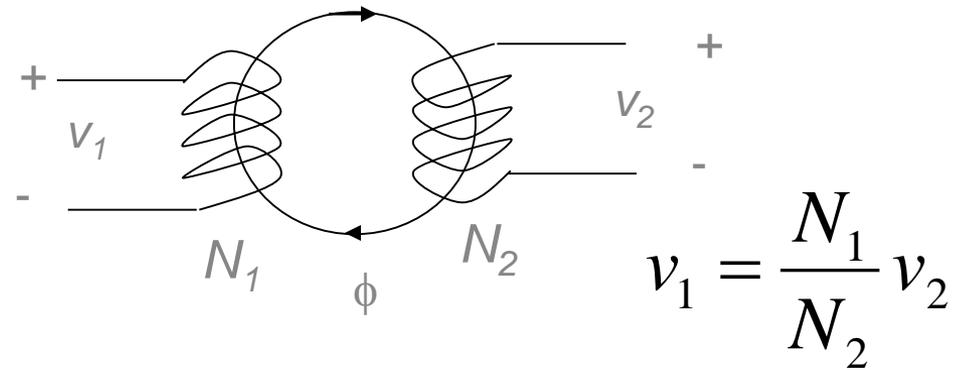
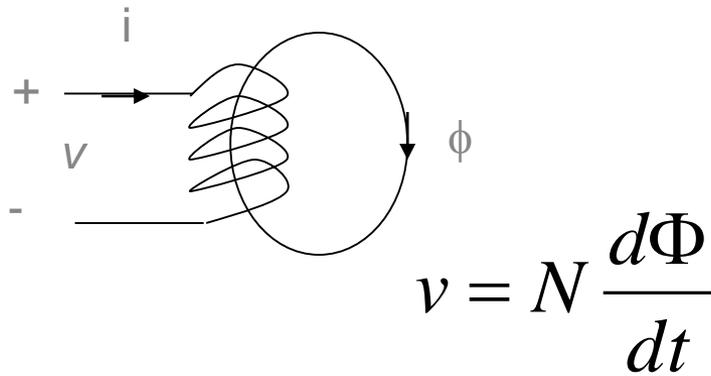


Preenchido com um fluido condutor (mercúrio, pasta condutora, solução de electrólito)
Resistência = $0,02 - 2 \Omega / \text{cm}$, linear dentro de 1% para 10% da extensão máxima

Sensores Indutivo

Lei de Ampere: fluxo de corrente elétrica produzirá um campo magnético

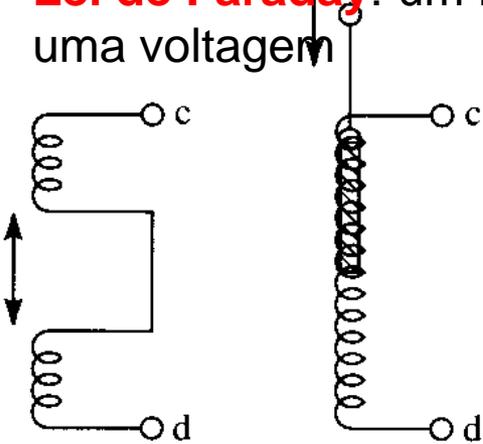
Lei de Faraday: um fluxo de campo magnético através de uma bobina produzirá uma voltagem



Sensores Indutivo

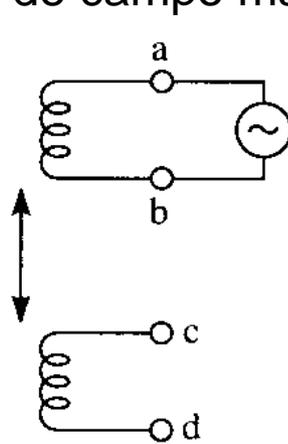
Lei de Ampere: fluxo de corrente elétrica produzirá um campo magnético

Lei de Faraday: um fluxo de campo magnético através de uma bobina produzirá uma voltagem



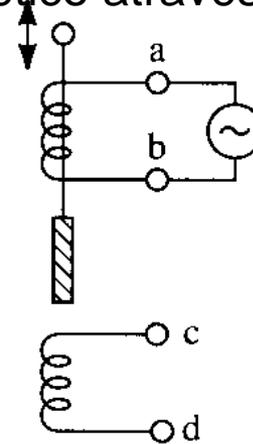
(a)

Auto-inductancia



(b)

Inductancia mutual



(c)

Trasformador diferencial

$$L = n^2 G \mu$$

$$v = L \frac{di}{dt}$$

n = numero de voltas na bobina

G = Fator da forma geométrica da bobina

μ = Permeabilidade efetiva do meio.

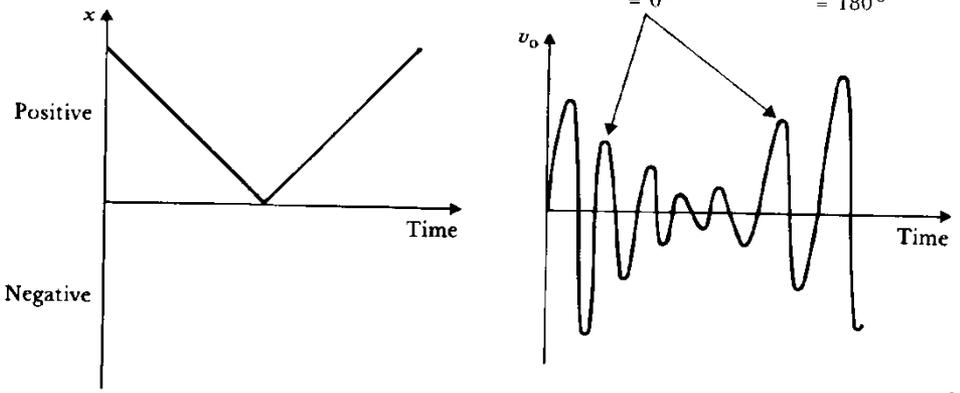
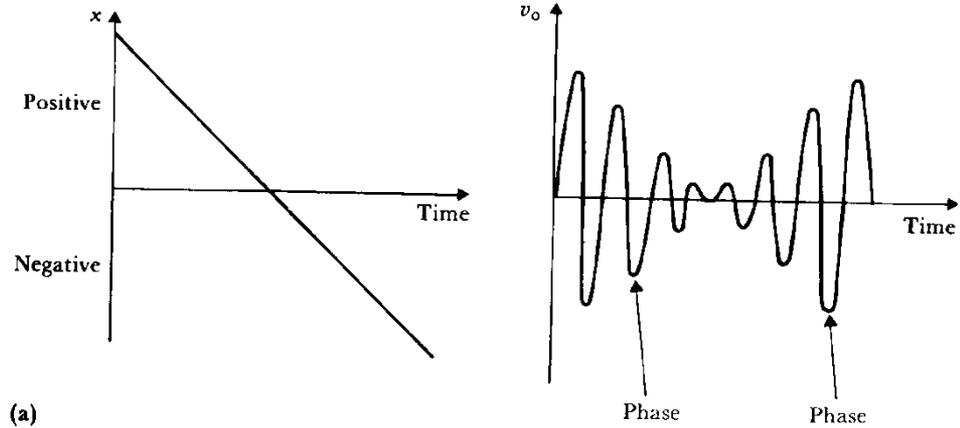
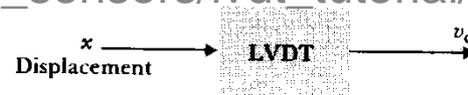
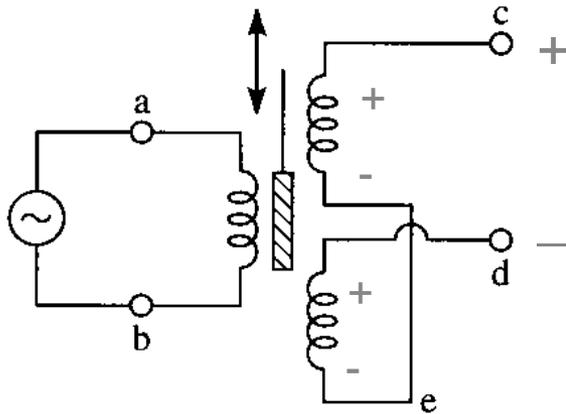
LVDT : Linear variable differential transformer

- deslocamento total de 0,1 a 250 mm
- 0,5-2 mV para um deslocamento de 0,01 milímetros
- Sensibilidade é muito maior do que para extensômetros

Desvantagem requer processamento de sinal mais complexos

http://www.macrosensors.com/lvdt_macro_sensors/lvdt_tutorial/lvdt_primer.pdf

$$V_o = V_{cd} = V_{ce} - V_{de}$$



(c)
(a) Como X move-se através da posição nula, a fase muda 180°, enquanto que a magnitude de v_o é proporcional à magnitude de x . (b) Um retificador de demodulador comum não pode distinguir entre (a) e (b), de modo que um desmodulador sensível à fase é necessário.

Sesnsores Capacitivos

Sensores Capacitivo

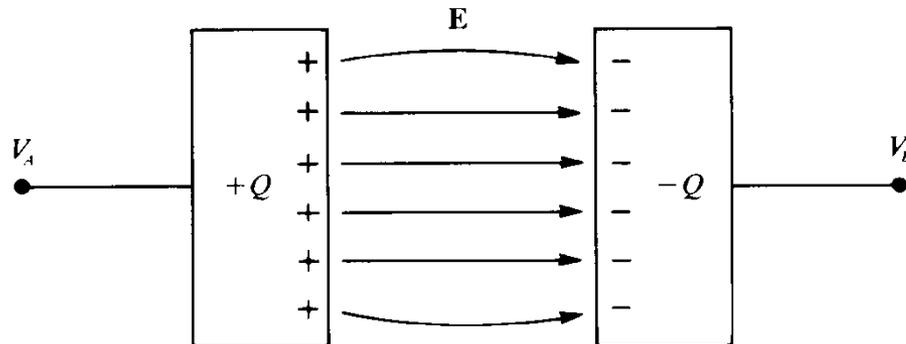
Para um capacitor de placa paralela:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{x}$$

ϵ_0 = Constante dielétrica no espaço livre
 ϵ_r = Constante dielétrica relativa de insulador
 A = área de cada placa
 x = distância entre placas

O sensor é sensível a mudanças:

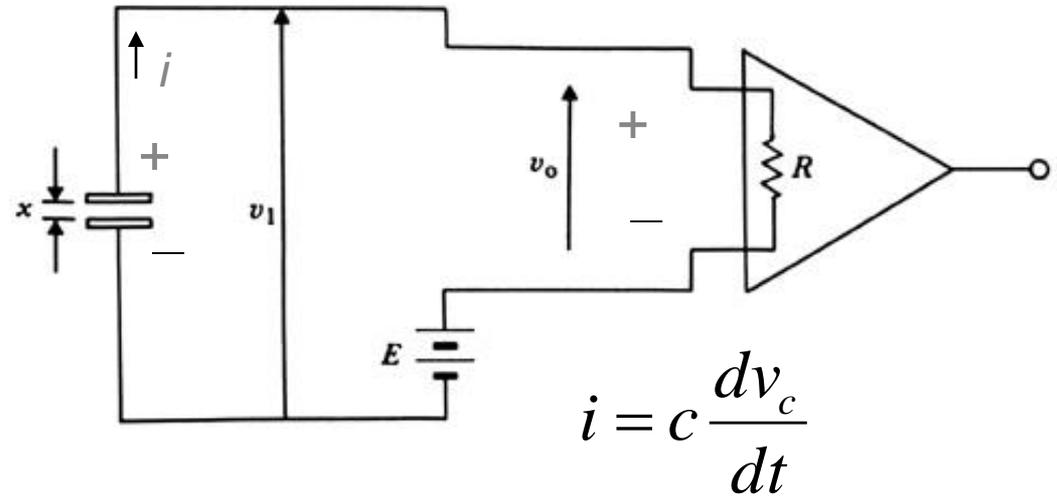
ϵ_r (na substancia que flui entre as placas;),
 A (ao deslocamento relative entre as placas
) , or
 x . (na distância ente as placas)



A sensibilidade do sensor capacitor , $K = \frac{\Delta C}{\Delta x} = -\epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{x^2}$

Sensibilidade aumenta com a área das placas e diminui com a distancia entre el

Quando o capacitor está em regime estacionário x_0 , a voltage $v_1 = E$.
 Uma mudança na posição $\Delta x = x_1 - x_0$ produz uma voltage $v_o = v_1 - E$.



$$\frac{V_o(j\omega)}{X_1(j\omega)} = \frac{(E/x_0)j\omega\tau}{j\omega\tau + 1}$$

Características do sensor capacitivo:

Alta resolução (<0.1 nm)

Faixa dinâmica de até 300 μ m (reduz acurácia para deslocamentos maiores)

Alta estabilidade (<0.1 nm / 3 hours)

Largura e banda: 20 a 3 kHz

Exemplo

Para um sensor capacitor com área $A= 1 \text{ cm}^2$ e $R=100 \text{ M}\Omega$. Calcule a distância entre as placas para ser usado em um microfone com capitação de frequencias sonoras acima de 20 Hz.

Resposta:

A partir da frequencia de corte, determina-se a capacitancia $C = 1/2\pi fR = 1/(2\pi 20 \times 10^8) = 80 \text{ pF}$.

x pode ser calculado usando a expressão:

$$x = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{C} = \frac{(8.854 \times 10^{-12})(1 \times 10^{-4})}{80 \times 10^{-12}}$$

$$x = 1.11 \times 10^{-5} \text{ m} = 1.11 \mu\text{m}$$

Sensores Piezoelétricos

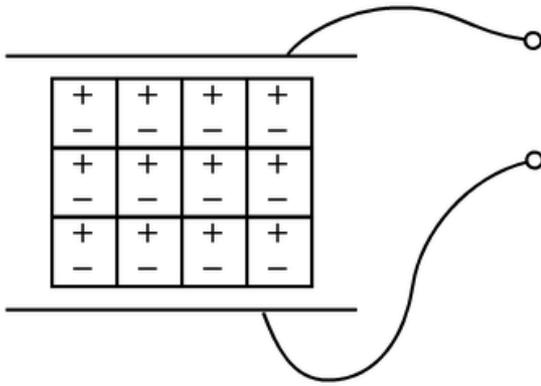
- Medidas de deslocamentos dinâmicos e morfologias dos órgãos;
- Certos materiais geram uma voltage quando submetido a uma deformação mecânica, ou geram mudanças de dimensões físicas quando submetido a uma voltagem.
- Principal uso de sensores Piezoelectricos
 - Medidas da posição, geometria, características mecânicas, movimento e velocidade, fluxo sanguíneo de órgãos interno;
 - Medidas de pressões sanguíneas;
 - etc.

$$q = kf \quad \text{q=carga induzida; f = força aplicada}$$

$$V_o \quad k = \text{constante piezoelectrica, C/N}$$

$$k \text{ para Quartz} = 2.3 \text{ pC/N}$$

$$k \text{ para titanato de bário} = 140 \text{ pC/N}$$



Para obter V_o , assume-se que o sistema atua como um capacitor (com Resistência)

$$V_o = \frac{q}{C} = \frac{kf}{C} = \frac{kfx}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$$

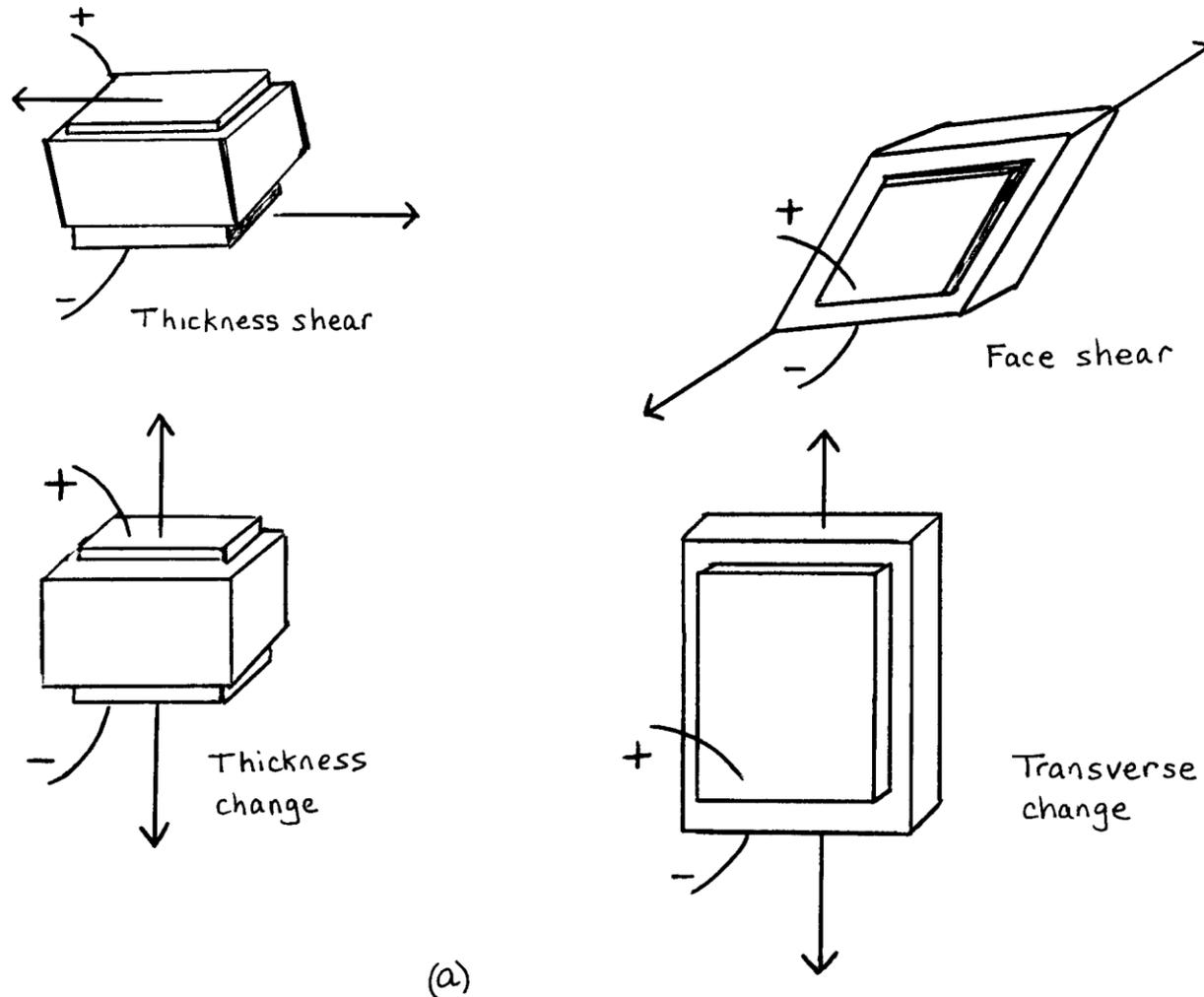
Capacitor:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{x}$$

Para um sensor piezoelectrico de 1-cm² de área e 1-mm de espessura submetida a uma força de 10-g, a voltagem *v gerada* é de

0,23 mV para cristal de quartz
14 mV para cristal de Titanato bário.

Modelos de sensores Piezoelétricos



Filmes de polímeros piezoelétricos, tasi como polyvinylidene fluoride (PVDF). Usado para transdutores sonoros (hidrofone e microphone) and autofalantes.

Função transferência do sensor Piezoelétrico

Considerando o cristal piezoelétrico como um gerador de cargas :

$$q = Kx$$

K = constante de proporcionalidade

x = deflexão

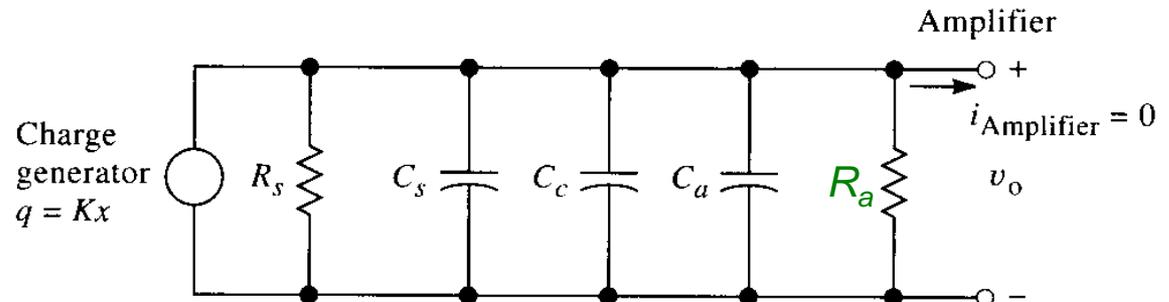
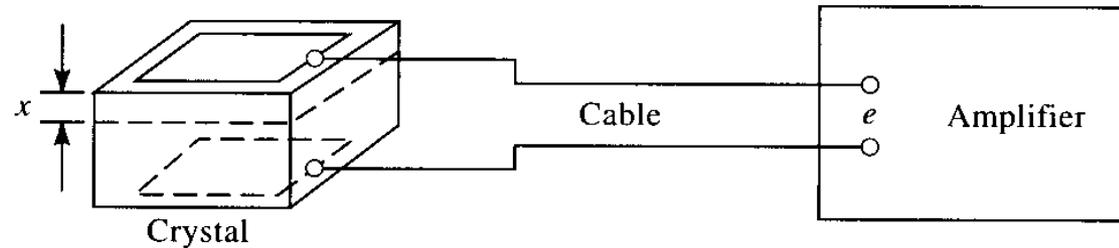
R_s : resistência de fuga do sensor

C_s : capacitancia do sensor

C_c : capacitancia do cabo

C_a : capacitancia do amplificador de entrada

R_a : Resistencia do amplificador de entrada



Função Transferência do Sensor Piezoeletrico

Converte carga gerada em corrente:

$$q = Kx \quad i_s = \frac{dq}{dt} = K \frac{dx}{dt}$$

$$i_s = i_c + i_R$$

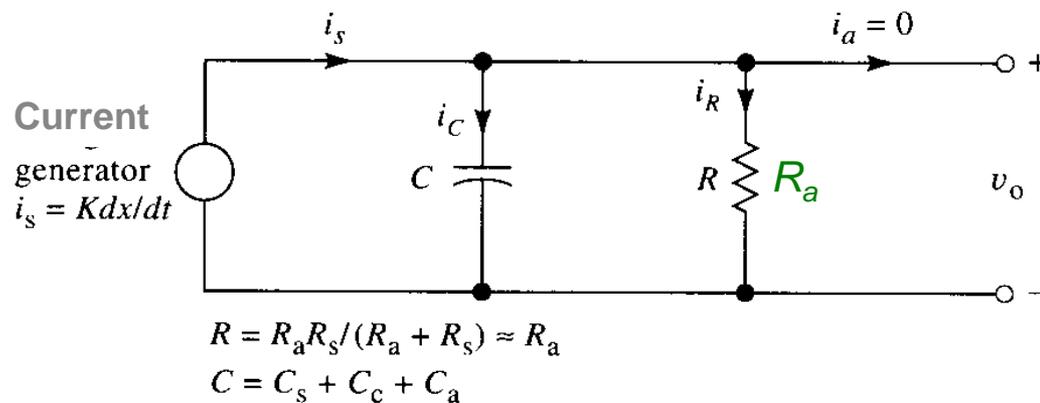
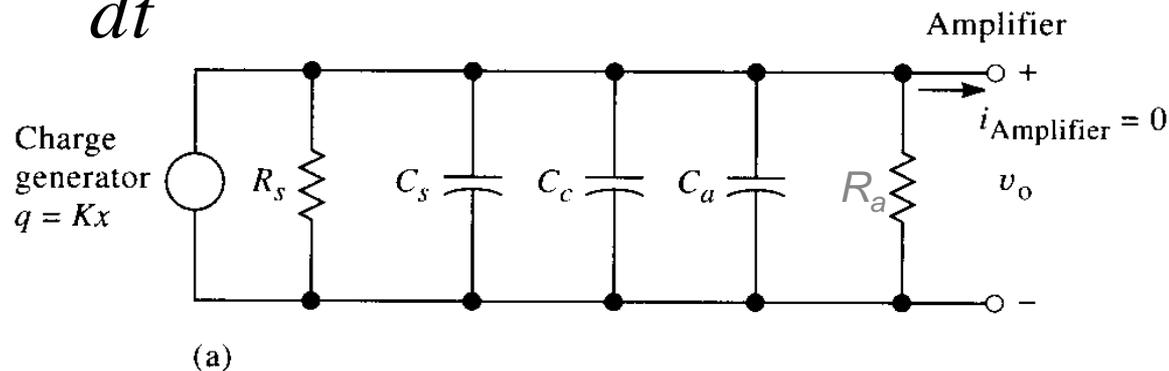
$$i_c = i_s - i_R$$

$$C \left(\frac{dV_o}{dt} \right) = K \frac{dx}{dt} - \frac{V_o}{R}$$

$$\frac{V_o(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{K_s j\omega\tau}{j\omega\tau + 1}$$

$K_s = K/C$, sensitivity, V/m

$\tau = RC$, time constant

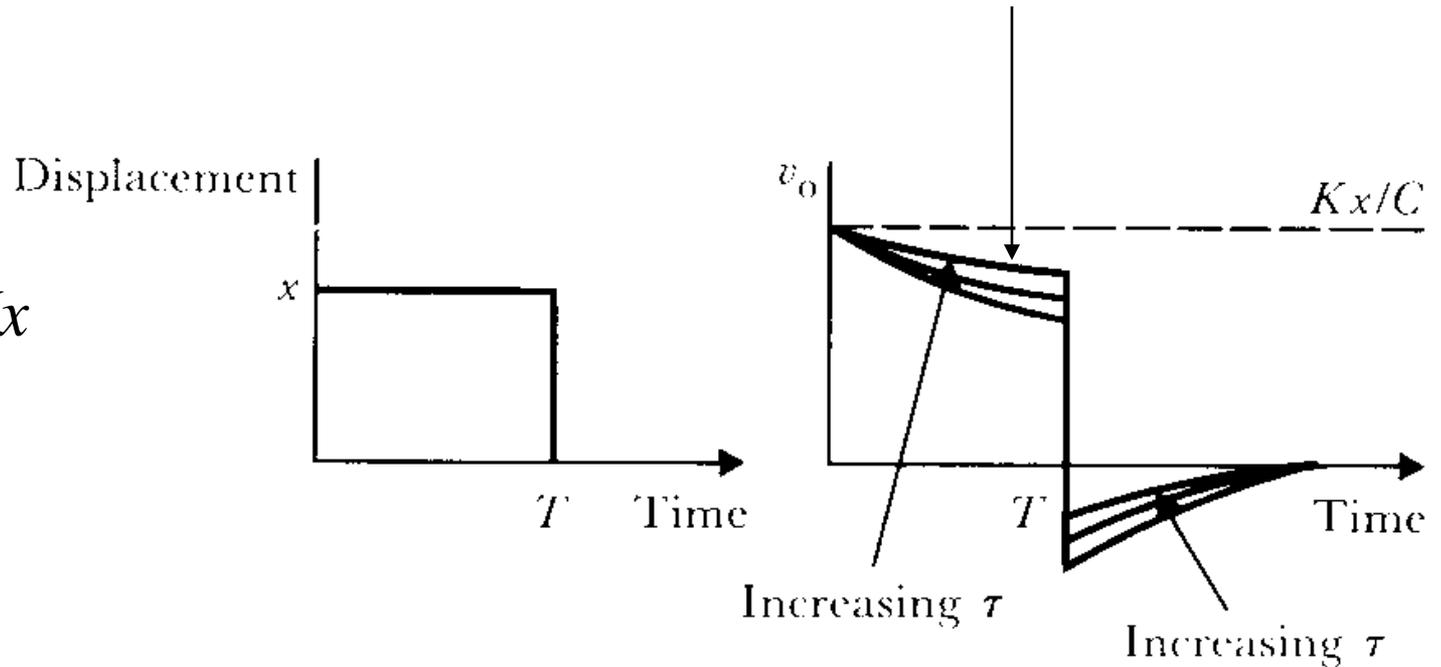


Resposta Voltage-output de um sensor piezoeletrico para um passo de deslocamento x .

Decai devido a resistencia interna finite do PZT

$$q = VC = Kx$$

$$V_0 = \frac{Kx}{C}$$



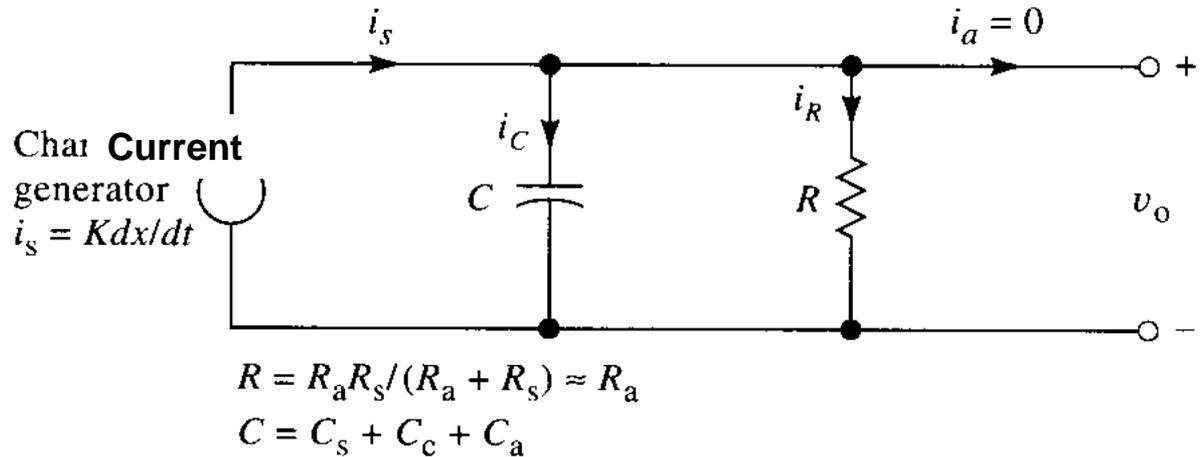
O decaimento pode ser subestimado devido o aumento da constante de tempo $\tau = RC$.

Example

Um sensor piezoeletrico tem $C = 500 \text{ pF}$. Resistencia de fuga $10 \text{ G}\Omega$. A impedancia de entrada do amplificador é de $5 \text{ M}\Omega$. Qual é menor frequênciade corte desse sensor ?

Resposta

$C = 500 \text{ pF}$
 $R_{leak} = 10 \text{ G}\Omega$
 $R_a = 5 \text{ M}\Omega$
 $f_{c,low} ?$



$$f_{c,low} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(5 \times 10^6)(500 \times 10^{-12})} = 64 \text{ Hz}$$

Se a impedancia de entrada é aumentada de 100 vezes:

$(R_a = 500 \text{ M}\Omega)$

Então a $f_{c,low}$:

$$f_{c,low} = \frac{1}{2\pi(500 \times 10^6)(500 \times 10^{-12})} = 0.64 \text{ Hz}$$

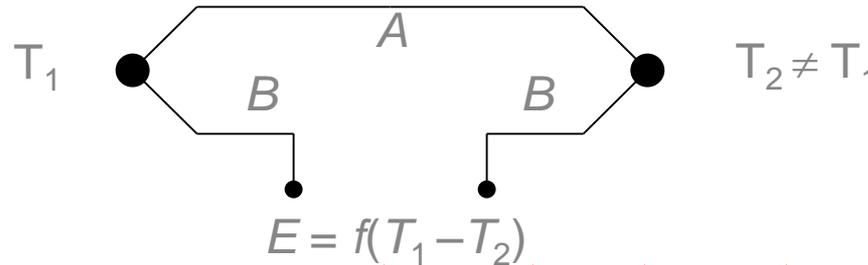
Medidas de Temperatura

- A temperatura do corpo humano é um bom indicador do desempenho da saúde fisiológica de diferentes partes do corpo humano.
- **A Temperatura indica:**
 - Infecção pela medição da temperatura da pele
 - Arthritis através da medição da temperatura na articulação
 - A temperatura do corpo durante a cirurgia
 - Temperatura do corpo infantil dentro de incubadoras
- **Tipos de sensors de temperatura**
 - Termoacoplador
 - Termistores
 - Detetores de radiação e de fibras-optica
 - *Semicondutor com junção p-n (2 mV/°C)*

Termoacoplador

- Uma força eletromotriz (ddp) surge na junção de dois metais diferentes e conectados. Dois efeitos independentes causam este fenómeno:

1- Contato de dois metais diferentes e uma junção de temperatura comum. (efeito Peltier)



2- Gradientes de Temperatura ao longo de cada conductor unidos por um ponto comum de temperatura (efeito Thomson)

$$E = f(T_1^2 - T_2^2)$$

- **Vantagens of Termoacoplador**

- Resposta rápida ($\tau=1\text{ms}$), tamanho pequeno ($12\ \mu\text{m}$ diametro), fácil de fabricação e alta estabilidade

- **Desvantagens**

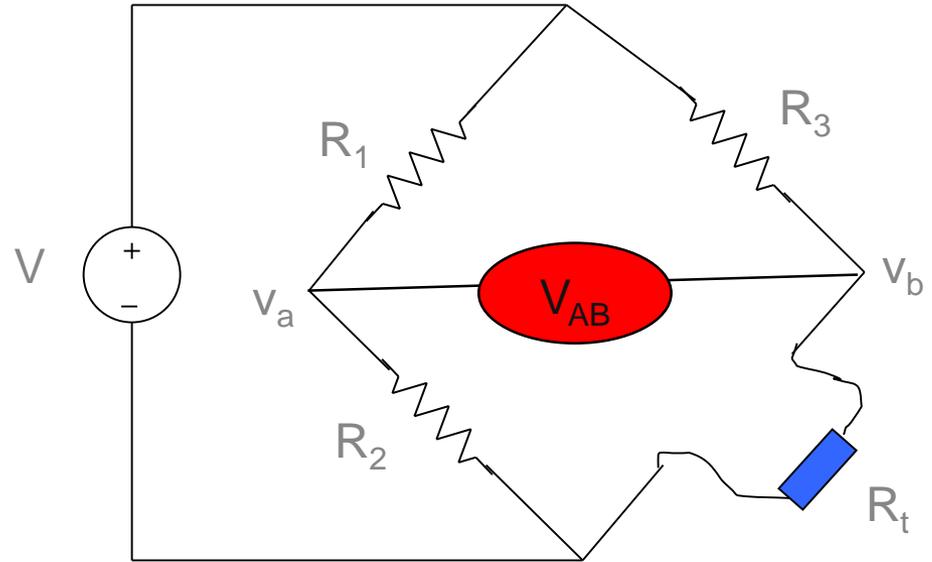
- Pequena voltage de saída, baixa sensibilidade, precisa de uma temperatura

Termistores

- Termistores são semicondutores feitos de materiais cerâmicos cuja resistência diminui à medida que a temperatura aumenta.
- **Vantagens**
 - Pequeno em tamanho (0,5 mm de diâmetro)
 - Grande sensibilidade às mudanças de temperatura (-3 a -5% / ° C)
 - velocidade do sangue
 - As diferenças de temperatura no mesmo órgão
 - Excelentes características de estabilidade a longo prazo ($\Delta R = 0,2\% / \text{ano}$)
- **Desvantagens**
 - Não-linear
 - Auto-aquecimento
 - Faixa limitada

Ponte com termistor

- Conexão em ponte para medir voltage correspondente a variação no termistor



- Considerando $R_1 = R_2 = R_3 = R$ e $R = R_t + \delta R$, determine V_{AB} ?

Termômetro de Radiação

- Quanto mais elevada for a temperatura de um corpo maior é a radiação eletromagnética (EM).
- **Transdutores de Radiação Eletromagnética**
 - Converte a energia sob a forma de radiação EM em uma corrente eléctrica ou diferença de potencial, ou modifica um potencial de corrente eléctrica.
 - Termometria médica mapeia a temperatura da superfície de um corpo com uma sensibilidade de poucos décimos de um Kelvin.
- **Aplicação**
 - Câncer de mama, determinação de localização e extensão das perturbações artríticas, medir a profundidade de destruição dos tecidos danificados por resfriamento e aquecimentos, detectar vários distúrbios circulatórios periféricos (trombose venosa, oclusão da artéria carótida)



http://en.wikipedia.org/wiki/Blackbody_radiation

Termómetro de Radiação

- **Fontes de radiação EM:**

- Aceleração de cargas podem surgir a partir de energia térmica.
Movimento de cargas causa a radiação de ondas eletromagnéticas.

- A quantidade de energia em um fóton está inversamente relacionada com o comprimento de onda

:

$$E \propto \frac{1}{\lambda}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- *Fontes térmicas se aproximam de fontes de radiação de corpo negro ideal;*

- *Radiação de corpo negro:*

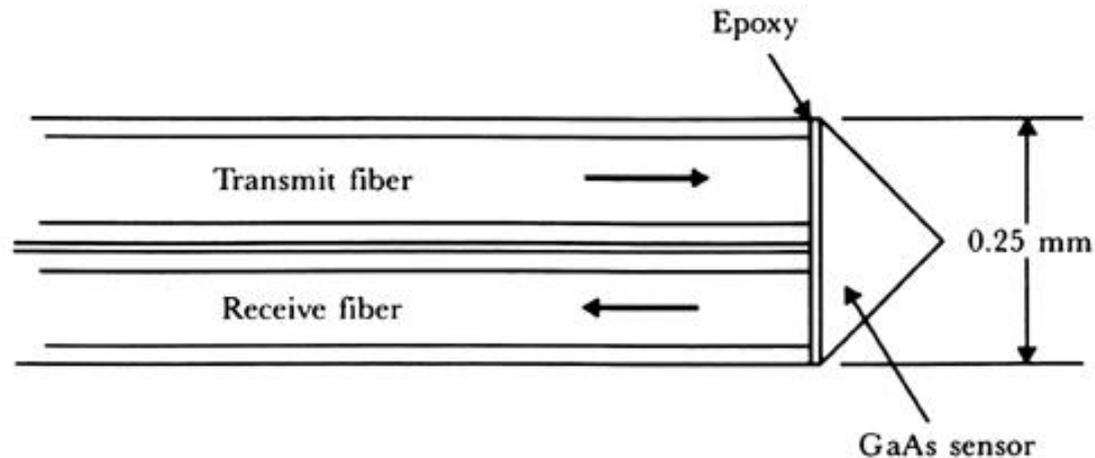
- Um objeto que absorve toda a radiação incidente, e emite o máximo possível de radiação térmica (0.7 μm to 1mm).

Exemplo de aplicação

- Medir a temperatura corporal central do ser humano através da medição da magnitude da radiação infravermelha emitida a partir da membrana timpânica e circundante do canal auditivo.
 - Tempo de Resposta é de 0.1 s
 - Acuracia é de 0.1 °C

Sensor de temperature de Fibra-Optica

- Pequeno e compatível com implantes biológicos.
- Sensor não metálico, o que torna excelente para medir em ambiente de alto campo magnético.



Sensor semiconductor de Arsenide de Galio (GaAs)

Project (Sensors/transdutores)

Sensores resistivos

Extensômetros (strain gages)

Sensores de Pressão Arterial

Sensor indutivo

Sensores magnetoresistivos

Os sensores capacitivos

Sensores piezoelétricos

Sensores de Temperatura (termopares, termistores)

Sensores de Radiação Termometria

Termômetro com Sensores Infravermelho

Sensores de temperatura fibra óptica

Fontes de Radiação

Sensores térmicos

quantum Sensores

Sensores fotoemissíveis

Células fotocondutoras

Sensores fotojunções

Sensores fotovoltaicos