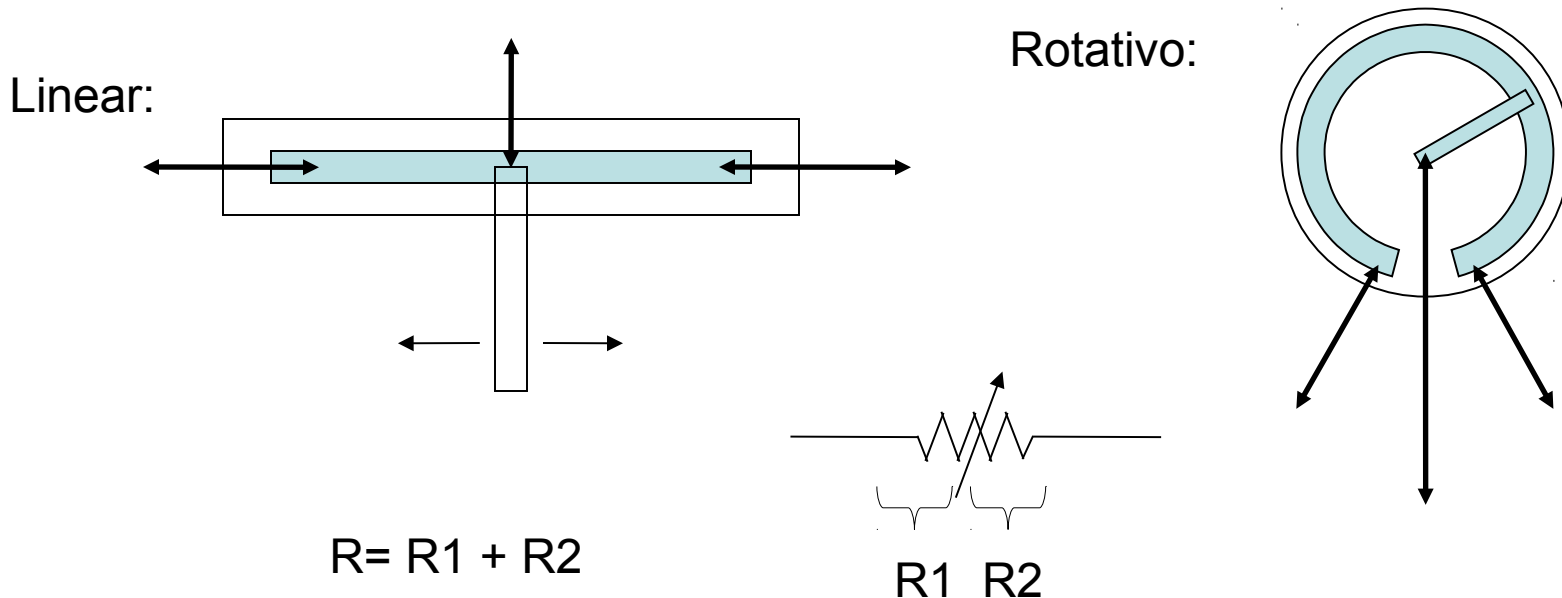


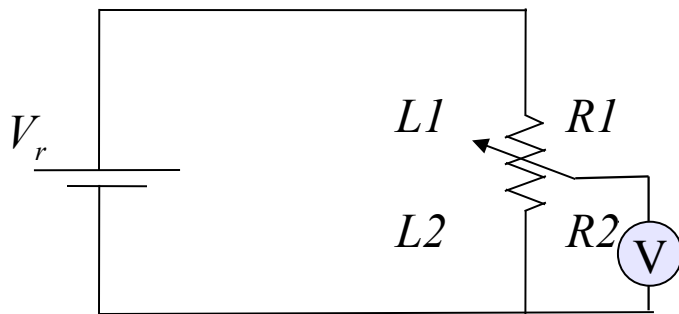
Transdutores de Deslocamento

Potenciômetros – são formados por um material condutor resistivo depositado em superfície isolante, com contatos fixos nas duas extremidades e um contato móvel (cursor) que se desloca ao longo do condutor formando um divisor resistivo



Potenciômetro - Materiais

- Carbono: simplicidade e baixo custo
- filmes metálicos: linearidade e durabilidade
- fios metálicos em espiral: estabilidade e robustez
- plásticos condutores: alta resolução



$$V = V_r \cdot R1 / (R1 + R2)$$

$$R1/R2 = L1/L2$$

$$L1 + L2 = L$$

$$V = L1 \cdot V_r / L$$

Potenciômetro - Características

- Simplicidade, baixo custo, alta linearidade
- variações na resistência total devido à temperatura não afetam o valor medido.
- A tensão V_r deve ser estável
- O medidor da tensão deve ter uma impedância muito superior ao valor do potenciômetro
- Desvantagens:
 - desgaste do material condutor,
 - atrito do cursor

Indutivos

Formado por bobinas de indutância L . O deslocamento mecânico causa variação na Indutância (ΔL) devido à variação em algum parâmetro da equação:

$$L = n^2 G \mu_{eff}$$

onde:

n =numero de espiras, G =fator geométrico, μ_{eff} =permeabilidade efetiva

- **saída:**

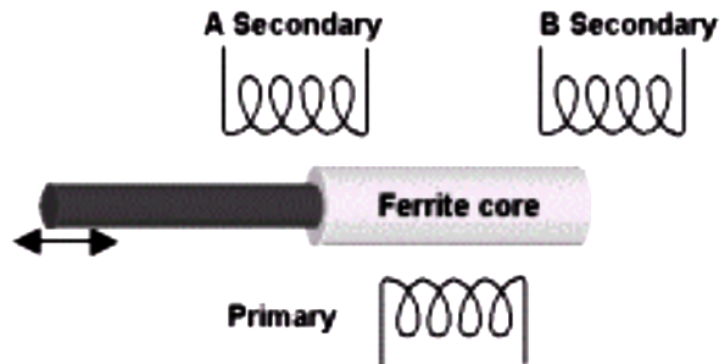
- **Simplex:** baixo custo, maior simplicidade, sensibilidade moderada
- **Diferencial:** maior sensibilidade, menor influencia de campos magnéticos externos e temperatura

- **núcleo:**

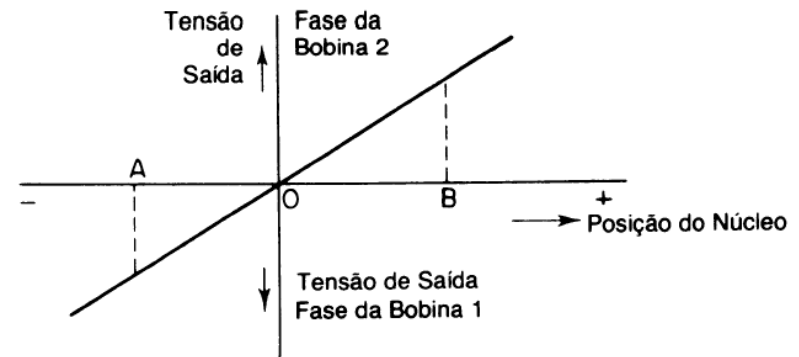
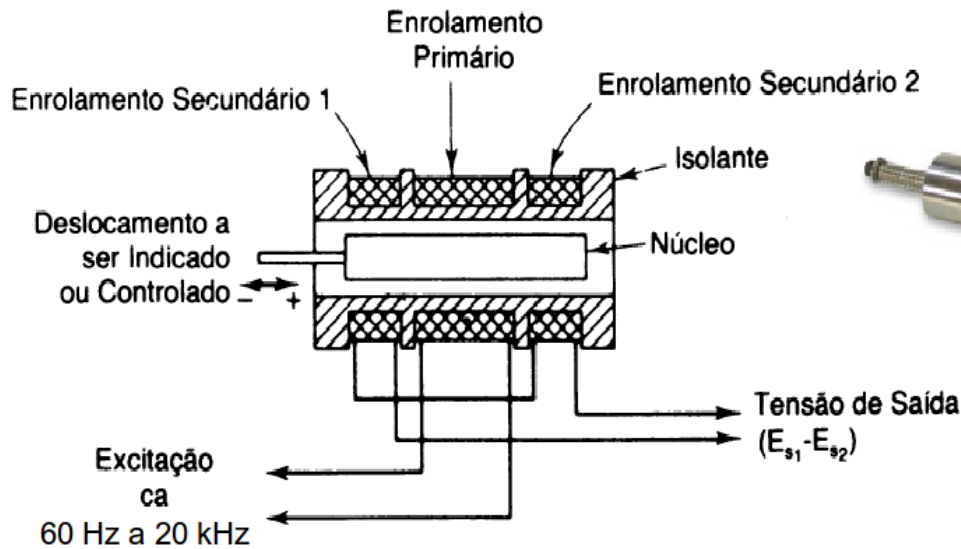
- **ar:** frequência mais alta, menor tempo de resposta
- **Ferro:** menor frequência (<20kHz), campo magnético mais concentrado, indutância não linear com a corrente

Indutivos - LVDT

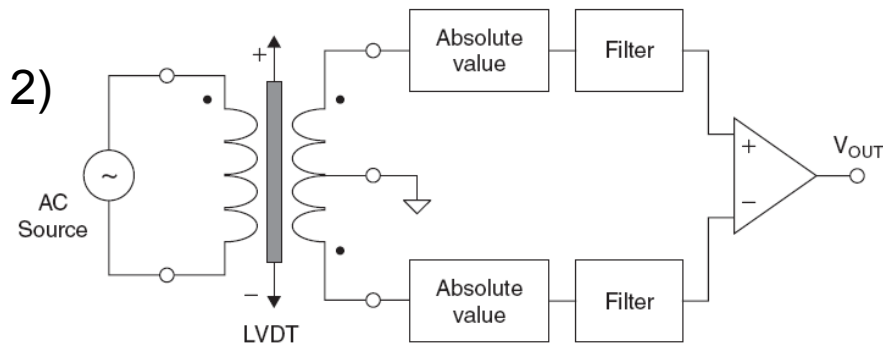
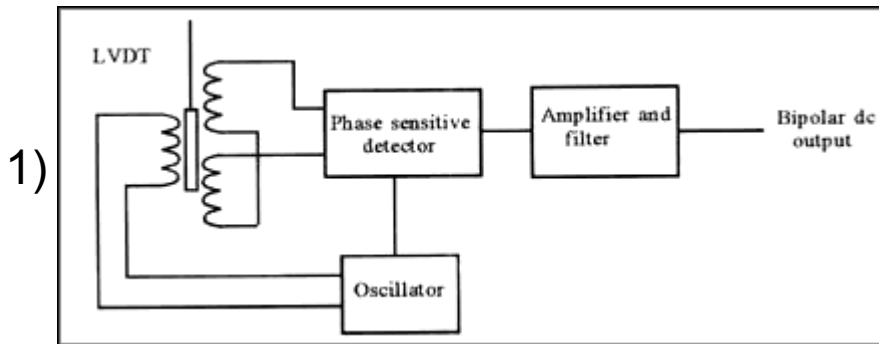
- Transformador Diferencial Variável Linear
- Posição do núcleo móvel determina o acoplamento de fluxo entre a excitação do primário e cada um dos enrolamentos do secundário.
- Características: alta resolução, baixa histerese, excelente repetibilidade, sem desgaste de contato elétrico.
- Aplicações: Aviação, automóveis, medidores de nível, etc.



LVDT – Funcionamento

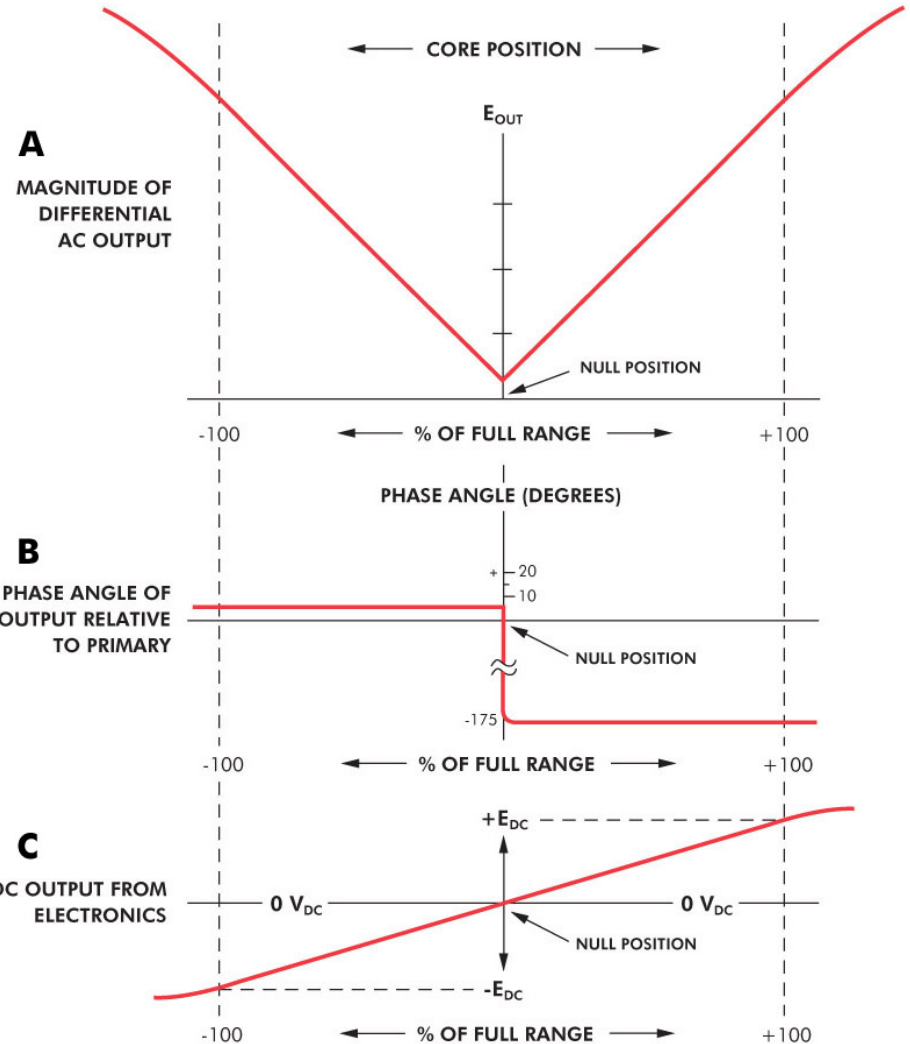


LVDT – Circuitos



(AD598)

$$D = \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B}$$

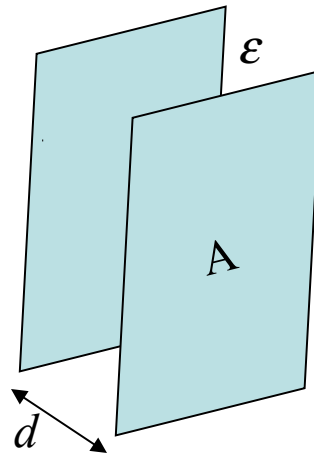


Capacitivos

- Variação da capacitância (C) através da modificação de um dos parametros (ϵ , A ou d)

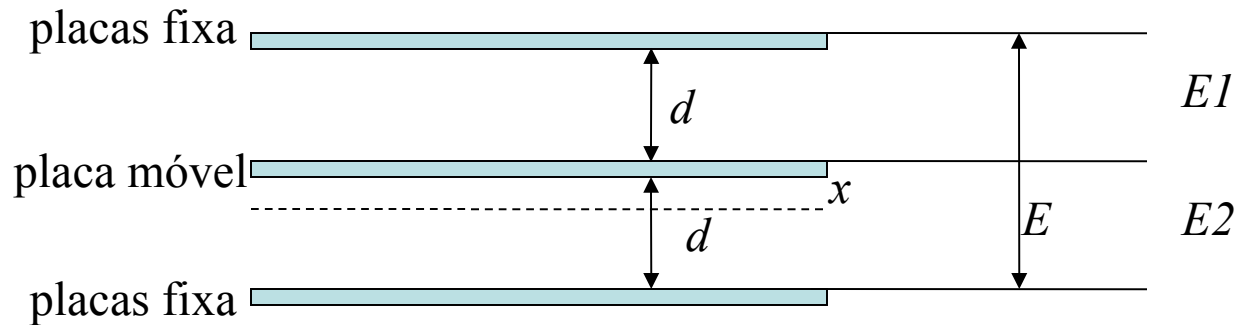
$$C = k\epsilon A/d$$

onde: k =constante multiplicativa, ϵ =constante do dielétrico, A =área efetiva das placas, d =distancia entre as placas



Capacitor diferencial

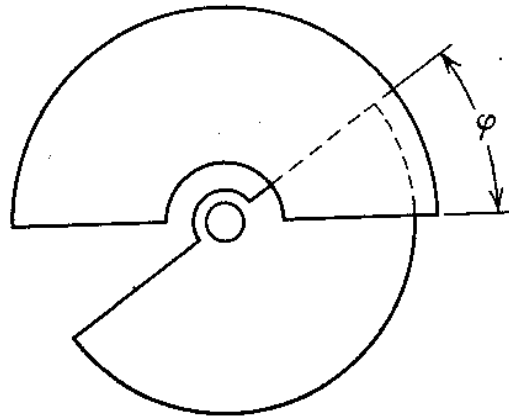
Placas paralelas



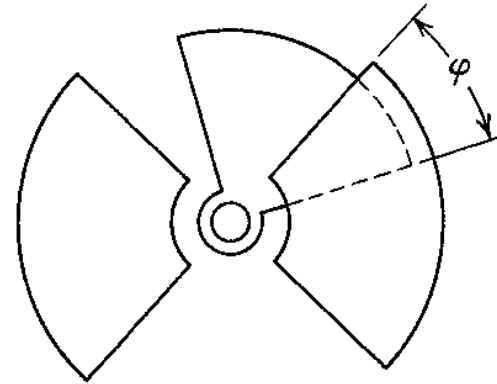
$$C1 = \epsilon A / (d+x) , C2 = \epsilon A / (d-x)$$

$$DE = E1 - E2 = E \cdot x / d$$

Capacitor Rotativo



duas placas

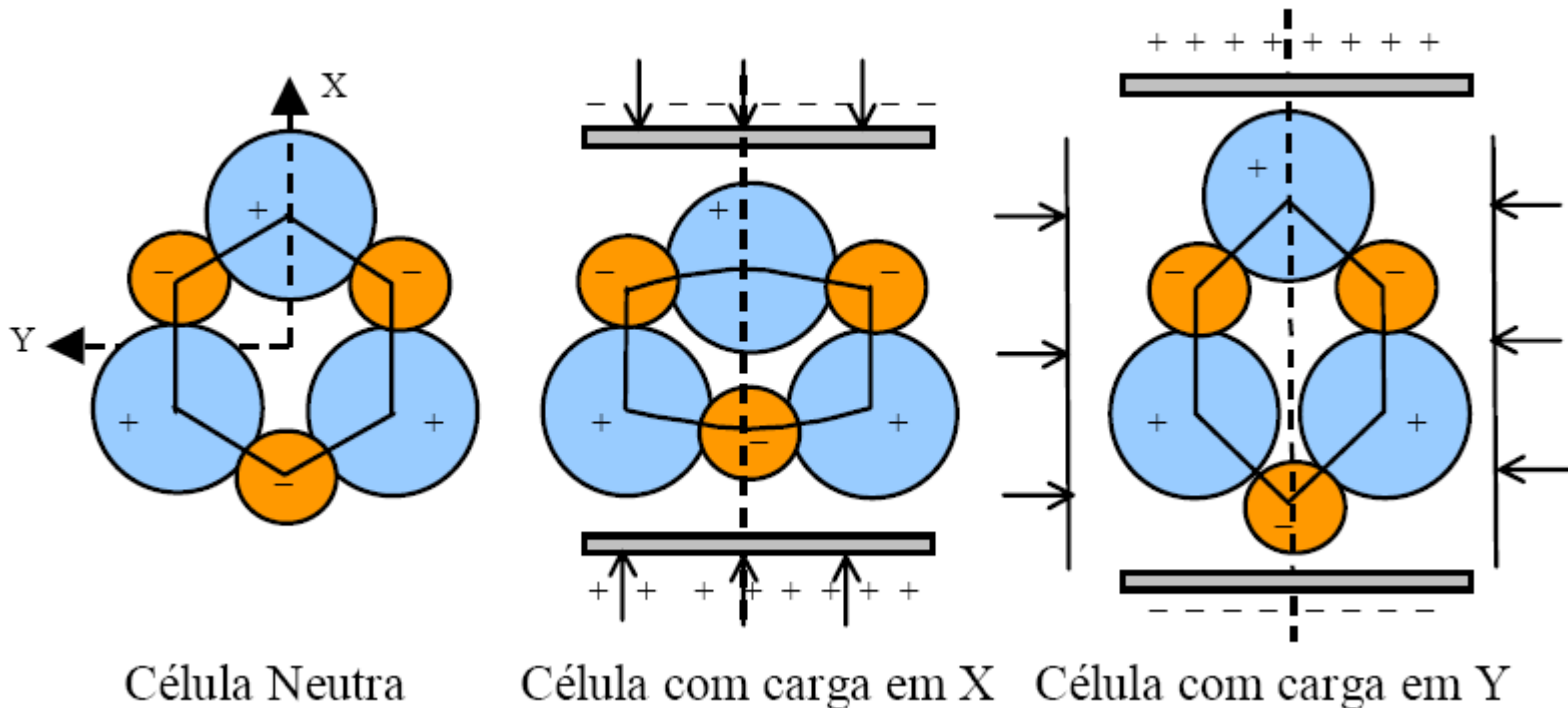


diferencial

Transdutores Piezoelétricos

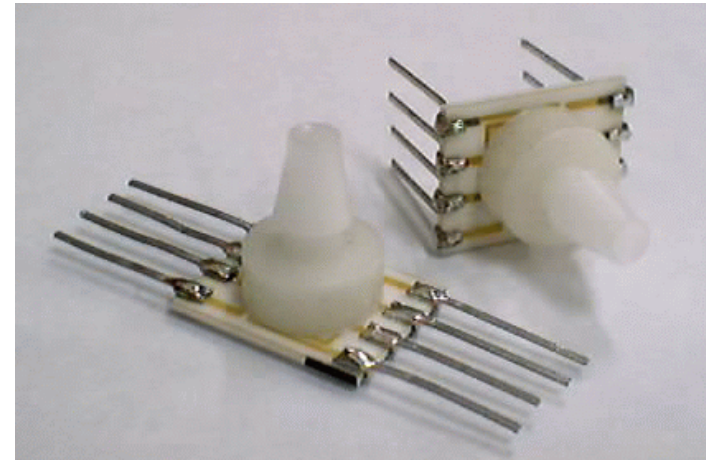
- Geram uma d.d.p. quando submetidos a uma pressão. (também se expandem/contraem quando excitados eletricamente).
- São usados materiais como quartzo, titanato de bário e PZT (titanato zirconato de chumbo), também são usados polímeros flexíveis como o PVDF (Polivinilo de Flúor).
- Aplicações: deformação, força, pressão, aceleração, ultrassom.

Cristais piezoelétricos

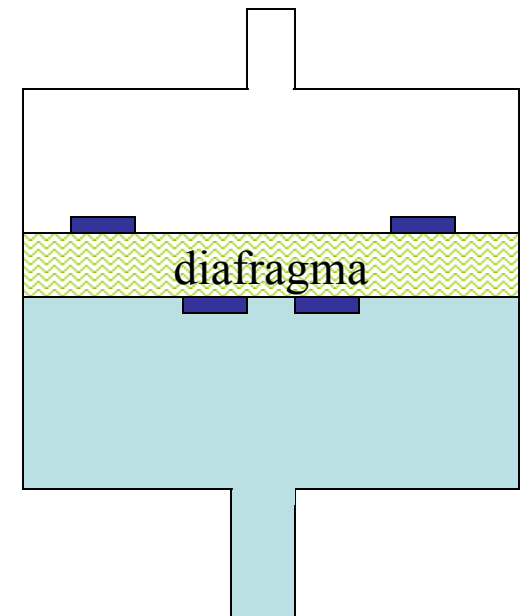
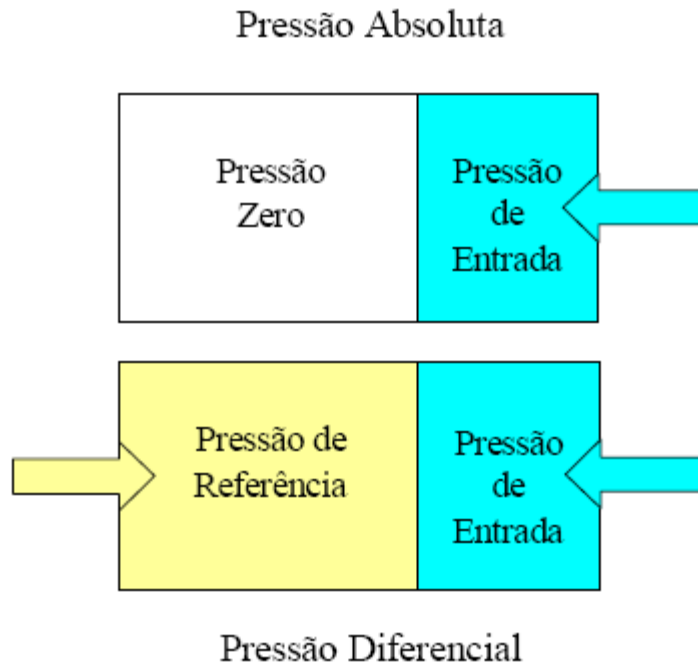


Transdutores de Pressão

- Geralmente medida indiretamente através de pequeno deslocamento de membrana ou superfície similar
- Pressão absoluta, pressão relativa, pressão diferencial.
- resistivos (strain-gage), capacitivos, indutivos ou piezoelétricos.



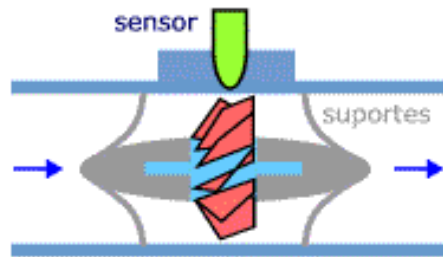
Transdutores de Pressão



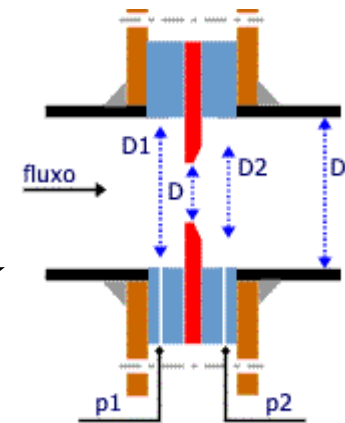
Transdutores de Vazão

Diversos princípios são utilizados para medir vazão em líquidos e gases:

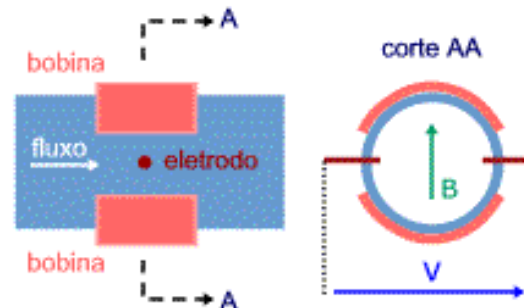
- Turbina



- Pressão diferencial

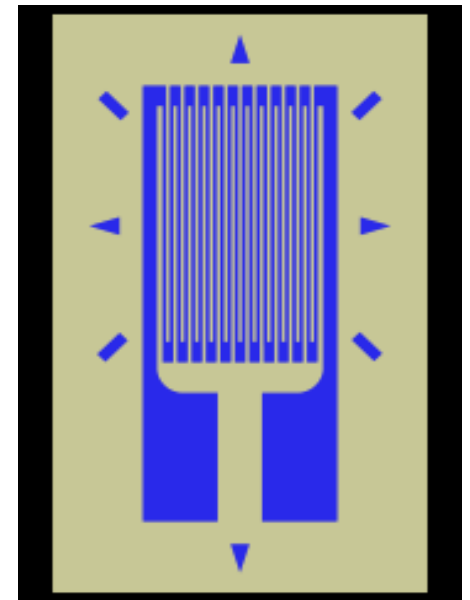


- Eletromagnéticos



Extensômetros

- Dispositivo resistivo usado para medir deformações em sólidos
- Princípio básico demonstrado por Lord Kelvin em 1856
- É composto de um material condutor (ou semicondutor) depositado sobre um filme isolante
- Deformações no condutor alteram sua resistência elétrica que pode ser medida através da lei de Ohm



Extensômetros

Resistência elétrica de um fio condutor (R):

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

ρ : resistividade do material condutor

L : comprimento do fio

A : área da seção transversal do fio

Deformação do extensômetro na direção das linhas (eixo de maior sensibilidade):

→Variação do comprimento L

→Variação da área A

→Variação na resistividade ρ

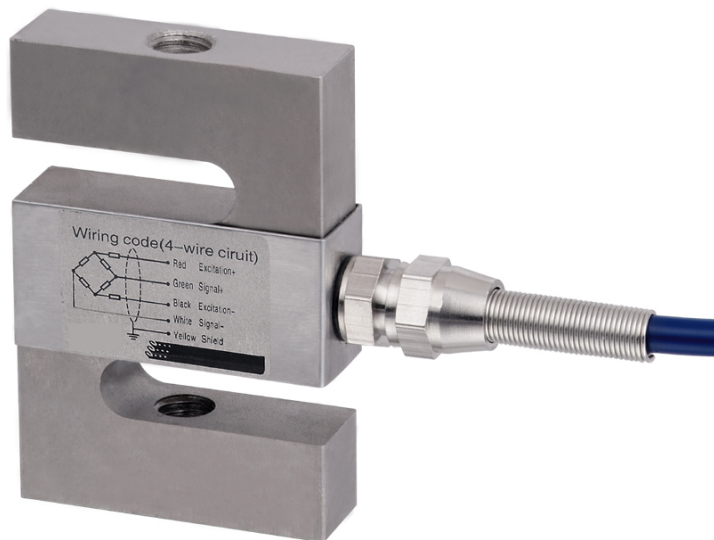
$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A}$$

Sensibilidade do extensômetro à deformação mecânica (*gage factor*, K):

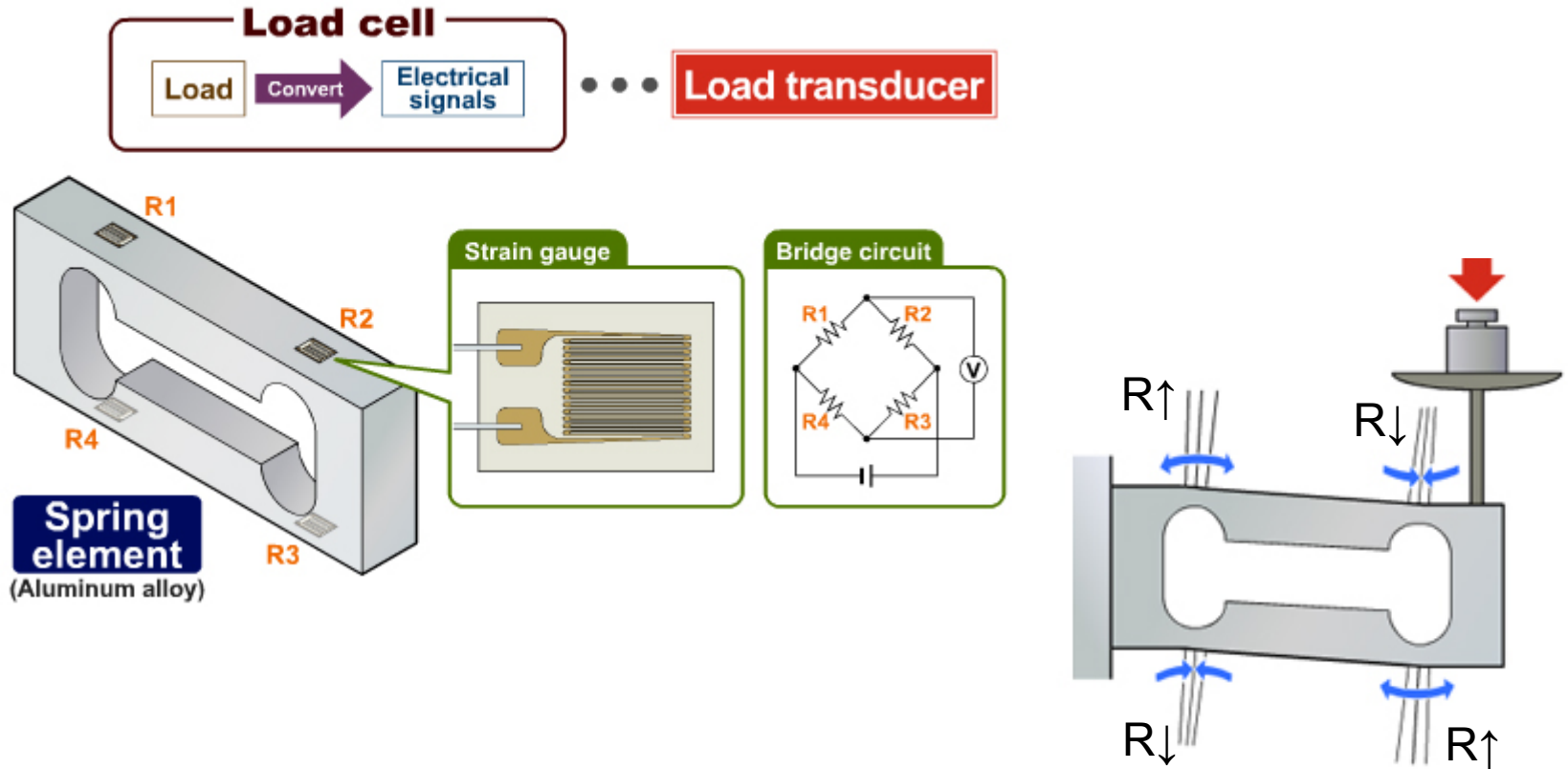
$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

Células de Carga

- Transdutores que utilizam extensômetros para medir força (peso)
- Usados em balanças eletrônicas, dinamômetros, medidor de torque de motores, etc
- Sensibilidade: medida relativa da variação da tensão de saída para carga máxima (em N ou kg), em função da tensão de excitação (Ex: $S=2 \text{ mV/V}$)



Células de Carga

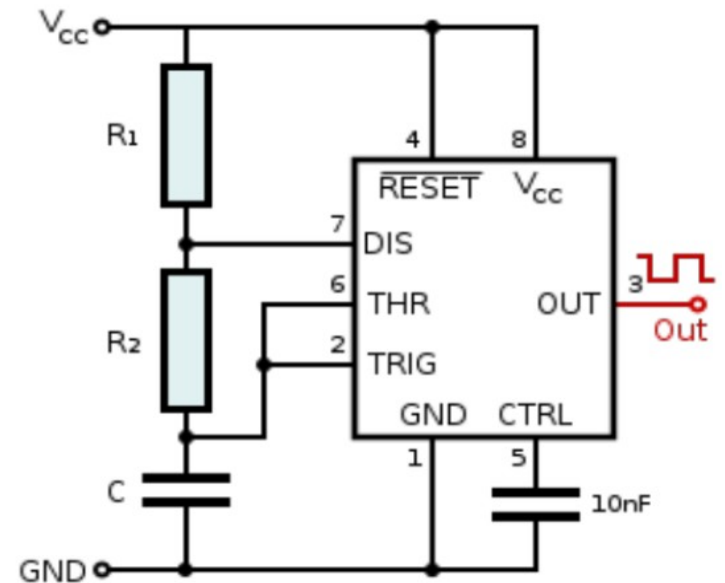
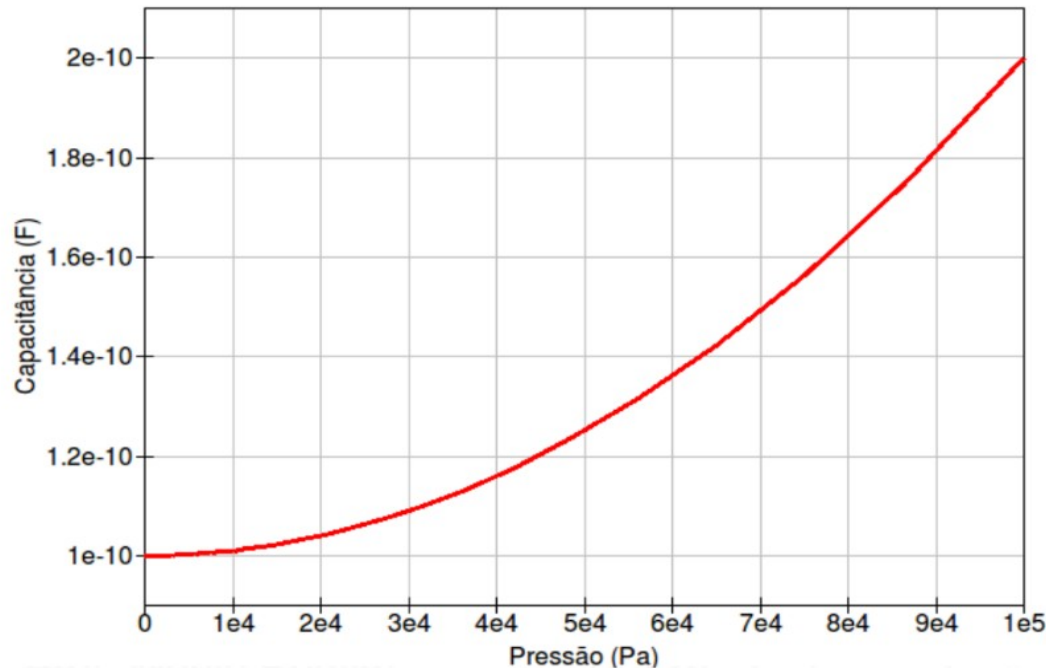


- Circuito na configuração ponte de Wheatstone
- Tensão de saída deve ser amplificada
- Carga máxima depende do material e das dimensões da célula (não depende do extensômetro)

Exercício 3

Dado um transdutor de pressão capacitivo, que possui curva de variação de capacitância com a pressão mostrada no gráfico abaixo, pede-se:

- determine a equação de capacitância em função da pressão, sabendo que possui uma variação quadrática
- monte um circuito conversor pressão-frequência usando um astável com 555, que possibilite uma resolução de pelo menos 1 parte em 10^4 na faixa de pressão de 10^4 a 10^5 Pa, sabendo-se que esta frequência será convertida para um valor digital por um contador de pulsos cuja janela de contagem temporal é 1 segundo.
- determine a equação de calibração que deverá ser utilizada para fornecer o valor da pressão a partir da medida da frequência de oscilação.



$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot C \cdot (R_1 + 2R_2)}$$