

-
- 1. Pressão**
 - 2. Fluxo**
 - 3. Extensômetros (strain gauges)**
 - 2. Acelerômetros Piezoresistivos**
 - 3. Acelerômetros de Capacitância Variável**
 - 4. Acelerômetros Piezoeletricos**

Pressão

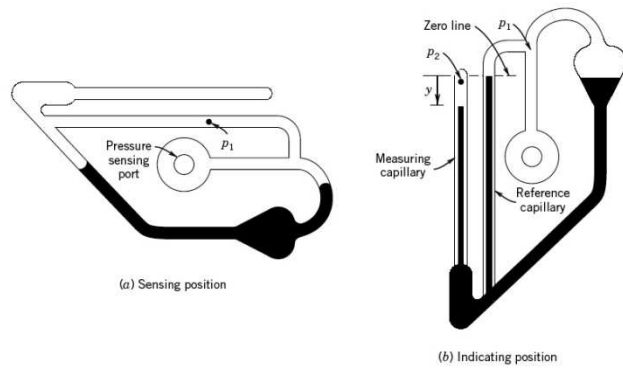


Figure 9.3 McLeod gauge.

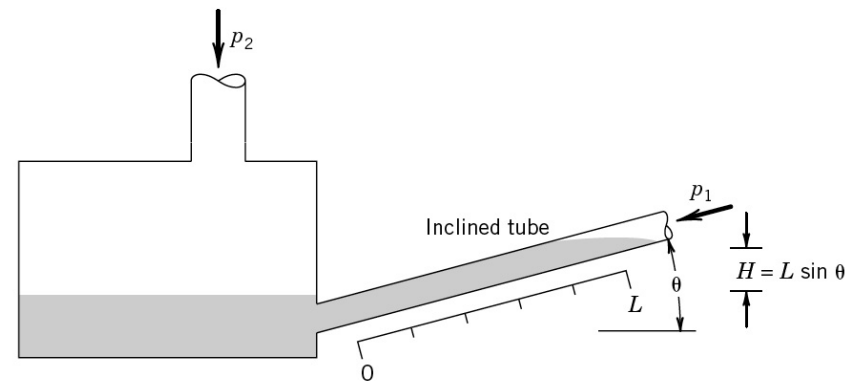


Figure 9.7 Inclined tube manometer.

Pressão

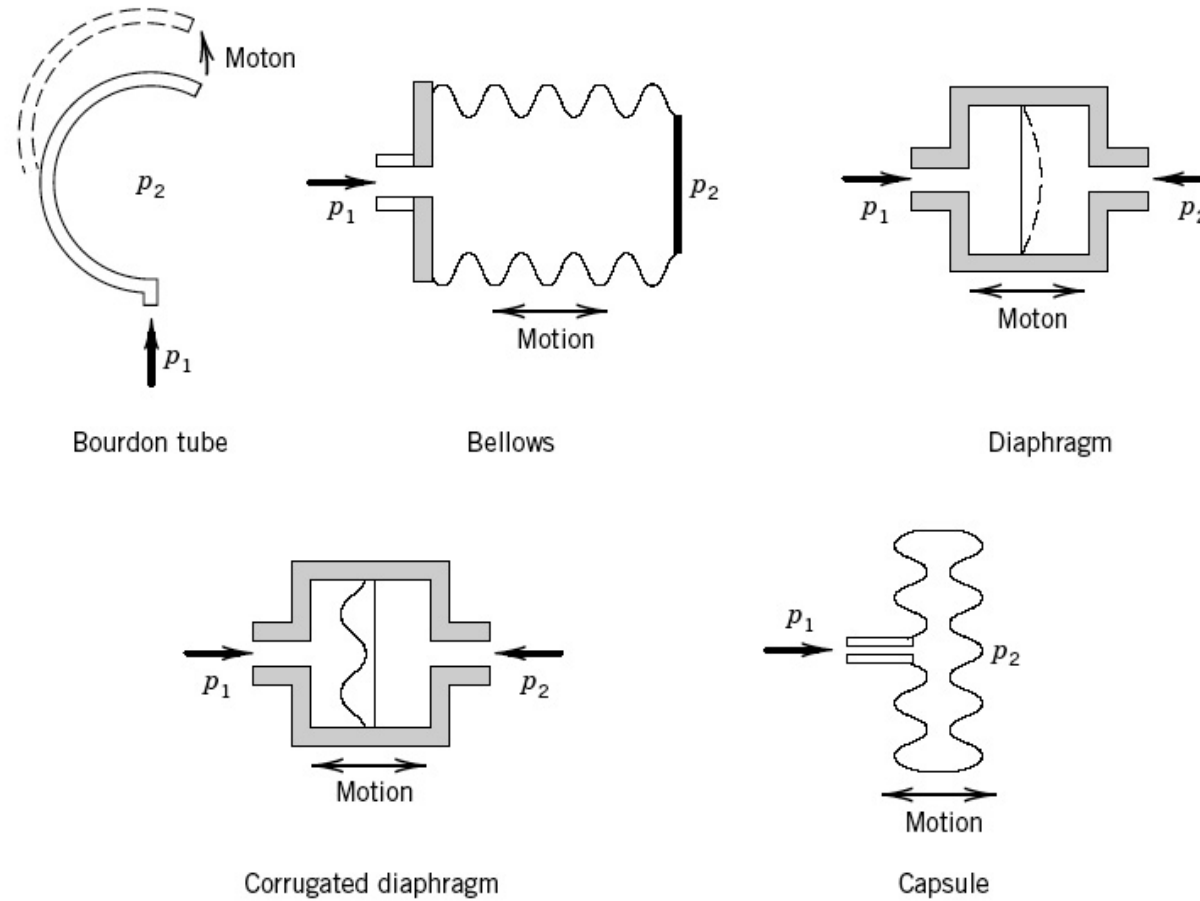


Figure 9.9 Elastic elements used as pressure sensors.

Pressão

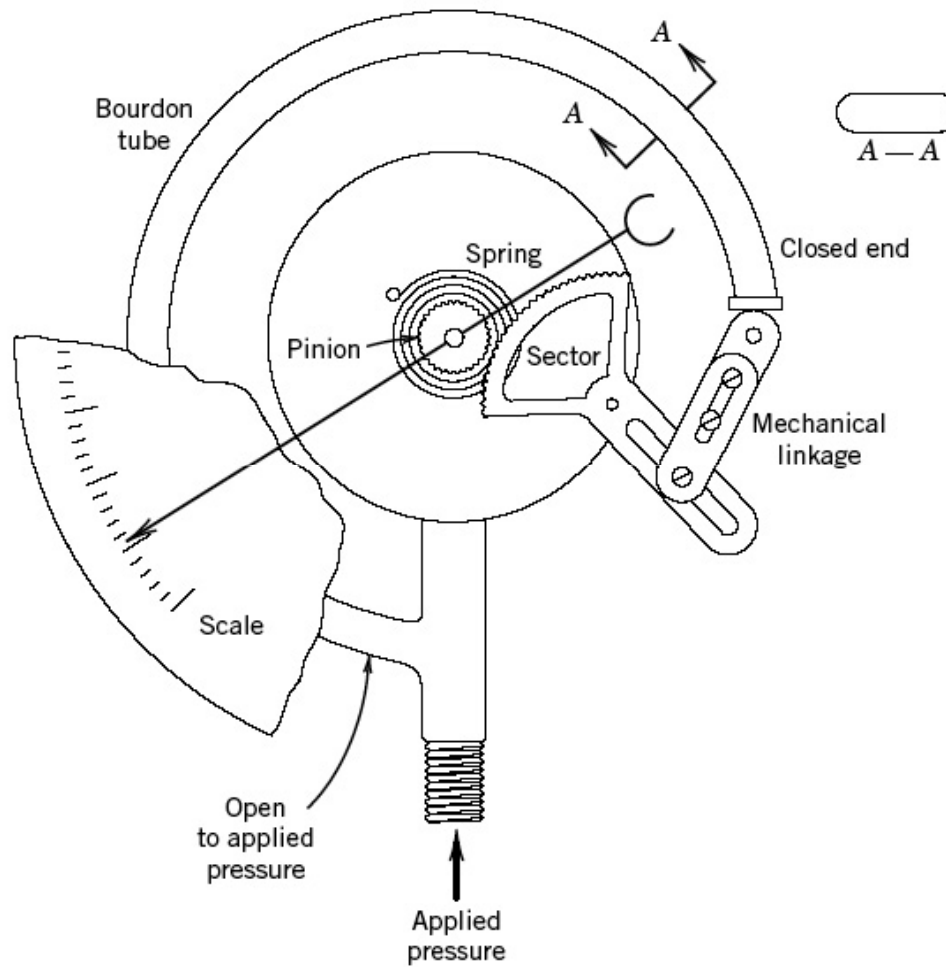
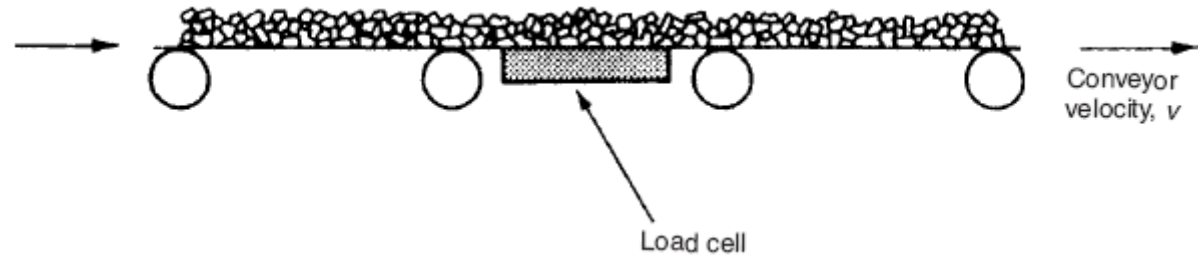


Figure 9.10 Bourdon tube pressure gauge.

Fluxo

Taxa de fluxo de massa



Medidor por efeito Coriolis

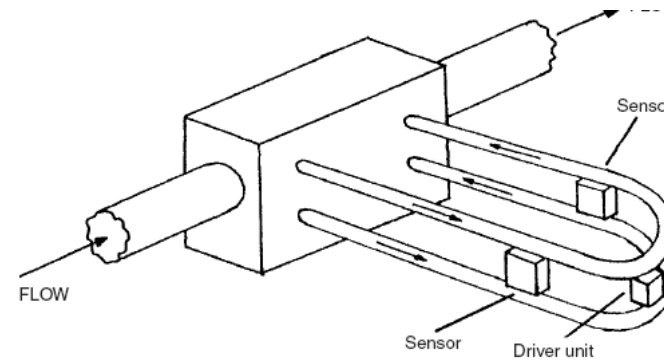
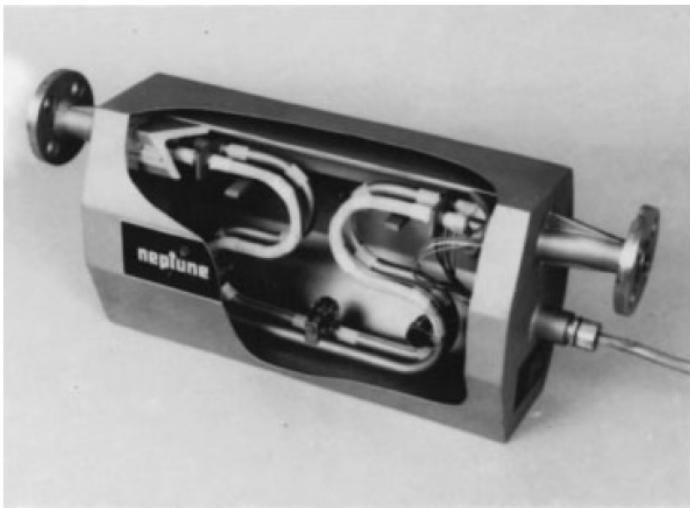


Figure 10.21 Cutaway view of a Coriolis mass flow meter. (Courtesy of Actaris Neptune Liquid Measurement Division, Greenwood, SC.)

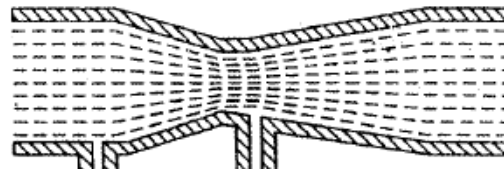
Fluxo

Taxa de fluxo volumétrico

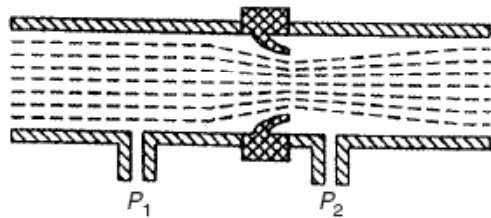
Medidores de pressão diferencial



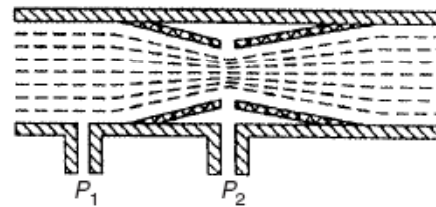
(a)



(b)

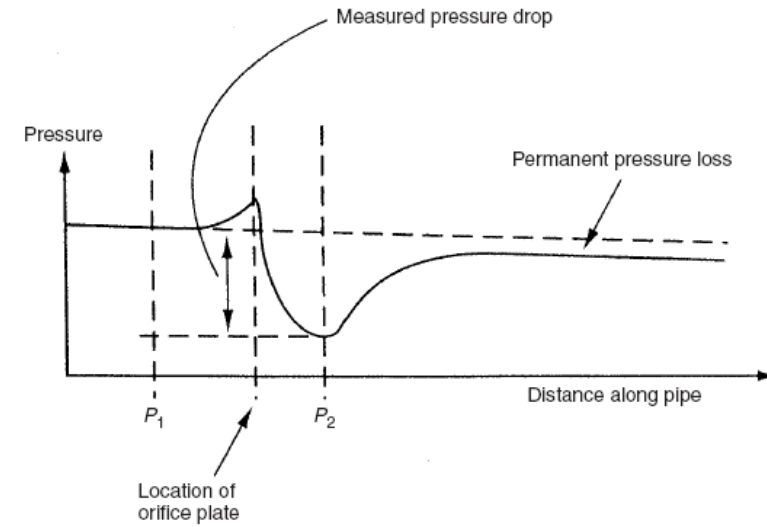
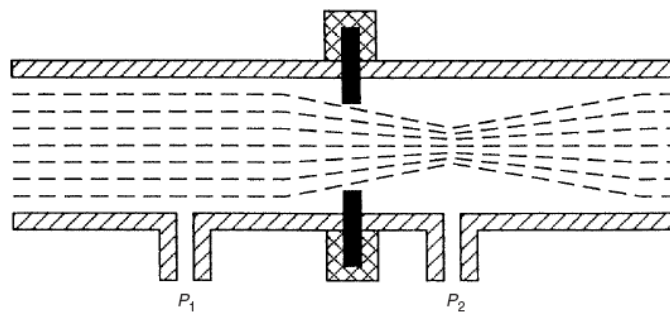


(c)

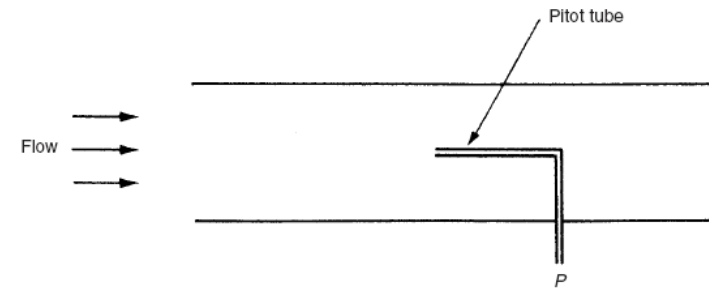


(d)

Obstruction devices: (a) orifice plate; (b) venturi; (c) flow nozzle; (d) Dall flow tube.

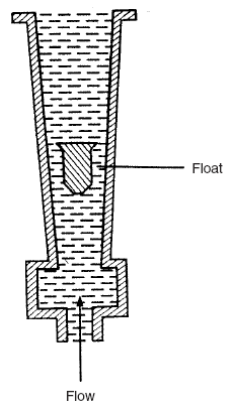


Tubo de Pitot

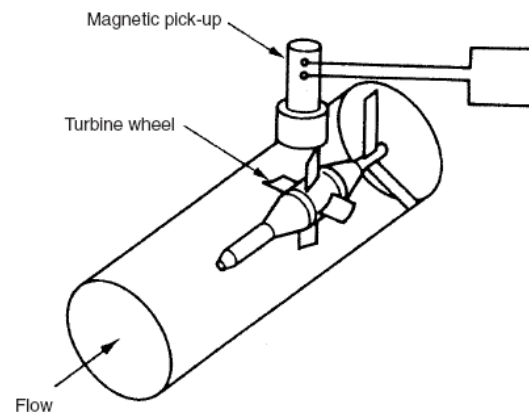


Fluxo

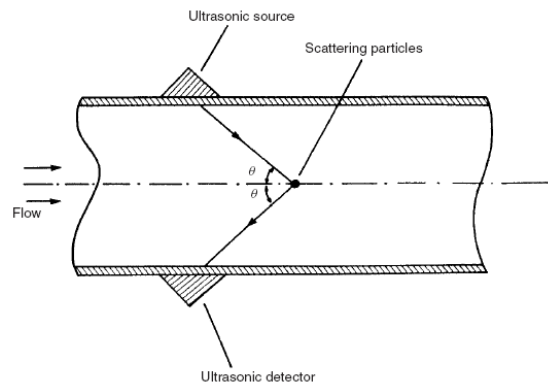
Medidores de área variável



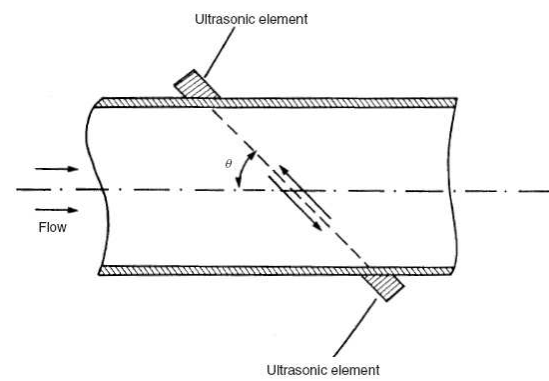
Medidor tipo turbina



Medidores por ultrassom



Efeito doppler



Tempo de transito

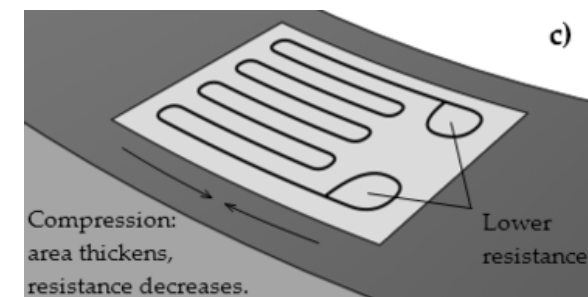
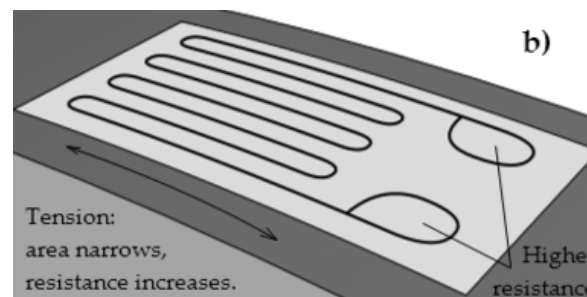
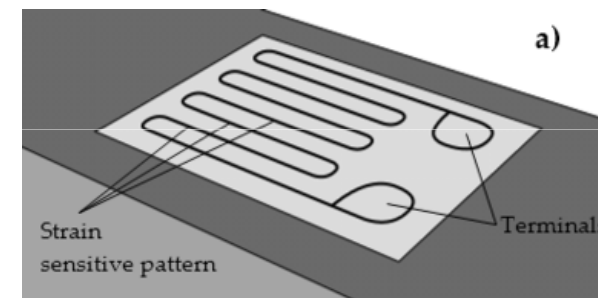
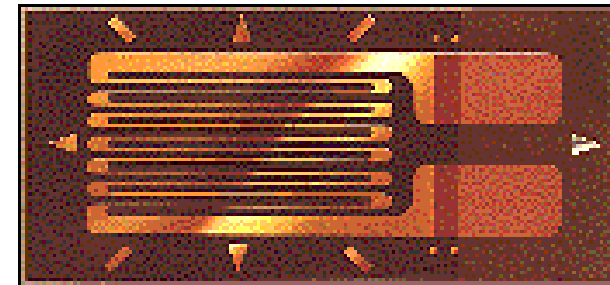
Extensômetros (Strain Gauges)

Medição da deformação na superfície de materiais.

O extensômetro é colado à superfície do material, de forma a se ter a mesma deformação no material e no extensômetro.

A deformação do extensômetro altera sua resistência elétrica de maneira proporcional.

O resultado se refere a uma deformação média sob a área do extensômetro.



Extensometria

ESTADO UNIAXIAL DE TENSÃO

- direção de deformação é conhecida
- extensômetro é alinhado com direção de deformação

ε – Variação fracional de comprimento

σ – Tensor estresse

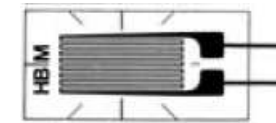
E – Módulo de Young da elasticidade

ρ – Resistividade do material

l - Comprimento total do Strain Gauge

A – Área da secção transversal

K – Fator Gauge



$$\sigma = E \varepsilon$$

$$\varepsilon = \Delta l / l$$

$$R = \rho l / A$$

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

ESTADO PLANO DE TENSÃO

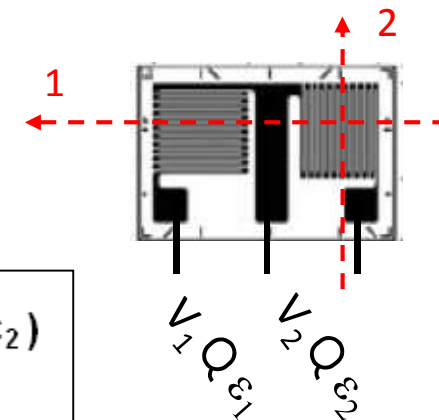
- direções principais de deformação são conhecidas e não há cisalhamento
- extensômetros são alinhados com as direções principais a 90° (cisalhamento nulo)

ν – Relação de Poisson

$$\nu = - \frac{dr / r}{dl / l}$$

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \nu^2} (\varepsilon_1 + \nu \varepsilon_2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \nu^2} (\varepsilon_2 + \nu \varepsilon_1)$$



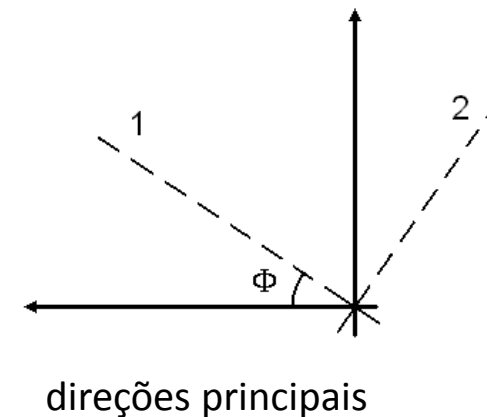
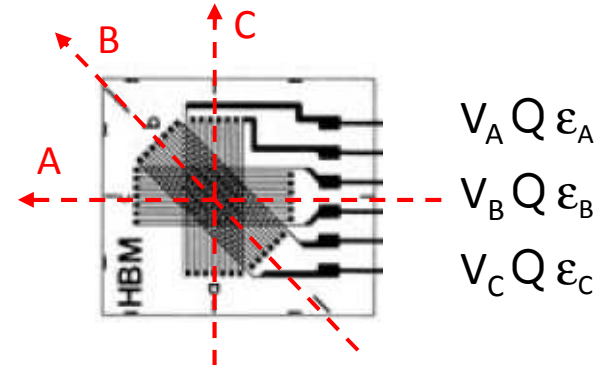
Extensometria

ESTADO PLANO DE TENSÃO

- direções principais de deformação **não** são conhecidas e não há cisalhamento
- extensômetros dispostos em ângulo (roseta) posicionado no ponto de interesse

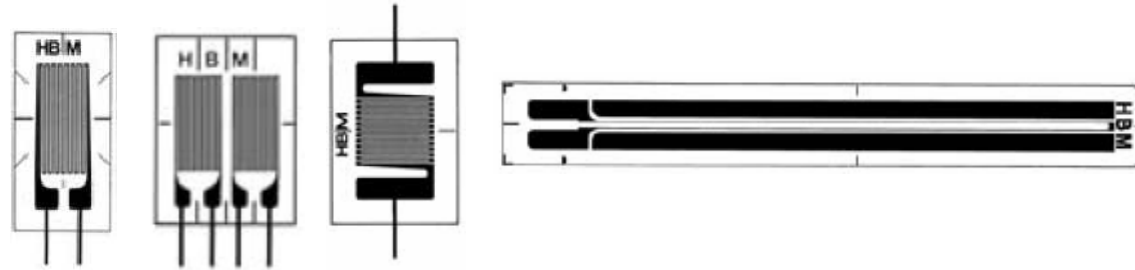
$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{2} (\varepsilon_A + \varepsilon_C) + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_A - \varepsilon_C)^2 + (2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C)^2} \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{2} (\varepsilon_A + \varepsilon_C) - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_A - \varepsilon_C)^2 + (2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C)^2} \\ \Phi &= \frac{1}{2} \arctg \left[\frac{2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C}{\varepsilon_A - \varepsilon_C} \right] \end{aligned} \right.$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu \varepsilon_2) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_2 + \nu \varepsilon_1) \end{aligned}$$

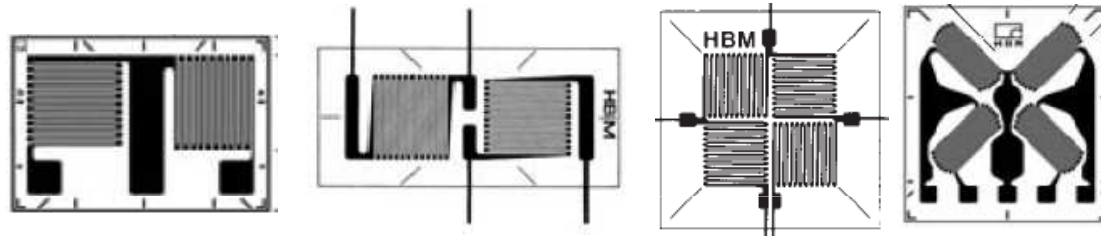


Extensômetros (Strain Gauges)

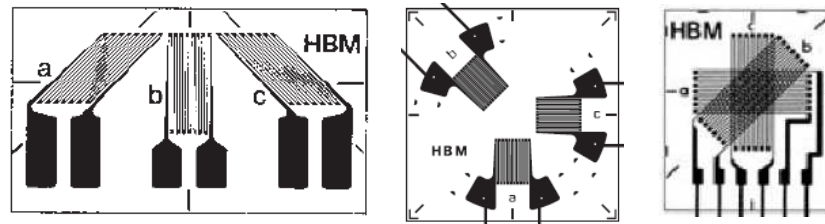
- uniaxial



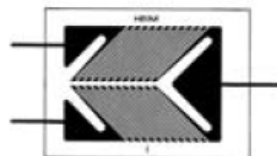
- biaxial



- triaxial (roseta)

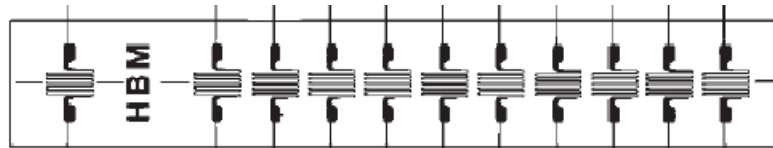


- cisalhamento

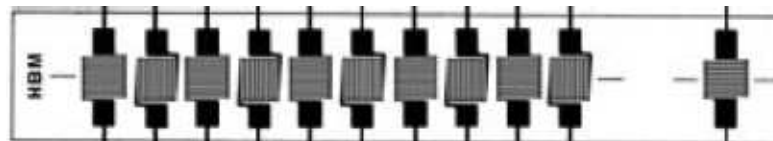


Extensômetros (Strain Gauges)

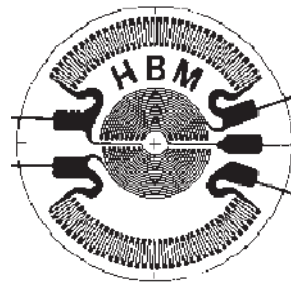
- gradiente de tensão uniaxial



- gradiente de tensão biaxial



- tensão em diafragma (medida de pressão)



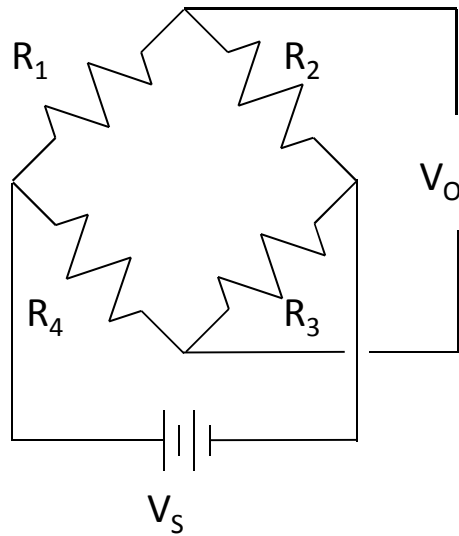
Extensômetros (Strain Gauges)

APLICAÇÕES – Monitoração ou ensaios em corpos de prova, ...



Extensômetros (Strain Gauges)

PONTE DE WHEATSTONE



condição de equilíbrio da ponte

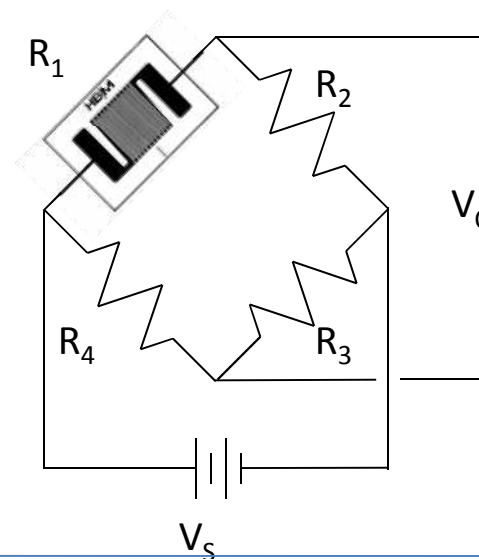
$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad \Rightarrow \quad V_o = 0$$

tensão de saída da ponte

$$\Delta V_o = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) V_s$$

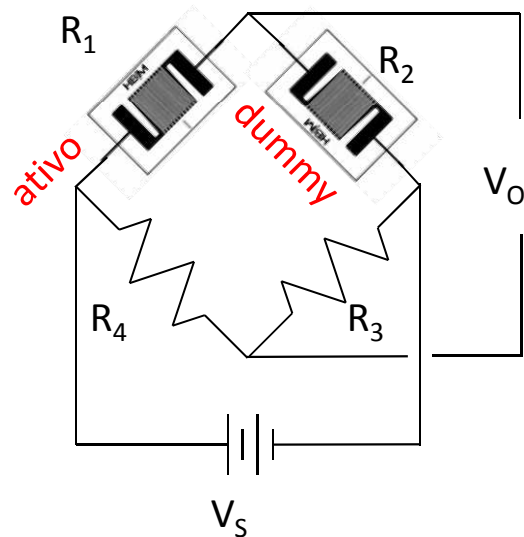
PONTE COM 1 EXTENSÔMETRO

$$\Delta V_o = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right) V_s$$



Extensômetros (Strain Gauges)

PONTE COM 2 EXTENSÔMETROS

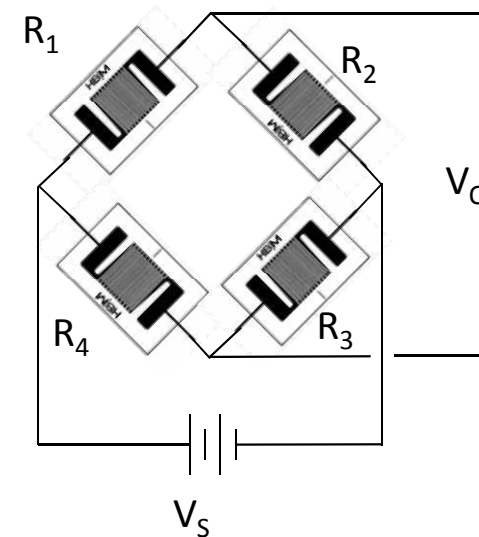


- ativo e dummy devem ser idênticos
- dummy montado em região livre de deformação mas mesma temperatura



compensação dos efeitos de dilatação térmica

PONTE COM 4 EXTENSÔMETROS



- extensômetros devem ser idênticos



compensação dos efeitos de dilatação térmica

quadruplica a sensibilidade

Extensômetros (Strain Gauges)



Strain Gages
and Accessories

measurement with confidence

www.hbm.com



Acelerômetros

OBJETIVO

Medir aceleração

TIPOS

- Piezoresistivo
- Capacitância Variável
- Piezoelétrico



Acelerômetros Piezoresistivos

FUNIONAMENTO

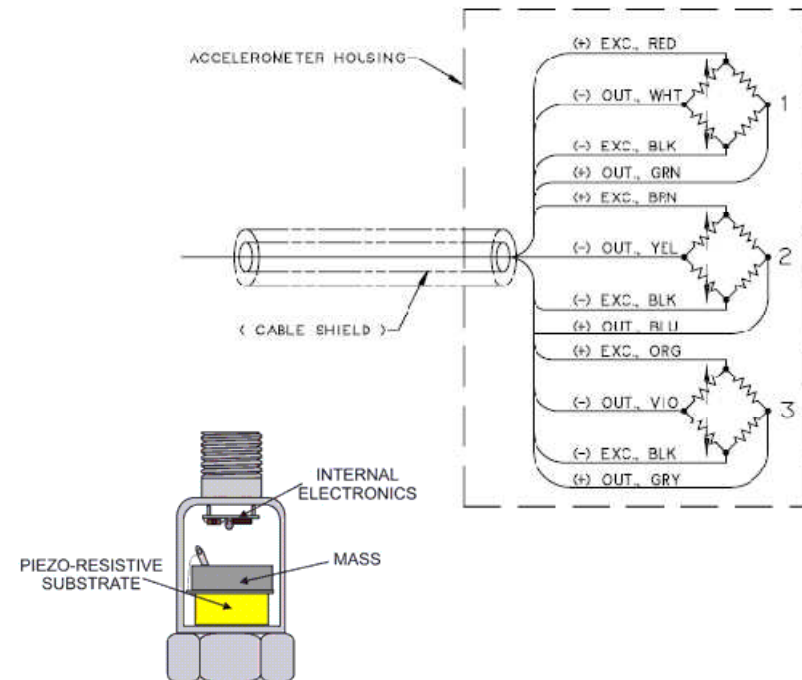
Uma massa inercial sob aceleração causa tensão na estrutura interna do sensor, a qual tem extensômetros montados.

A mudança de resistência elétrica do extensômetro é proporcional à tensão mecânica aplicada, que por sua vez é proporcional à aceleração.



APLICAÇÕES e VANTAGENS

- medição de vibração de baixa frequência (flutter, road test, biodinâmica)
- medição de choques mecânicos (crash tests)
- medição de transientes de longa duração
- alta sensibilidade (sinal de saída não precisa de amplificação)
- baixo amortecimento (fase zero em baixas frequências)



Acelerômetros Piezoresistivos



Endevco

Model 7268C Piezoresistive accelerometer

Features

- Small size
- DC response
- 12 wire integral cable
- Mechanical overtravel stops
- Built-in bridge completion resistors

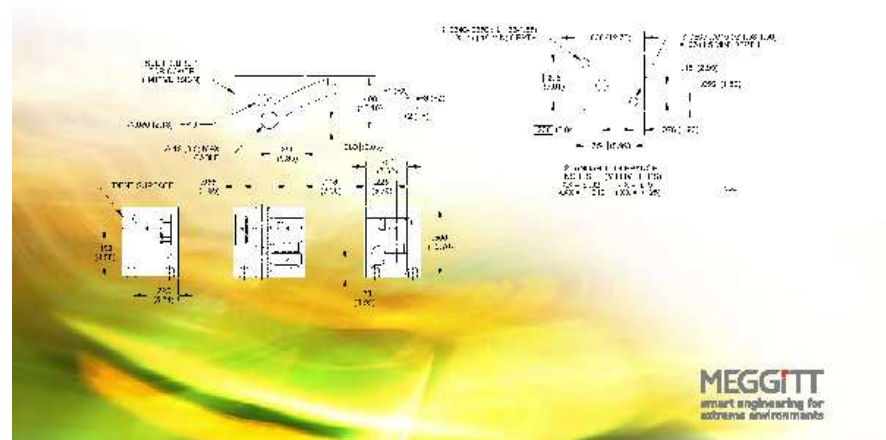


Description

The Endevco Model 7268C is a miniature triaxial accelerometer designed for crash testing, flutter testing and other applications that require minimal mass loading and a broad frequency response. This accelerometer meets SAE J211 specifications for instrumentation for impact testing and SAE J2570 specification for anthropomorphic test device transducers. It is available in two acceleration ranges, 500g and 2000g full scale. The M1 option provides a cover to protect the accelerometer's interior components.

The 7268C uses three advanced micromachined sensors with integral mechanical stops for ruggedness and years of reliable service. Endevco's proprietary sensor design features both high output and a high resonance frequency. The 7268C has two active arms and two internal precision fixed resistors to provide for shunt calibration. A single integral cable carries the 12 wires to the sensor modules. Since the 7268C is undamped, negligible phase shift is present over the specified frequency range. With a frequency response extending down to DC (steady state) acceleration, this accelerometer is ideal for measuring long duration transients as well as short duration shocks.

U.S. Patents: 4,478,027 and 4,408,919



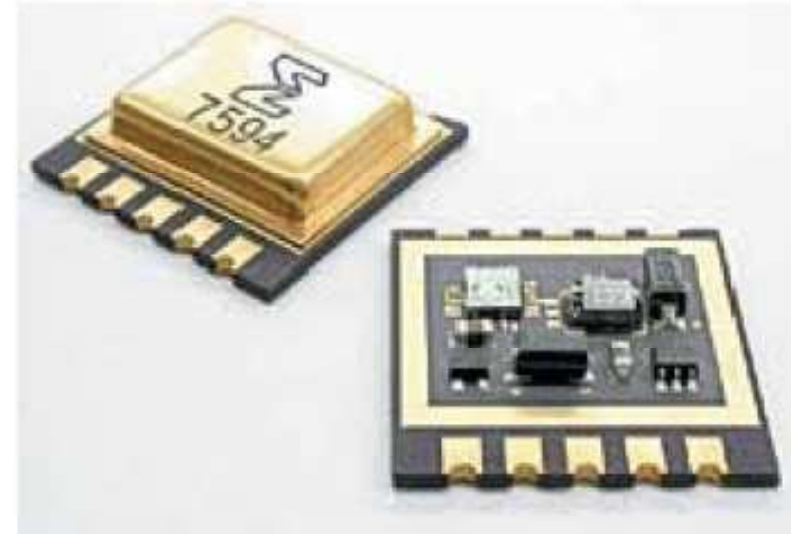
MEGGITT
smart engineering for
extreme environments

Acelerômetros de Capacitância Variável

FUNCIONAMENTO

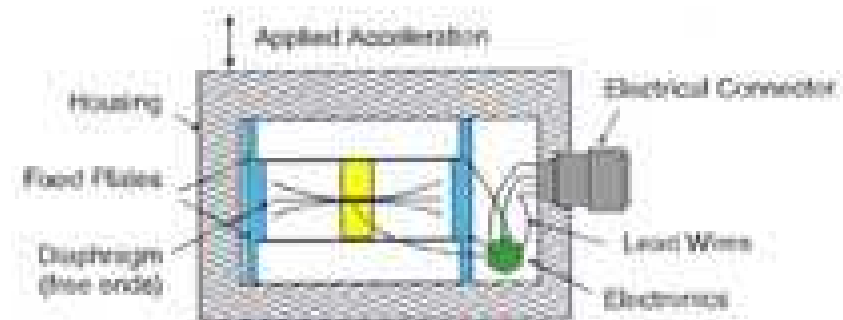
Estrutura interna do acelerômetro possui microsensar com placas paralelas formando um dispositivo capacitivo.

A aceleração causa o movimento das placas, alterando-se assim a folga entre elas, e conseqüentemente a capacitância do sistema.



APLICAÇÕES

- medição de vibração de baixa frequência
- medição de acelerações de baixo 'g'
- comportamento veicular, teste de flutter, suspensão automotiva, teste de freios



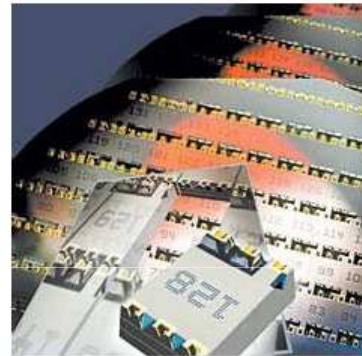
Acelerômetros de Capacitância Variável

Variable Capacitance Accelerometers: Design and Applications

Micromachined silicon variable-capacitance accelerometers are designed for easy manufacture and demanding applications.

Tom Connolly, Endevco Corp.

All variable capacitance accelerometers have certain basic design elements in common. They incorporate a seismic mass whose motion in response to shock or vibration lags behind that of the accelerometer housing. The capacitor consists of two plates, one attached to the outer frame and therefore stationary and the other attached to the seismic, or inertial, mass. The value of this capacitor is a function of the distance between the plates, which varies with the motion of the seismic mass.



Sensor Element Design

In the silicon differential variable capacitance sensor element shown in Photo 1, an inertial mass, suspended from either outer layer of the sensor element by a system of multiple flexible beams, undergoes rectilinear movement with applied acceleration. The mass is electrically connected as part of a variable-capacitance half-bridge circuit. Fixed capacitive plates in the lid and base of the sensor element complete the circuit. The capacitance on one side of the circuit increases with acceleration, while the other side proportionally decreases, providing a linearized output. Capacitor gaps of 3.6 microns provide sensitivity to 0.003 pF/g. Stops protect against overtravel protection, and gas damping achieves a frequency response to 11,000 Hz.

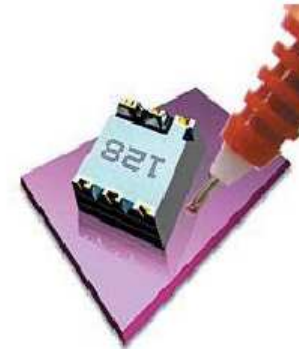


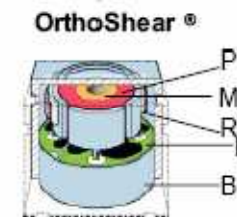
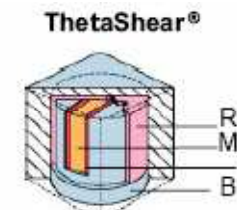
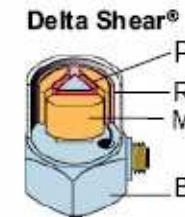
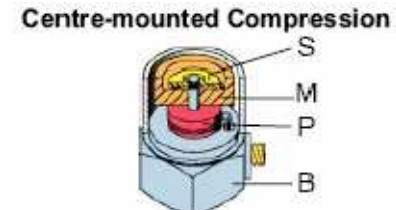
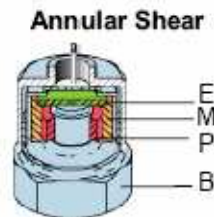
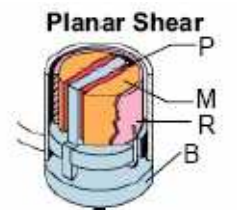
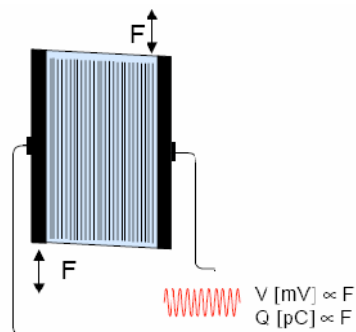
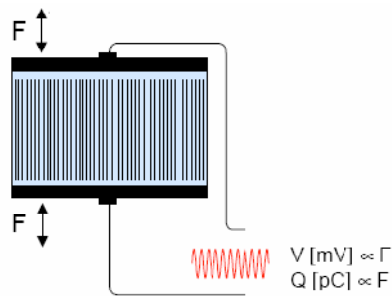
Photo1. The variable capacitance sensor element weighs 15 mg and measures 0.14 by 0.11 by 0.03 in high

Acelerômetros Piezoelétricos

FUNIONAMENTO

Uma massa inercial sob aceleração causa compressão ou cisalhamento de um cristal piezoelétrico.

A diferença de potencial gerada pelo cristal piezoelétrico é proporcional à aceleração.



P: Piezoelectric Elements	E: Built-in Electronics	S: Spring
R: Clamping Ring	B: Base	M: Seismic Mass

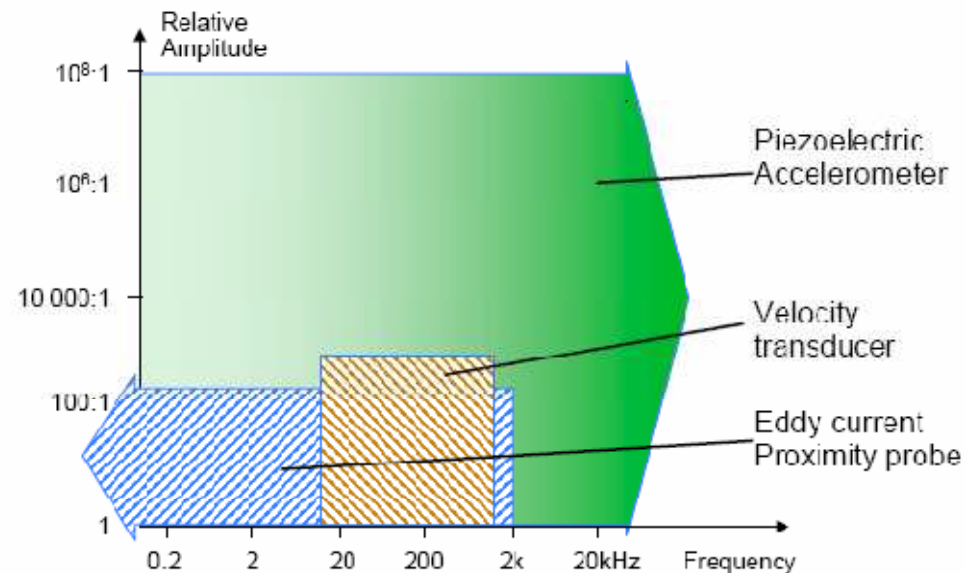
Acelerômetros Piezoelétricos

APLICAÇÕES

- medição de vibração de média a alta frequência (broad band)
- medição de acelerações de alto 'g'
- motores, máquinas, sistemas rotativos, estruturas

VANTAGENS / DESVANTAGENS

- suprimento de energia não é necessário (cristais piezoelétricos são auto-geradores)
- podem operar a altas temperaturas
- baixa sensibilidade (necessidade de amplificação do sinal de saída)



Acelerômetros Piezoelétricos

TIPOS

- uniaxial



- triaxial



- altas temperaturas



- impactos

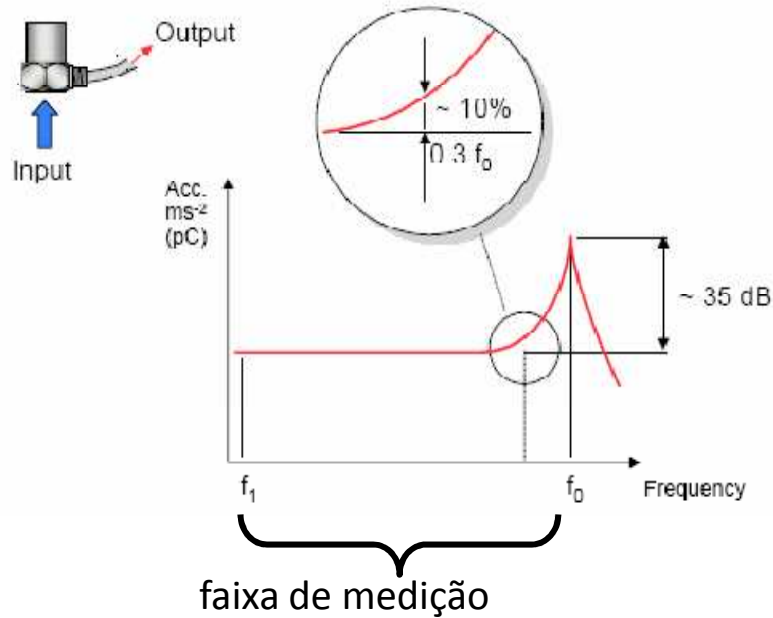


- biodinâmica

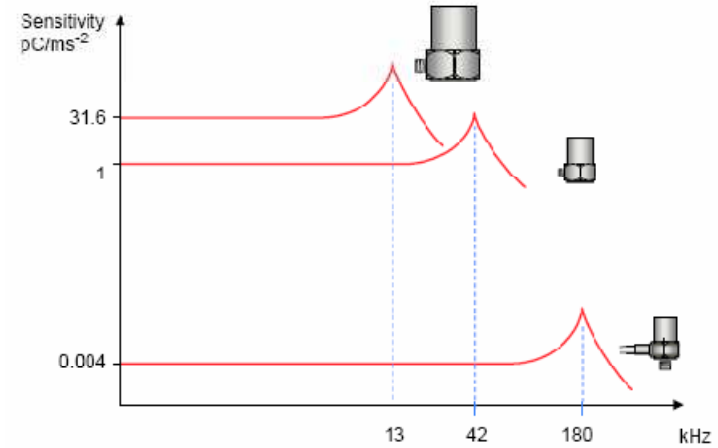


Acelerômetros Piezoelétricos

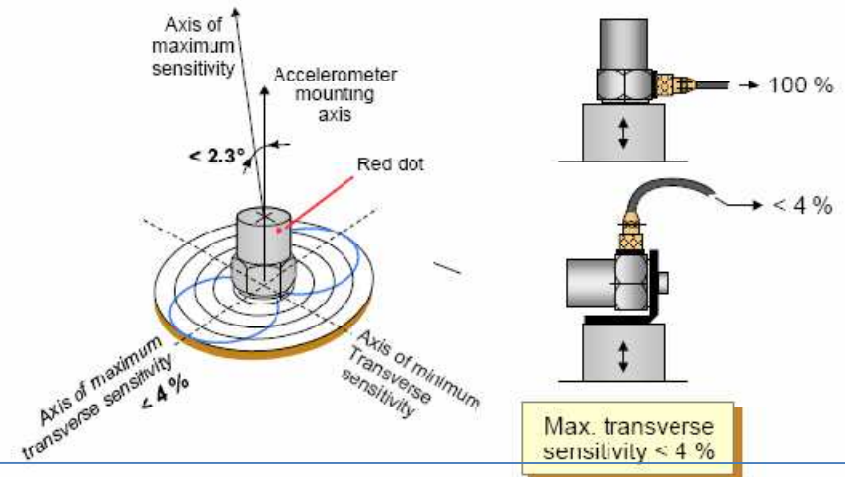
CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS



sensibilidade lateral



↑ sensibilidade \Rightarrow ↓ máx. frequência

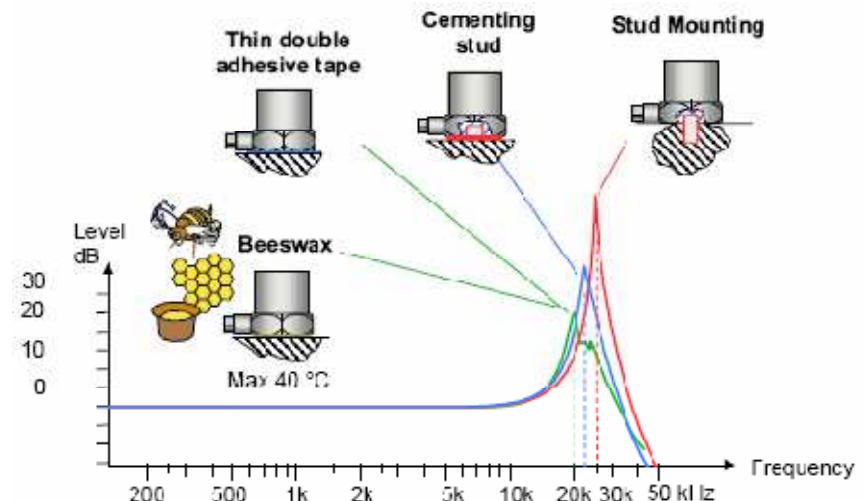
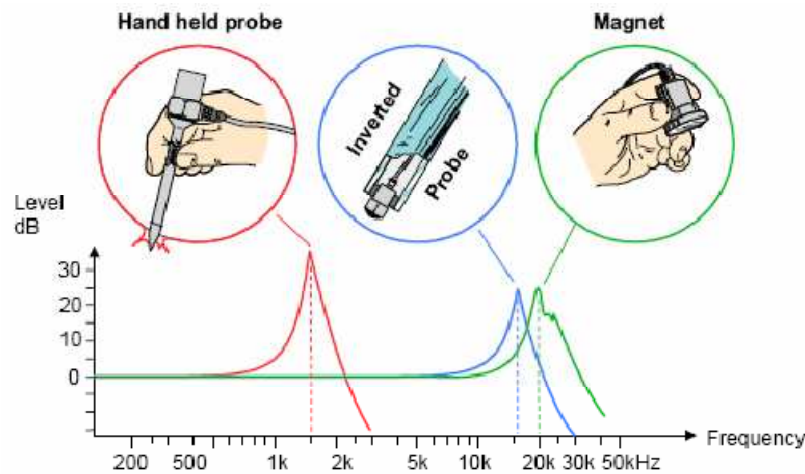


Acelerômetros Piezoelétricos

MONTAGEM

aumento da faixa de
operação

- manual com extensão
- manual com sensor na ponta da extensão
- cera
- fita adesiva dupla face
- base magnética
- corpo roscado



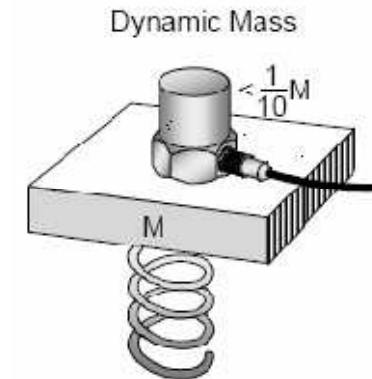
Acelerômetros Piezoelétricos

CUIDADOS NO USO

1) Relação Massa Sensor / Massa Estrutura

Sensor adiciona massa à estrutura. Para que a massa do sensor não modifique significativamente a dinâmica da estrutura:

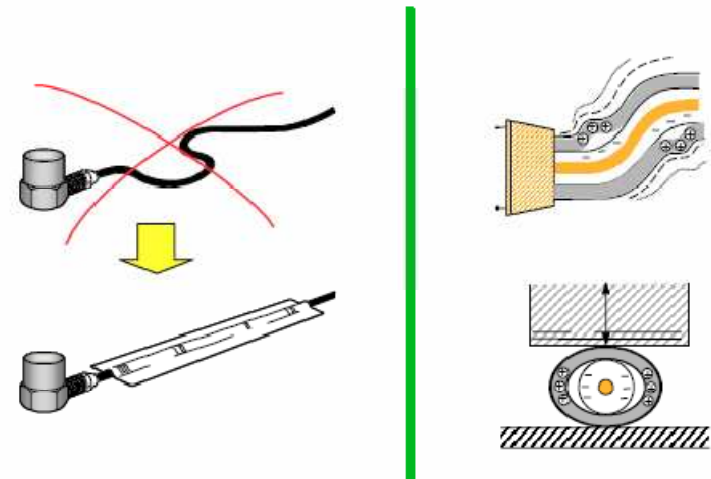
$$M_s < 0.1 M_e$$



2) Efeito Triboelétrico nos Cabos

Vibração do cabo pode gerar atrito entre o fio condutor e seu isolamento, criando cargas estáticas. As cargas estáticas causam ruído no sinal de saída.

Solução: fixar o cabo o mais esticado possível.



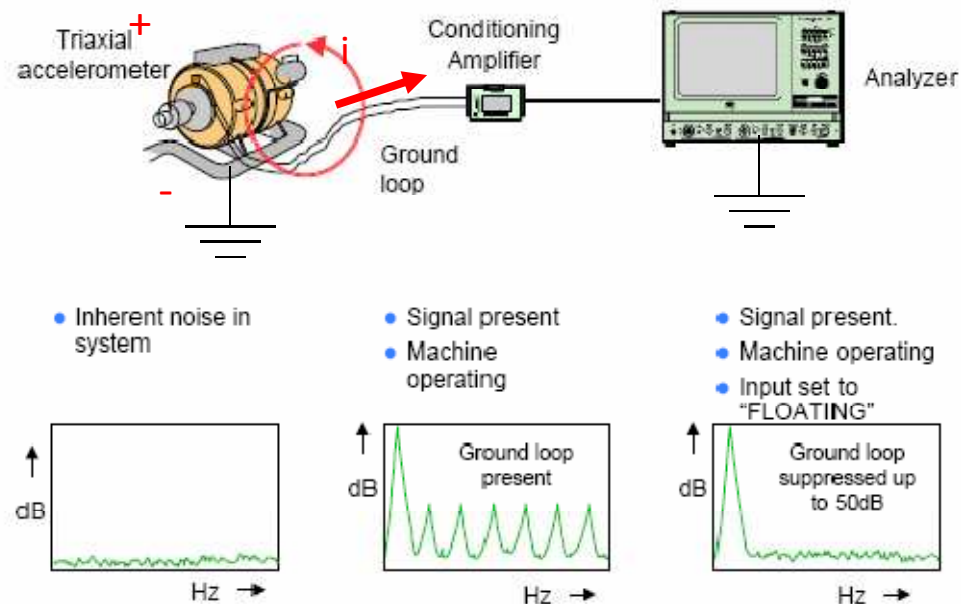
Acelerômetros Piezoelétricos

CUIDADOS NO USO

3) Loop de Aterramento

Diferença de potencial entre o sensor / estrutura e o sistema de medição pode criar uma corrente que percorre o cabo, gerando ruído no sinal de saída.

Solução: isolamento elétrico entre o sensor e a estrutura ou adotar o mesmo aterramento para a estrutura e o sistema de medição



Acelerômetros Piezoelétricos

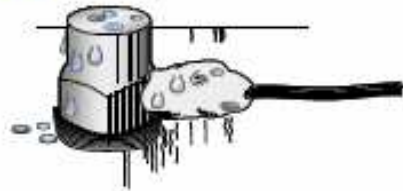
CUIDADOS NO USO

4) Condições Ambientais

- Base Strain



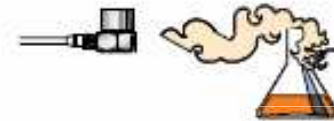
- Humidity



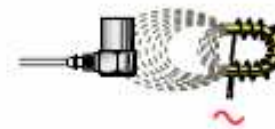
- Acoustic noise



- Corrosive substances



- Magnetic fields



- Nuclear radiation



