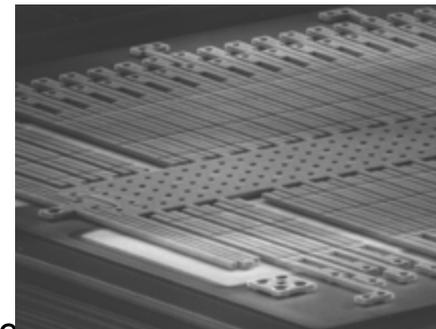
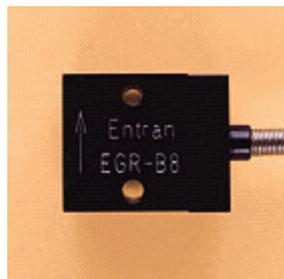
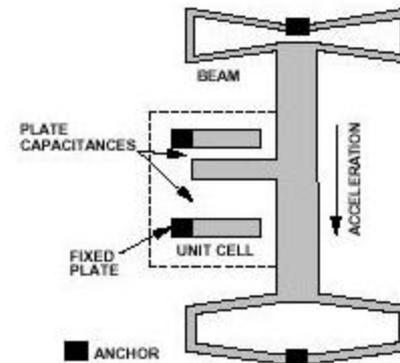
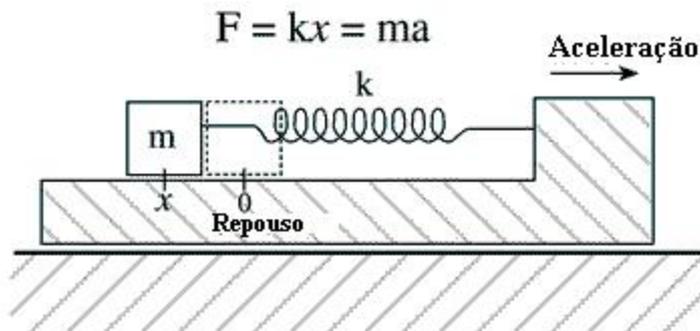


# Transdutores de Aceleração

acelerômetro – medida indireta da aceleração através da força num sistema massa-mola (capacitivo, indutivo, piezoelétrico, *strain-gage*), ou pela variação da velocidade em alguns casos (eixos girantes).

aplicações: medida de vibrações, colisões (air-bags), inclinação, velocidade, deslocamento.

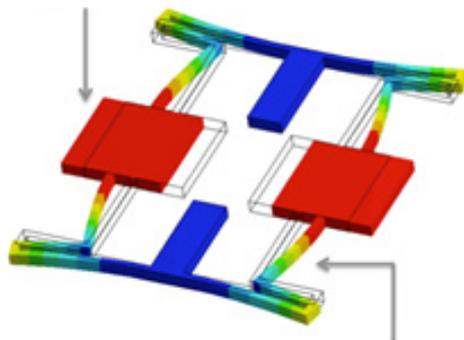


# Giroscópios

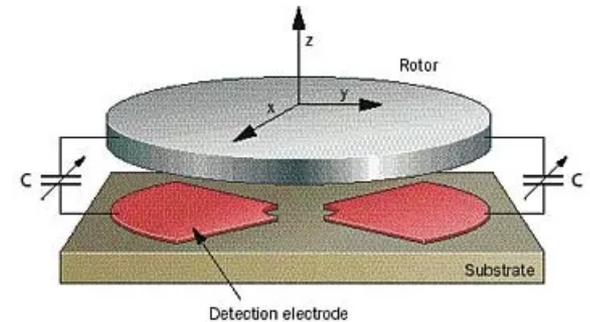
- Medem a velocidade angular em torno do eixo de rotação
- Baseados na força de Coriolis: um objeto em movimento rotacional ou vibracional sofre uma força de flexão quando submetido a uma rotação
- frequências de vibração 10-50 kHz
- Sensores capacitivos são usados para medir a deformação que será proporcional à velocidade angular
- Sensibilidade: analógico:  $V/dps = V/^\circ/s = V.s/^\circ$   
digital: LSB/dps

dps: graus por segundo

placas vibrantes



molas

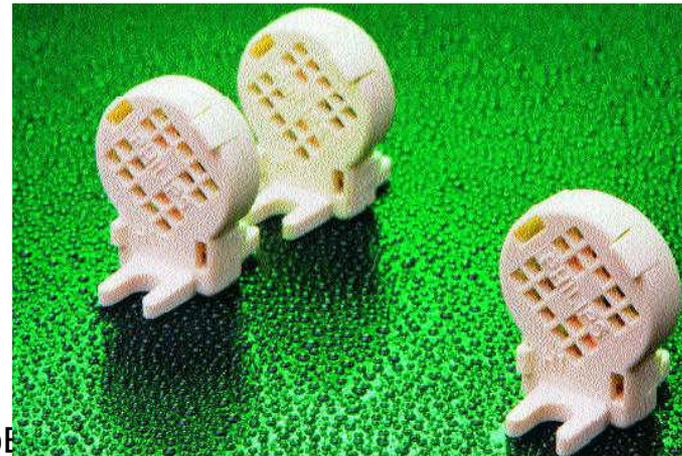


- Geralmente possuem 3 eixos ortogonais integrados no mesmo sensor
- Usado para medir ângulo de rotação:

$$\theta_{rot} = \int \omega_t dt$$

# Transdutores de Umidade

- Umidade é a quantidade de vapor de água presente em um gás ou a água absorvida em um líquido ou sólido
- Os transdutores de umidade são baseados na variação da resistência ou constante dielétrica (capacitivos) com a presença de água
- São usados sinais alternados para medida da capacitância ou resistência, de modo eliminar os potenciais eletroquímicos devido à presença de íons na água



# Fotoresistor - LDR

LDR (*Light Dependent Resistor*)

São resistores sensíveis à luz baseados na variação do número de portadores de carga em um semicondutor, ao ser submetido a uma radiação óptica. Possuem coeficiente de variação negativo com modelo matemático aproximado:

$$R_f = A.E^{-\alpha}$$

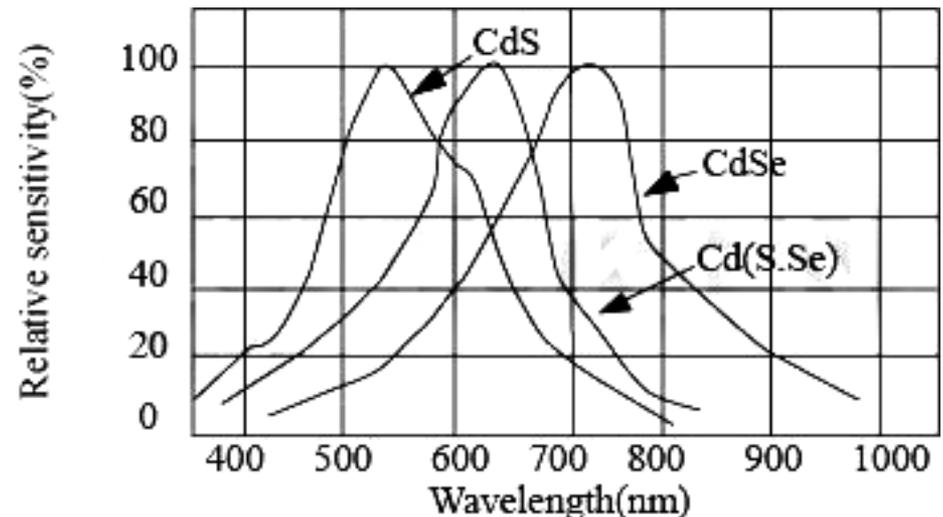
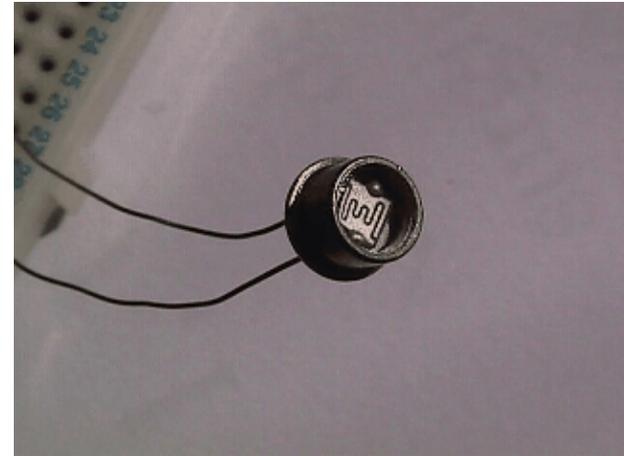
onde:  $E \rightarrow$  energia luminosa incidente,  $A, \alpha \rightarrow$  constantes que dependem do material

# Fotoresistor - LDR

Materiais mais utilizados  
(semicondutores compostos):  
Sulfeto de Cadmio (CdS),  
Seleneto de Cadmio (CdSe),  
Sulfeto de Chumbo (PbS),  
Seleneto de Chumbo (PbSe),  
além do Si e Ge dopados.

Cada material possui uma  
sensibilidade dependente do  
comprimento de onda  
incidente.

O CdS é o mais utilizado pois se  
aproxima do espectro visível  
humano



# Fotodiodos/Fototransistores

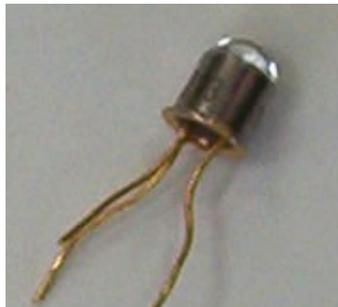
São junções semicondutoras com uma janela óptica que capta a radiação luminosa

Operam na polarização reversa e sua corrente é diretamente proporcional à intensidade luminosa incidente na junção

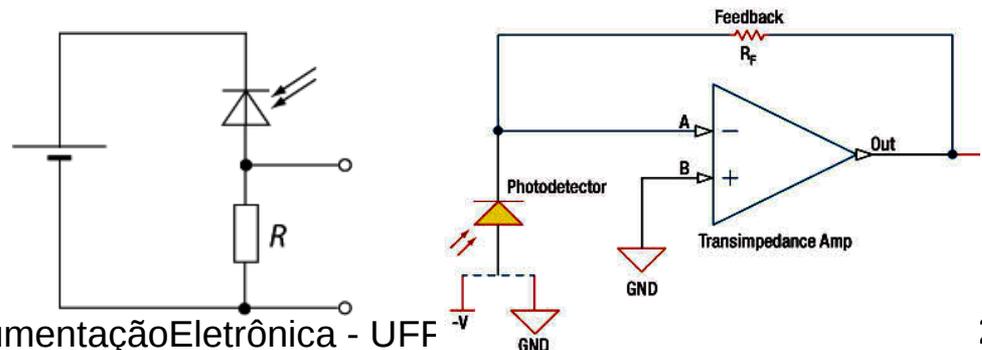
Os fótons incidentes na junção geram pares elétron-lacuna que alteram a corrente de polarização reversa da junção

Os foto-transistores possuem a junção Base-Coletor exposta à radiação luminosa. A corrente de base é amplificada pelo ganho  $\beta$  do transistor.

Representam uma alternativa mais rápida, mais precisa e econômica em relação ao LDR.

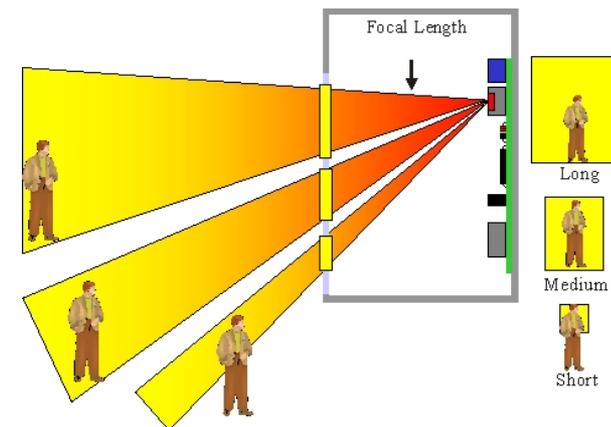
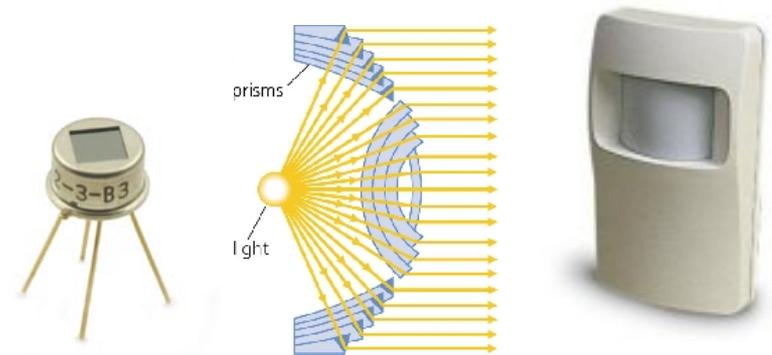


Circuitos de polarização:



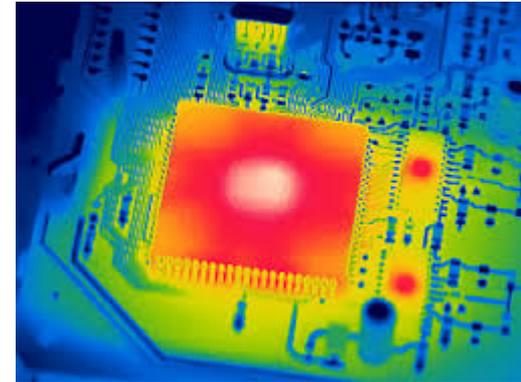
# Pirosensores

- Medida indireta da temperatura através da radiação infravermelho.
- Também são utilizados como detetores de movimento em sistemas de segurança (com lente de fresnel e amplificador diferenciador).



# Visores Térmicos

- Câmera de infravermelho baseada em matriz de piro sensores
- Imagem térmica de uma superfície
- Temperatura codificada em escala de cores
- Usadas para detectar falhas ou regiões de sobre-aquecimento em circuitos elétricos e eletrônicos



# Transdutores de Campo Magnético

- Bobinas: medem campo magnético alternado (lei da indução de Faraday:  $V = dB/dt$ )
- São usadas na medição indireta de corrente (AC) em amperímetros do tipo alicate.



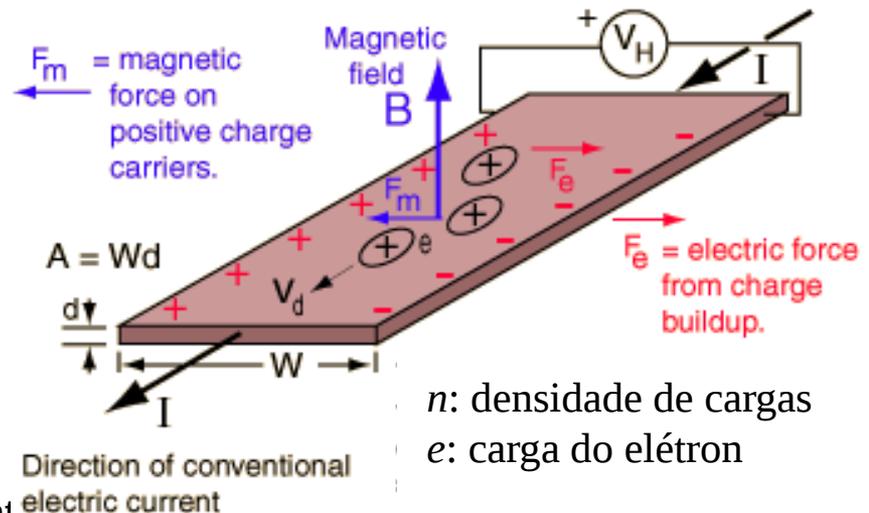
# Sensor de Efeito Hall

- Folha de material condutor ou semiconductor submetido a uma corrente longitudinal  $I$
- Campo magnético  $B$  aplicado transversalmente à folha
- Surge uma força elétrica (Lorentz) que desloca as cargas para as laterais da folha
- Este deslocamento de cargas gera uma diferença de potencial  $V_H$  que pode ser medida externamente

$$F_m = \frac{e.I.B}{n.e.A}$$

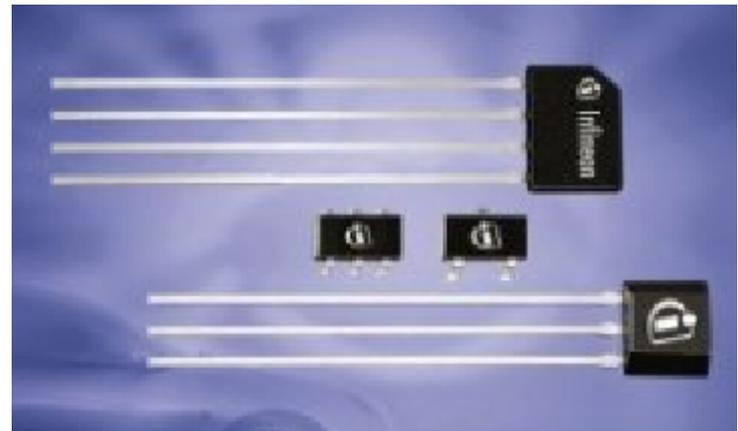
$$F_m = F_e = V_H \frac{e}{W}$$

$$V_H = \frac{I.B}{n.e.d}$$



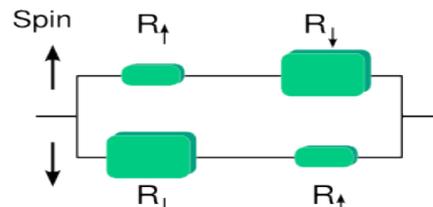
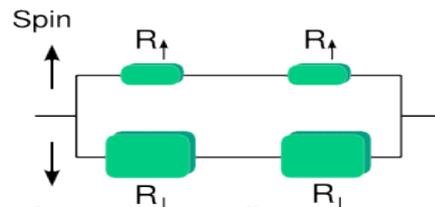
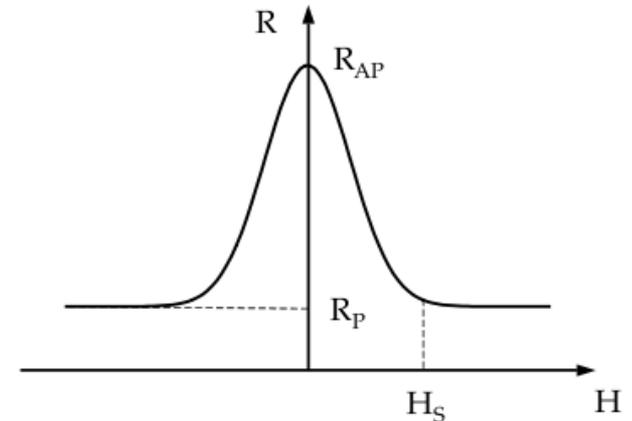
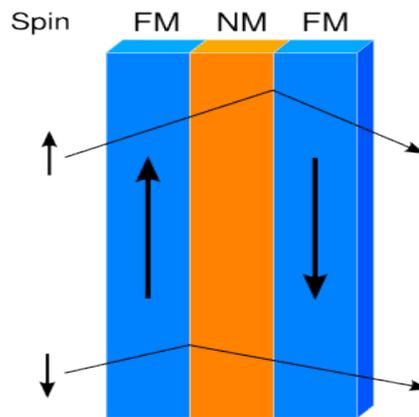
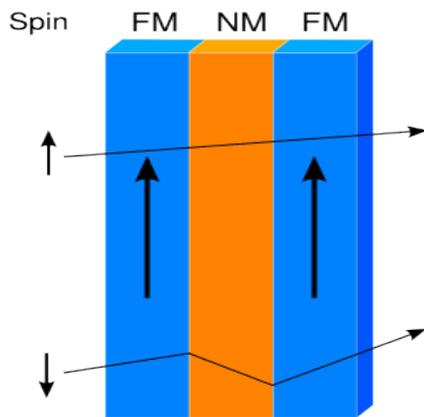
# Sensor de Efeito Hall

- Alta linearidade
- Altos campos de saturação
- Grande diversidade de materiais:
  - Condutores: alta linearidade, estabilidade em T
  - Semicondutores: alta sensibilidade,
- Bipolaridade:
  - B+  $\rightarrow V_{H+}$
  - B-  $\rightarrow V_{H-}$



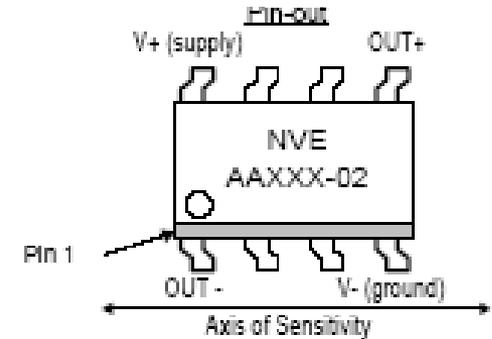
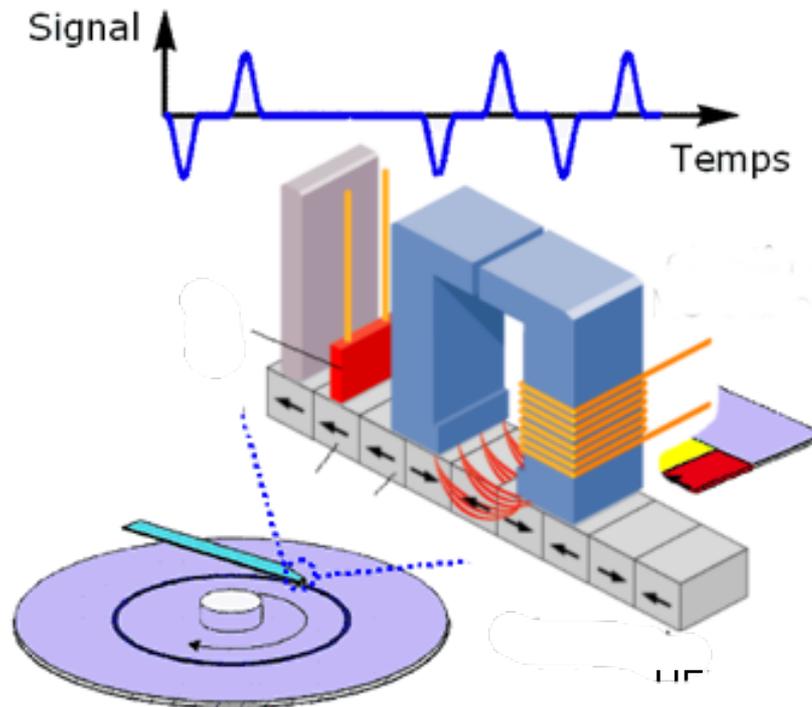
# Sensor GMR

- *Giant Magneto-Resistance* – Efeito magneto-resistivo gigante
- Corrente elétrica inicial com spins *up* e *down*
- No material Ferro-Magnético elétrons com spin oposto atravessam com maior facilidade
- A variação da resistência elétrica ocorre quando uma das camadas FM está magnetizada no sentido oposto à outra
- FM1: material “duro”; FM2: material “doce”

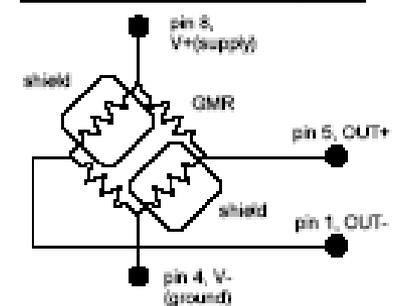


# Sensor GMR

- Alta sensibilidade
- Pequenas dimensões (nm)
- Baixos campos de saturação (mT)
- Uipolaridade:
  - B+ → R+
  - B- → R+



Functional Block Diagram



# Sensores Magnéticos - Aplicações

## Efeito Hall:

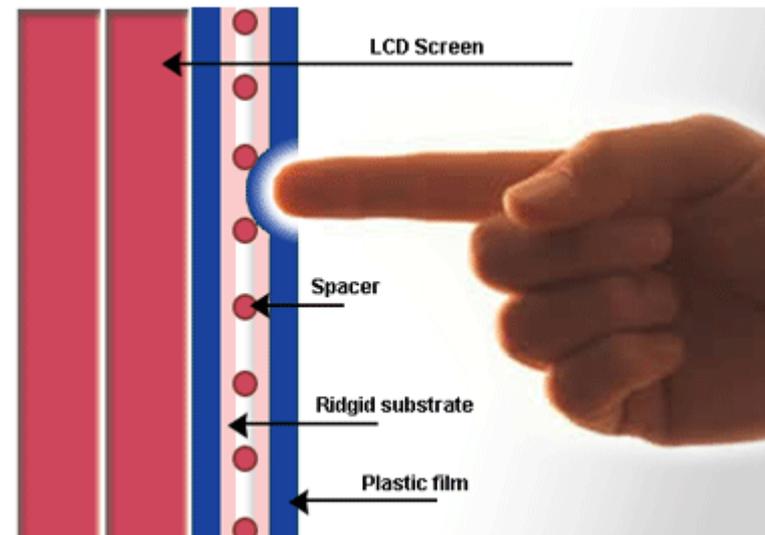
- Amperímetro alicate
- Medidores de campo magnético
- Motores DC sem escova (*brushless*)
- 

## GMR:

- Cabeças de leitura de HD
- Medidores de baixos campos magnéticos
- Bússolas eletrônicas

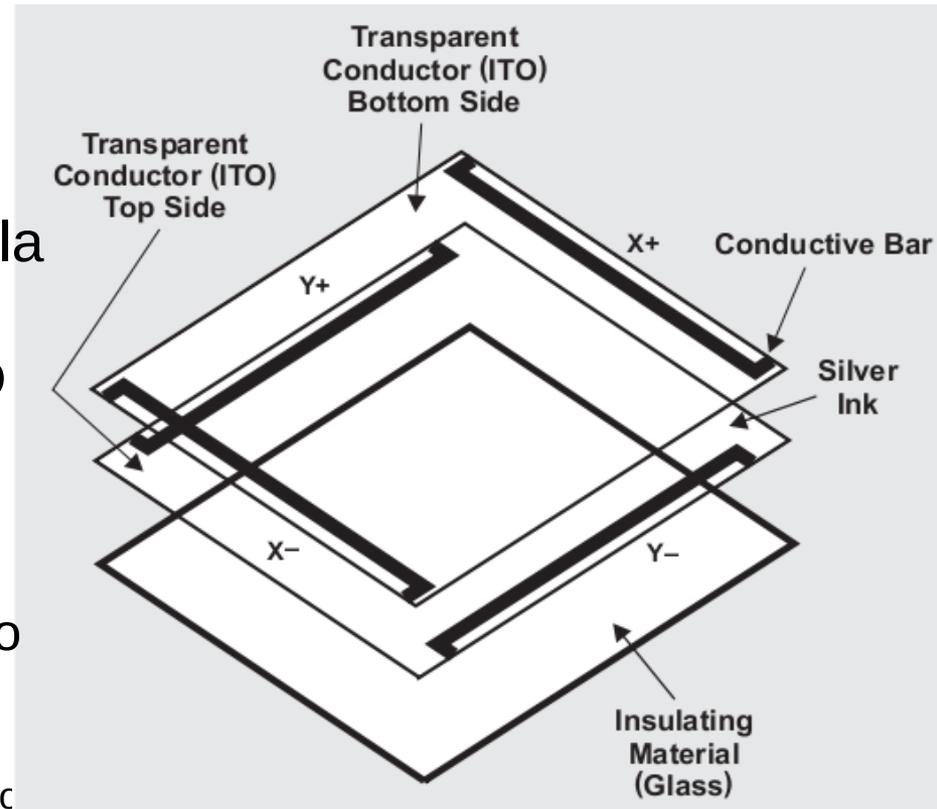
# Telas sensíveis ao toque

- São sensores que permitem a determinação de uma posição em uma superfície plana a partir do toque
- O toque pode ser diretamente com os dedos ou outro objeto
- Normalmente são transparentes e acopladas a um display de cristal líquido (LCD)
- Tipos mais comuns:
  - Resistivo
  - Capacitivo
  - SAW



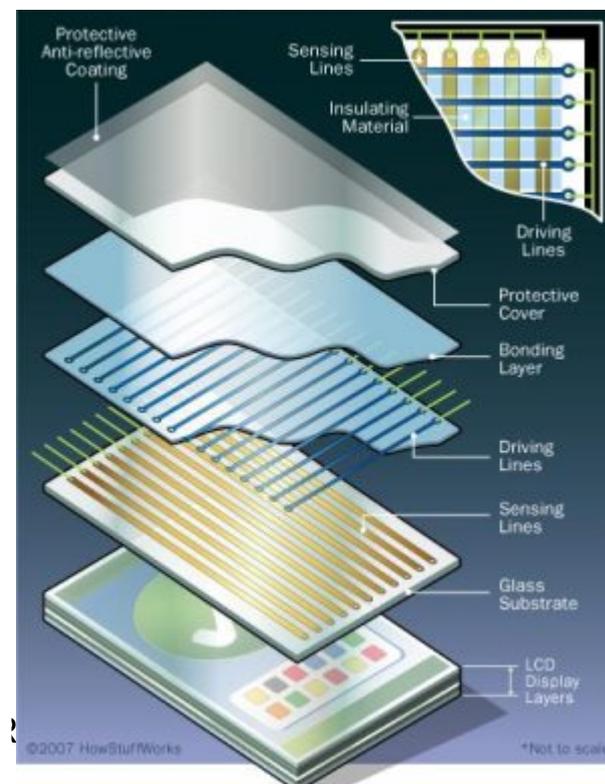
# Telas sensíveis ao toque - Resistivos

- São baseados em duas placas condutoras X e Y transparentes (ITO) separadas por uma pequena distância
- Uma tensão DC é aplicada alternadamente entre X+/X- e Y+/Y-
- O toque ativa o contato elétrico entre as placas
- A posição XY é determinada pela leitura da tensão nos terminais das placas por conversores A/D
- Características:
  - Baixos custo e complexidade
  - Necessidade de aplicar pressão
  - Necessita calibração



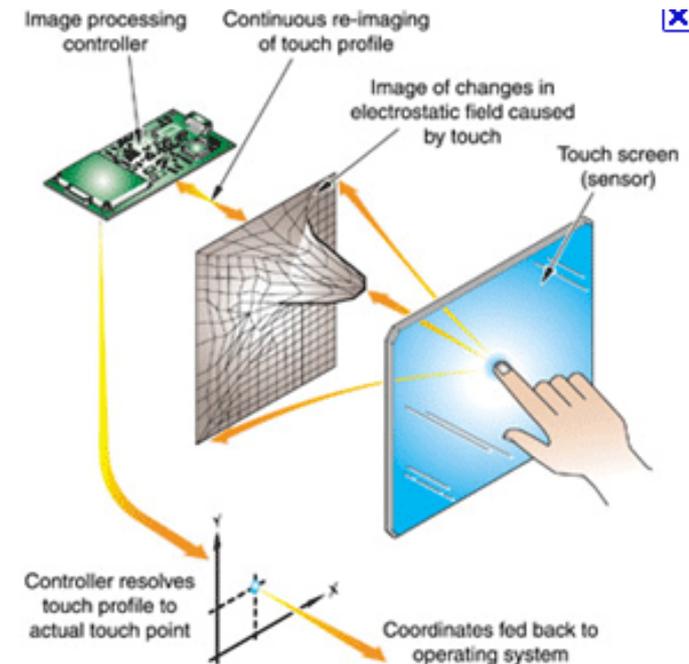
# Telas sensíveis ao toque – Capacitivos 1

- São baseados numa matriz de capacitores entre duas placas
- Só funcionam com toque de objetos condutores (dedo, caneta metálica)
- Sinal AC aplicado sequencialmente na matriz superior
- O toque na tela altera as linhas de campo elétrico
- Estas alterações são sentidas pela matriz inferior
- Conversores A/D lêem o sinal e processam a informação da posição XY
- Características
  - Média complexidade do processamento
  - Robustez e durabilidade
  - Detecta toques simultâneos em posições distintas



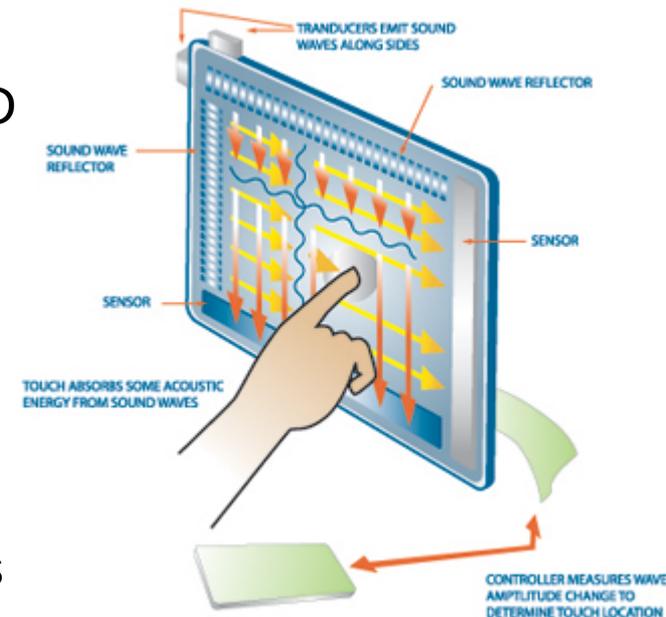
# Telas sensíveis ao toque – Capacitivos 2

- São baseados num filme condutor (ITO) contínuo depositado numa placa de vidro
- Só funcionam com toque de objetos condutores (dedo, caneta metálica)
- Sinal AC aplicado sequencialmente em cada canto da tela e lida nos outros 3 cantos
- O toque na tela altera as linhas de campo elétrico
- Conversores A/D lêem o sinal e processam informação da posição XY
- Características
  - Alta complexidade do processamento
  - Robustez e durabilidade
  - Detecta toques simultâneos



# Telas sensíveis ao toque – SAW

- Surface acoustic wave: ondas acústicas de superfície
  - Transdutores de ultra-som aplicam ondas acústicas superficiais alternadamente nas direções X e Y da tela e medem o tempo de reflexão
  - O toque provoca uma alteração na distribuição das ondas superficiais, modificando o tempo e/ou a forma do sinal refletido que será função da posição
- 
- Contadores de tempo e/ou conversores A/D lêem o sinal refletido e enviam ao processador, que determina a posição XY
  - Características
    - Alto custo e complexidade
    - Robustez e durabilidade
    - Detecta objetos condutores ou isolantes



## Exercício 4

Deseja-se medir a inclinação de uma plataforma utilizando-se 2 transdutores distintos: um acelerômetro e um giroscópio, que fornecem uma tensão de saída proporcional à medida, cuja sensibilidade é:

-acelerômetro:  $S_a = 1 \text{ V/g}$  (onde  $g$  é a aceleração da gravidade)

-giroscópio:  $S_g = 5 \text{ mV.s/}^\circ$  ( $\text{mV/dps}$ )

Pede-se:

a) encontre a expressão matemática para calcular o ângulo de inclinação da plataforma em graus, a partir das medidas do acelerômetro (considere o eixo de medida do acelerômetro ortogonal ao eixo de rotação e paralelo à plataforma)

b) idem para o giroscópio (utilize a operação de integração temporal para encontrar o ângulo a partir da velocidade angular fornecida pelo giroscópio)

c) determine o erro acumulado ao longo de 1 minuto no cálculo do ângulo, considerando-se que os transdutores possuem uma tensão de “off-set” constante cujo valor é  $+1 \text{ mV}$  (considere nos cálculo a plataforma estática).

