

# Sistemas de Medição

## Introdução

### □ Tipos de aplicações de instrumentação de medição

#### 1) Monitoração de processos e operações

- ❖ Termômetros, barômetros, anemômetros usados pelo serviço meteorológico
- ❖ Medidores de gás, água e eletricidade
- ❖ Contadores de radiação utilizados por trabalhadores em ambiente sujeito a radioatividade

# Sistemas de Medição

## Introdução

### 2) Controle de Processos e Operações

“Para controlar qualquer variável em um sistema de controle realimentado, é necessário primeiramente, medir tal variável”

- ❖ Todo sistema de controle precisa incorporar pelo menos um instrumento de medição

Exemplos:

Controle de temperatura em casas (elemento bimetálico, termopar, etc)

# Exemplos

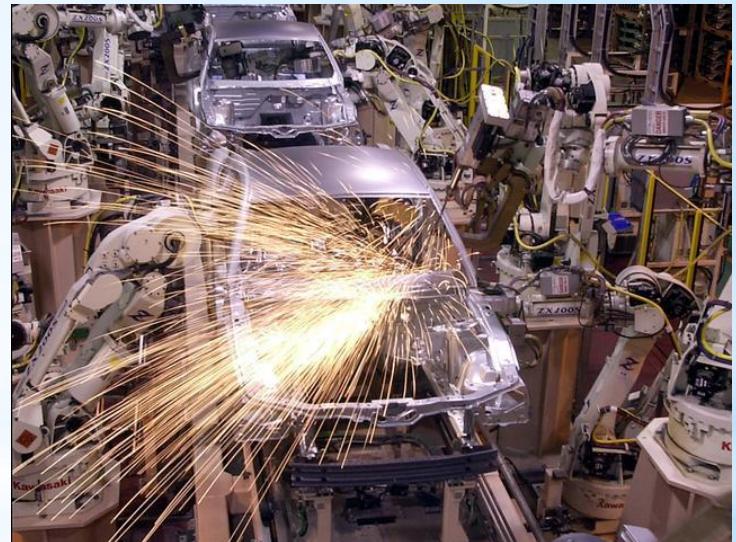
- Controle de temperatura em casas (elemento bimetálico, termopar, etc)
- Controle de aeronaves e mísseis: necessidade de informação proveniente de vários instrumentos de medição:
  - ❖ tubos de pitot
  - ❖ sensores de ângulo de ataque
  - ❖ termopares
  - ❖ acelerômetros
  - ❖ altímetros
  - ❖ giroscópios

# Comentário

- Mudança de classificação dependendo da abordagem: informação meteorológica pode ter o aspecto de monitoração para uma pessoa comum, porém pode desencadear uma ação de controle no caso de agricultores (ações de prevenção contra geada)

# \* Sistemas de Medição Introdução (Industria Automotiva)

- Industria:
  - Termopar
  - Termo-resistência
  - Sensor indutivo
  - Sensor capacitivo
  - Sensor de vazão
  - Sensor de pressão
  - Encoder
  - Dentre outros



# \* Sistemas de Medição Introdução (Industria aeronáutica)

- Aviação:
  - Sensores de deformação das asas
  - Sensor de deformação da fuselagem
  - Sensor de deformação da cauda
  - Sensor de velocidade
  - GPS
  - Etc.



# \* Sistemas de Medição

## Introdução

- Nesse sentido, conhecer os dispositivos de medição se torna ainda mais crítico nos dias atuais
- Dispositivos de medição devem garantir:
  - Precisão nas medidas
  - Exatidão de resultados
  - Resistir a agentes externos
  - Vida útil prolongada
  - Robustez
  - Dentre outros

# \* Sistemas de Medição

## Introdução



Termo-resistência



Termistor



Termopar



Sensor junção PN

# \* Sistemas de Medição

## Introdução

Sensor de temperatura de junção PN  
faixa de operação (-55 + 150°C)

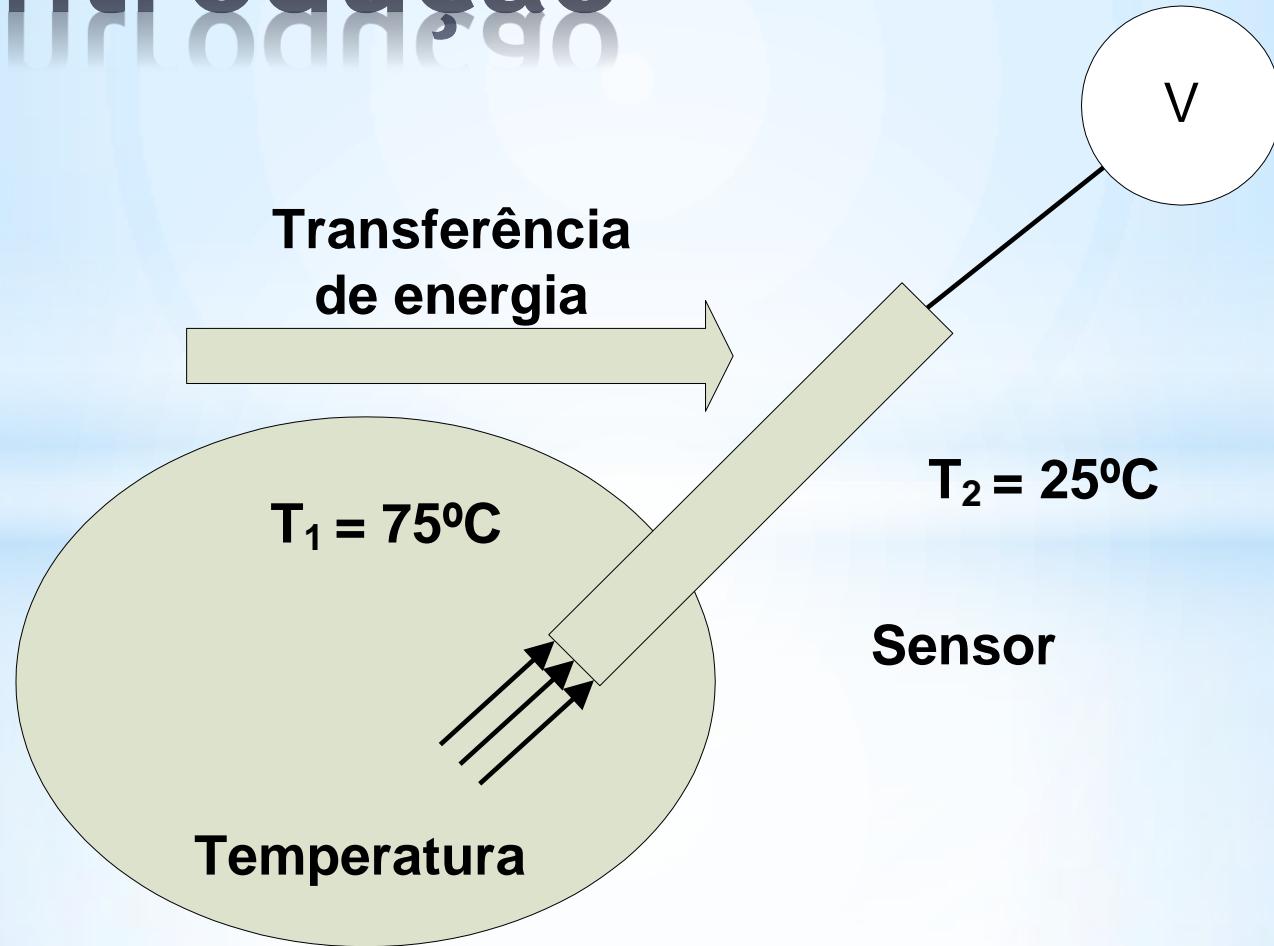


Termopar tipo K  
faixa de operação (0 – 1.260°C)



# \* Sistemas de Medição

## Introdução



# \* Sistemas de Medição

## Introdução

- Principais aplicações de sensores e instrumentos de medição:
  - Monitoramento
  - Controle de processos e operações
  - Análise experimental e de engenharia

# \* Sistemas de Medição

## Introdução

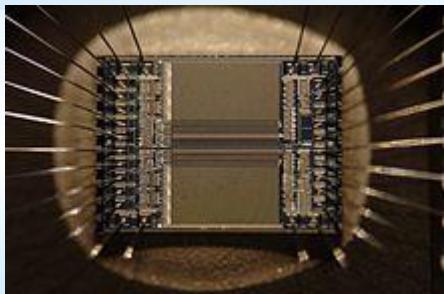


# O Passado...

Multímetro analógico



# \*O Presente: Microelectronic Industry



# Microelectronic Industry



Intel's Ronler Acres campus is already a bustling construction zone as the company builds its \$3 billion research factory, D1X, shown in this photo from June. That facility enters production next year.

Oregon, Jun-2012

# Microelectronic Industry



A computer rendering of Intel's Ronler Acres campus as it will look in 2015, when the second module of its new D1X research factory is complete. The second module is on the left of the image.

Rank 2012	Rank 2011	Company	Country of origin	Revenue (million \$ USD)	2012/2011 changes	Market share
1	1	Intel Corporation	USA	47 543	-2.4%	15.7%
2	2	Samsung Electronics(1)	South Korea	30 474	+6.7%	10.1%
3	6	Qualcomm	USA	12 976	+27.2%	4.3%
4	3	Texas Instruments	USA	12 008	-14.0%	4.0%
5	4	Toshiba Semiconductor	Japan	10 996	-13.6%	3.6%
6	5	Renesas Electronics	Japan	9 430	-11.4%	3.1%
7	8	SK Hynix	South Korea	8 462	-8.9%	2.8%
8	7	STMicroelectronics	France Italy	8 453	-13.2%	2.8%
9	10	Broadcom	USA	7 840	+9.5%	2.6%
10	9	Micron Technology	USA	6 955	-5.6%	2.3%
11	13	Sony	Japan	6 025	+20.1%	2.0%
12	11	AMD	USA	5 300	-17.7%	1.7%
13	12	Infineon Technologies	Germany	4 826	-9.1%	1.6%
14	16	NXP	Netherlands	4 096	+6.9%	1.4%
15	17	NVIDIA	USA	3 923	+8.7%	1.3%
16	14	Freescale Semiconductor	USA	3 775	-14.4%	1.2%
17	22	MediaTek	Taiwan	3 472	+4.9%	1.1%
18	15	Elpida Memory	Japan	3 414	-12.2%	1.1%
19	21	Rohm Semiconductor	Japan	3 170	-3.0%	1.0%
20	19	Marvell Technology Group	USA	3 113	-8.3%	1.0%

# Ranking of Semiconductor Manufacturers

# Intel's global operations



# Intel Foundries

Fab name	City	Production start year	Process (Wafer, node)
D1X	Hillsboro, Oregon, USA	2013 projected	300 mm, 14 nm
D1D	Hillsboro, Oregon, USA	2003	300 mm, 22 nm
D1C	Hillsboro, Oregon, USA	2001	300 mm, 32 nm
Fab 12	Chandler, Arizona, USA	1996	300 mm, 65 nm
Fab 32	Chandler, Arizona, USA	2007	300 mm, 45/32 nm
Fab 42	Chandler, Arizona, USA	2013 <sup>[1]</sup>	450 mm, <sup>[2]</sup> 14 nm
Fab 11x	Rio Rancho, New Mexico, USA	2002	300 mm, 45/32 nm
Fab 17	Hudson, Massachusetts, USA	1998	200 mm, 130 nm <sup>[3]</sup>
Fab 24	Leixlip, Ireland	2006	300 mm, 14 nm <sup>[4]</sup>
Fab 28	Kiryat Gat, Israel	2008	300 mm, 22 nm
Fab 68	Dalian, China	2010	300 mm, 65 nm

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_Intel\\_manufacturing\\_sites#cite\\_note-1](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Intel_manufacturing_sites#cite_note-1)

\*

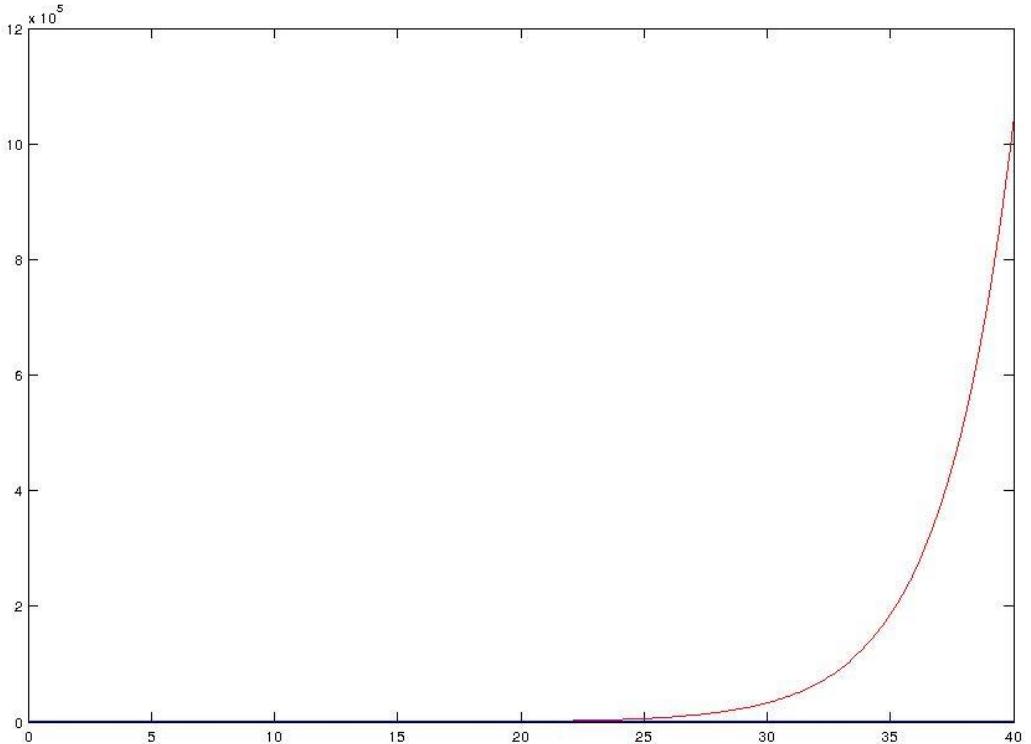
- A lei de Moore diz que o número de transistores dobra a cada 18 meses
- Válida só para o número de transistores mas não para o desempenho dos processadores
- Esta lei tem se mantido válida por 40 anos até se chegar ao limite da tecnologia (o número de transistores se incrementou por:  $T = 2^{\frac{40}{2}} \approx 1.000.000$ )
- O crescimento do desempenho é muito mais lento ( $\frac{40}{40}$ % por cada duplicação no número de transistores :  $P = 1,4^{\frac{1}{2}}$ )
- A lacuna entre o número de transistores e o desempenho é:  $G = \frac{T}{P} \approx 1000$

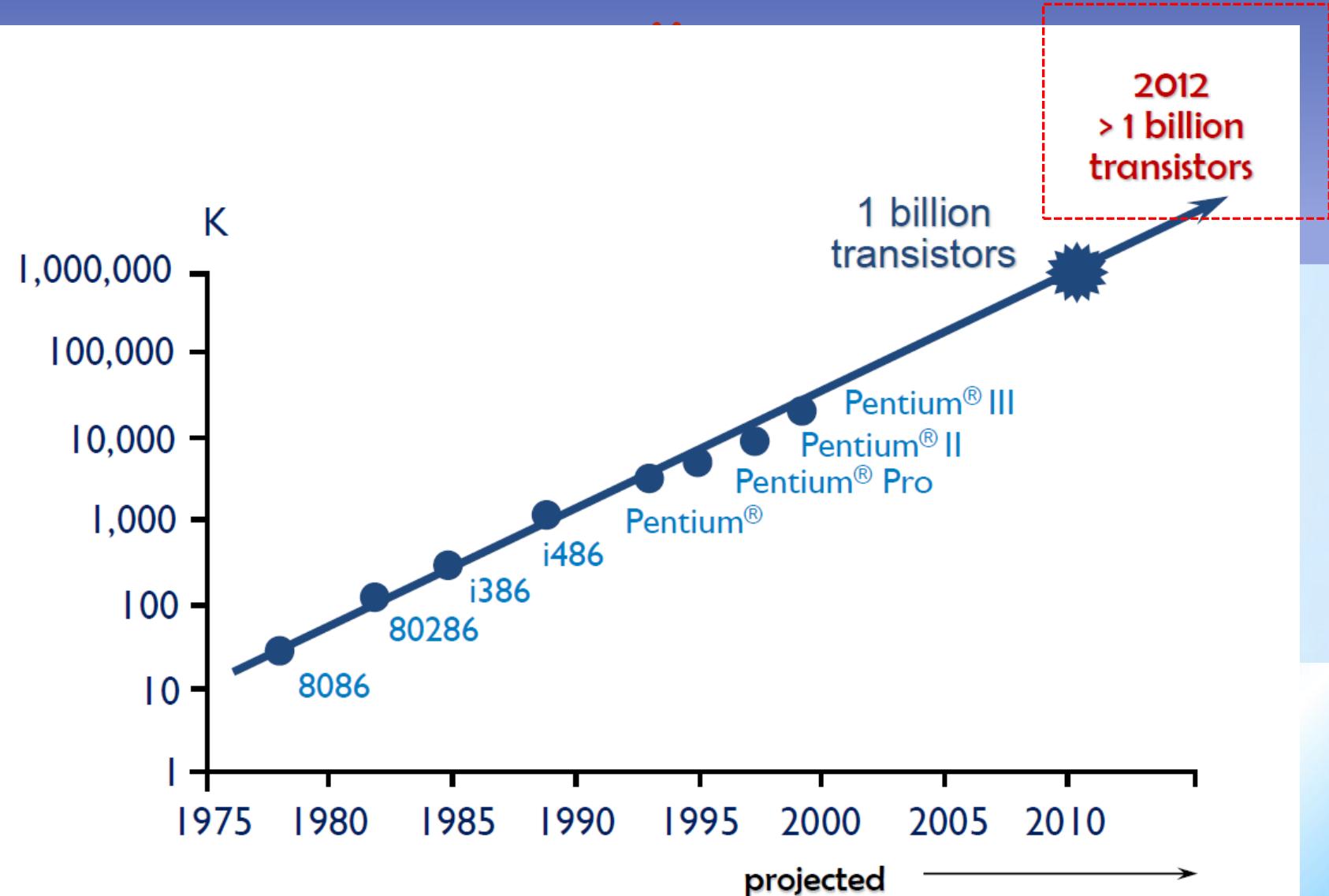
# \*Lei de Moore

Gordon Moore, Robert Noyce and Andrew Grove



# \*Lei de Moore

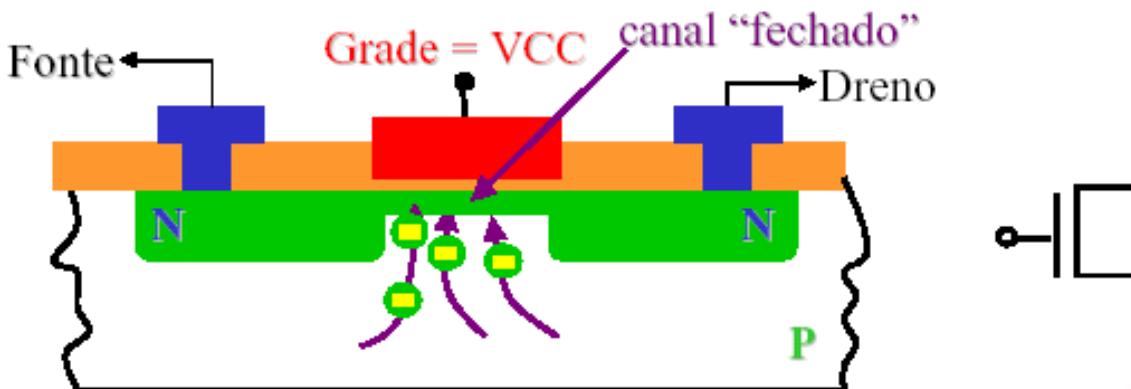
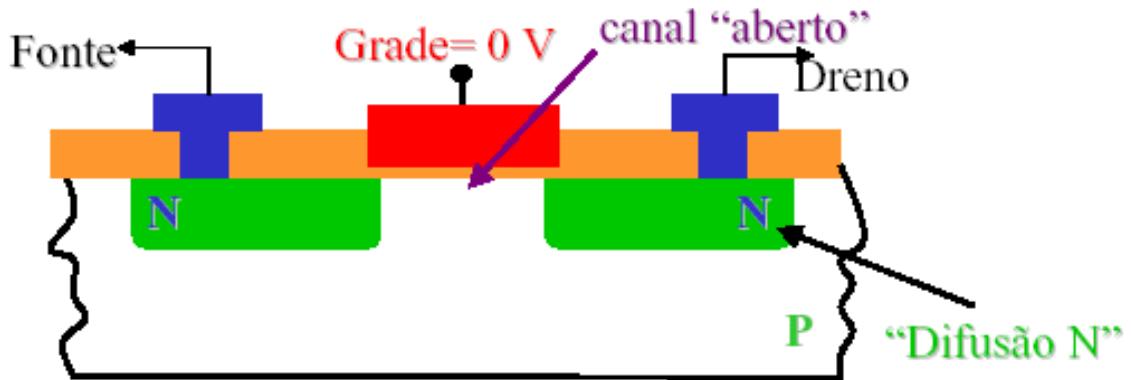




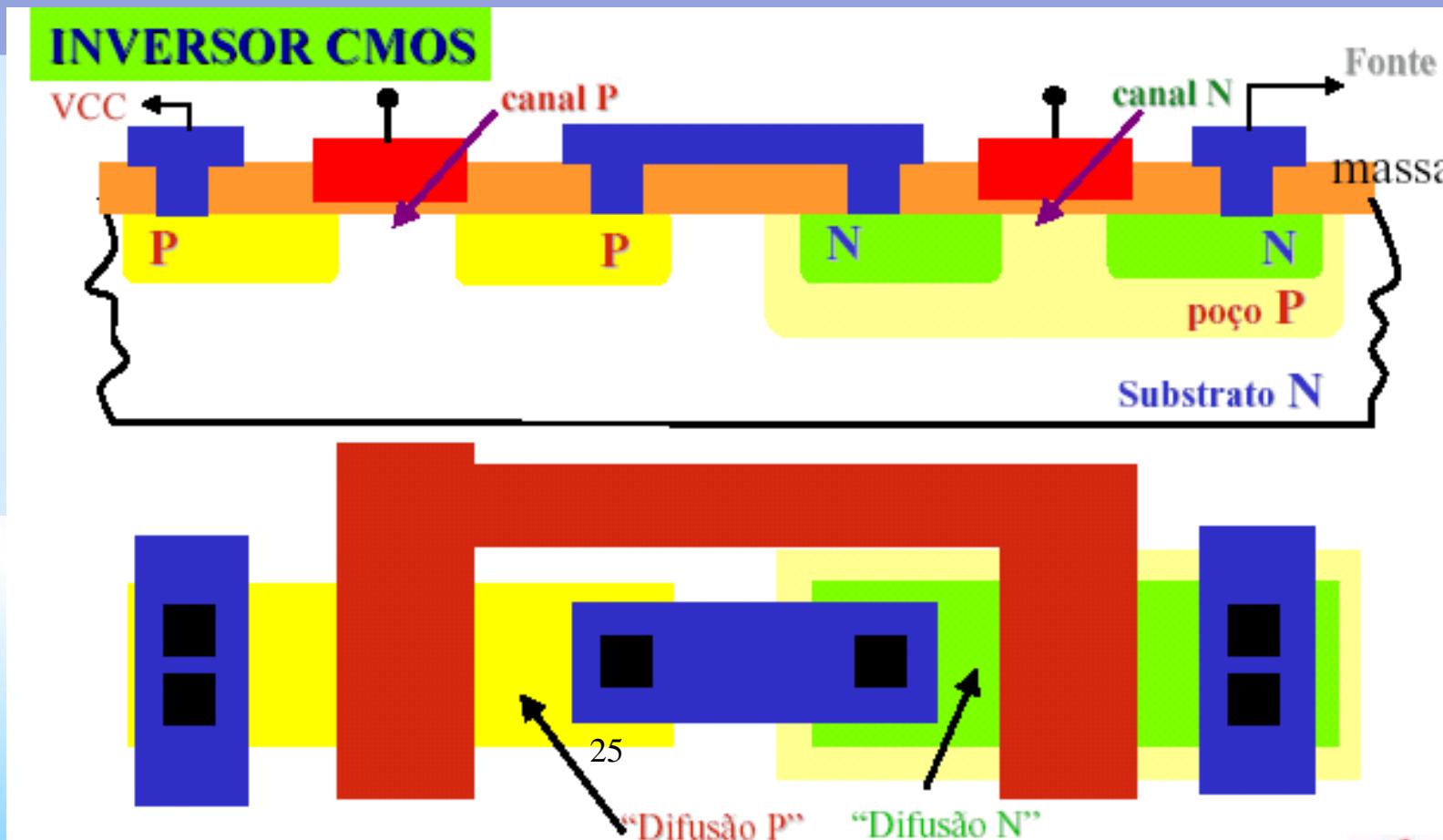
Courtesy, Intel

# \*Transistor MOS

## Transistor MOS



# Mead and Conway Revolution (CMOS)



# \* A revolução de “Mead and Conway”

- \* Nos anos 70 (e antes) cada fabricante tinha regras diferentes de layout, alinhamento de máscaras, polaridade das mesmas, marcas de alinhamento, padrões de processos de teste, entre outras coisas. Neste caso, era impossível a portabilidade e mesmo o entendimento dos projetos para pessoas alheias [Lynn Conway]
- \* Regras de projeto locais geraram livros de até 50 páginas ou mais. Todos os projetos de produtos podiam ser só implementados por especialistas da linha de montagem das fábricas de CIs
- \* Nesta época ficou claro que chips viáveis comercialmente poderiam conter até vários milhões de transistores no começo dos anos 90: aqui Carver Mead acunhou o termo “Moore’s Law”

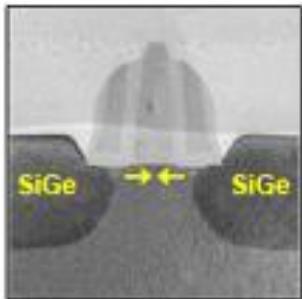
# \* A revolução de “Mead and Conway”

- \* O projeto de chips era feito por especialistas na fábricas de silício
- \* Em 1978 um circuito integrado (CI) continha 20.000 transistores, e o projeto do CIs não era ensinado regularmente nas universidades
- \* Nesse ano Carver Mead e Lynn Conway escrevem o livro *“Introduction to VLSI System Design”*, que chega a ser um bestseller
- \* Em 1978 Lynn Convay ofertou uma disciplina no MIT seguindo o livro. Os estudantes puderam fazer seus projetos de um processador usando um único wafer - Multi Project Chip (MPC). O projeto era gerenciado pela Xerox, onde Conway trabalhava.
- \* Então o projeto de circuitos integrados chega a ser uma disciplina para engenheiros e cientistas da computação, sem precisar serem especialistas em processos de silício

# Technology Evolution - Intel

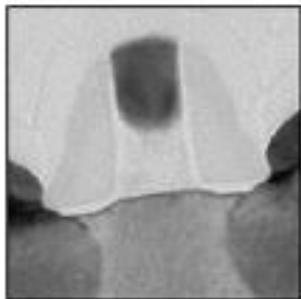
2003

90 nm



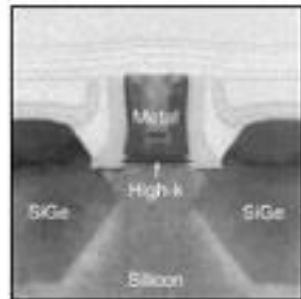
2005

65 nm



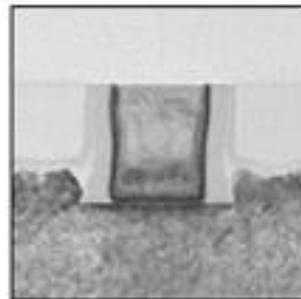
2007

45 nm



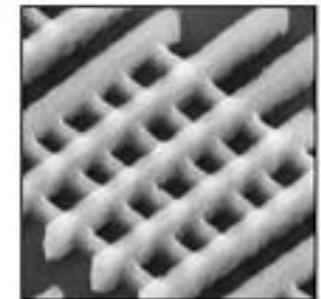
2009

32 nm



2011

22 nm



Invented  
SiGe  
Strained Silicon

2<sup>nd</sup> Gen.  
SiGe  
Strained Silicon

Invented  
Gate-Last  
High-k  
Metal Gate

2<sup>nd</sup> Gen.  
Gate-Last  
High-k  
Metal Gate

First to  
Implement  
Tri-Gate

Strained Silicon

High-k Metal Gate

Tri-Gate

# NanoCMOS

NMOSFET

PMOSFET

Epi-layers on active regions:

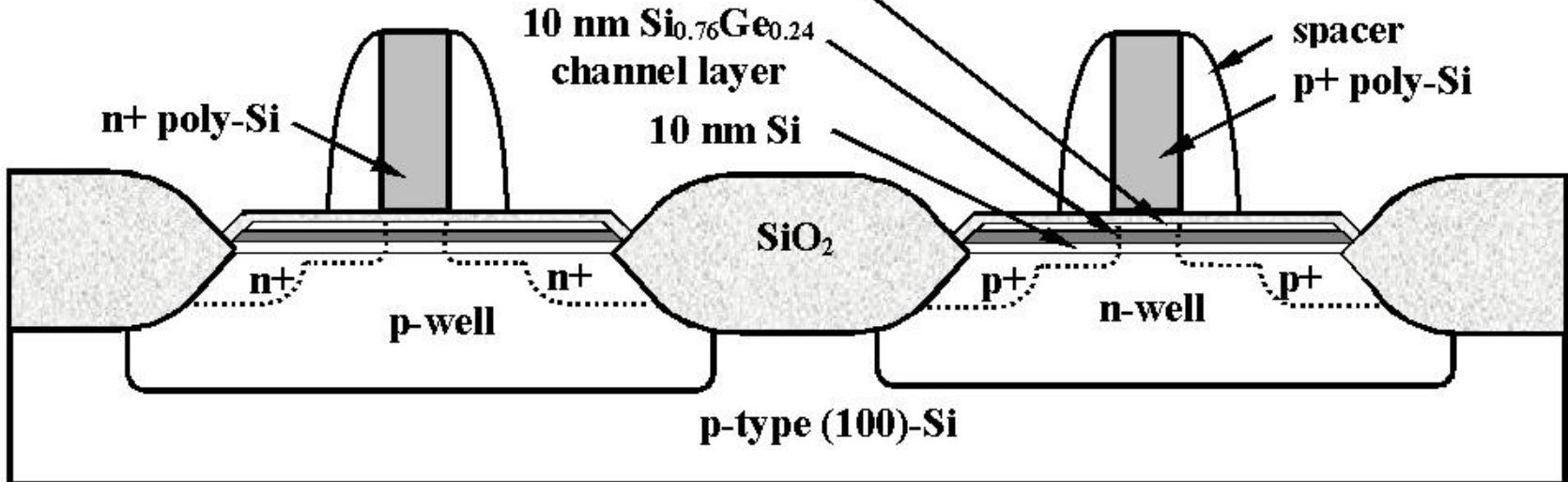
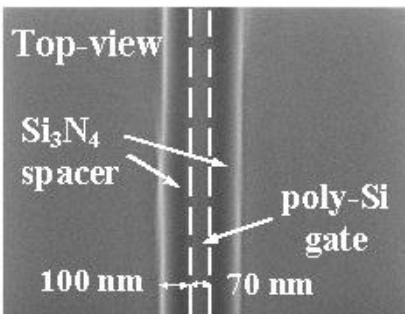
4 nm Si-cap

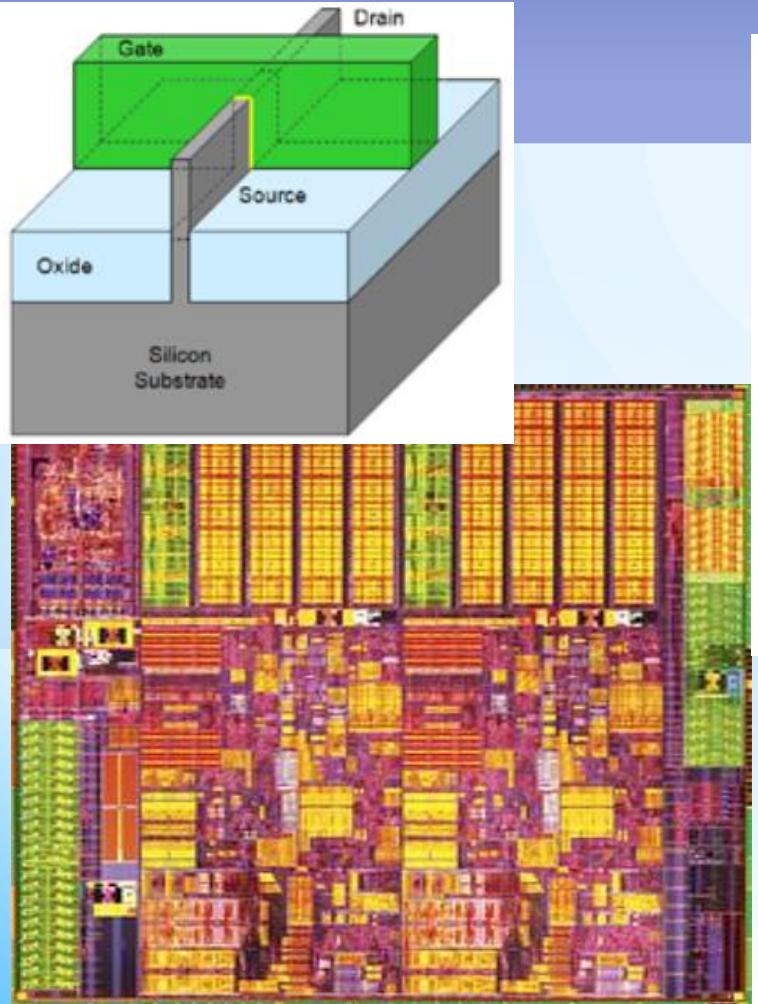
10 nm  $\text{Si}_{0.76}\text{Ge}_{0.24}$   
channel layer

10 nm Si

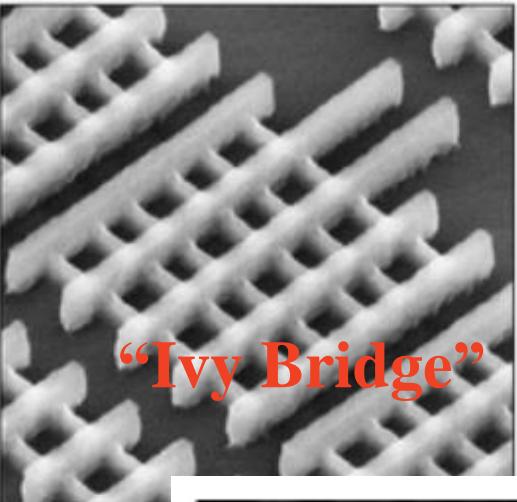
n+ poly-Si

spacer  
p+ poly-Si

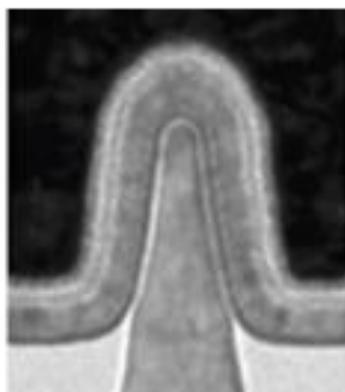




22 nm Tri-Gate Transistors

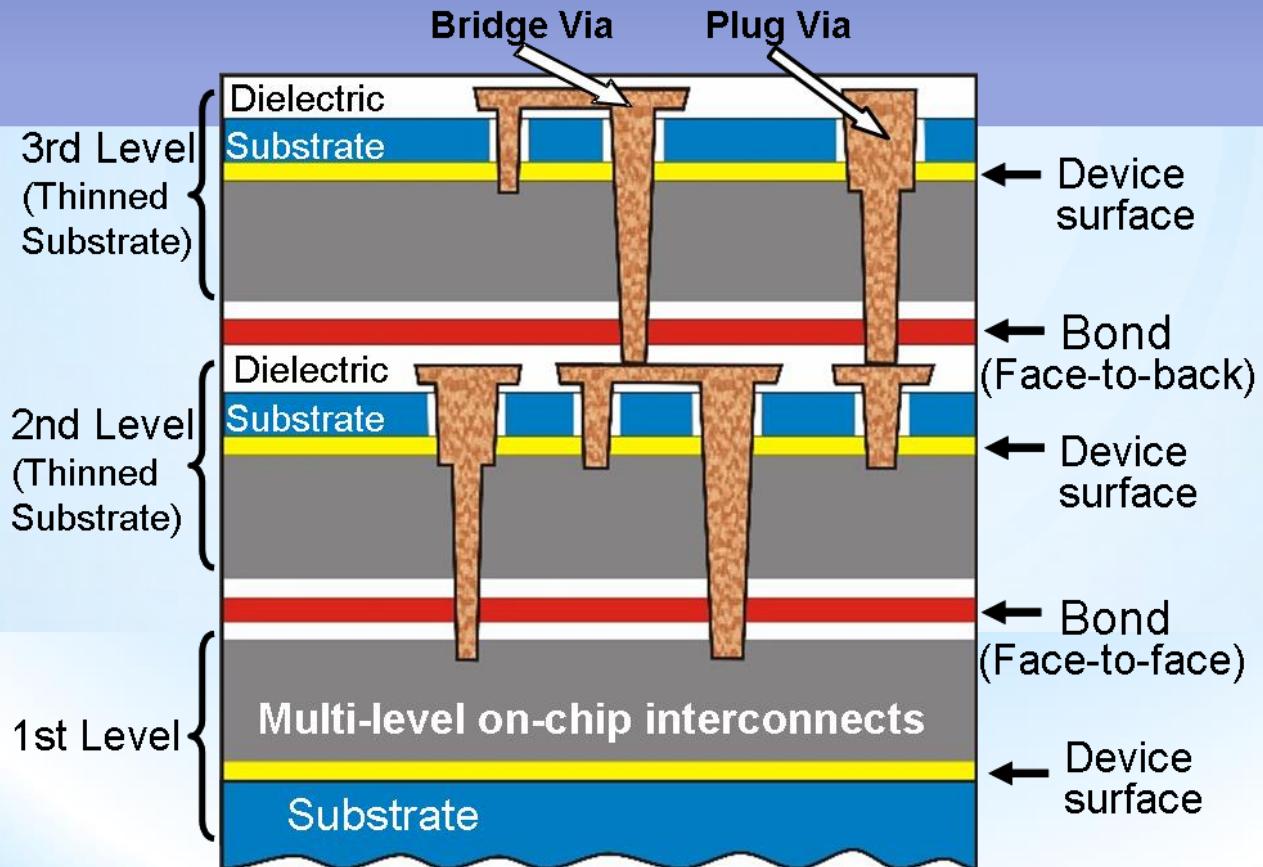


30

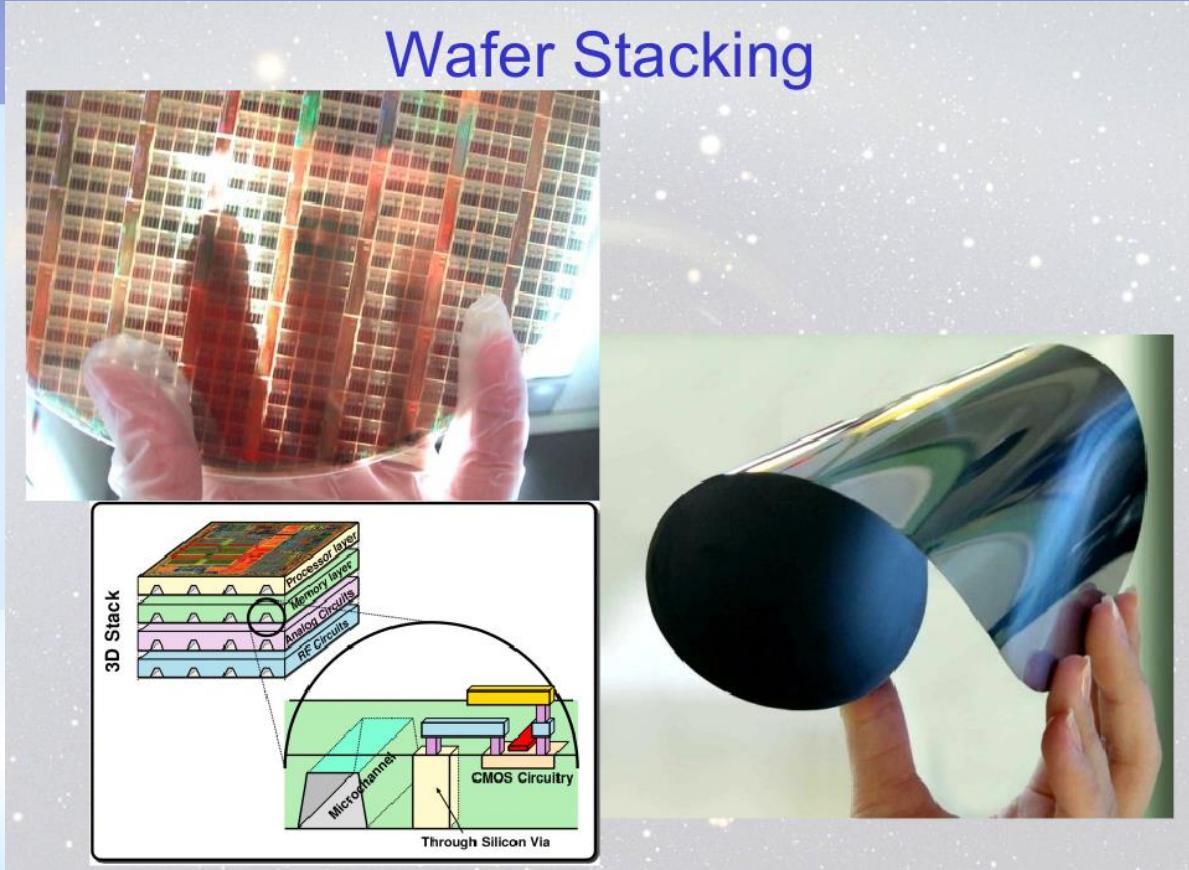


### Semiconductor manufacturing processes

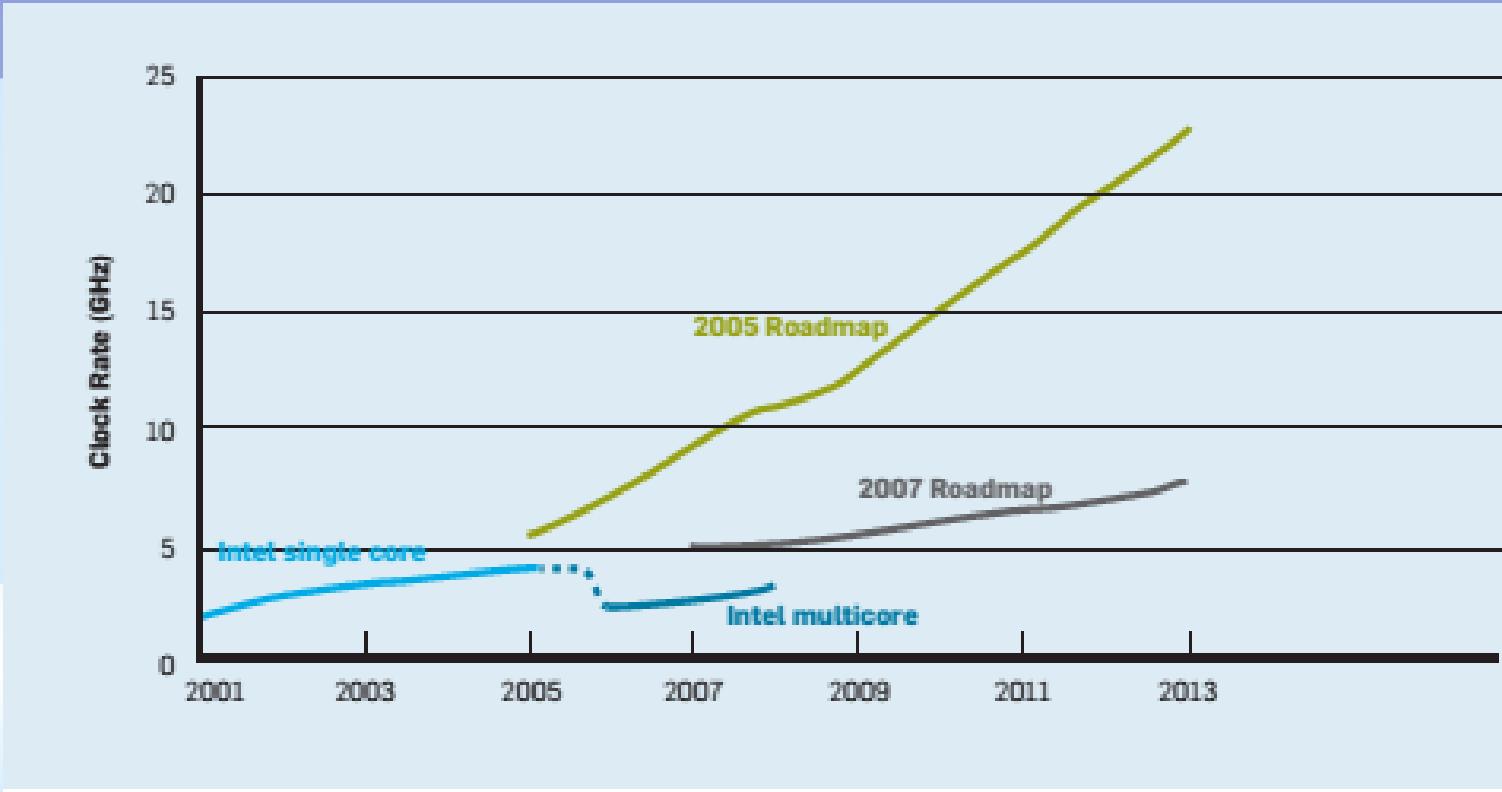
- 10 µm — 1971
- 3 µm — 1975
- 1.5 µm — 1982
- 1 µm — 1985
- 800 nm (.80 µm) — 1989
- 600 nm (.60 µm) — 1994
- 350 nm (.35 µm) — 1995
- 250 nm (.25 µm) — 1998
- 180 nm (.18 µm) — 1999
- 130 nm (.13 µm) — 2000
- 90 nm — 2002
- 65 nm — 2006
- 45 nm — 2008
- 32 nm — 2010
- 22 nm** — 2012
- 14 nm — approx. 2014
- 10 nm — approx. 2016
- 7 nm — approx. 2018
- 5 nm — approx. 2020



# \* Wafer Stacking (3D design)



- \* Microprocessor clock rate of Intel processors vs. Projects from the international roadmaps for semiconductors and 2005 and 2007



Font: Communication of the ACM October 2009 (Yelick et al)

- Cada CPU não é mais que um conjunto de transistores chaveando
- Uma CPU moderna pode ter na ordem de alguns bilhões de transistores em um chip. O IBM Power 6 tem 790 milhões de transistores numa área de 341 mm<sup>2</sup>
- A equação de potência dissipada por um chip fica assim:

**Potência = K (Capacitância de Carga)×(Voltagem)<sup>2</sup>×(Frequência de Chaveamento)**



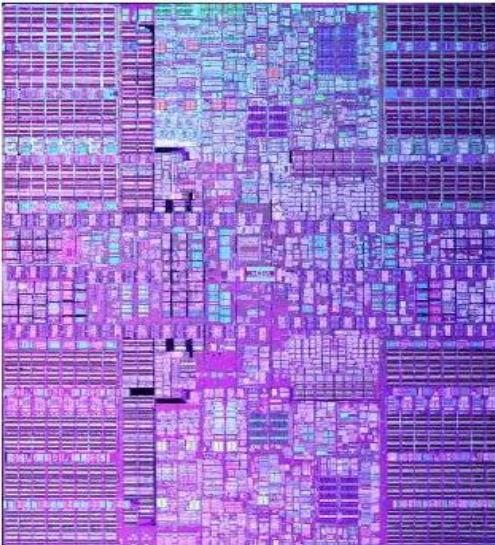
## A Equação de Potência

- Para manter a mesma potência, um projetista deve decrementar a tensão pela metade para que a velocidade (*chaveamento do clock*) se incremente por 4.

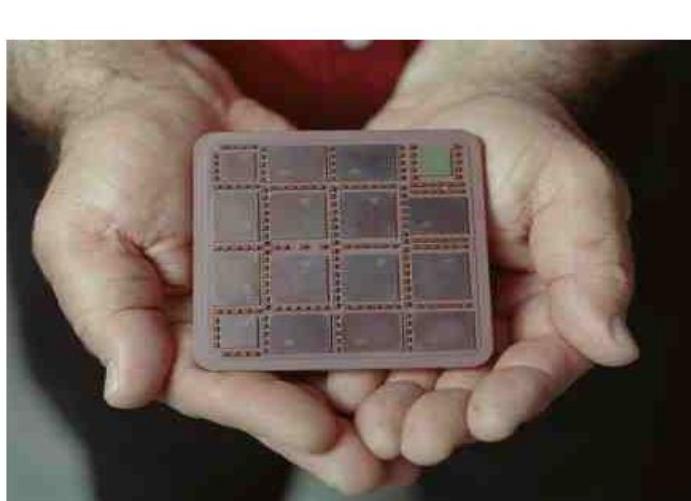
- Chips antigos (Intel 8086) rodavam a 5.0 volts; os novos rodam a perto de 1.5 volts
- Um chip novo, na mesma tensão e capacidade de carga, pode emitir  $(1.5/5.0)^2 = (0.3)^2 \approx 10\%$  da potência de um chip antigo. Isto pode permitir que o chip novo seja 10 vezes mais rápido (em frequência de *clock*)
- Entretanto, *clocks* mais rápidos demandam geralmente maiores voltagens
- Também maiores voltagens significam menos problemas com ruídos aleatórios
- Um sinal aleatório de 0,2 volts pode causar uma falha em um chip rodando com 1,0 volt, porém não iria trazer problemas para uma tensão de alimentação de 5,0 volts

# A barreira de Potência (the Power Wall)

- Esta é uma CPU usada em mainframes da IBM. O mesmo tem 790 milhões de transistores no chip numa área de 341 mm<sup>2</sup>
- No Z/10, o chip roda a 4.67 GHz. Protótipos de laboratório rodam a 6.0 GHz (*the Power 595 configuration of the Z/10 uses between 16 and 64 of the Power 6 chips, each running at 5.0 GHz*)
- Aqui é mostrada uma figura do Power 6 e seu módulo típico para montagem



**Power 6 Chip**



**Power 6 Module**

- The IBM Power 6 CPU *is generally placed in water cooled units.*



ogy

- The copper tubing feeds cold water to cooling units in direct contact with the CPU chips. Each CPU chip is laid out not to have “hot spots”.
- Some engineers are using the warm water from the computer to heat buildings.

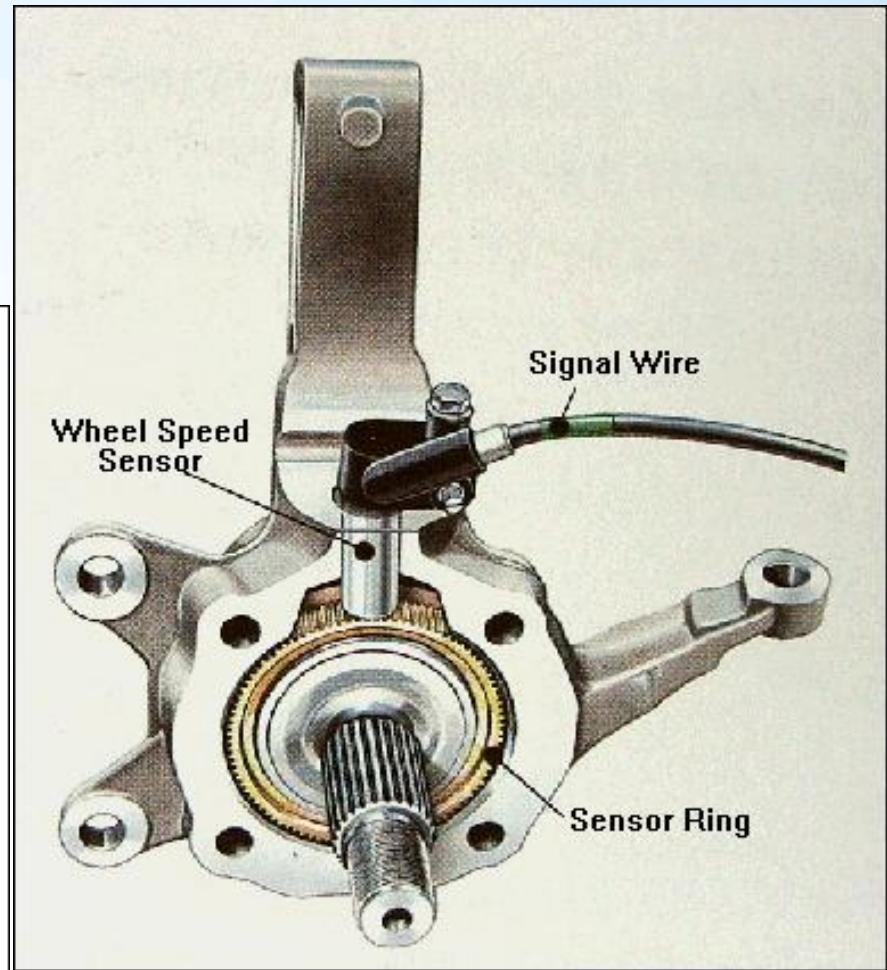
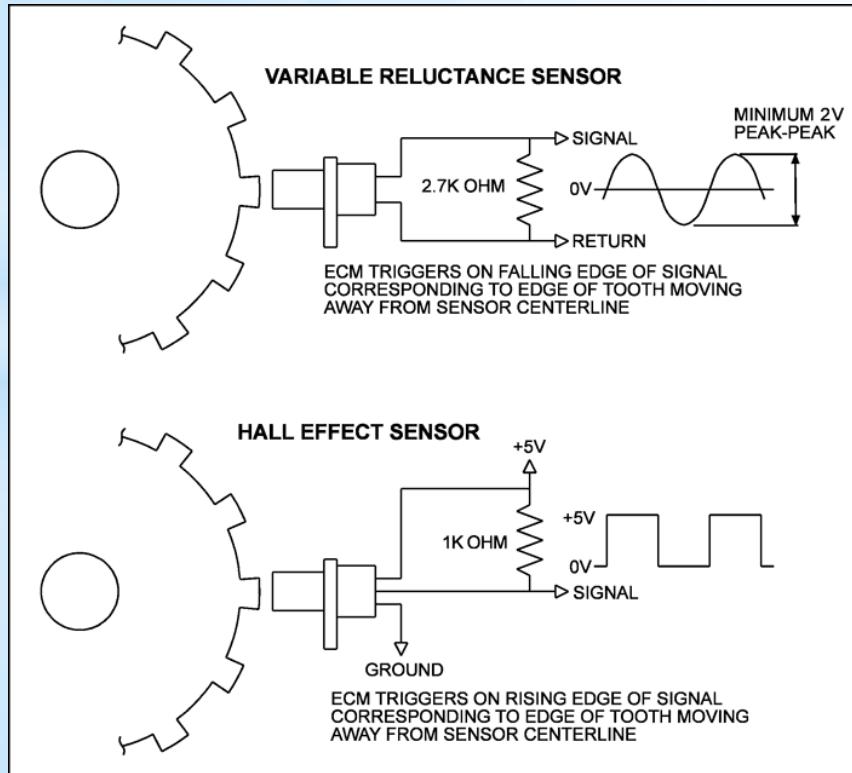
# \* Cooling a Faster Single-Core CPU

- IBM prove um sistema de resfriamento (*cooling system*) a base de agua
- Intel e AMD serão capazes de melhorar o projeto num mercado que não permite o custo e complexidade de um sistema de resfriamento a água????



- Aqui são mostradas duas opções de *cooling* de um chip de uma CPU comercial (*a Google search for “Computer Cooling Radiators” shows a brisk market in water cooling units for commodity CPU chips*)

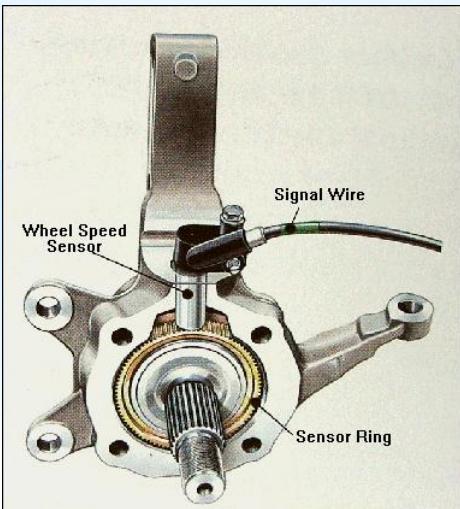
# Aplicações de sensores



*Sensor de velocidade da roda*

# Características Estáticas dos sensores

- Não variam com a utilização do sensor
- Podem variar lentamente com a utilização do sensor
- Não linearidades também são consideradas



# Características estáticas dos sensores

- **Exemplos** de características **estáticas**:

- Sensibilidade
- Linearidade
- Histerese
- Resolução
- Faixa de operação
- Espaço morto
- Dentre outras

# Características dinâmicas dos sensores

- Variam significativamente com o ponto de operação
- Descrevem o comportamento do sensor sob regime transiente de funcionamento
- Tratadas por equações diferenciais lineares a parâmetros concentrados

# Características dos dinâmicas sensores

- Exemplos de características **dinâmicas**:

- Tempo de resposta
- Resposta a excitação periódica
- Resposta a excitação degrau
- Dentre outras;

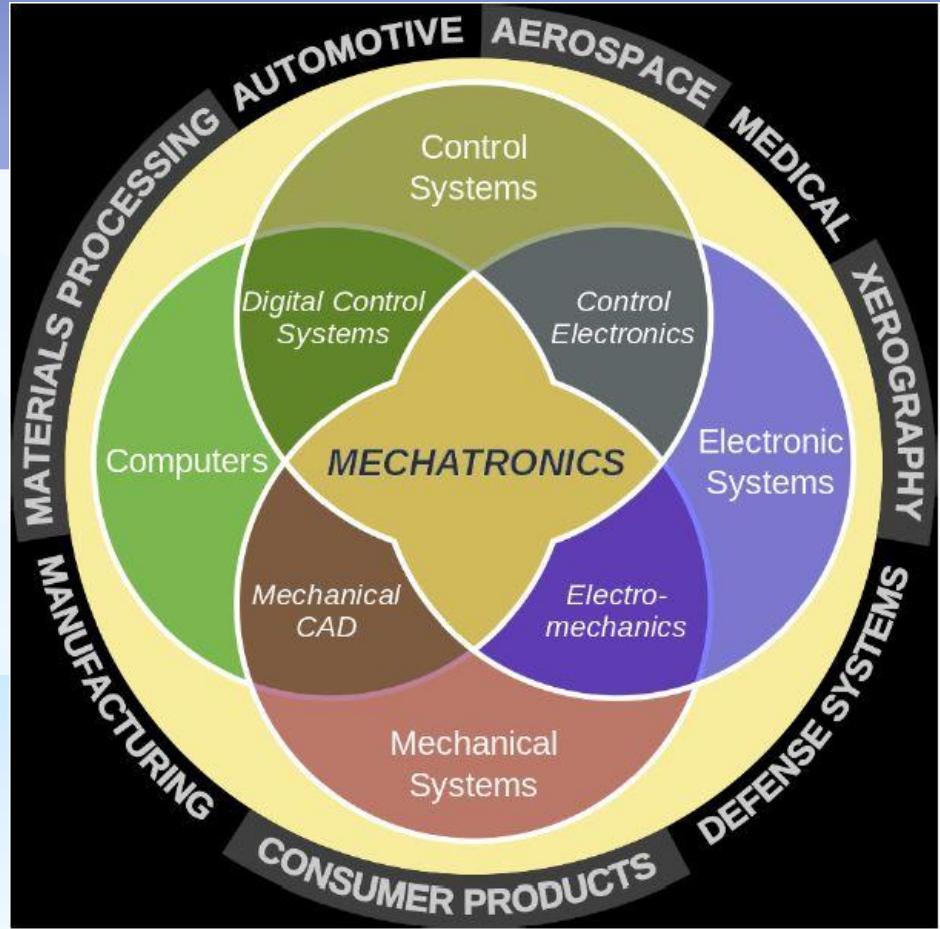
# Fundamentos da Medição

- Conceito de **valor medido** X **valor verdadeiro**:
  - **Valor verdadeiro:**
    - Valor de referência da medida que se deseja obter
    - Depende da aplicação em particular
  - **Valor medido:**
    - Valor medido com o sensor ou instrumento de medição;
    - Associado a necessidade e as incertezas do processo de medição

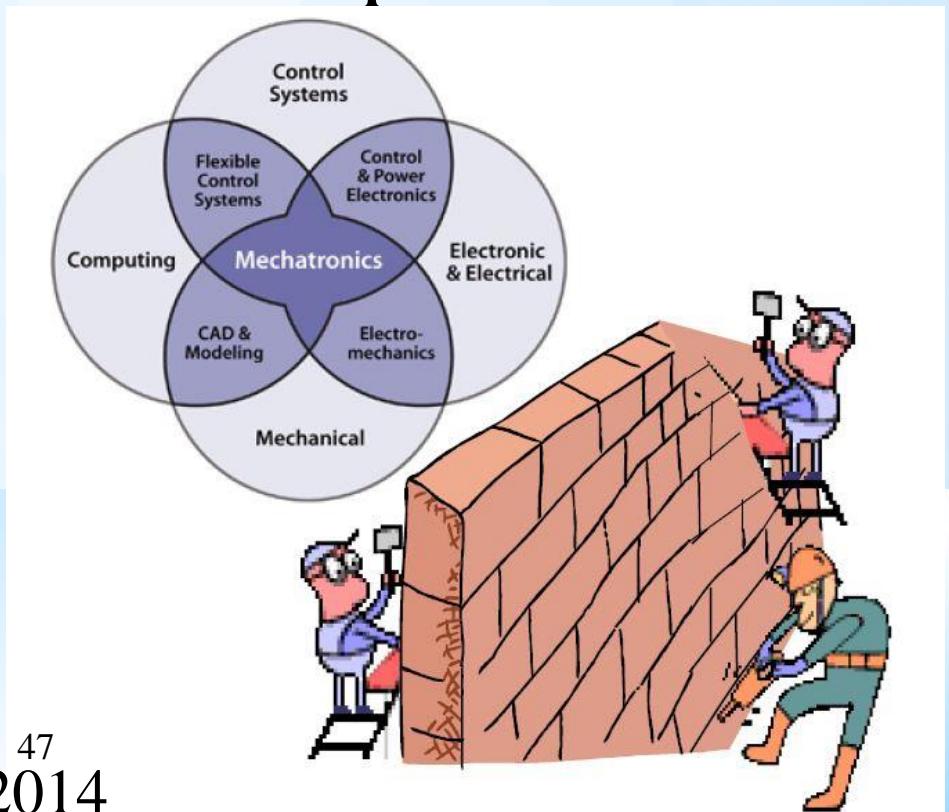
# Fundamentos da Medição

- O objetivo de toda medição é fazer com que o valor medido esteja próximo do valor verdadeiro
- Nesse sentido, deve-se garantir que influências externas não afetem o processo de medição
- Ainda que medidas externas afetem, essa interferência deve ser mensurável e considerada na medição final;

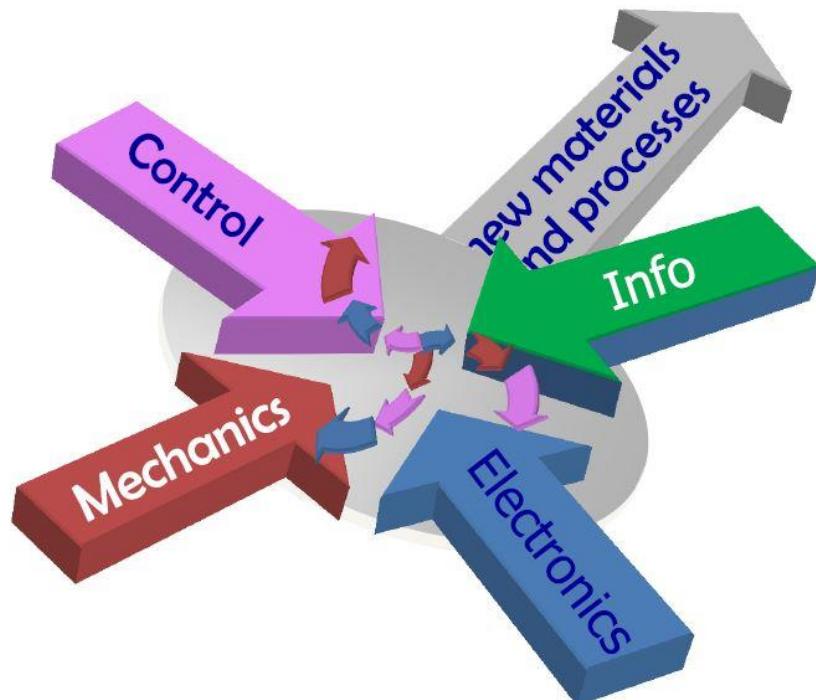
# Mechatronics:



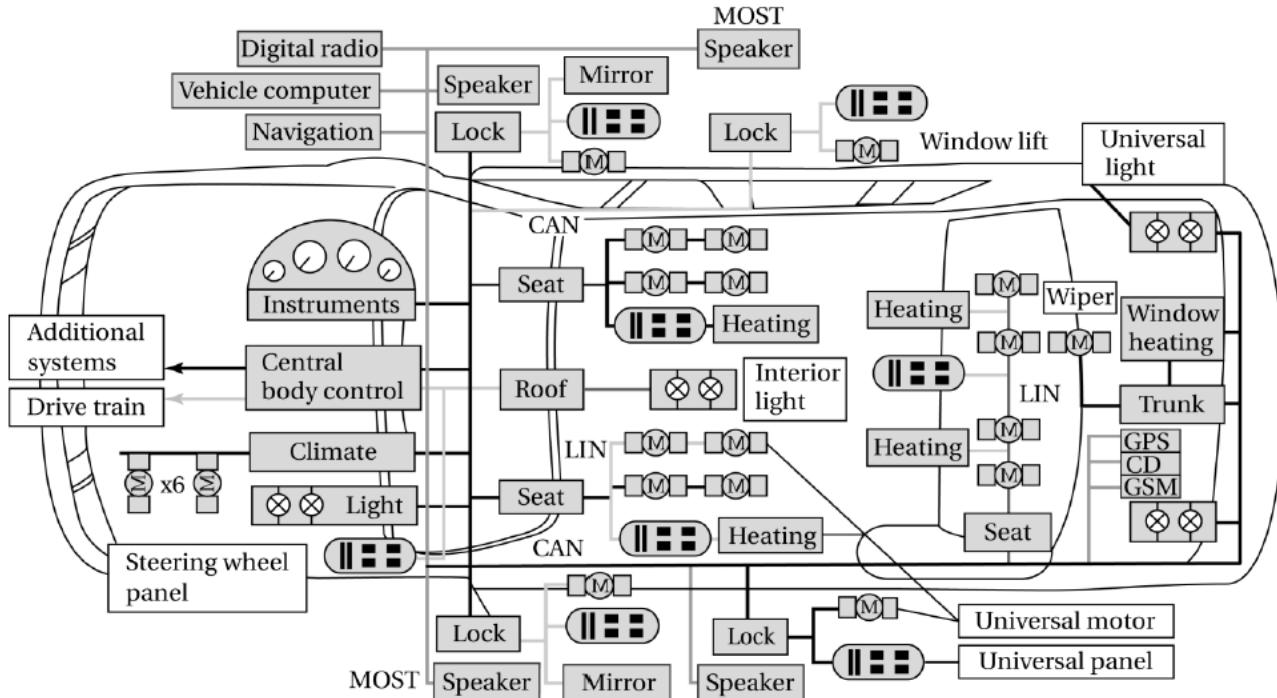
# Mechatronics: a synergistic integration of several disciplines



# Mechatronics: a synergistic integration of disciplines



## automobiles as distributed embedded systems



CAN Controller Area Network

GPS Global Positioning System

GSM Global System for Mobile Communications

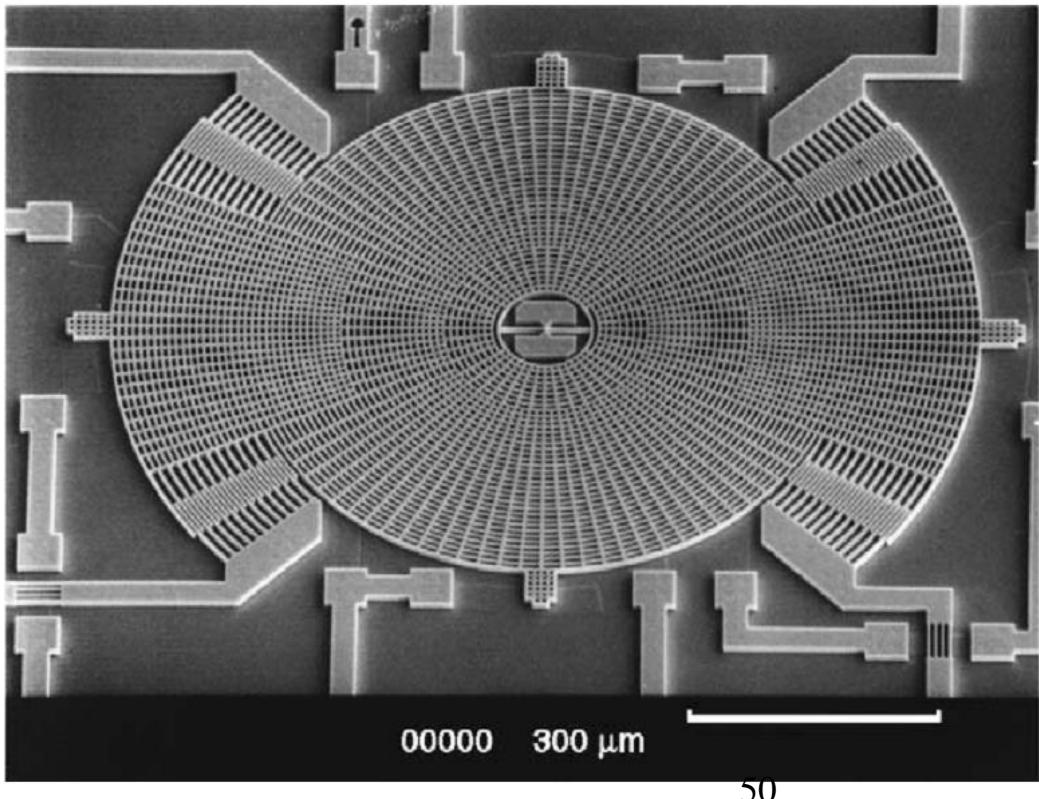
LIN Local Interconnect Network

MOST Media-Oriented Systems Transport

### multiple processors

- up to 100 and more
- networked together

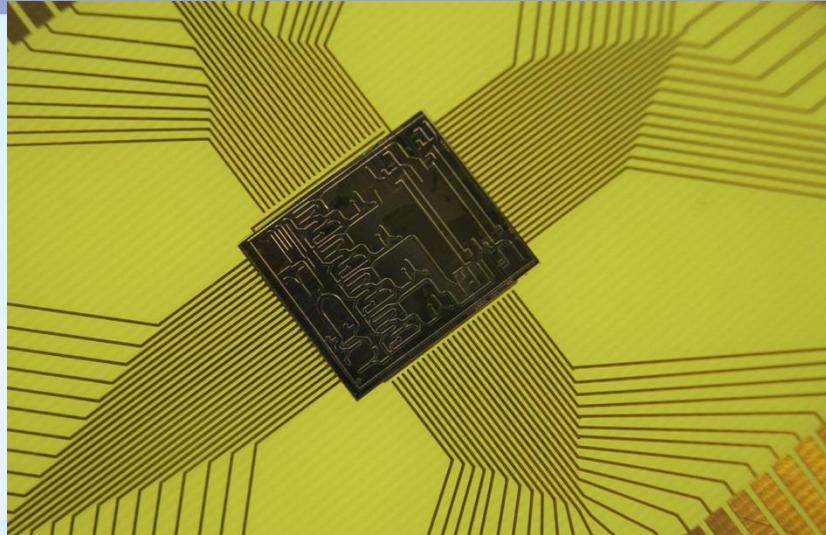
# MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)



While the functional elements of MEMS are miniaturized structures, sensors, actuators, and microelectronics, the most notable (and perhaps most interesting) elements are the microsensors and microactuators.

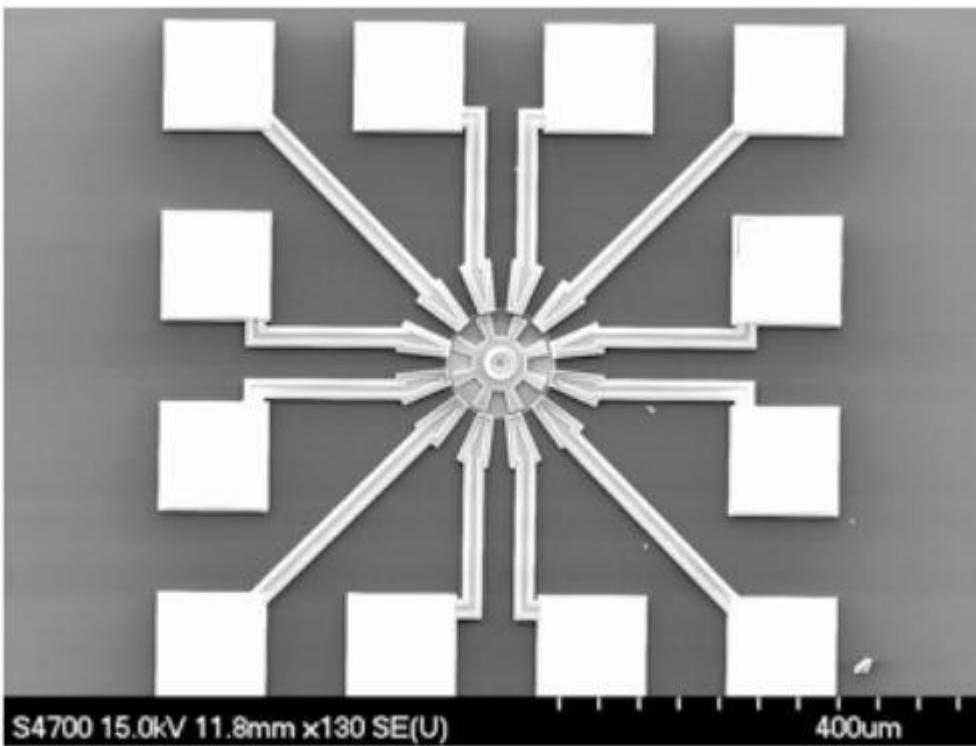


# MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)



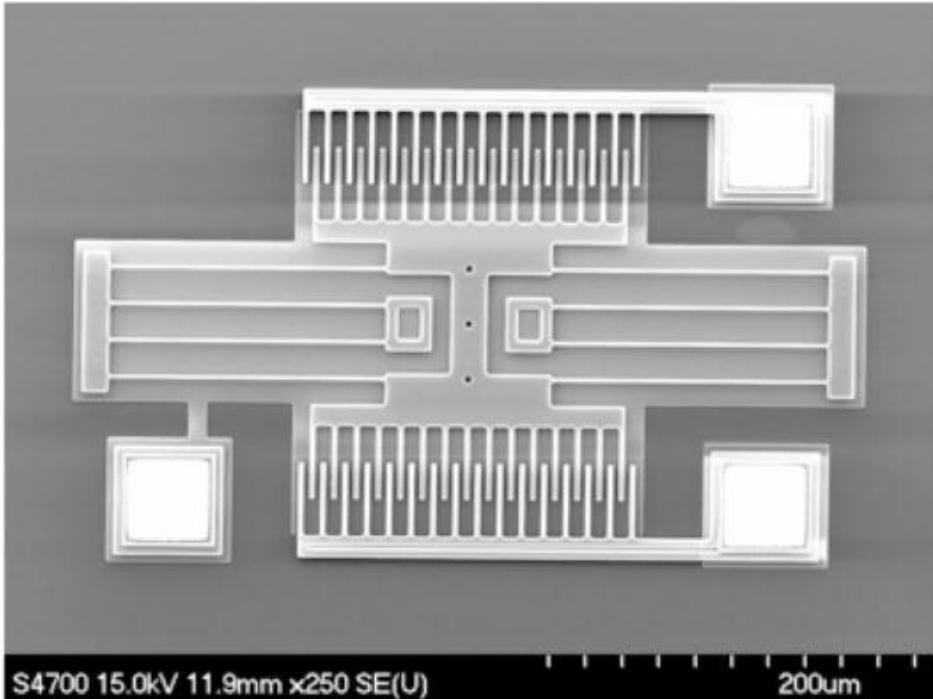
- ❖ Miniaturized mechanical and electro-mechanical elements
- ❖ i.e., devices and structures that are made using the techniques of microfabrication

# MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)



A surface micromachined electro-statically-actuated micromotor fabricated by the MNX. This device  
53  
is an example of a MEMS-based microactuator.

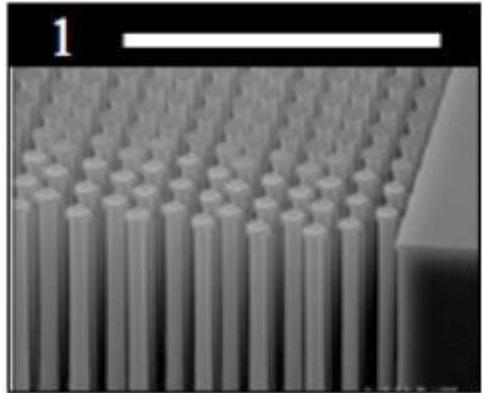
# MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)



A surface micromachined resonator fabricated by the MNX. This device can be used as both a  
54  
microsensor as well as a microactuator.

This vision of MEMS: microsensors, microactuators and microelectronics and other technologies, can be integrated onto a single microchip

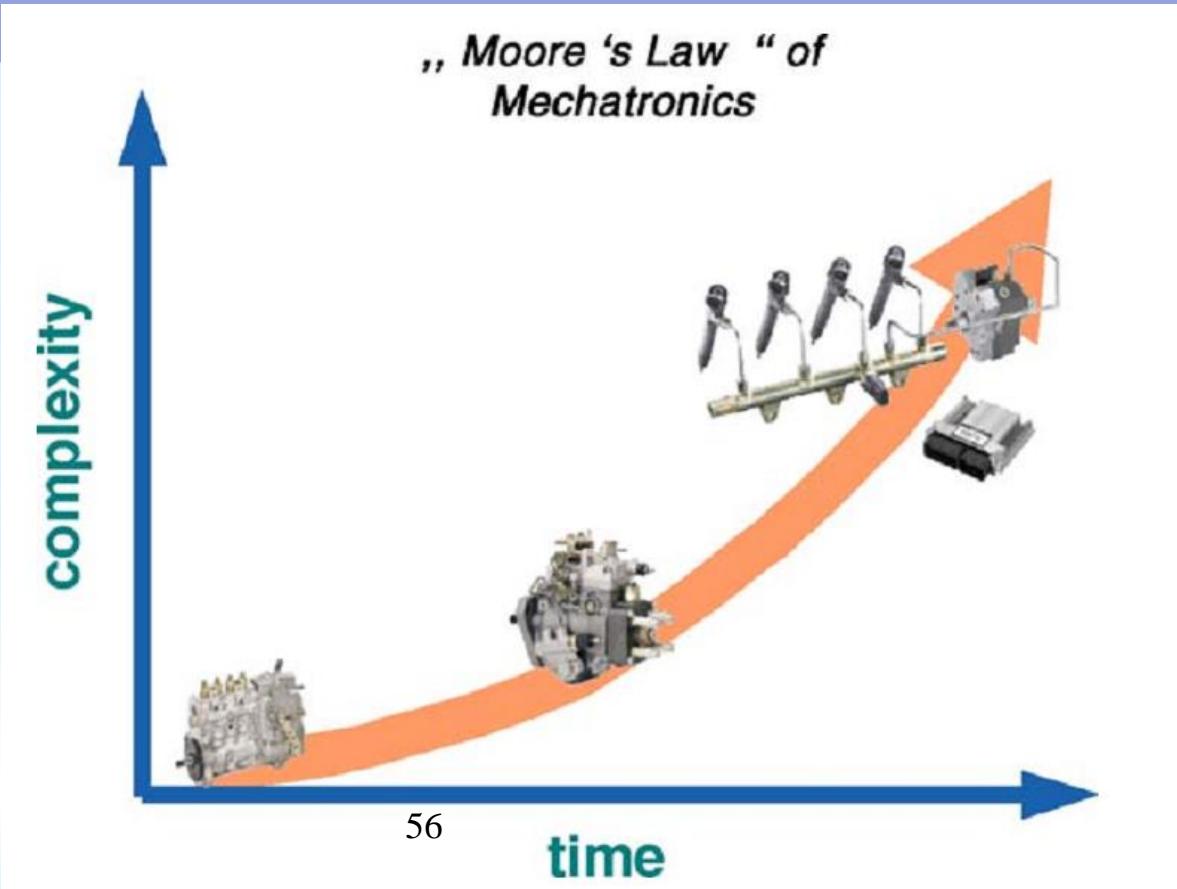
# MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)



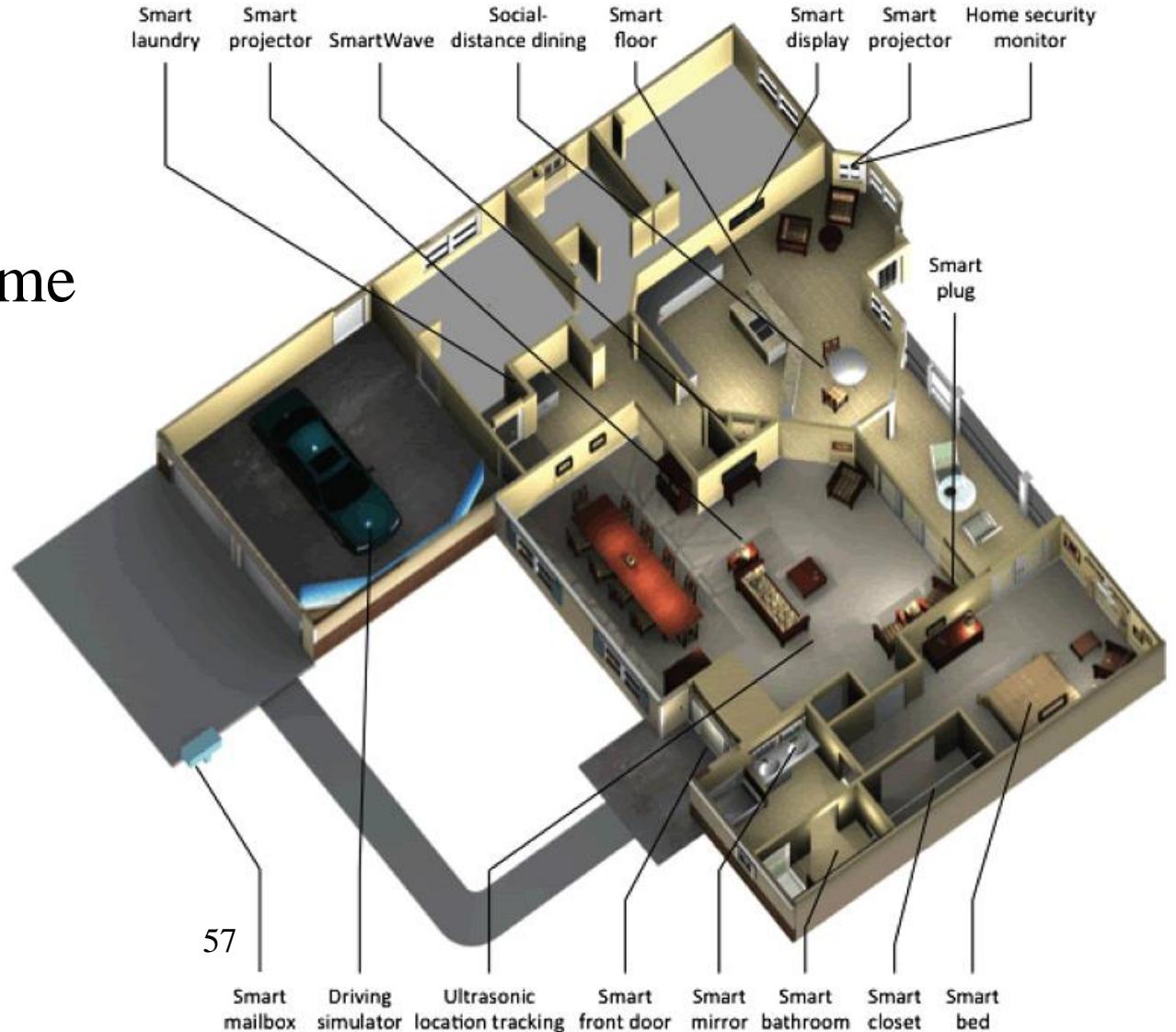
An array of sub-micron posts made using top-down nanotechnology fabrication methods.

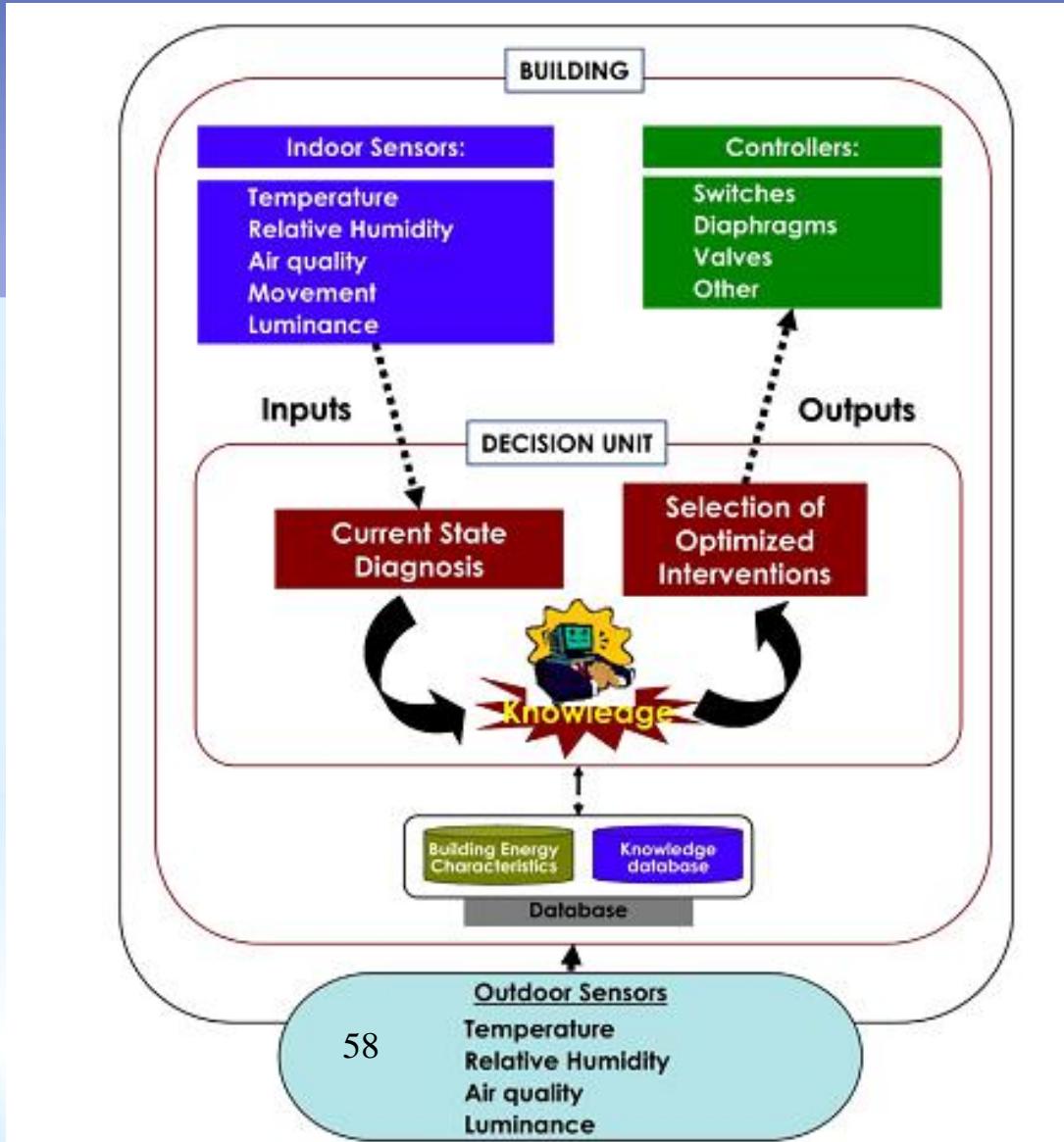
Nanotechnology is the ability to manipulate matter at the atomic or molecular level to make something useful at the nano-dimensional scale

# Moore´s Law (*Star Wars Episode VI: Return of the Jedi...*)

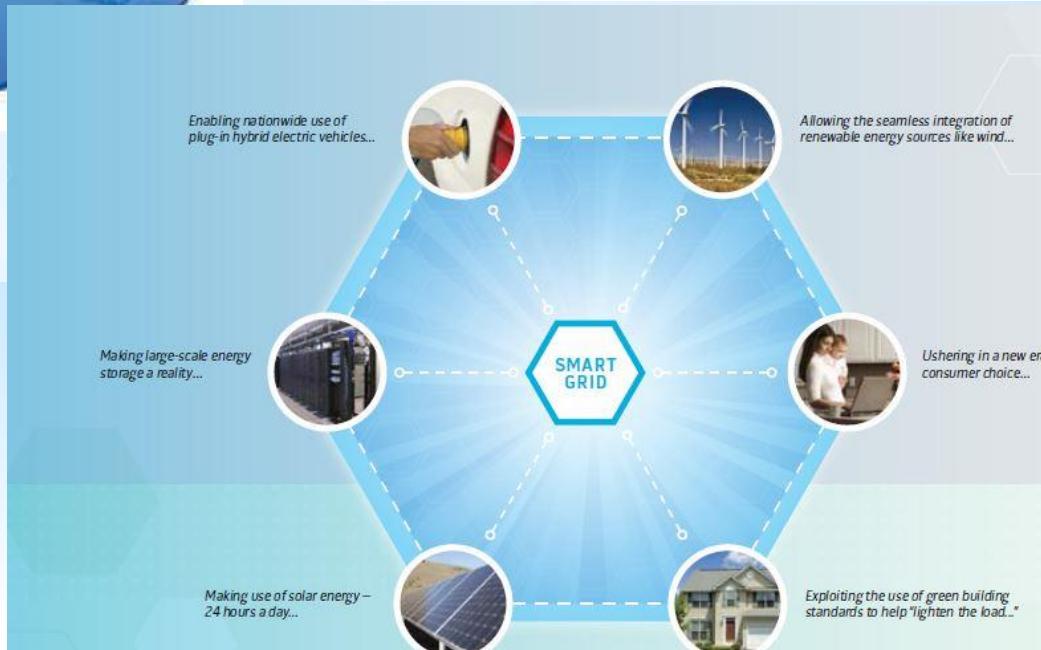


## Mechatronics: Home Automation

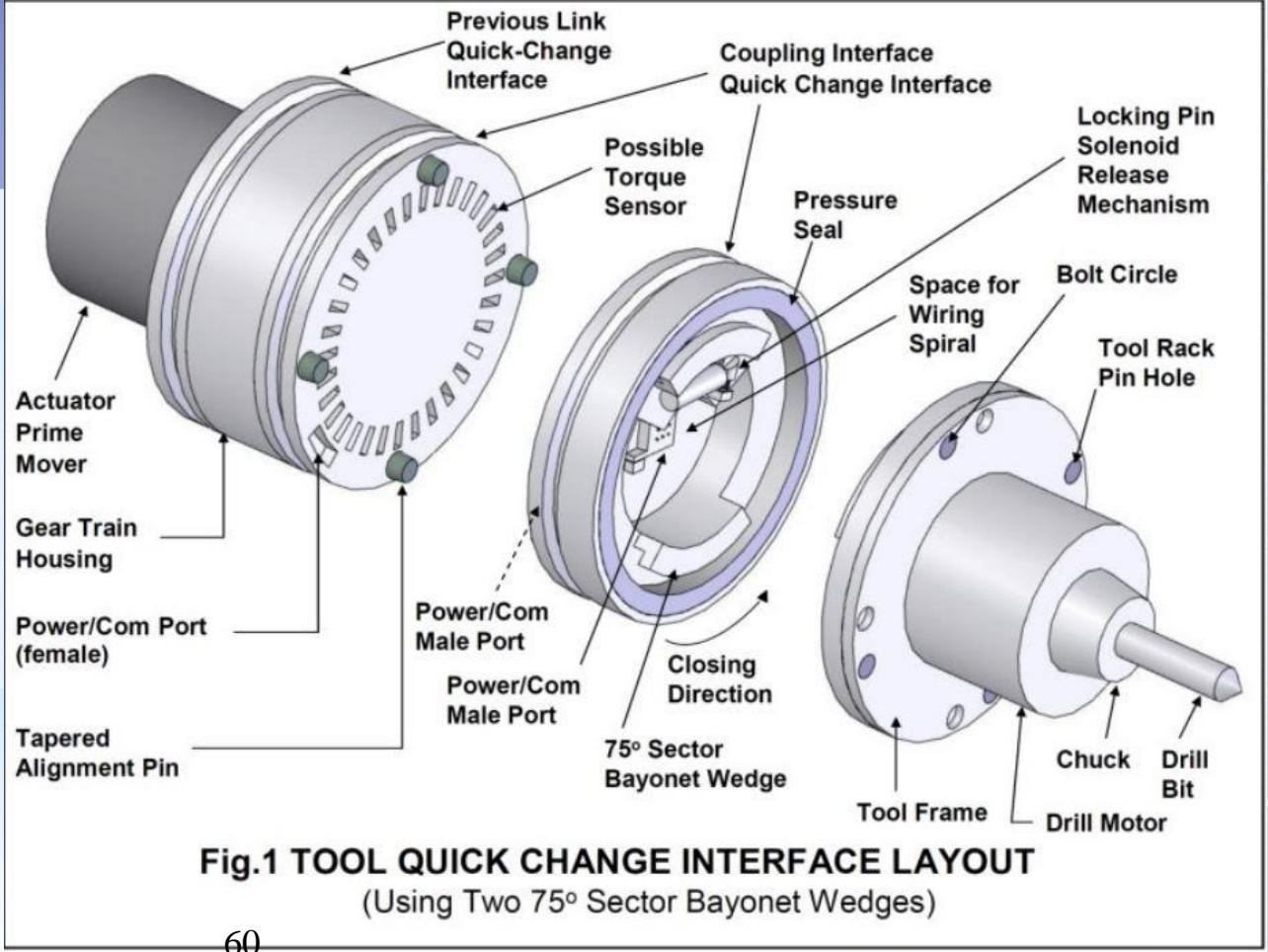




# Mechatronics: Smart Grids



# Mechatronics and Complexity



# Mechatronics and Complexity

## ACTUATOR DEVELOPMENT AT UT AUSTIN

### 1. FIRST PROTOTYPE RESULTS (1988)

- Dual/Symmetric System
- Frameless Configuration
- Total Benefit Was 200x over SOA

### 2. PROJECTED BENEFITS FOR 1990 DECADE

- Weight 3 to 10x
- Compactness 3 to 5x
- Stiffness 3 to 10x
- Interfaces 2 to 4x
- No. of Bearings 3x
- Redundancy 2x

61

### 3. PROJECTED BENEFITS FOR 2000 DECADE

- Performance 3 to 10x
- Weight 3 to 5x
- Stiffness 3x
- Fault Tolerance 4x
- Intelligence 10x
- Standard Interface 4x

$10^4$

### 4. TWO DECADE ACHIEVEMENT

Eight Orders of Magnitude ( $10^8$ )  
Similar to Moore's Law

# Mechatronics and Complexity

## ACTUATOR DEVELOPMENT AT UT AUSTIN

### 1. FIRST PROTOTYPE RESULTS (1988)

- Dual/Symmetric System
- Frameless Configuration
- Total Benefit Was 200x over SOA

### 2. PROJECTED BENEFITS FOR 1990 DECADE

- Weight 3 to 10x
- Compactness 3 to 5x
- Stiffness 3 to 10x
- Interfaces 2 to 4x
- No. of Bearings 3x
- Redundancy 2x

62

### 3. PROJECTED BENEFITS FOR 2000 DECADE

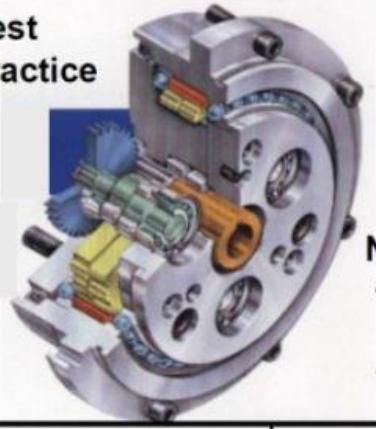
- Performance 3 to 10x
- Weight 3 to 5x
- Stiffness 3x
- Fault Tolerance 4x
- Intelligence 10x
- Standard Interface 4x

$10^4$

### 4. TWO DECADE ACHIEVEMENT

Eight Orders of Magnitude ( $10^8$ )  
Similar to Moore's Law

Best Practice



## GEAR TRAIN COMPARISON

(Based on 6000 HR. Life)

NABTESCO

- Used in 50% of Industrial Robots
- $\approx 90,000$ -hour Life

UTEXAS

- Dual PE Gear Train
- 4 Orders Better

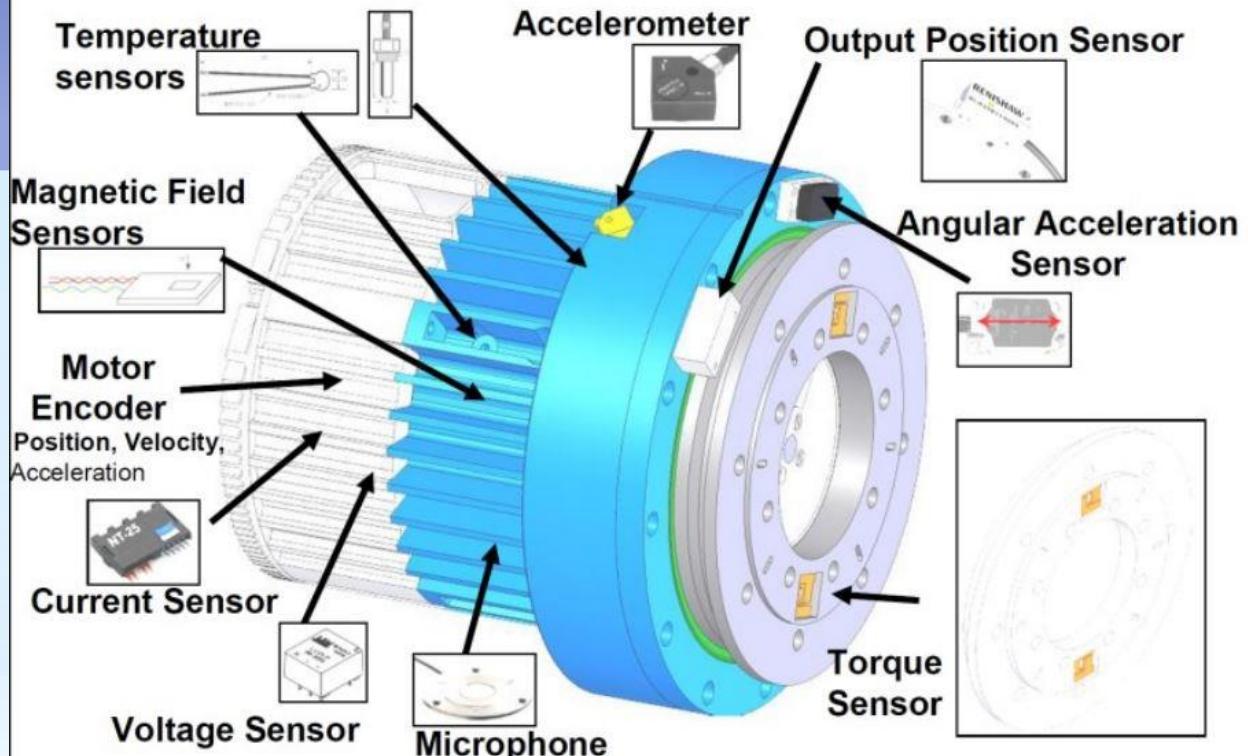


Prototype

(Parallel Eccentric – PE)

PROPERTY	COMMENT	BENEFIT
Torque Capacity	Rugged Crankshaft Bearings	4.5X
Endurance	Contact Stresses In PE Are 3X Less	3X
Output Stiffness	Internal Deformations and Length of Force Path in PE Are 2.5X Less	2.5X
Pressure Angle	In PE $\gamma = 7^\circ$ , While in the Nabtesco $\gamma > 30^\circ$	5X
Mesh Friction	PE Sliding Velocities Are 3X Less Than For Nabtesco	3X
Lost Motion	PE Tooth Load Distribution is Central While Nabtesco is Not	4X
Balancing Mass	Dual PE is Inherently Balanced	1X

## MULTI-SENSOR ARCHITECTURE



Prof. Del Tesar, University of Texas

# \* Pervasive Computing (computing going everywhere...)

“la realidad virtual intenta llevar el mundo para dentro del computador, mientras que la computación ubicua intenta llevar el computador para el mundo” (*Magno Batista Correa*)

Virtual reality tries to embed the world into the computer, whereas pervasive computing spread the computer into the world”

# Configurações generalizadas e descrições funcionais de instrumentos de medição

## ❖ Elementos funcionais de um instrumento

- Elemento sensor primário
- Elemento de conversão de variável
- Elemento de manipulação de variável
- Elemento de transmissão de variável
- Elemento de apresentação de dados
- Elemento de armazenamento de dados

# Elementos Funcionais de um Sistema de Medição

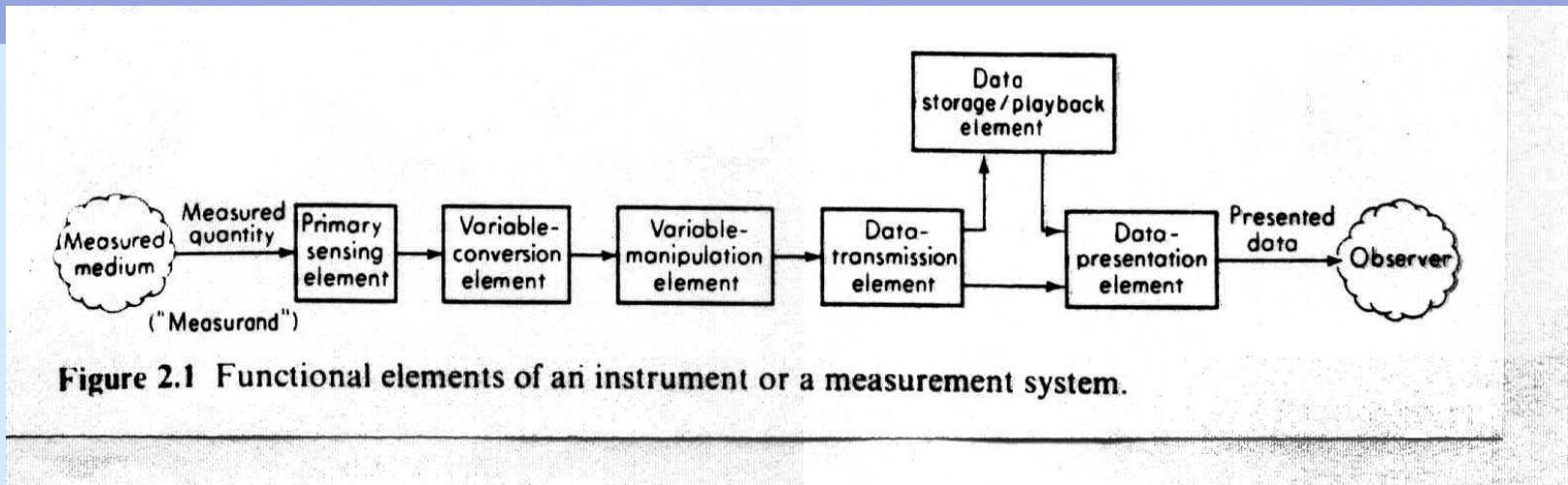


Figure 2.1 Functional elements of an instrument or a measurement system.

# Elemento sensor primário

- Recebe energia do meio medido e produz uma saída dependendo da quantidade medida (*mensurando*)
- Sempre extrai alguma energia do mensurando: o meio é sempre perturbado pela medição
- Bons instrumentos são projetados para minimizar a quantidade de energia drenada do meio medido

# \* Exemplos

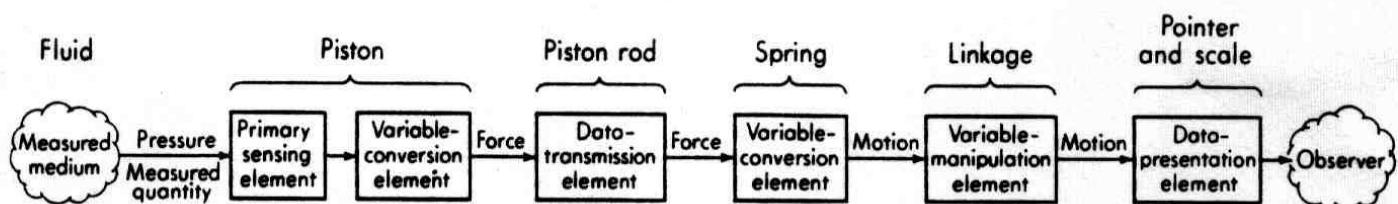
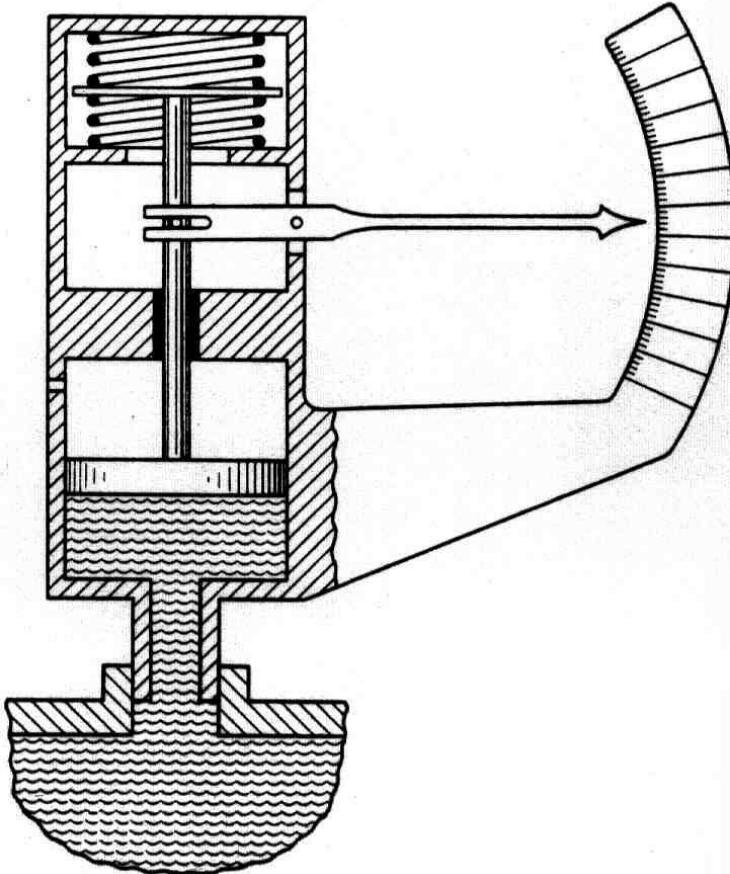


Figure 2.2 Pressure gage.

# Exemplos

## (sensor de temperatura)

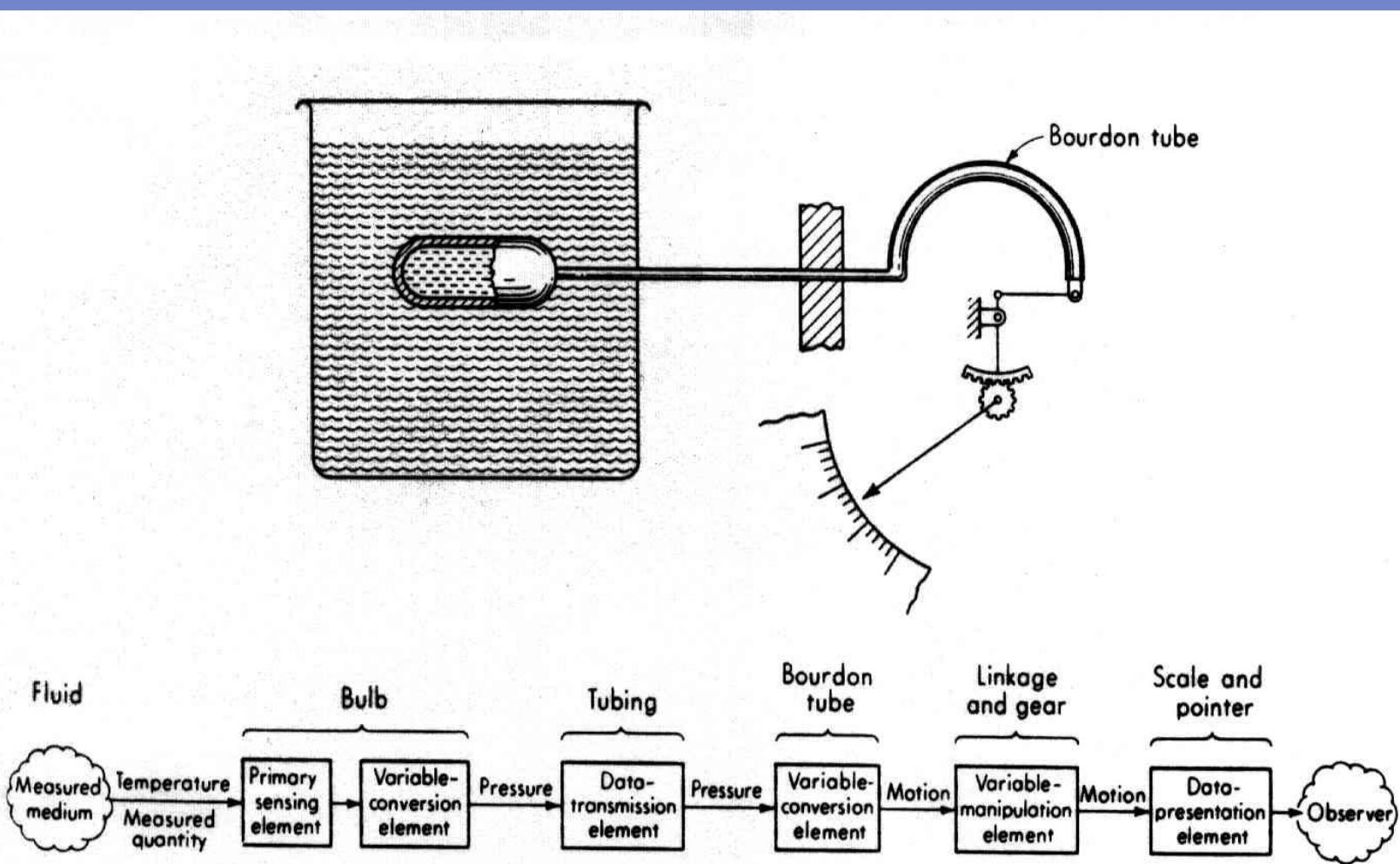


Figure 2.3 Pressure thermometer.

# Exemplos

## (contador de revoluções)

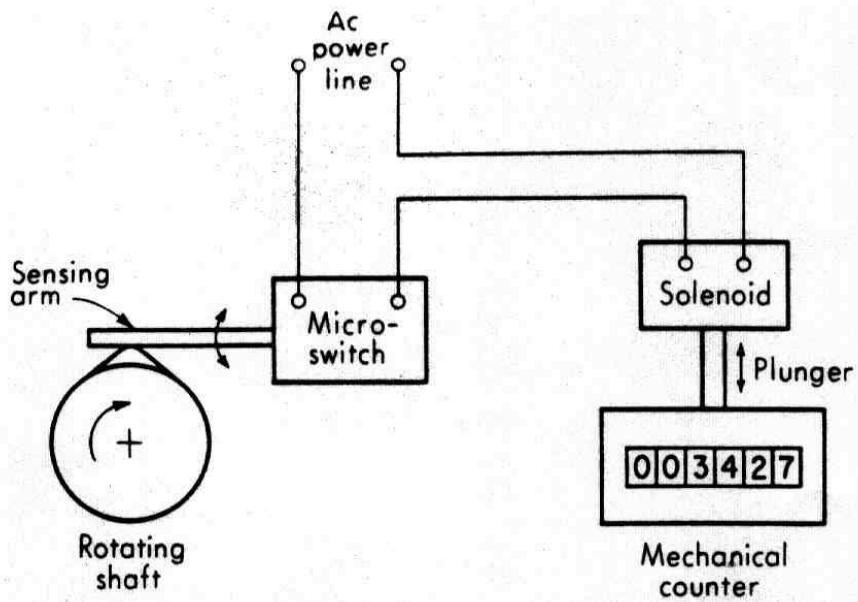


Figure 2.4 Digital revolution counter.

# Exemplos (galvanômetro de D'Arsonval)

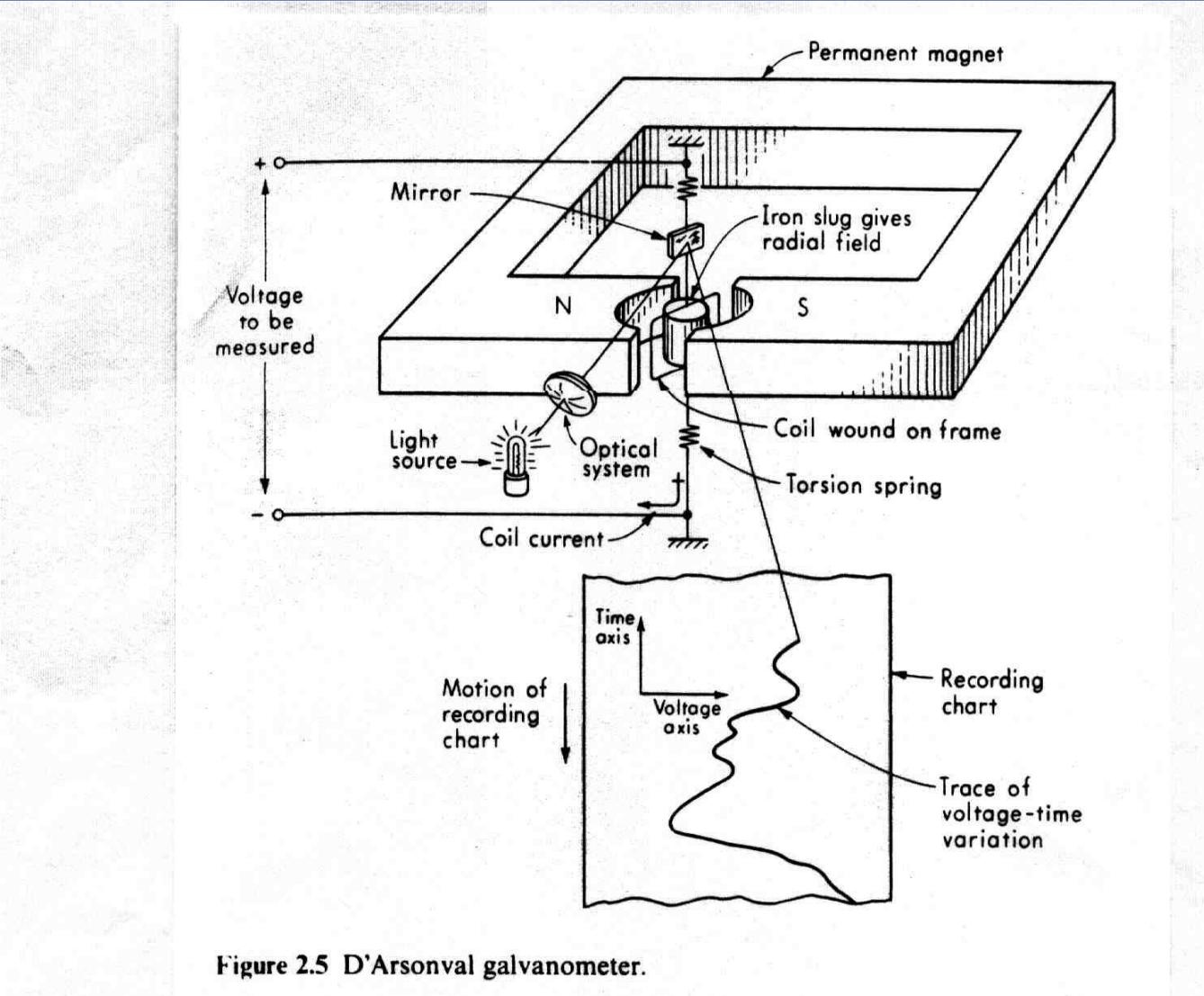


Figure 2.5 D'Arsonval galvanometer.

# Transdutores

- Literatura técnica: implica em conversão de energia
- No livro o termo transdutor é usado também em casos em que as formas de energia na entrada e na saída do instrumento são as mesmas.
- Transdutores passivos: energia produzida na saída do transdutor é fornecida totalmente ou parcialmente pela entrada
- Transdutores ativos: há uma fonte de energia auxiliar que fornece a maior parte da energia produzida na saída do transdutor enquanto que o sinal de entrada fornece somente uma porção insignificante

# Configuração entrada – saída de instrumentos de medição

- Entradas desejadas
- Entradas de interferência
- Entradas modificadoras

## McKay and Lees(1955)

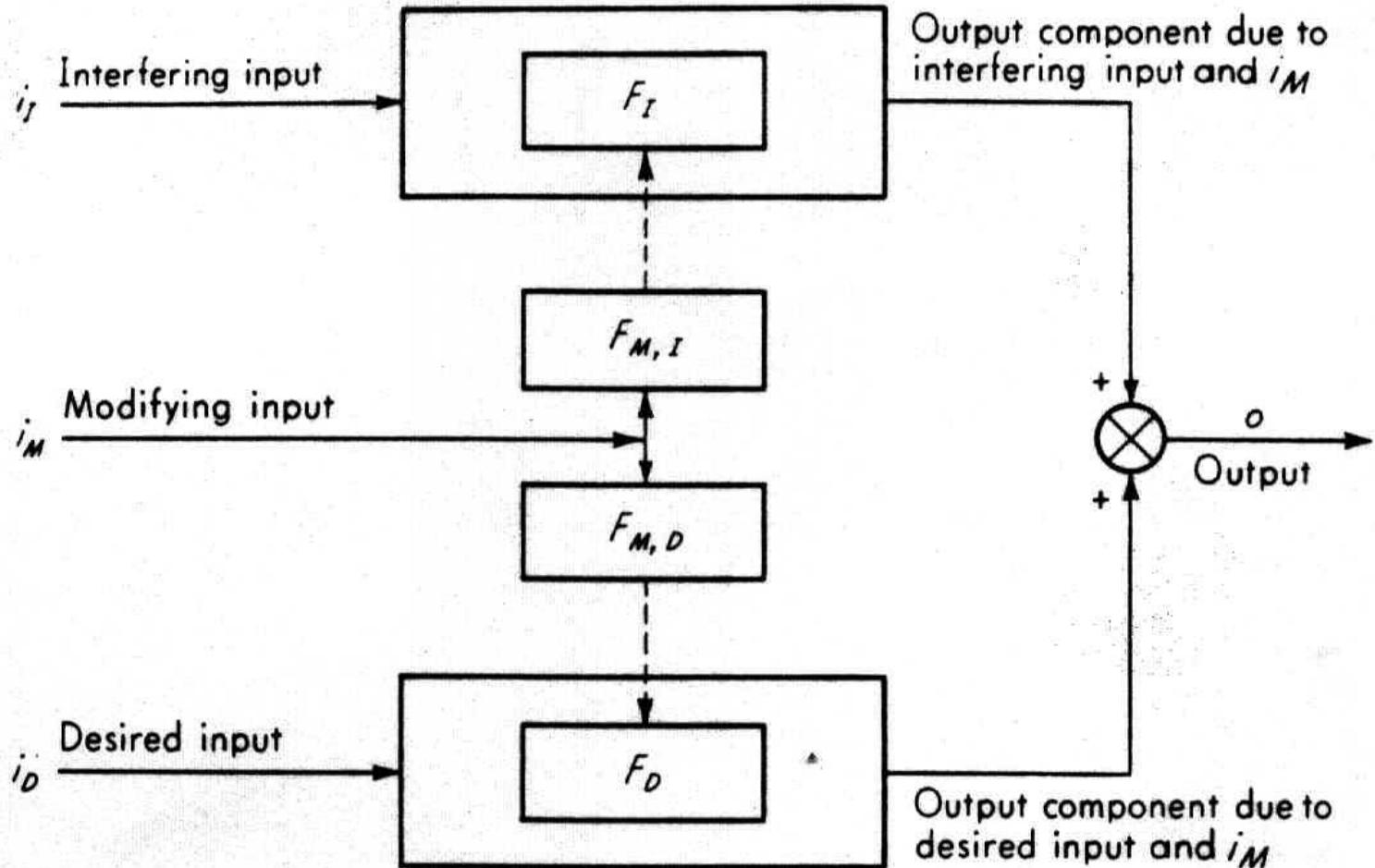
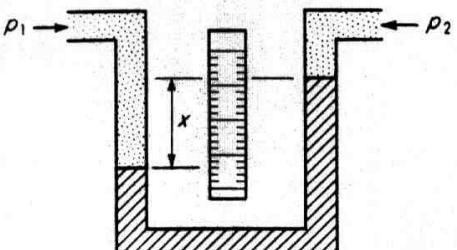


Figure 2.9 Generalized input-output configuration.

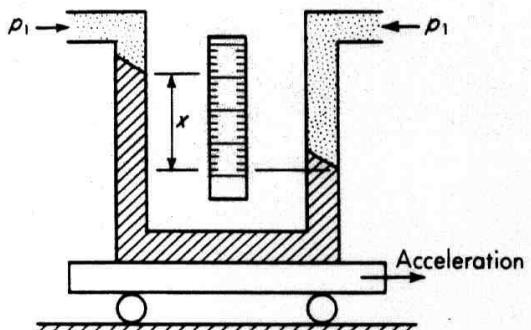


Universidade de Brasília

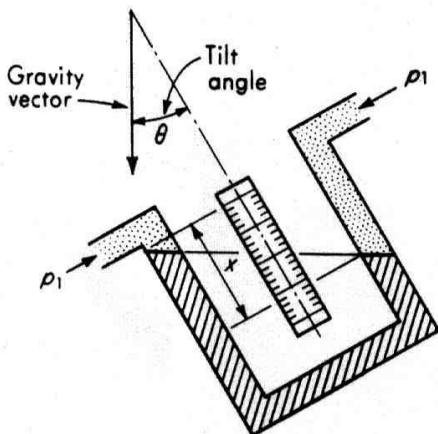
# Exemplos



(a)



(b)



(c)

# Exemplos (strain-gage)

$$\Delta R_g = (GF)R_g \varepsilon$$

$\Delta R_g \equiv \text{change\_in\_gage\_resistance}, \Omega$

$GF \equiv \text{gage\_factor},$

$R_g \equiv \text{gage\_resistance\_when\_unstrained}, \Omega$

$\varepsilon \equiv \text{unit\_strain}, (\text{cm}/\text{cm})$

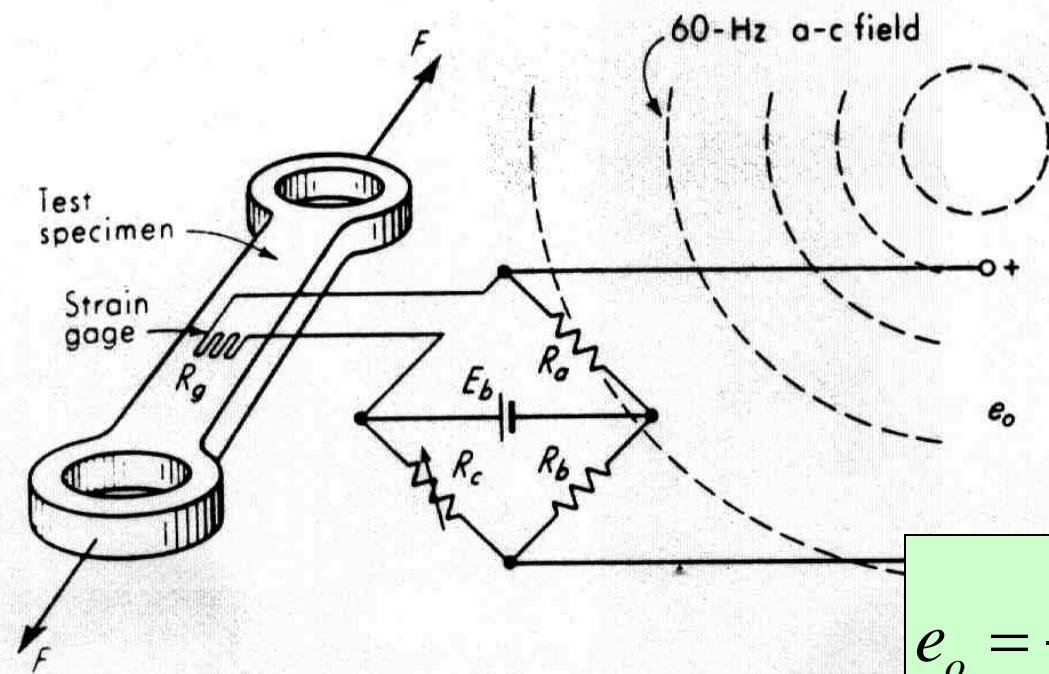


Figure 2.11 Interfering input for strain-gage circuit.

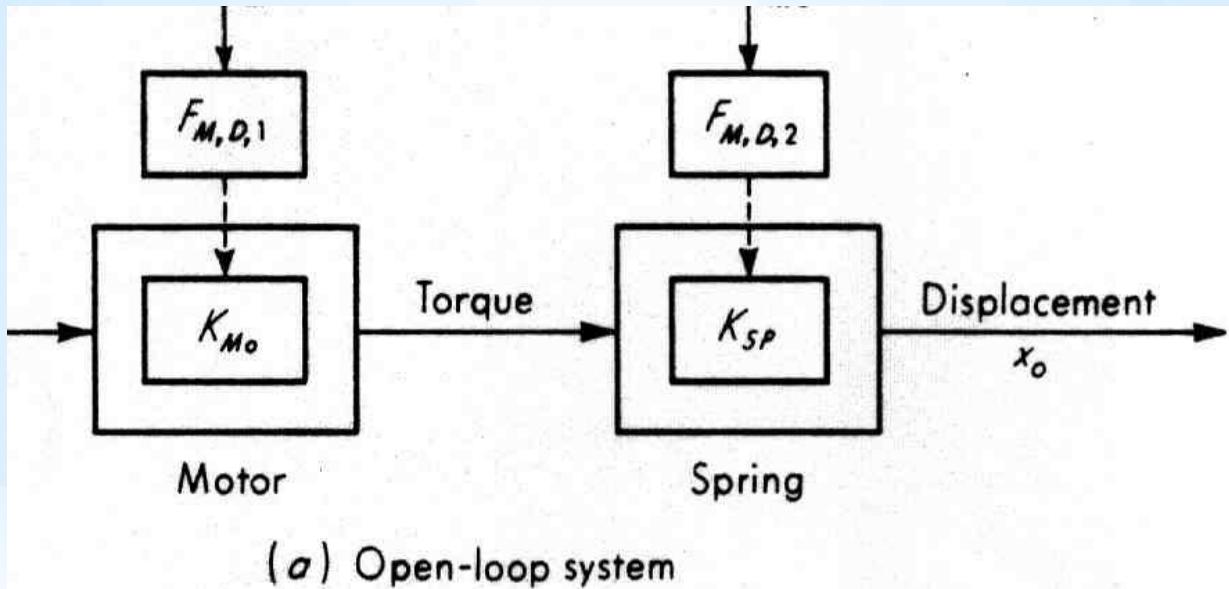
$$e_o = -(GF)R_g \varepsilon E_b \frac{R_a}{(R_g + R_a)^2}$$

# Métodos para correção de Entradas de Interferência e Modificadoras

- Insensibilidade inerente
- Alto ganho em realimentação
- Correções calculadas na saída
- Filtragem de sinal
- Saídas opostas

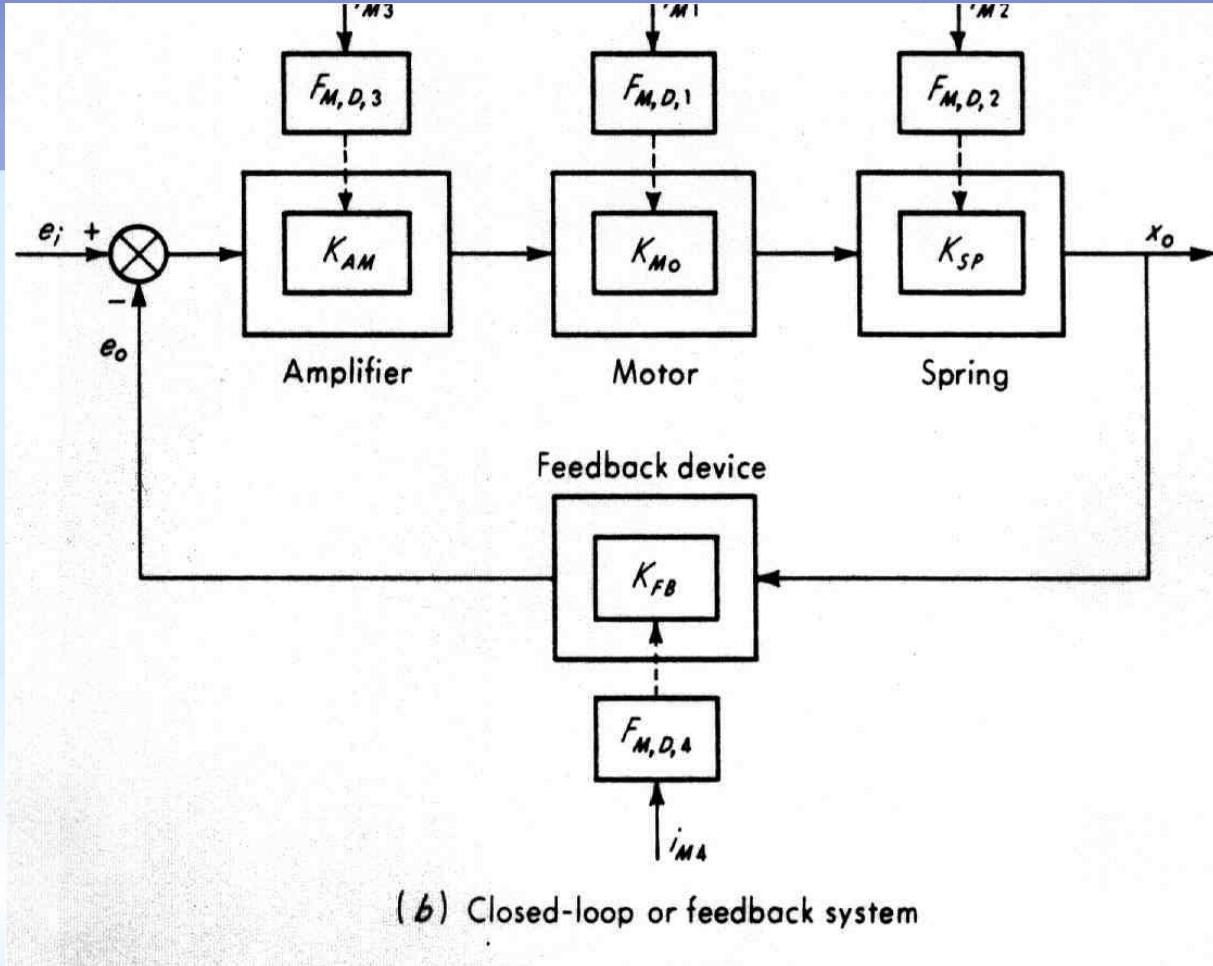
# Métodos de correção de Entradas Interferentes e Modificadoras

## (alto ganho de Realimentação)



# Métodos de correção de Entradas Interferentes e Modificadoras

(alto ganho de Realimentação)



# Análise do exemplo anterior

$$(e_i - e_o)K_{AM}K_{Mo}K_{SP} = (e_i - K_{FB}x_o)K_{AM}K_{Mo}K_{SP} = x_o$$

$$e_i K_{AM} K_{Mo} K_{SP} = (1 + K_{AM} K_{Mo} K_{SP} K_{FB})x_o$$

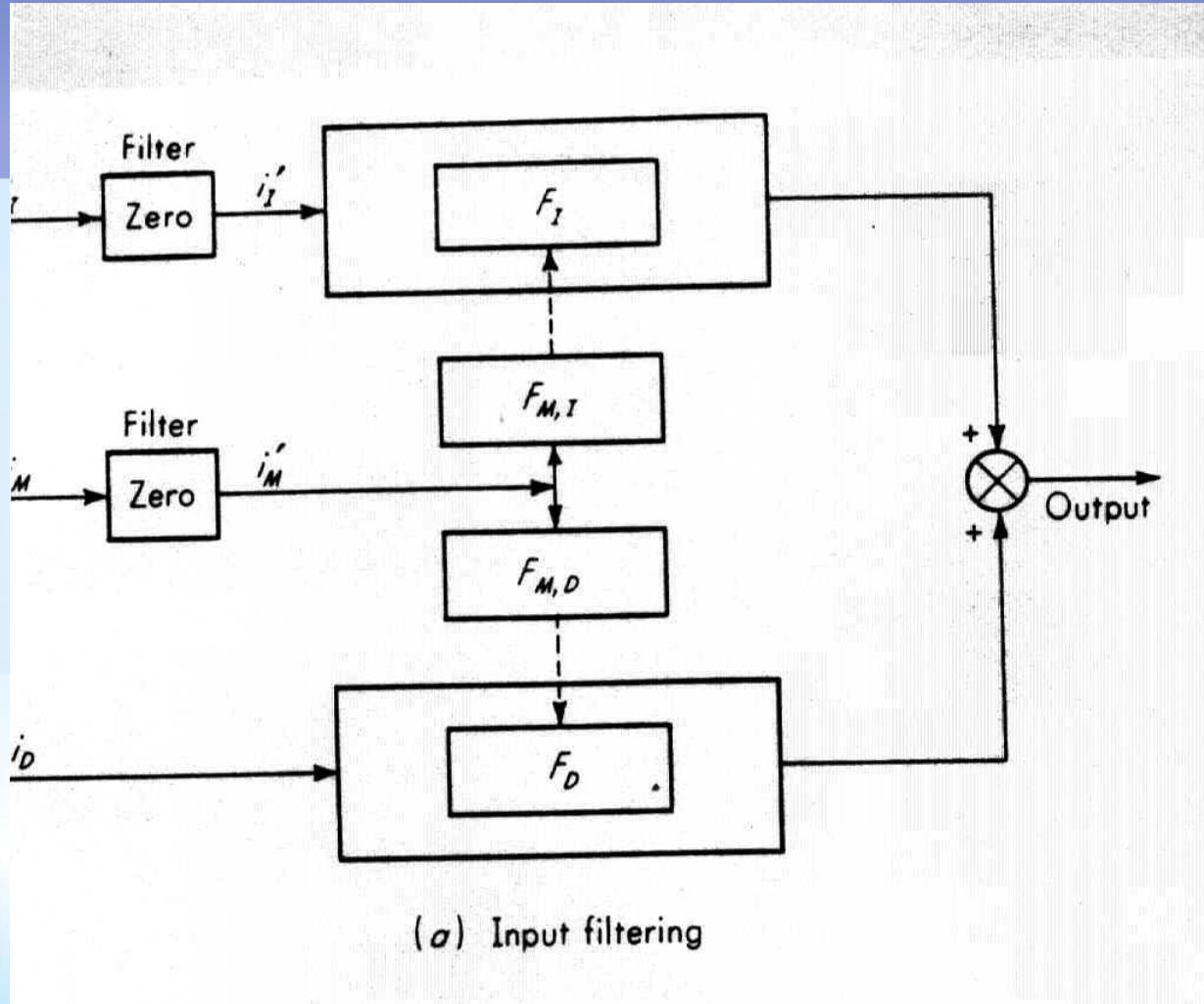
$$x_o = \frac{K_{AM} K_{Mo} K_{SP}}{1 + K_{AM} K_{Mo} K_{SP} K_{FB}} e_i$$

para:  $K_{AM} K_{Mo} K_{SP} K_{FB} \gg 1$

$$x_o \approx \frac{1}{K_{FB}} e_i$$

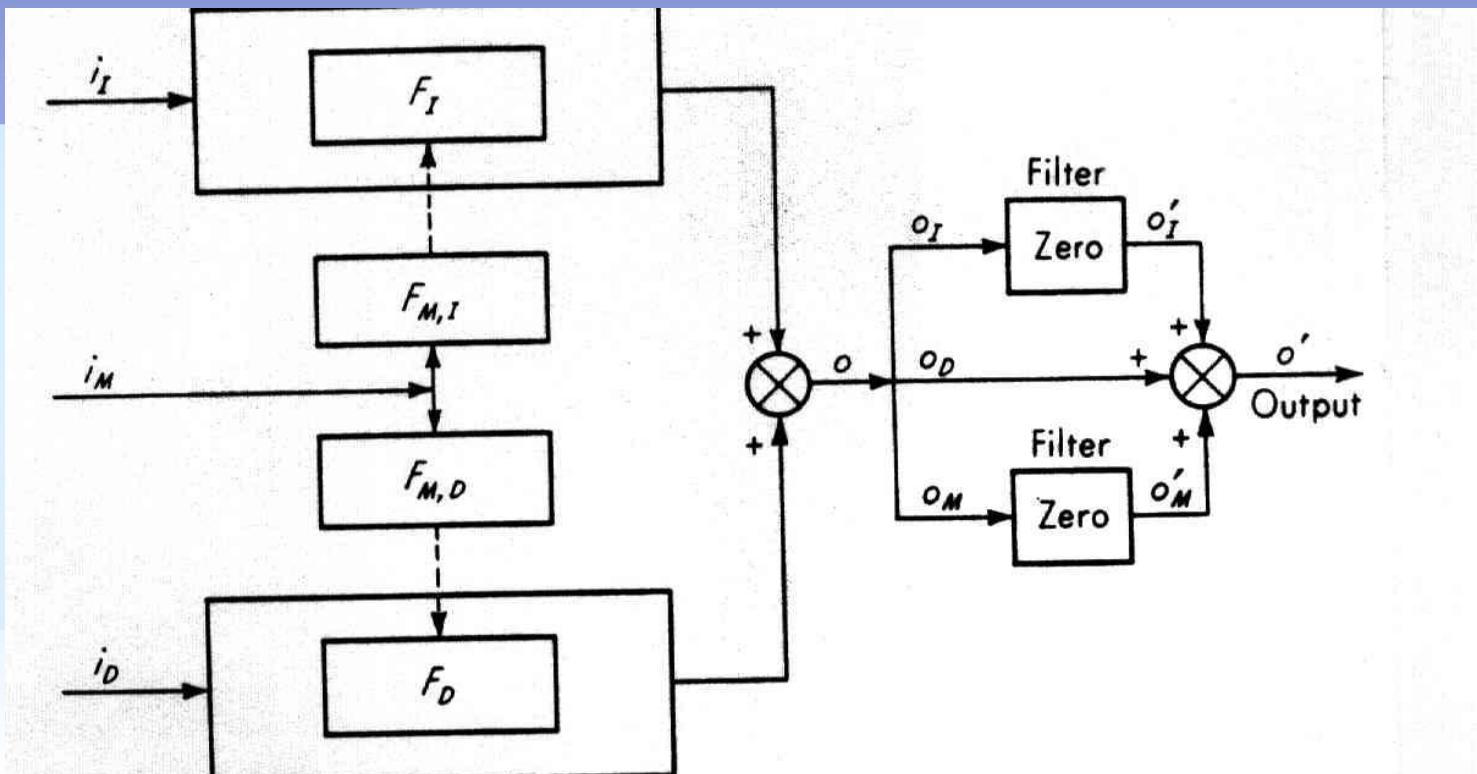
# Métodos de correção de Entradas Interferentes e Modificadoras

Filtragem de sinal nas entradas



# Métodos de correção de Entradas Interferentes e Modificadoras

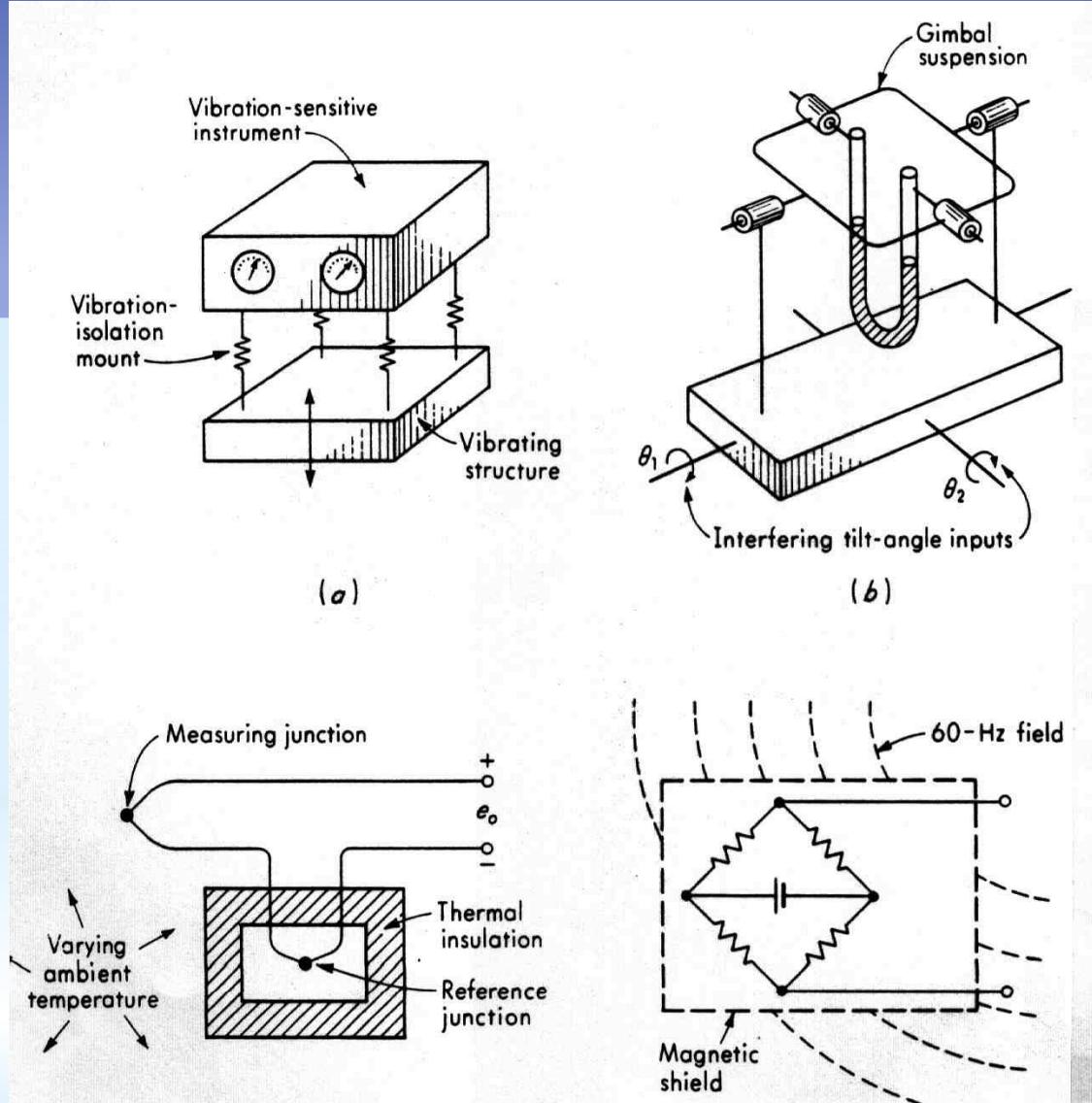
Filtragem de sinal nas saídas



(b) Output filtering

Figure 2.13 General principle of filtering.

# Exemplos de Filtragem



# Exemplos de Filtragem

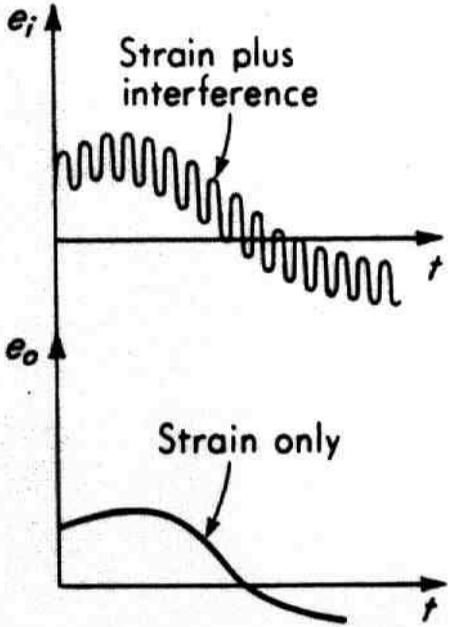
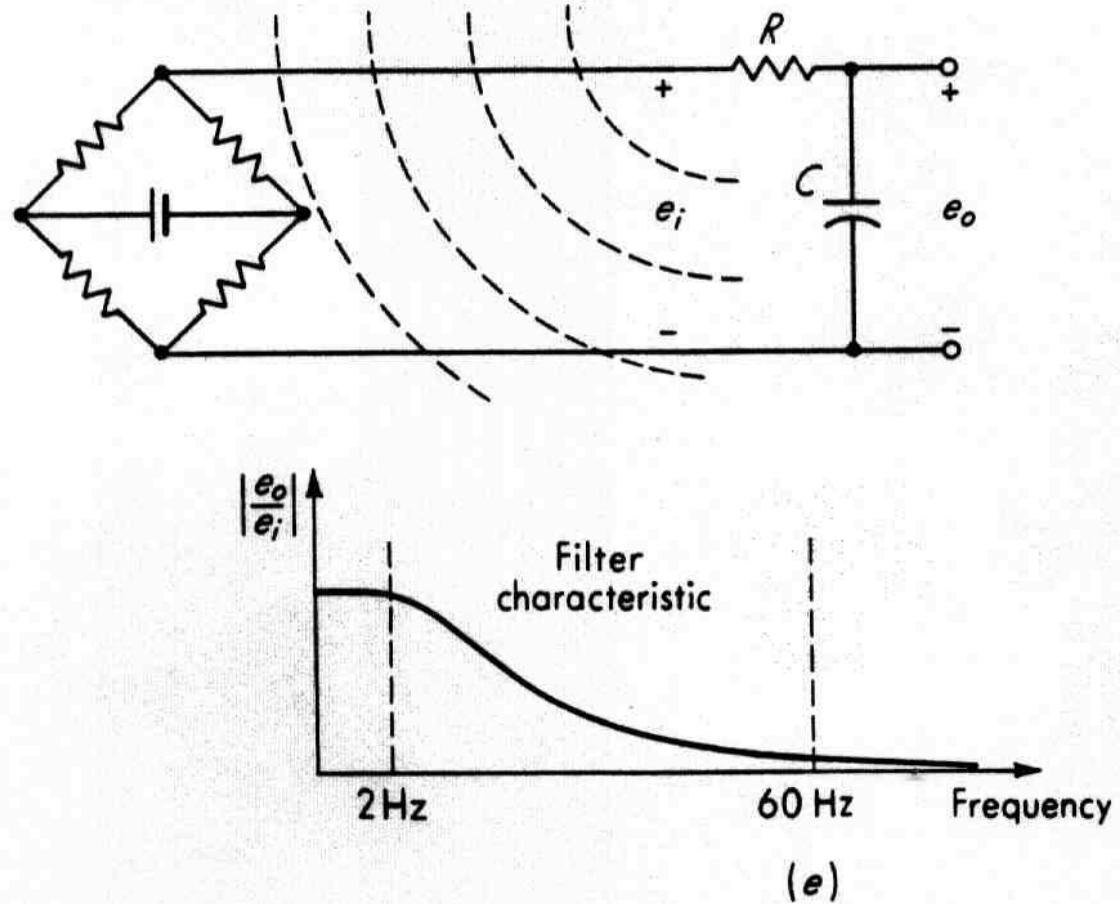
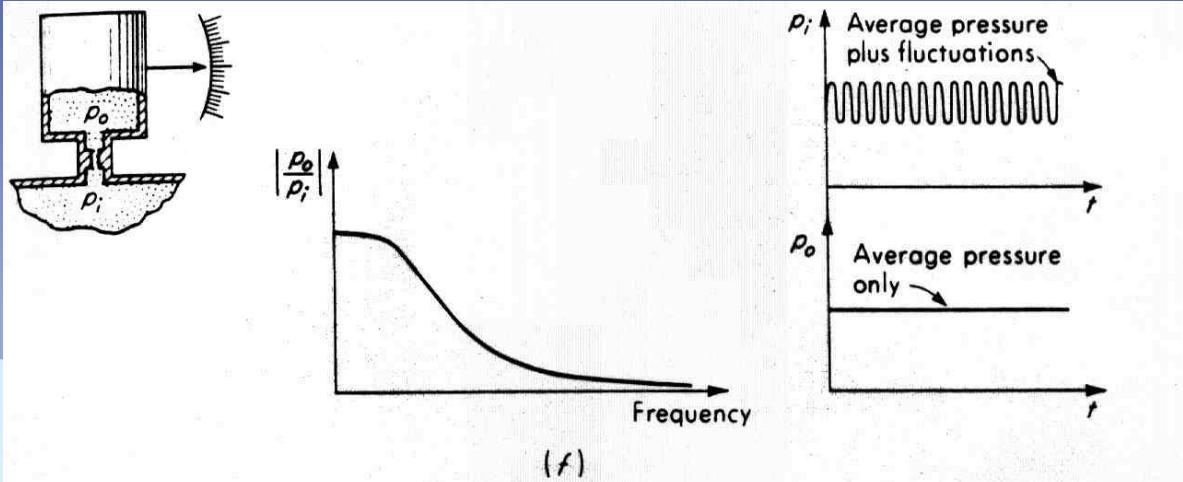
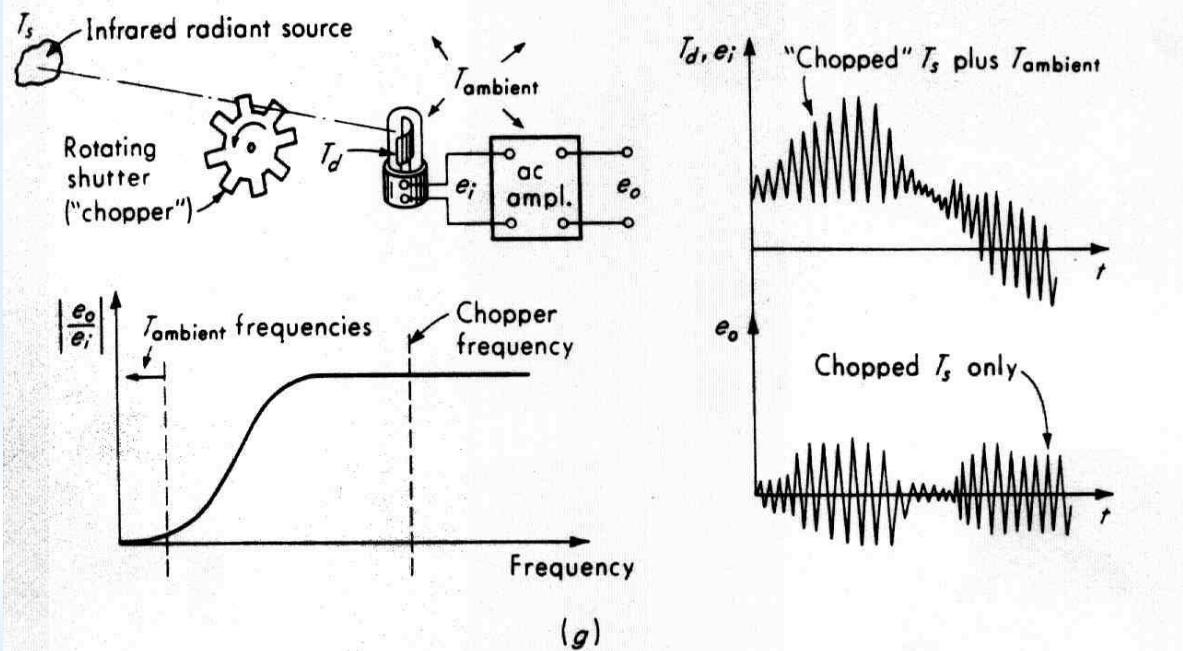


Figure 2.14 Examples of filtering.

# Exemplos de Filtragem



(f)



(g)

# Exemplos de Filtragem (tipos de Filtros)

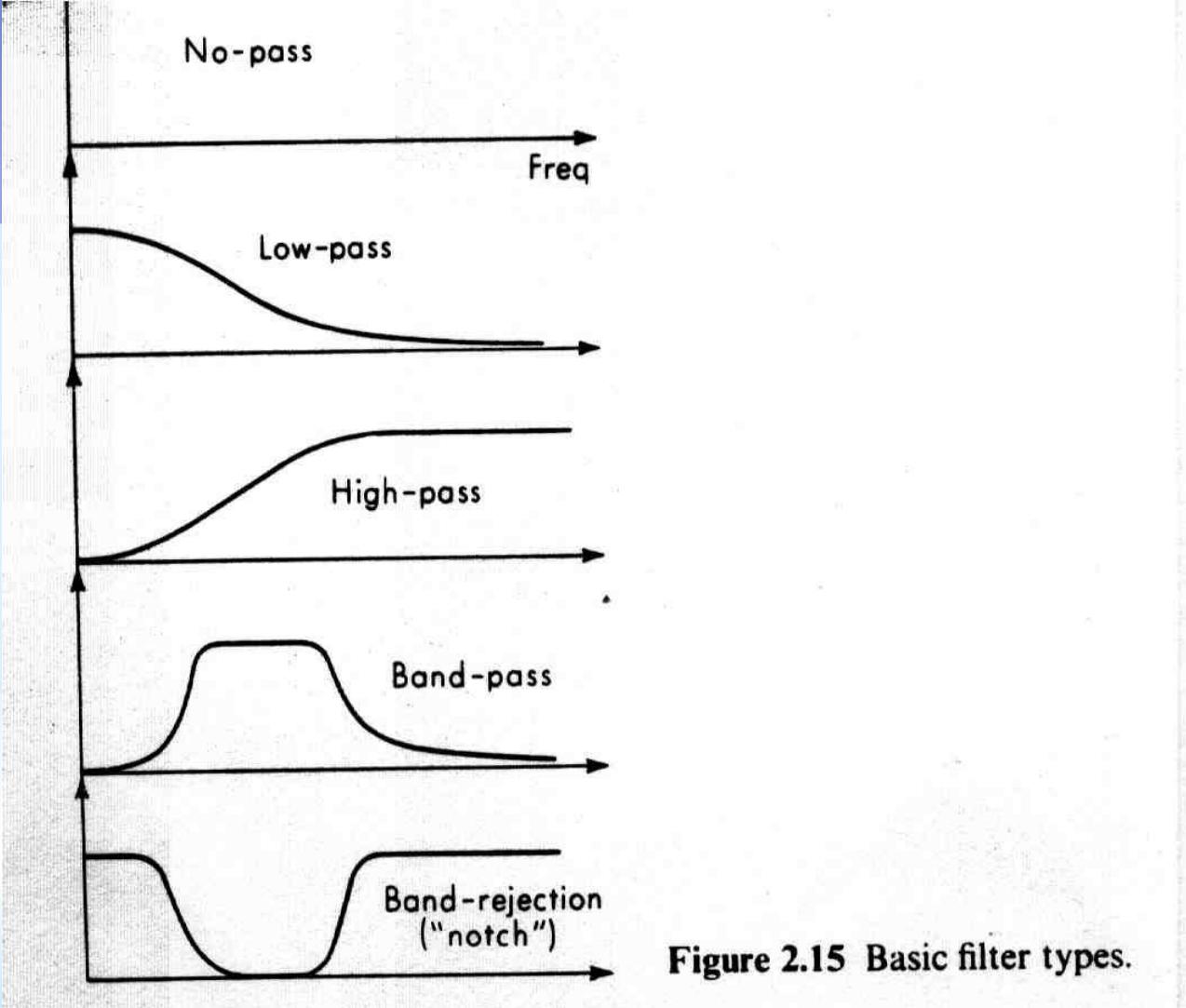
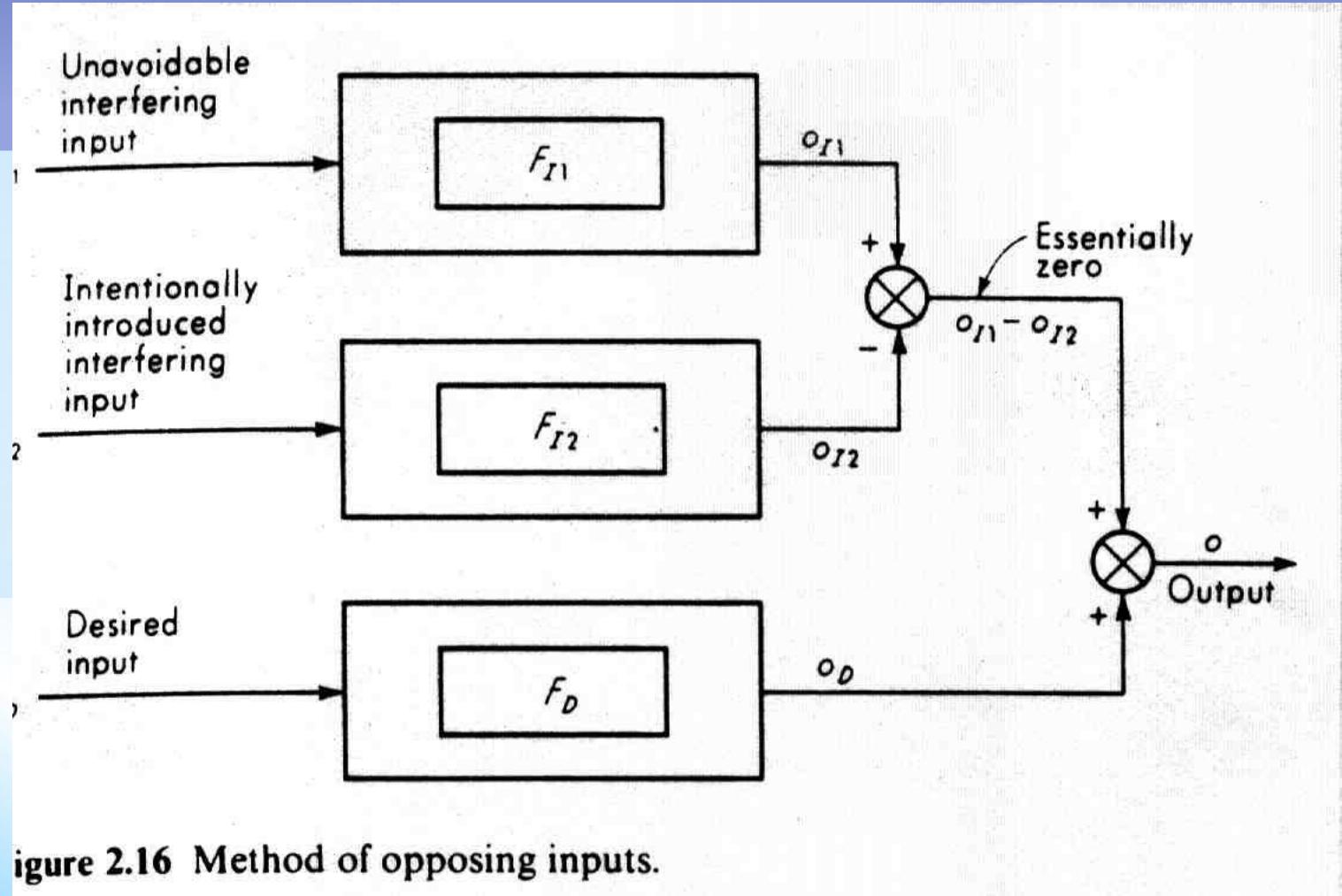


Figure 2.15 Basic filter types.

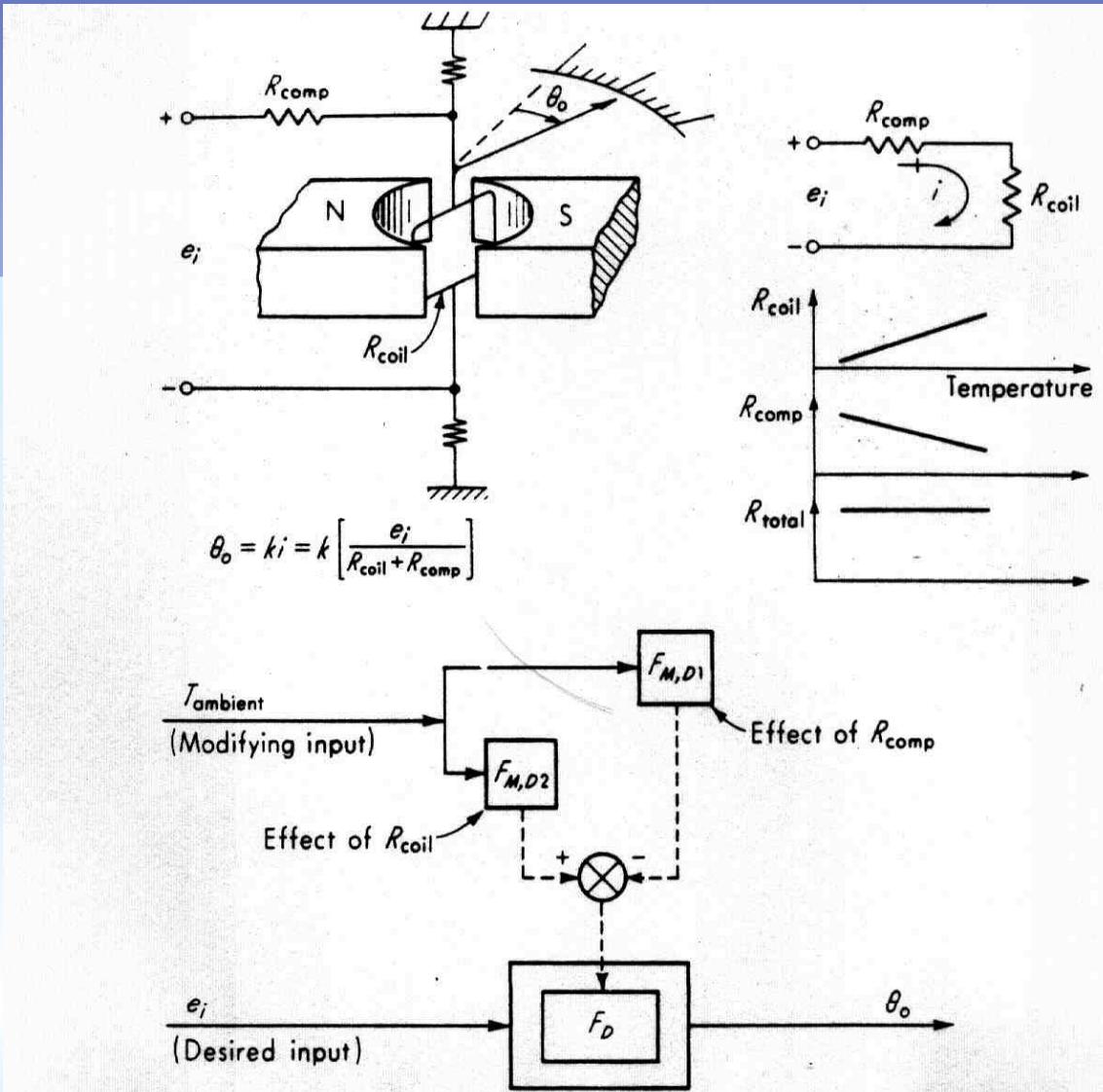
# Métodos de correção de Entradas Interferentes e Modificadoras

(saídas opostas)

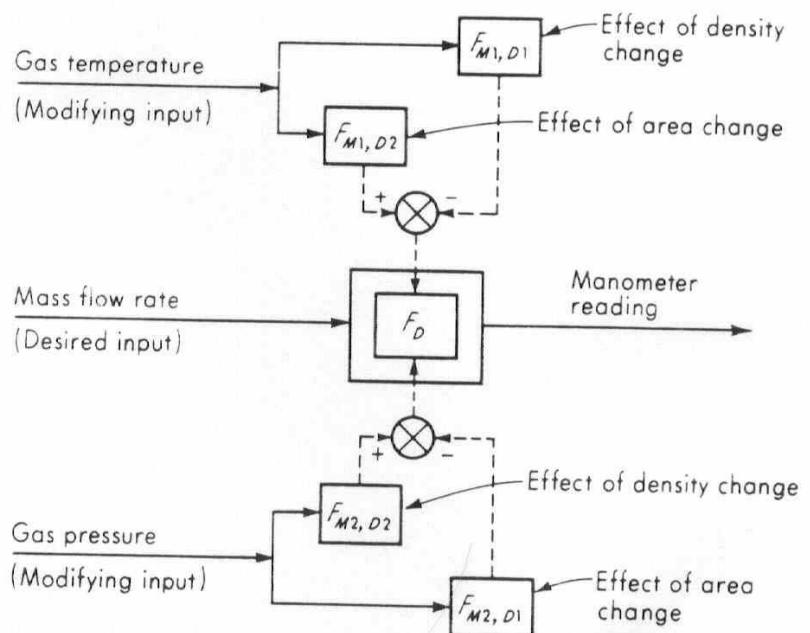
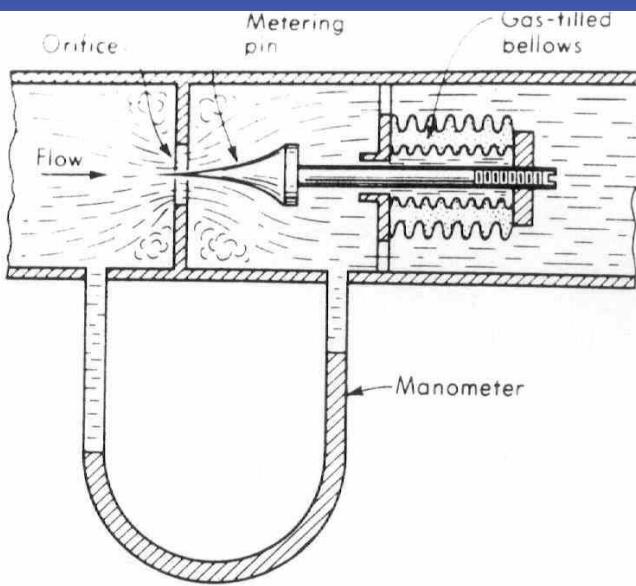


igure 2.16 Method of opposing inputs.

# Métodos de correção de Entradas Interferentes e Modificadora (saídas opostas)

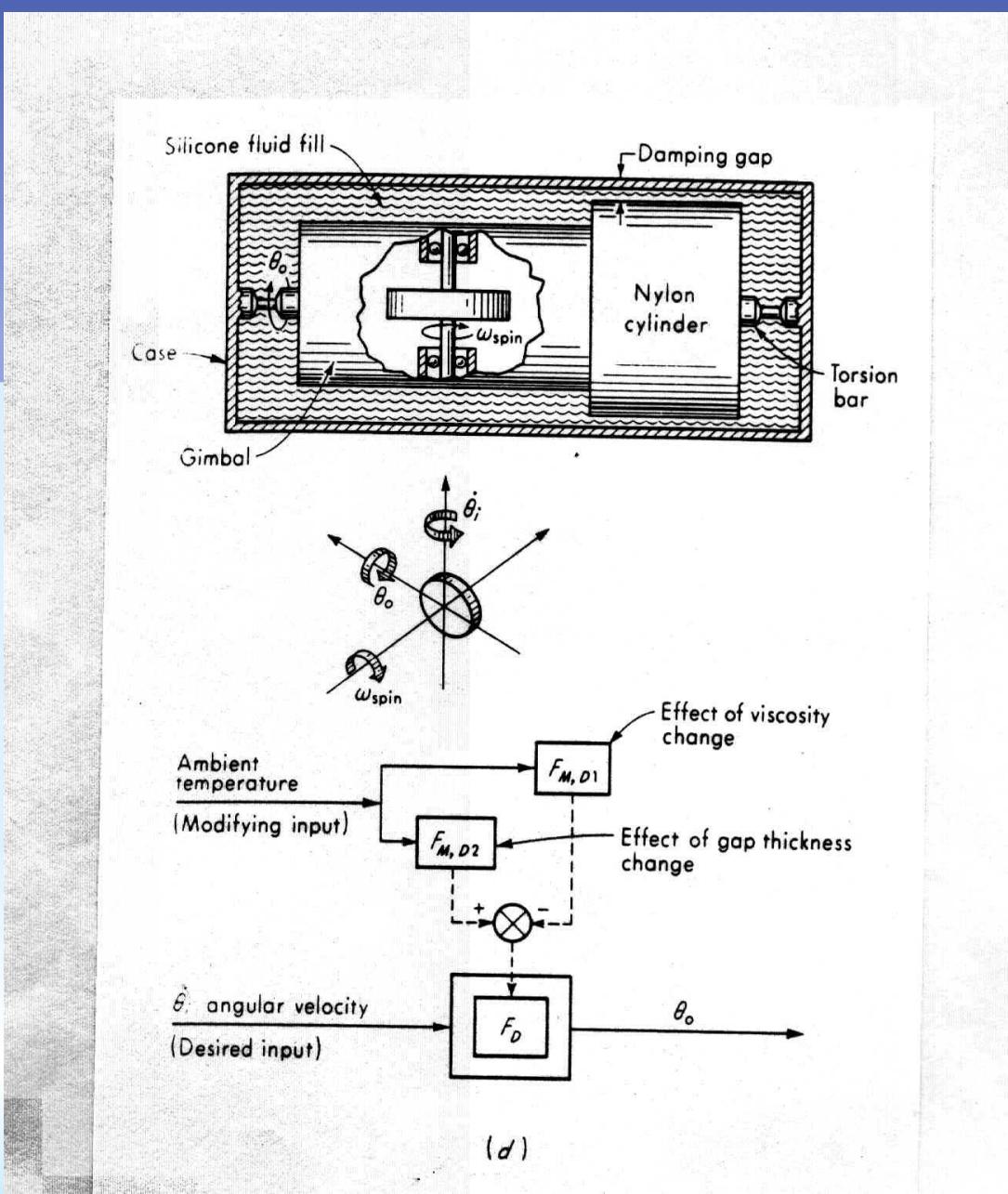


# Outro Exemplo



(c)

# Exemplos



# Exemplos

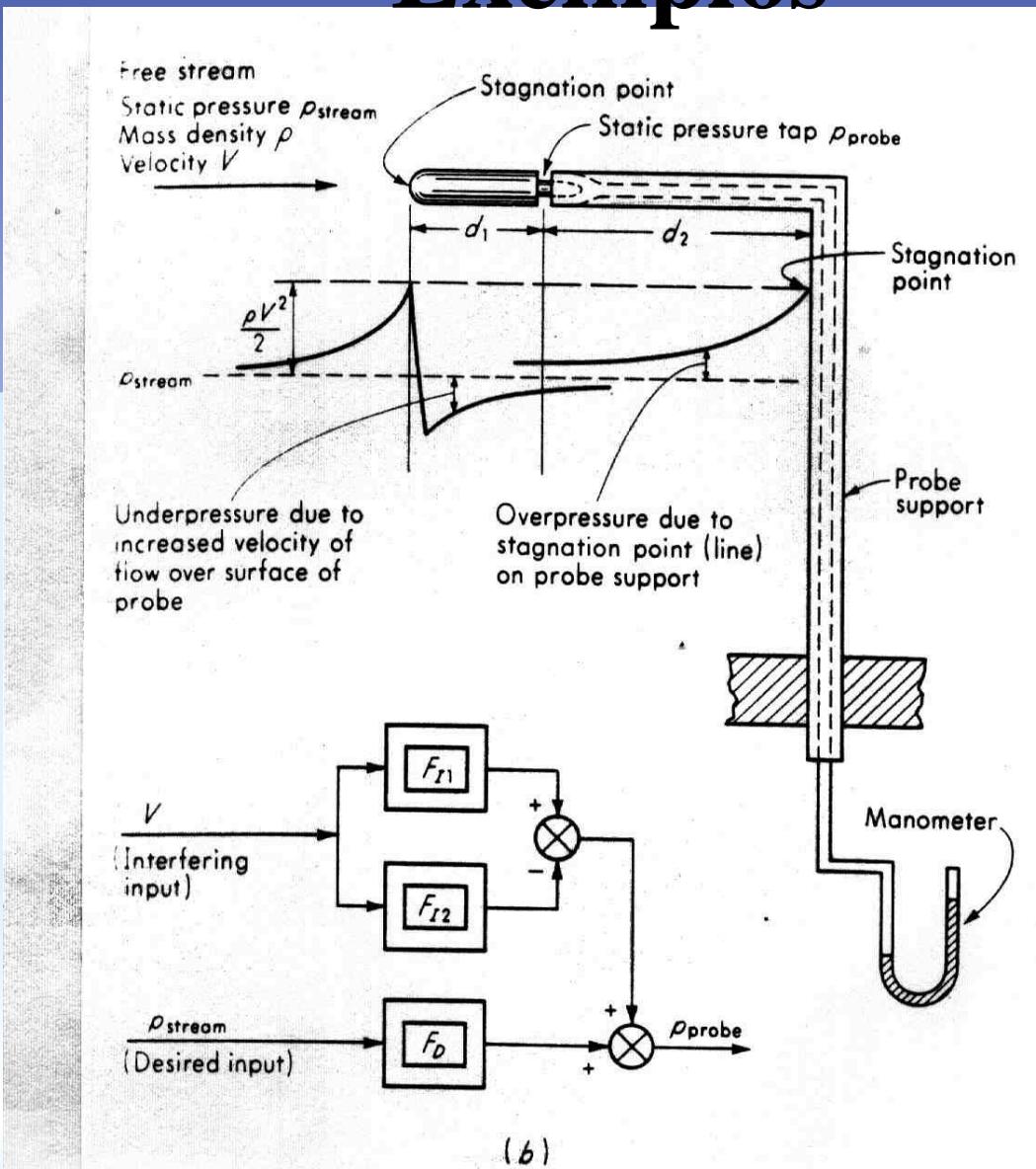


Figure 2.17 (Continued)

# O tubo de Pitot

FLOW MEASUREM

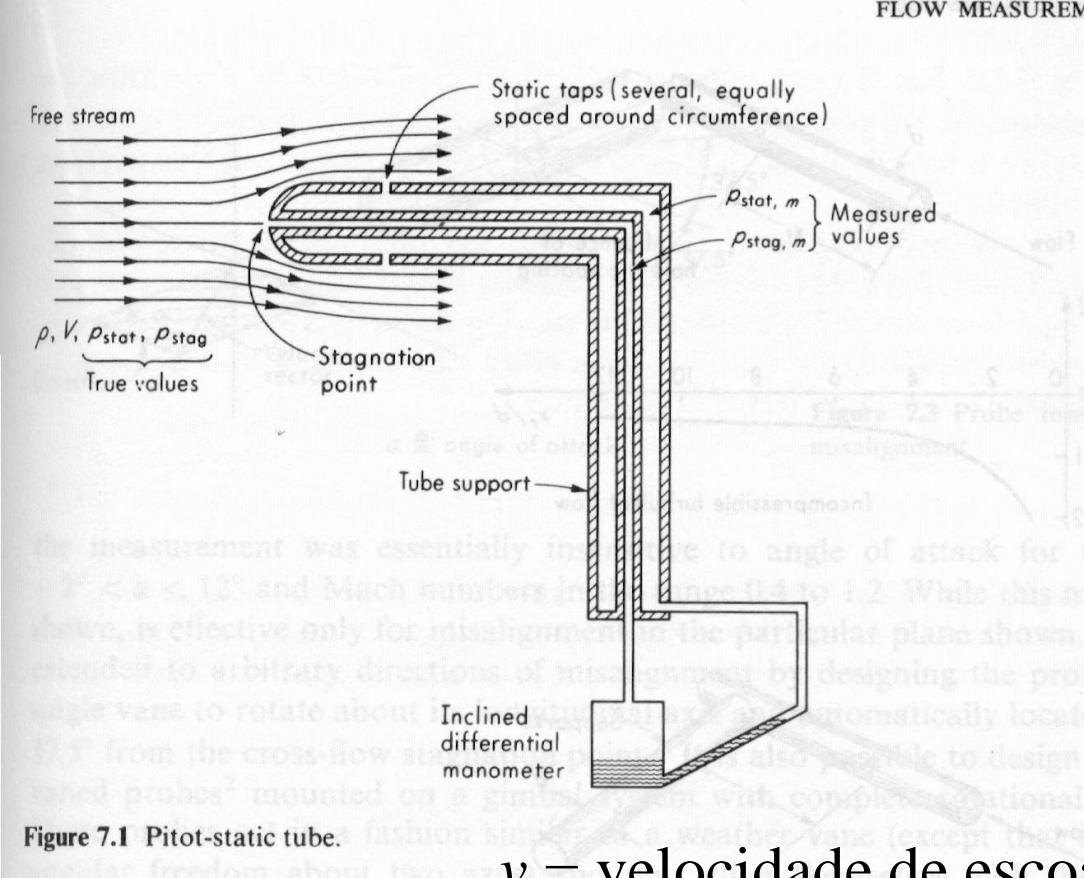


Figure 7.1 Pitot-static tube.

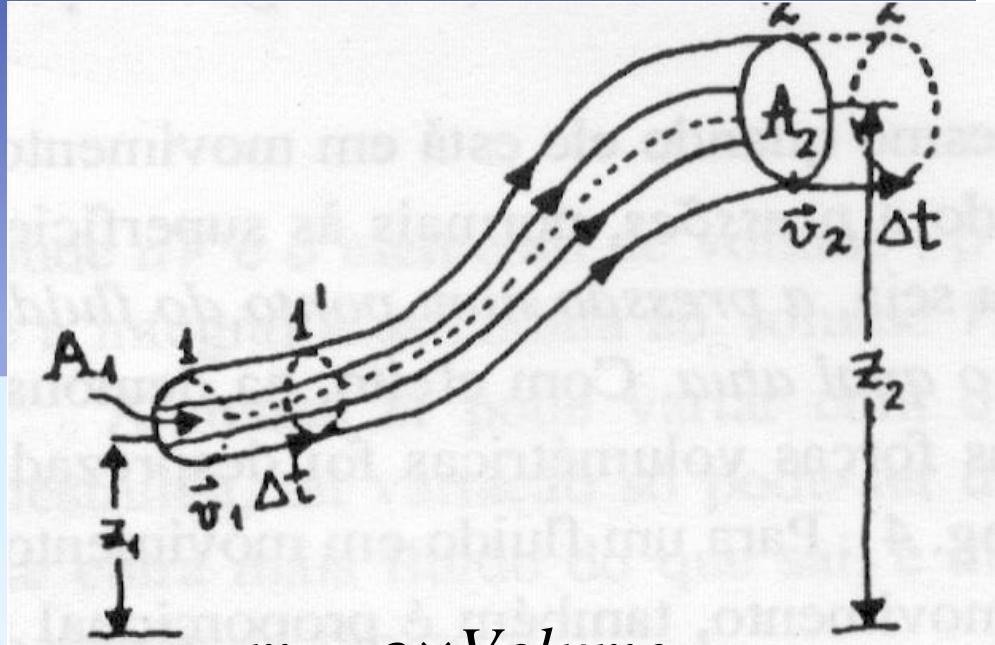
$$v = \sqrt{\frac{2(p_{stag} - p_{sta})}{\rho}}$$

$\rho$ =densidade

$P_{stag}$  = pressão de estagnação ou pressão total

$P_{sta}$ = pressão estática

# A equação de Bernoulli



$$m = \rho \times \text{Volume}$$

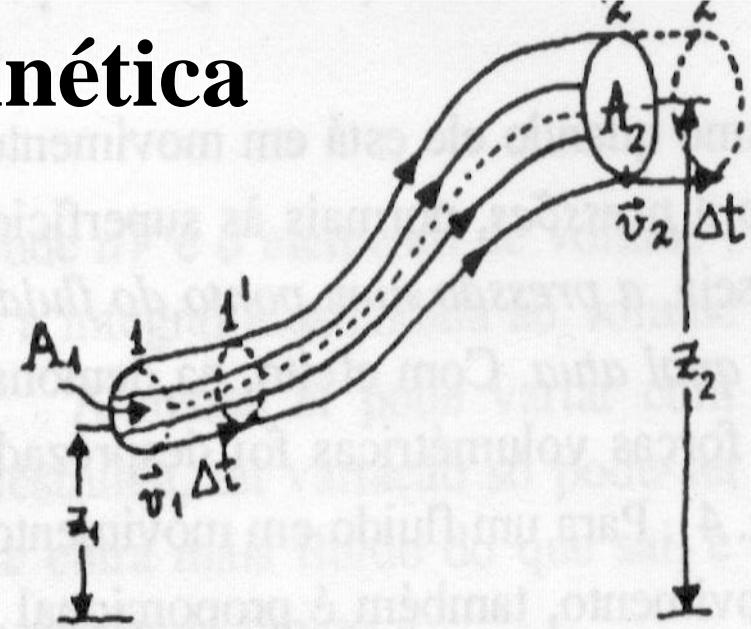
$$\text{Volume} = A v \Delta t$$

$$\therefore m = \rho A v \Delta t$$

$$\Delta m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t = \Delta m_2$$

# Trabalho realizado devido à Energia Cinética

$$\Delta T = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2$$



# Trabalho realizado pelas forças externas: Pressão e Gravidade

Pressão (P) é igual a  $F/A$

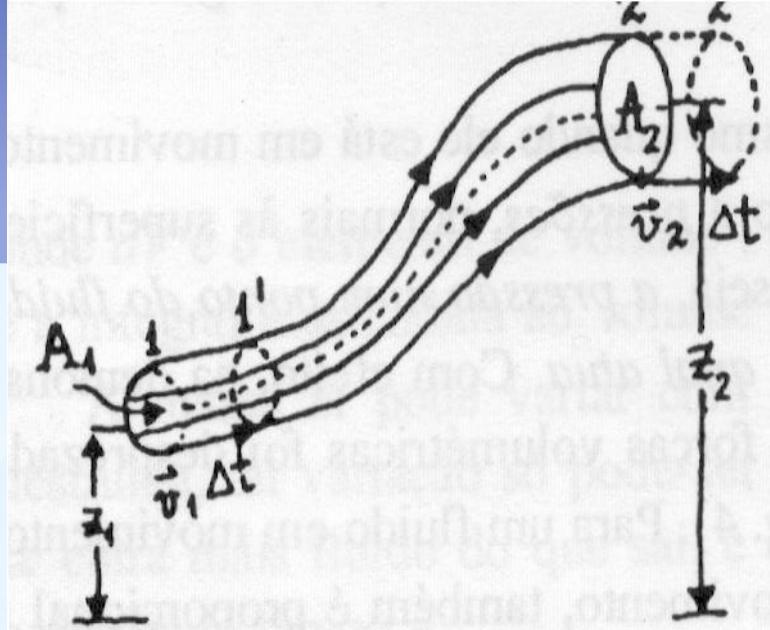
Trabalho =  $(P \times A) \times d \times \cos\theta$

$$d = v_I \Delta t$$

$$(p_1 A_1)(v_1 \Delta t) - (p_2 A_2)(v_2 \Delta t)$$

 *Re-agrupando*

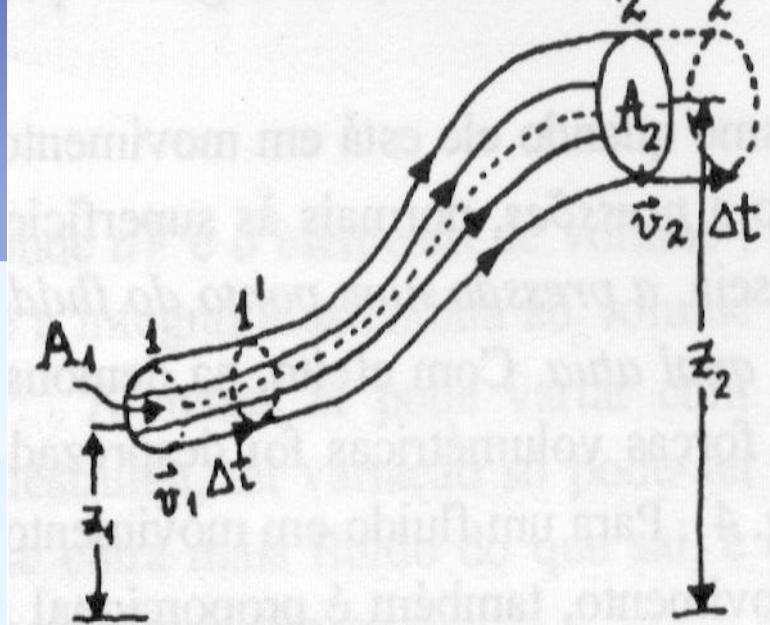
$$p_1 (A_1 v_1 \Delta t) - p_2 (A_2 v_2 \Delta t)$$



# Trabalho devido à energia gravitacional

O trabalho realizado pelas energias gravitacionais é contrário à variação da energia potencial gravitacional

$$-g(\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1)$$



# Obtendo a equação de Bernoulli

Trabalho\_Energ\_Cinética = Trabalho\_forças\_externas

$$\frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 = p_1(A_l V_1 \Delta t) - p_2(A_2 V_2 \Delta t) - g(\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1)$$
$$= \Delta m_1 / \rho \quad = \Delta m_2 / \rho$$

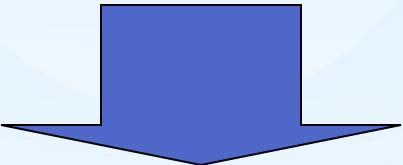
Como  $\Delta m_1 = \Delta m_2$  temos:

$$\frac{1}{2} v_2^2 + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} = \frac{1}{2} v_1^2 + gz_1 + \frac{p_1}{\rho}$$

# Equação de Bernoulli

$$\frac{1}{2}v_2^2 + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} = \frac{1}{2}v_1^2 + gz_1 + \frac{p_1}{\rho}$$

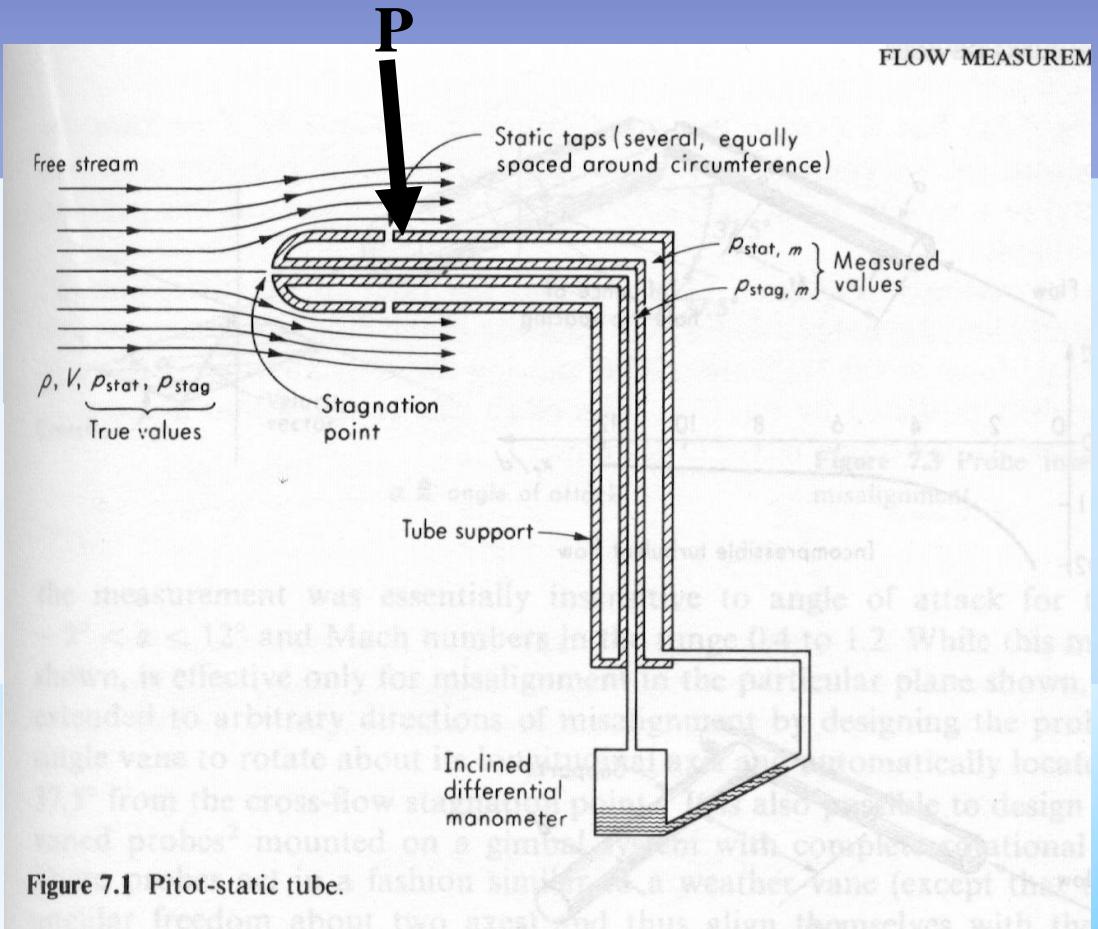
Multiplicado por  $\rho$  temos:



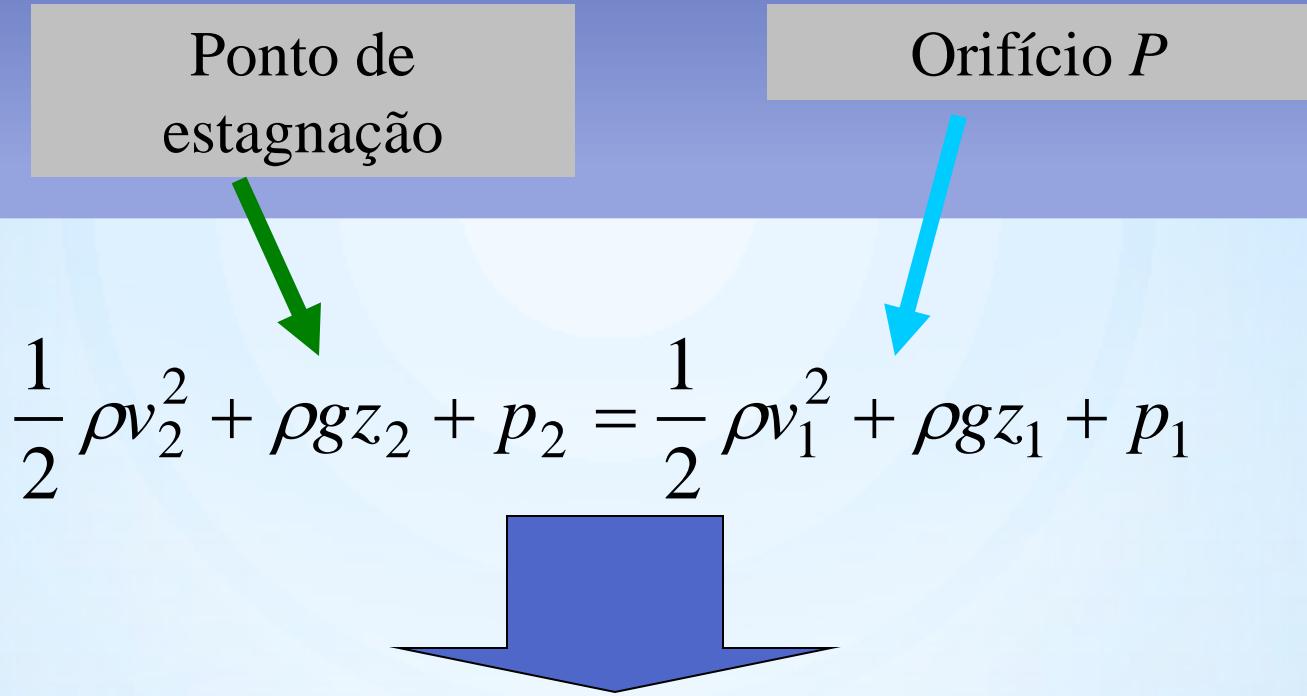
$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gz_2 + p_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gz_1 + p_1$$

# Como aplicar a equação de Bernoulli para o tubo de Pitot

- No ponto de estagnação temos  $v = 0$
- No orifício P temos que a velocidade de escoamento  $v$  não é alterada



# Vamos a assumir que a diferença de altura é desprezível



$$p_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 \rightarrow \sqrt{2 \times \left( \frac{p_2 - p_1}{\rho} \right)} = v_1 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2(p_{stag} - p_{sta})}{\rho}}$$