

# **ENG1027: Instrumentação Eletrônica**



## 2.3) Medição de Parâmetros Elétricos

⌘ Usualmente, dois tipos de equipamentos :

⌘ Medidores analógicos

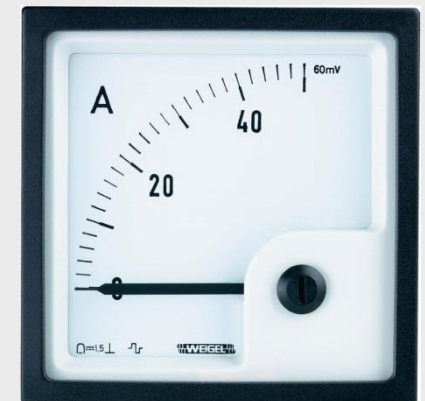
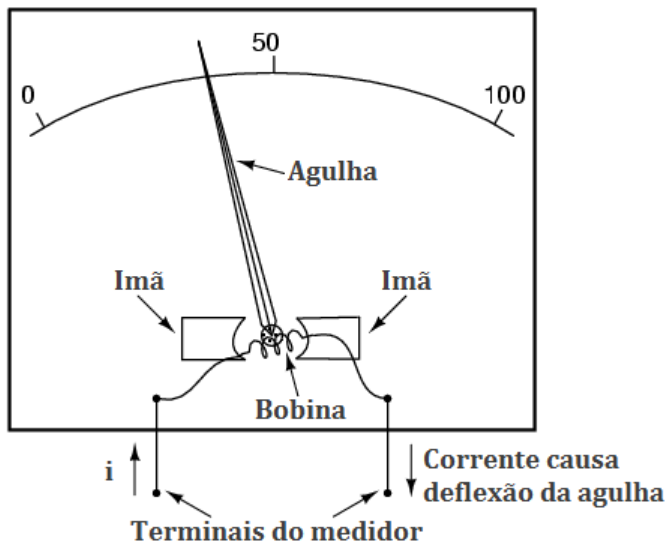
☒ Ex.: Voltímetro, Amperímetro, Ohmímetro, Osciloscópio

⌘ Medidores digitais

☒ Multímetro digital, Osciloscópio, sistema de aquisição de dados, PLC's

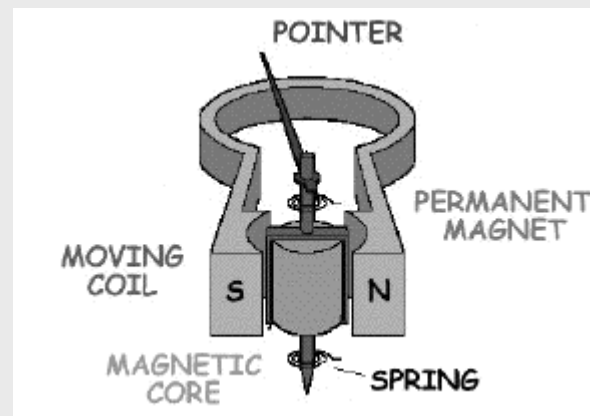
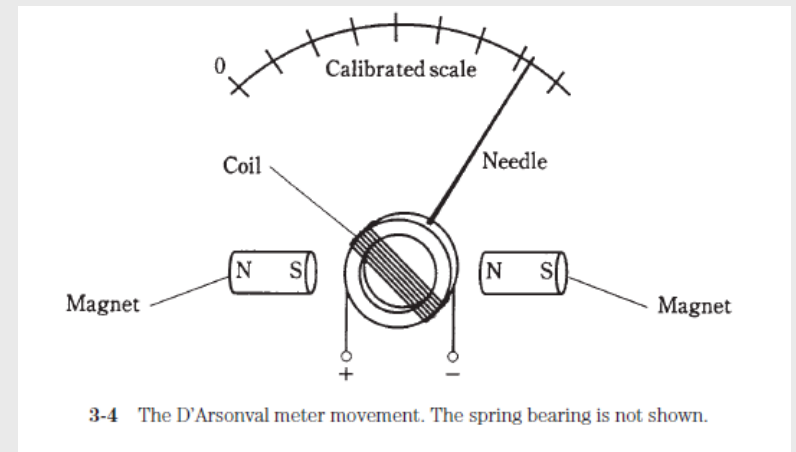
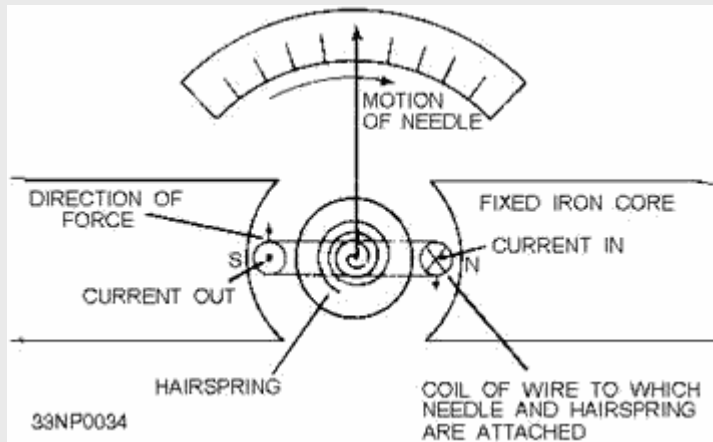
# 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

## ⌘ Galvanômetro



# 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

## ⌘ Galvanômetro



## 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

### ⌘ Galvanômetro

- ☑ Força é gerada por condutor em um campo magnético

$$F = NBiL$$

- ☑ Onde N é o número de espiras, B é a intensidade do campo magnético, i é a corrente e L o comprimento de cada espira.

## 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

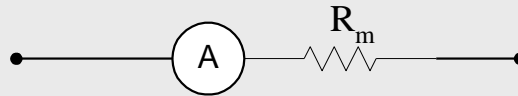
### ⌘ Galvanômetro

- ☒ É inerentemente um **amperímetro**
- ☒ Pode ser usado para medição de **correntes CC**, **tensões CC** e **resistências**
- ☒ Principal característica: "**sensibilidade**" de **fundo de escala**: valor da corrente que deflete o ponteiro para o **máximo da escala**
  - ☒ Valores típicos: **1,0 mA / 10  $\mu$ A**
- ☒ Exatidão típica: **1-5%**

## 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

### ⌘ Galvanômetro

☑ Circuito equivalente:

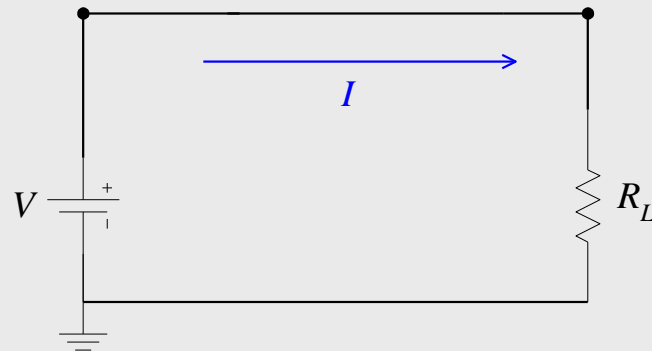


☑  $A$ : amperímetro ideal (resistência nula)

☑  $R_m$ : resistência do galvanômetro

# 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

## ⌘ Amperímetro



$$I = \frac{V}{R_L}$$

$$V = 10\text{V}$$
$$R_L = 1000\Omega$$

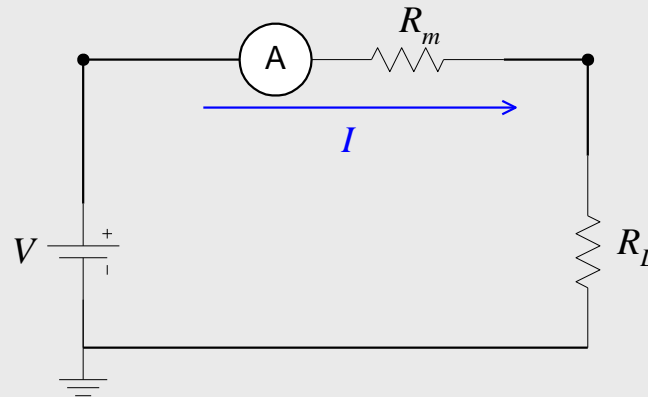


$$I = 10\text{mA}$$



# 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

## ⌘ Amperímetro



$$I = \frac{V}{R_L + R_m}$$

$$V = 10\text{V}$$

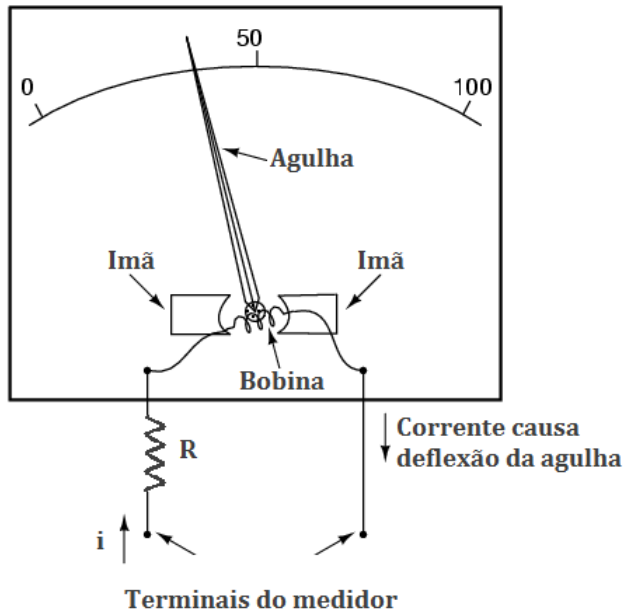
$$R_L = 1,0 \text{ k}\Omega$$

$$R_m = 1\Omega$$

$$I = I_m = 9.99\text{mA}$$

# 2.3a) Voltímetro (Analógicos)

## ⚡ Voltímetro

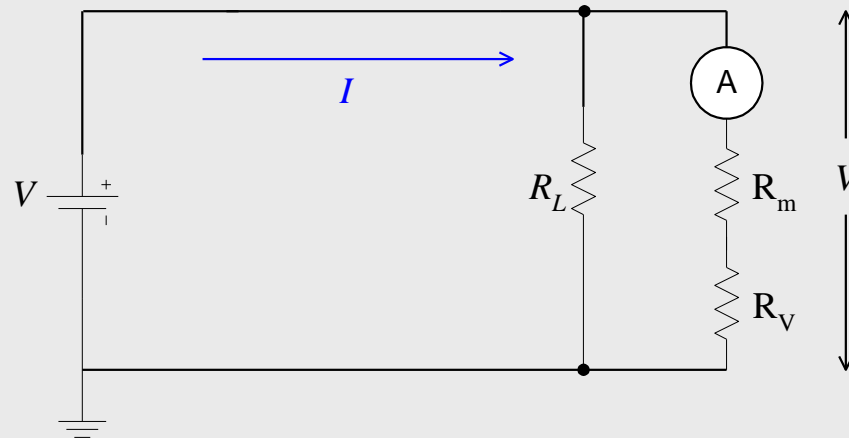


- ⏏ O mecanismo é o mesmo do galvanômetro, adiciona-se somente um resistor.

## 2.3a) Voltímetro (Analógicos)

⌘ Voltímetro: acrescentando resistor  $R_V$

$$V = (R_m + R_V) \cdot I$$



$$V = 10V$$

$$I = 1mA$$

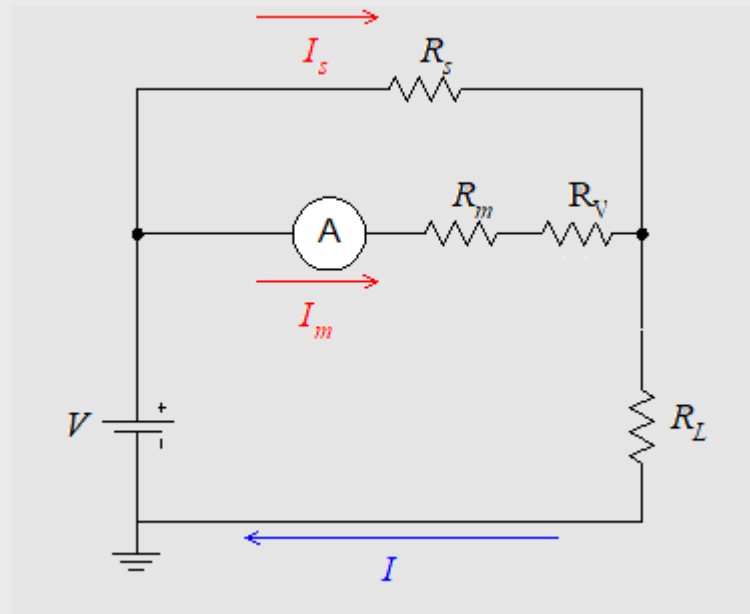
$$R_m = 1\Omega$$



$$R_V = 10k\Omega$$

## 2.3a) Amperímetro (Analógicos)

⌘ Amperímetro com "shunt" resistivo



$$= \frac{V}{R_L + (R_m + R_v) // R_s}$$

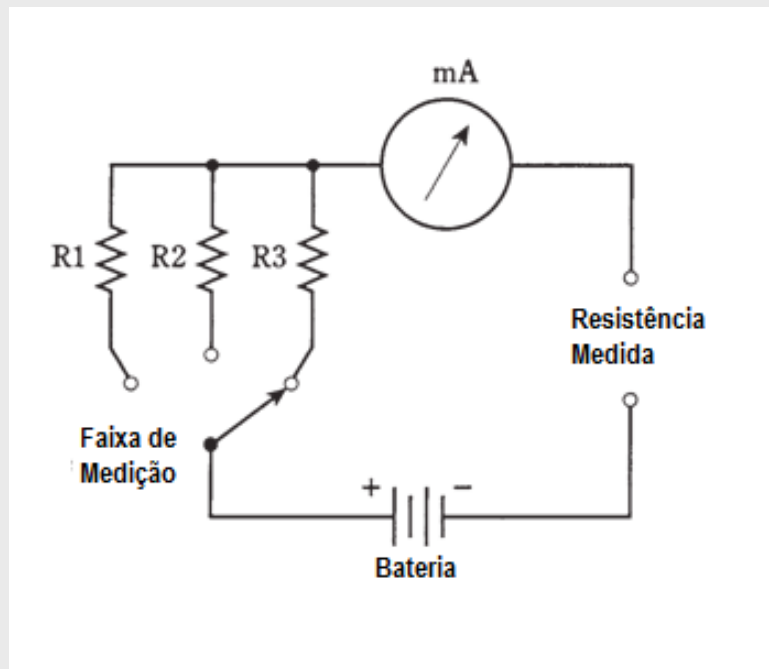
$$I = I_m + I_s$$

$$I_m (R_m + R_v) = I_s R_s$$

$$I = I_s \left( 1 + \frac{R_s}{R_m + R_v} \right)$$

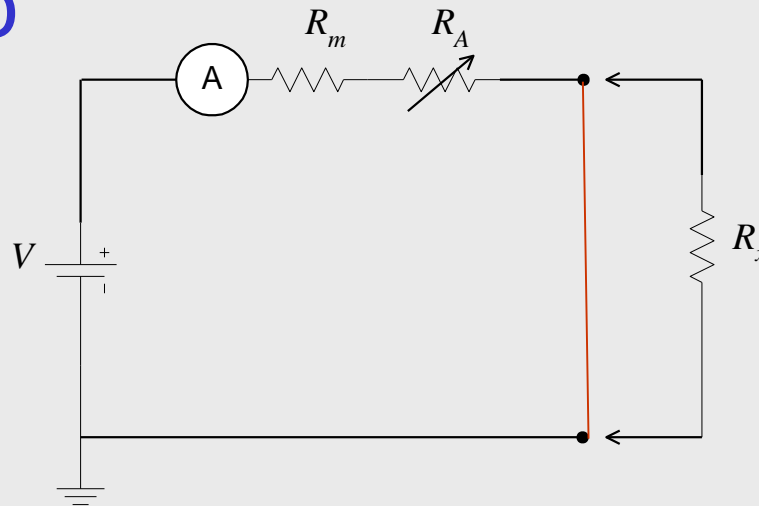
# 2.3a) Ohmímetro (Analógicos)

## ⌘ Ohmímetro



# 2.3a) Ohmímetro (Analógicos)

## ⌘ Ohmímetro



⏏ Inicialmente:  $R_x = 0$



$$V = (R_m + R_A) \cdot I_{\max}$$



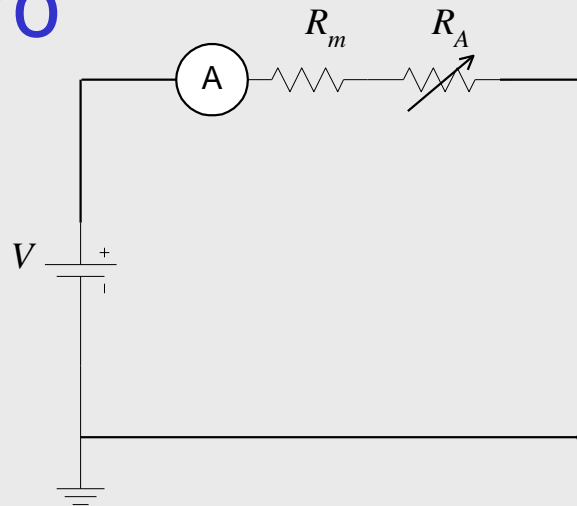
$$R_m + R_A = \frac{V}{I_{\max}}$$



$$R_A = \frac{V}{I_{\max}} - R_m$$

## 2.3a) Ohmímetro (Analógicos)

### ⌘ Ohmímetro



$$V = 5\text{V}$$

$$I_{\text{max}} = 1\text{mA}$$

$$R_m = 1\Omega$$

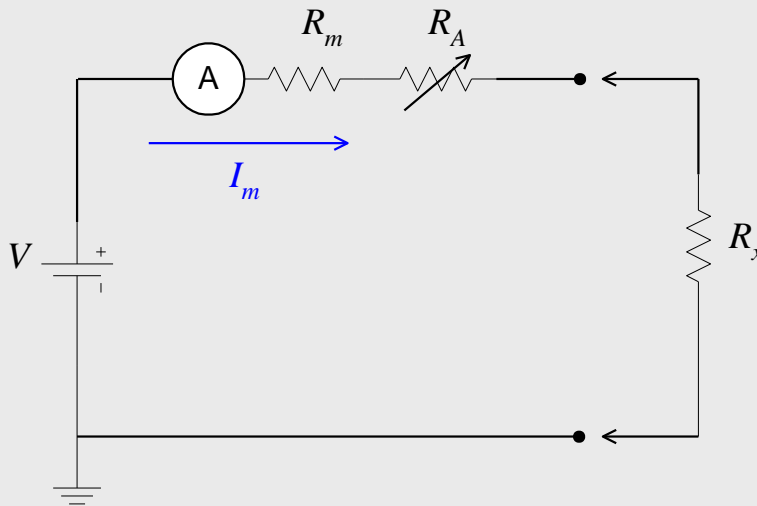
$$R_A = \frac{5}{1 \times 10^{-3}} - 1$$

$$R_A \approx 5\text{k}\Omega$$

# 2.3a) Ohmímetro (Analógicos)

## ⌘ Ohmímetro

☑ Incluindo o resistor a ser medido ( $R_x$ ):



$$V = (R_m + R_A + R_x) \cdot I_m$$

$$V = (R_m + R_A) \cdot I_{\max}$$



$$R_x = V \left( \frac{1}{I_m} - \frac{1}{I_{\max}} \right)$$

**RELAÇÃO NÃO LINEAR!**



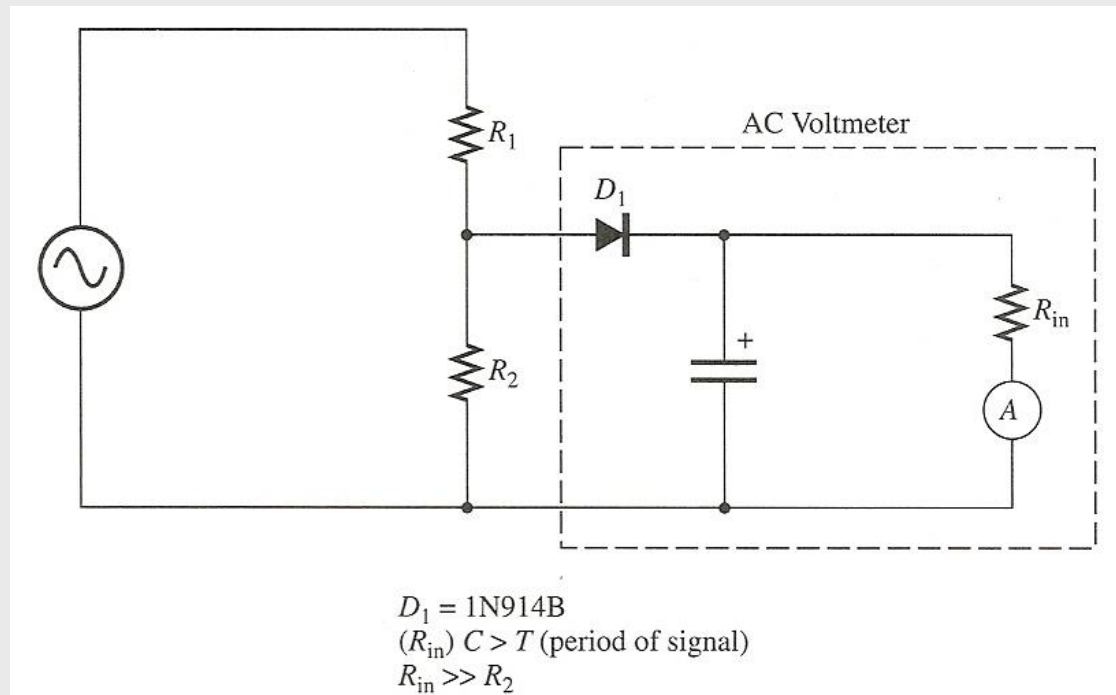
## 2.3a) Multímetros (Analógicos)

### ⌘ Medição CA

- ⊞ Não é possível conectar o sinal CA diretamente ao galvanômetro
  - ⊞ Ciclos negativos cancelam os ciclos positivos
- ⊞ É preciso inicialmente retificar o sinal (diodos)

# 2.3a) Multímetros (Analógicos)

## ⌘ Medição CA



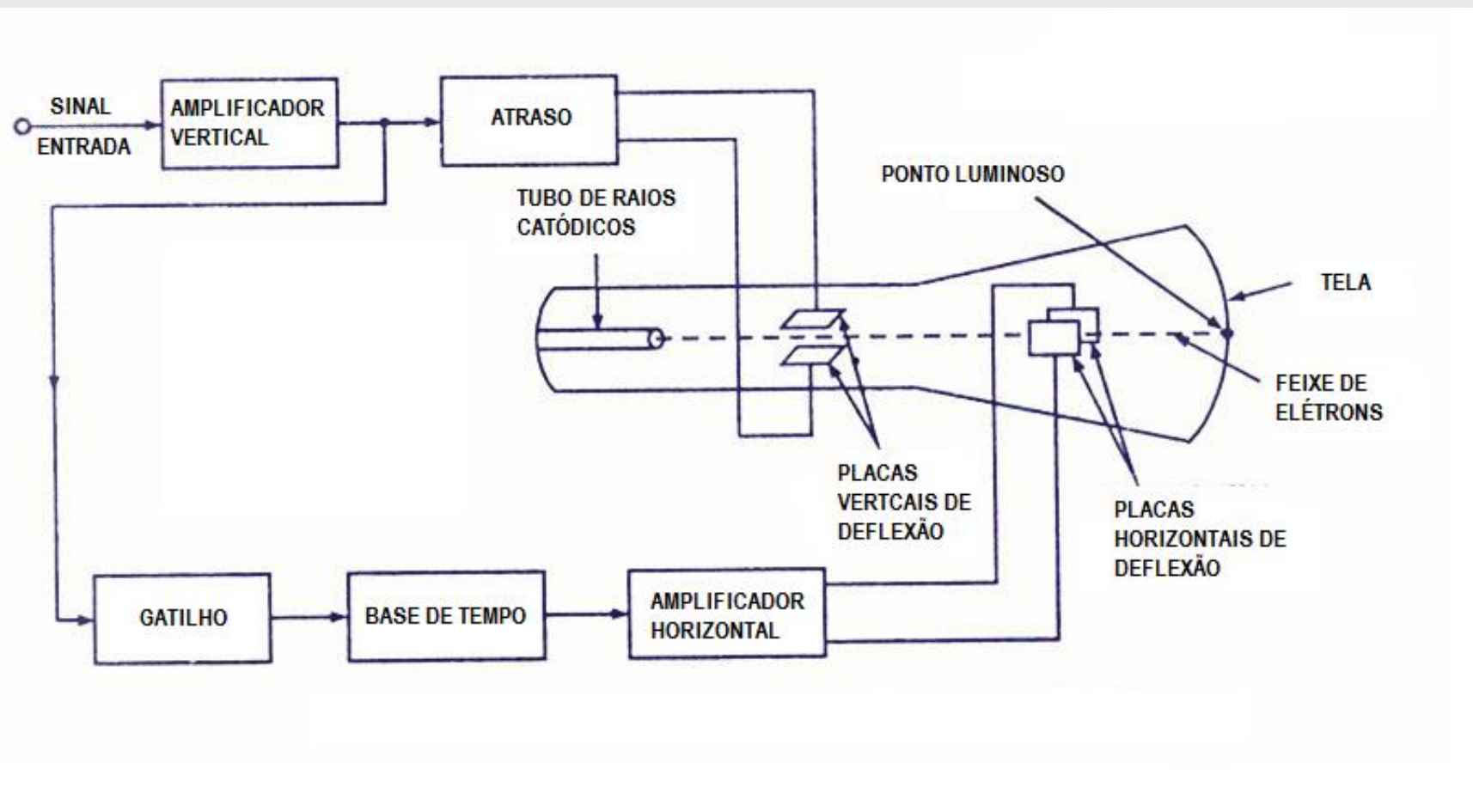
Mede o VALOR DE PICO do sinal CA  
Offsets CC causam discrepância na medição!

## 2.3a) Osciloscópios (Analógicos)



- ⏏ Permite visualizar sinais dinâmicos.
- ⏏ Resposta na faixa de MHz podendo chegar a GHz.

## 2.3a) Osciloscópios (Analógicos)



## 2.3a) Multímetros (Digitais)

### ⌘ Baseados em um Voltímetro Digital (DVM)

- ☑ Nada mais é que um Digitalizador de Tensão (Amostrador + Conversor A/D)
- ☑ A medição de **tensão** (voltímetro) utiliza somente o **DVM**
- ☑ Características importantes: **número de dígitos, faixa de indicação, resolução digital, exatidão** (geralmente menor que 1%), **impedância de entrada** (típicos  $1\text{M}\Omega$  e  $10\text{M}\Omega$ )

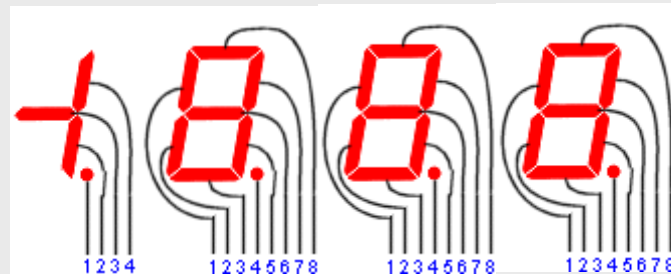
# 2.3a) Multímetros (Digitais)

⌘ Baseados em um Voltímetro Digital (DVM)



## 2.3a) Multímetros (Digitais)

⌘ Número de Dígitos: 3 ½ dígitos

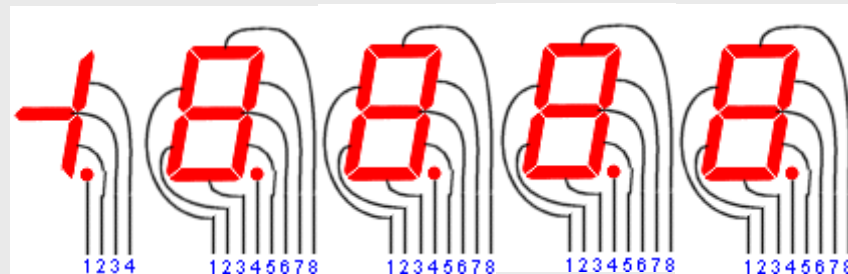


- ☑ Exibe de -1.999 até 1.999
- 19.99 até 19.99
- 199.9 até 199.9

- ☑ Exemplos: .205, 9.99, 189.9

## 2.3a) Multímetros (Digitais)

⌘ Número de Dígitos: 4 ½ dígitos



☒ Exibe de -1.9999 até 1.9999

-19.999 até 19.999

-199.99 até 199.99

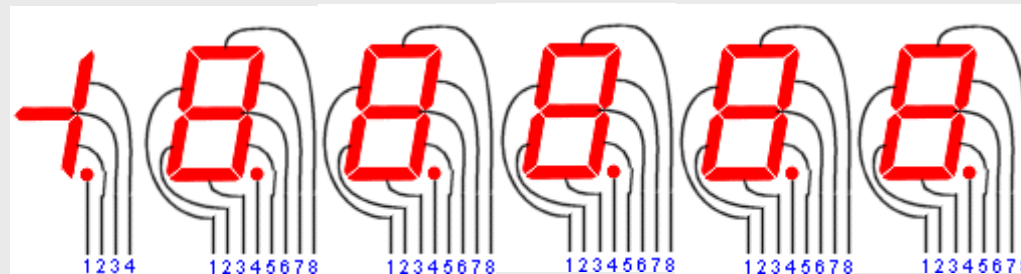
-1999.9 até 1999.9

☒ Exemplos: .2052, 9.999, 189.79



## 2.3a) Multímetros (Digitais)

⌘ Número de Dígitos: 5 ½ dígitos



- ☑ Exibe de
- 1.99999 até 1.99999
  - 19.9999 até 19.9999
  - 199.999 até 199.999
  - 1999.99 até 1999.99
  - 19999.9 até 19999.9

## 2.3a) Multímetros (Digitais)

### ⌘ Faixa de Indicação:

☒ Normalmente expresso pelo **valor máximo + um dígito menos significativo**

☒ Valores típicos:

200mV, 2V, 20V, 200V, 2000V

200Ω, 2kΩ, 20kΩ, 200kΩ, 2MΩ, 20MΩ

200μA, 200mA, 2A (10A também existem)

## 2.3a) Multímetros (Digitais)

### ⌘ Resolução:

- ☒ Valor do **dígito menos significativo**
- ☒ Depende do **número de dígitos** e da **faixa de indicação**
- ☒ Exemplo 1: **4 ½ dígitos, faixa de 200mV**
  - ☒ valor máximo indicado = 199,99 mV
  - ☒ resolução = 0,01mV = 10  $\mu$ V

## 2.3a) Multímetros (Digitais)

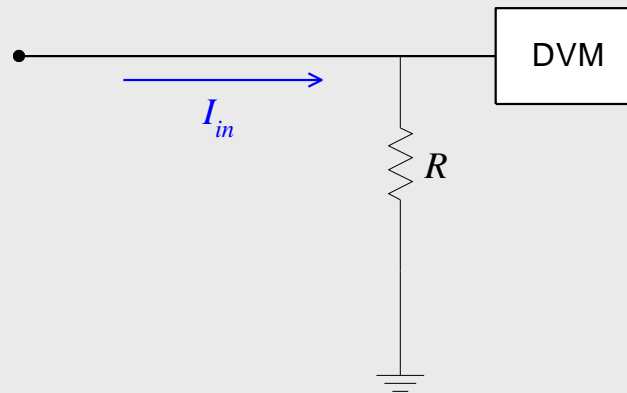
### ⌘ Resolução:

- ☒ Valor do **dígito menos significativo**
- ☒ Depende do **número de dígitos** e da **faixa de indicação**
- ☒ Exemplo 2: **6 1/2 dígitos, faixa de 200mV**
  - ☒ valor máximo indicado = 199,9999 mV
  - ☒ resolução = 0,0001mV = 0,1 μV

## 2.3a) Multímetros (Digitais)

### ⌘ Amperímetro

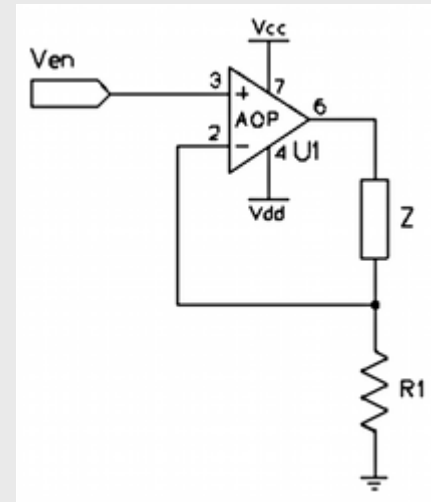
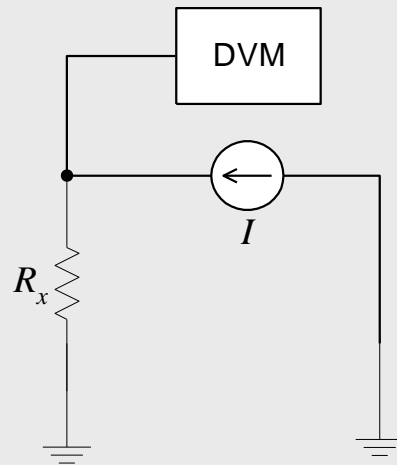
- ☑ Inclui um resistor de precisão:



# 2.3a) Multímetros (Digitais)

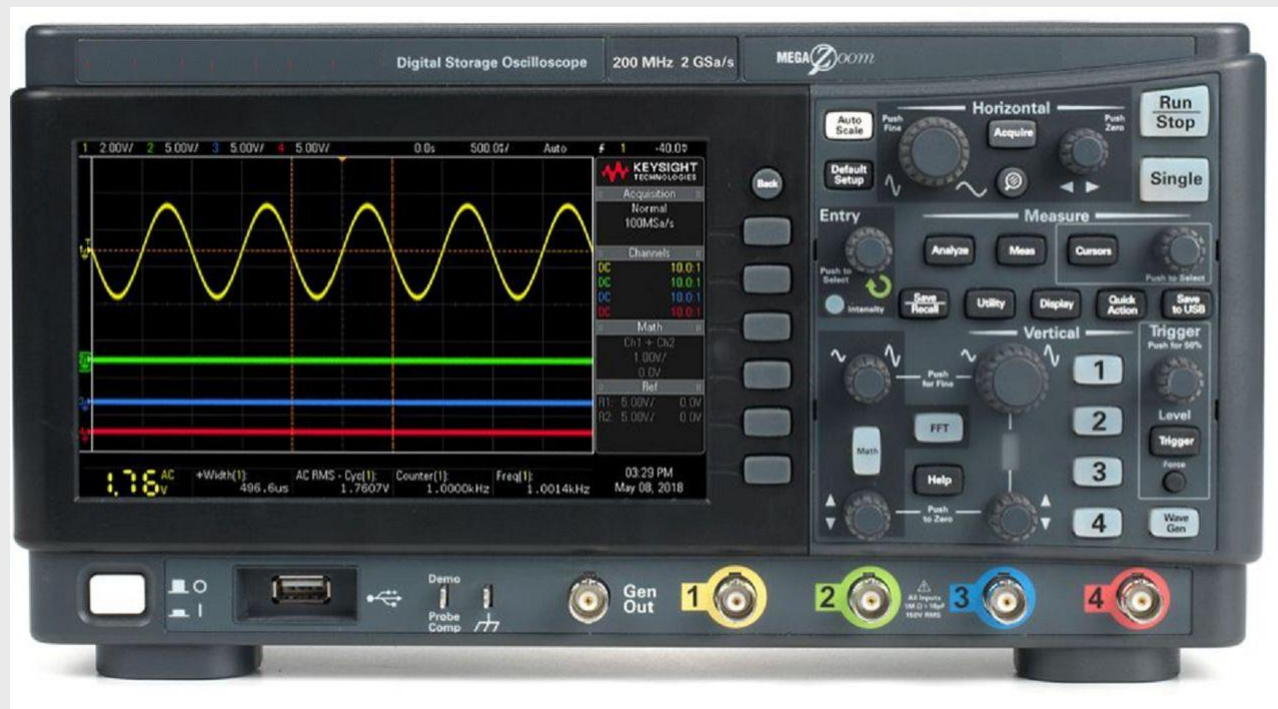
## ⌘ Ohmímetro

☑ Inclui uma fonte de corrente:



$$I_Z = I_{R1} = \frac{V_{en}}{R_1}$$

# 2.3a) Osciloscópios



## 2.3a) Osciloscópios



- ⌘ Baseados na amostragem periódica, com frequência elevada, dos valores de tensão do sinal de entrada
- ⌘ Simulador de multímetro e osciloscópio (MATLAB)