



Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

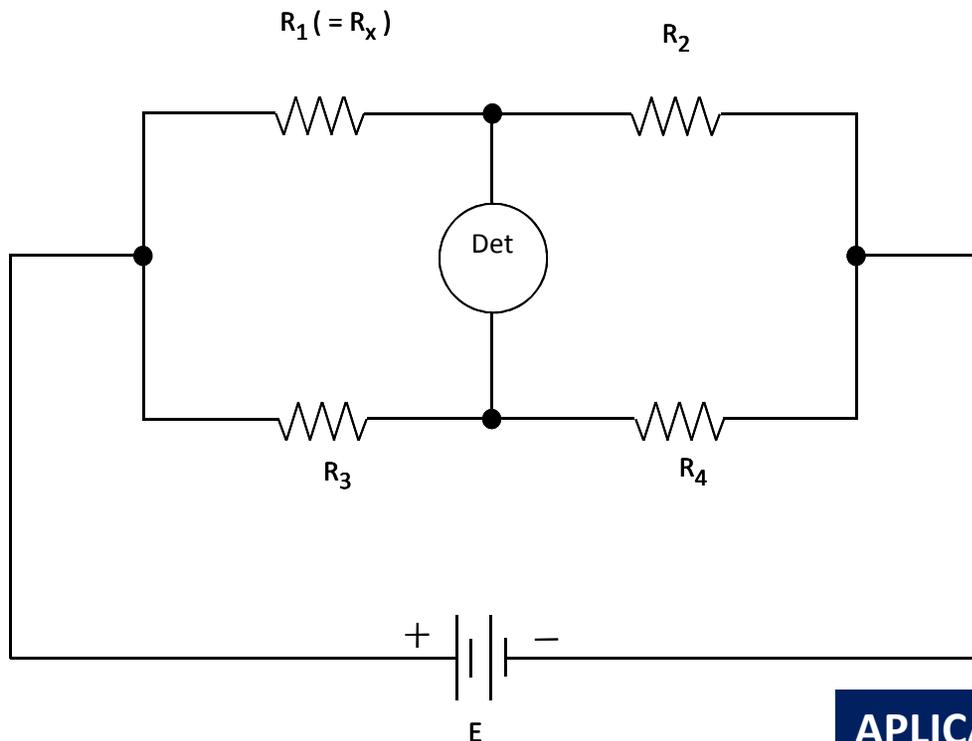
PSI3214

Laboratório de Instrumentação Elétrica

Exp.3

Pontes de Wheatstone

👉 Circuito elétrico composto por: 4 elementos resistivos e uma fonte de tensão contínua



O detetor
pode ser:

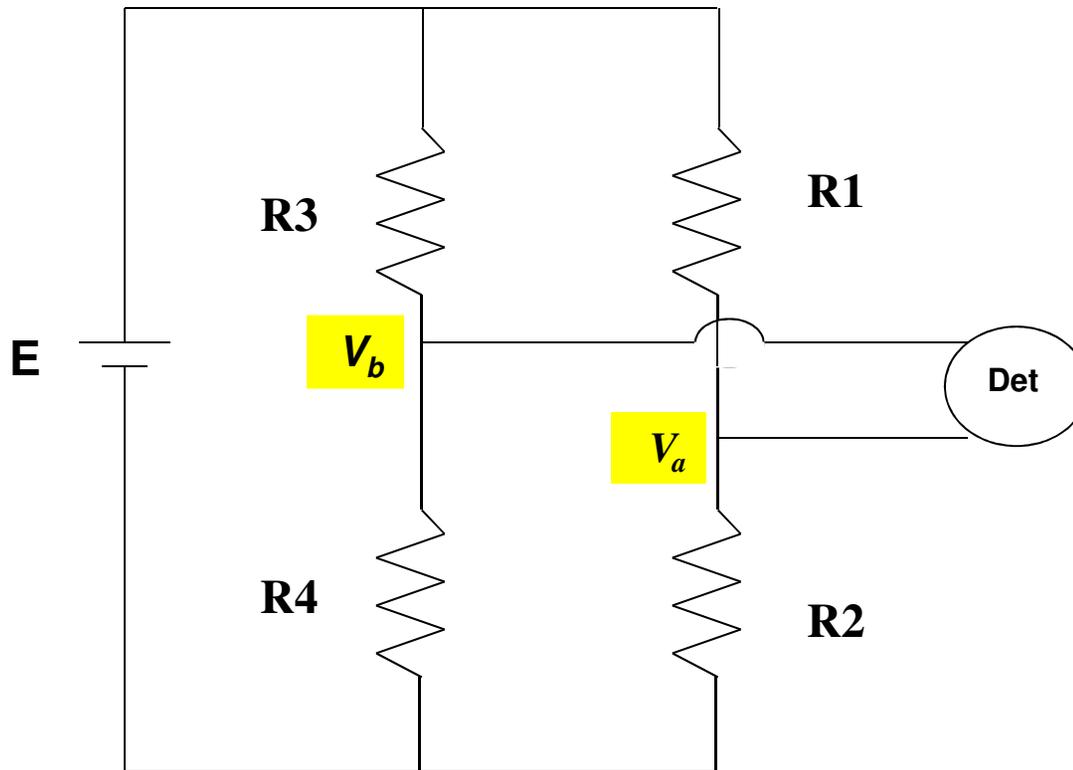
→ galvanômetro
($R_{\text{interna}} \sim \text{k}\Omega$)

→ **voltímetro digital**
($R_{\text{interna}} \sim \text{M}\Omega$)

APLICAÇÕES:

- Determinar o valor exato de um elemento resistivo (R_x);
- Determinar pequenas variações de um dos seus elementos resistivos devido à ação de uma grandeza externa (sensor).

PONTE DE WHEATSTONE UTILIZANDO DETETOR COM RESISTÊNCIA INFINITA: MULTÍMETRO DIGITAL



$$V_g = V_a - V_b$$

Logo $V_g/E =$

$$\frac{v_g}{E} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$



No equilíbrio:

$$v_g = 0$$

$$\Rightarrow R_1 R_4 = R_2 R_3$$

$$V_a - V_b = ?$$

$$V_a - V_b = v_g = \left[\left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) - \left(\frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) \right] \cdot E$$

Projeto da Ponte com multímetro como detector:

R1 (sensor)  conhece-se seu valor nominal;

. Deseja-se determinar seu valor com exatidão.

Como
determinar
o valor de
R1 com este
circuito?

→ **Através da variação de R_3**
(único grau de liberdade do nosso circuito no lab)

→ **Manter os demais resistores R_2 e R_4 fixos**

→ **Buscar o equilíbrio da ponte ($V_g = 0$ V)**

. 1º passo:

Definir R_2 , R_3 e R_4 para que o “circuito Ponte” tenha a máxima sensibilidade.

1º PROBLEMA: *Que valores adotar para “ R_2 , R_4 e R_3 ” para obter-se um circuito com a máxima sensibilidade?*

Vamos a seguir fazer uma análise da sensibilidade para responder esta pergunta.....

Entendendo os cálculos relacionados à
SENSIBILIDADE DO CIRCUITO PONTE COM DETETOR DE RESISTÊNCIA INFINITA
PARA VARIAÇÕES DE “R₁” (incógnita do nosso circuito)

$$\frac{v_g}{E} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$



$$S_{R_1} = \frac{\partial \left(\frac{v_g}{E} \right)}{\partial R_1} = - \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

Que valor adotar p/ R₂ para que a sensibilidade do circuito seja **MÁXIMA**?

⇒ Faz-se a derivada da função (S_{R1}) em relação a R₂



⇒ O pto de máximo ou mínimo é obtido ao igualar o resultado da derivada a zero

Chega-se à conclusão que:

$$R_2 = R_1$$

Lembrando-se que no equilíbrio:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \Rightarrow R_3 = R_4$$

Agora os valores de R2, R3 e R4 foram escolhidos para a condição de máxima sensibilidade, temos outro problema:

2º problema:

➤ Qual será a MENOR VARIAÇÃO DE R_1 que poderá ser detectada na prática?

Assumindo:

. $R_1 = R_2$ para a condição de máx. sensibilidade

$$S_{R_1} = \frac{\partial \left(\frac{v_g}{E} \right)}{\partial R_1} = - \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

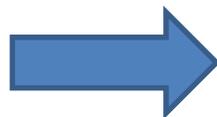


$S_{R_1 \max} =$

$$S_{R_1 \max} = - \frac{1}{4R_1}$$

. Limitação instrumental : v_g min detectável

$$S_{R_1} = \frac{\partial \left(\frac{v_g}{E} \right)}{\partial R_1}$$



$$S_{R_1} \sim \frac{\Delta v_g}{\Delta R_1} \cdot \frac{1}{E}$$

$$\Delta R_{1 \min} = \frac{1}{S_{R_1}} \frac{\Delta v_{g \min}}{E}$$



$$\left| \frac{\Delta R_{1 \min}}{R_1} \right| = 4 \cdot \left| \frac{\Delta v_{g \min}}{E} \right| = p_m$$

Para alcançar o equilíbrio, é necessário:

$$\frac{\Delta R_{3 \min}}{R_3} \leq p_m$$

$$\left| \frac{\Delta R_{1 \min}}{R_1} \right| = 4 \cdot \left| \frac{\Delta v_{g \min}}{E} \right| = p_m$$

$p_m \rightarrow$ variação relativa de R_1

p_m permite avaliar a sensibilidade da ponte

p_m depende:

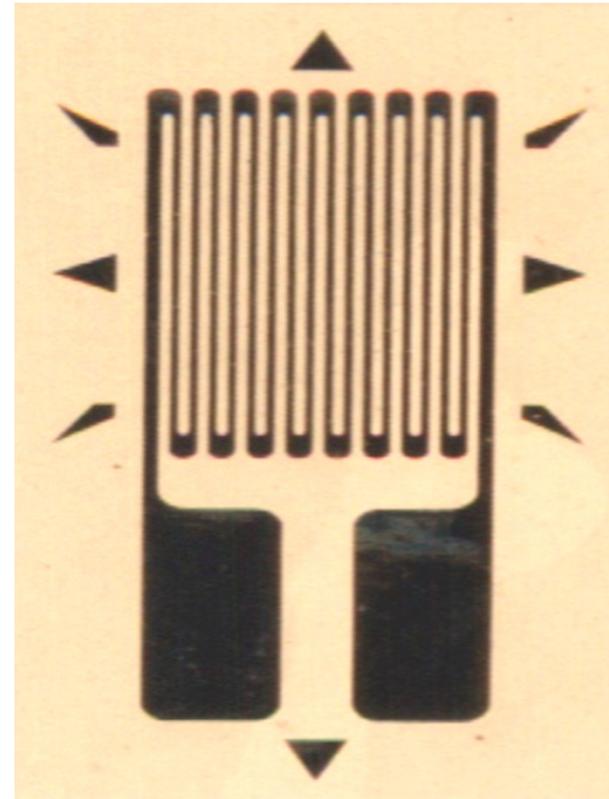
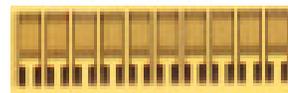
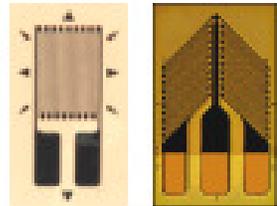
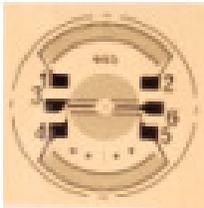
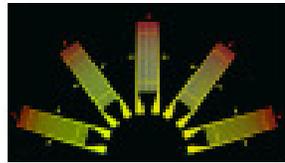
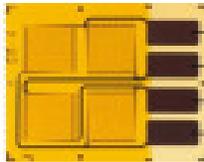
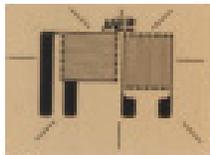
. resolução do medidor ($\Delta V_{g \min}$)

. tensão de alimentação constante

TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

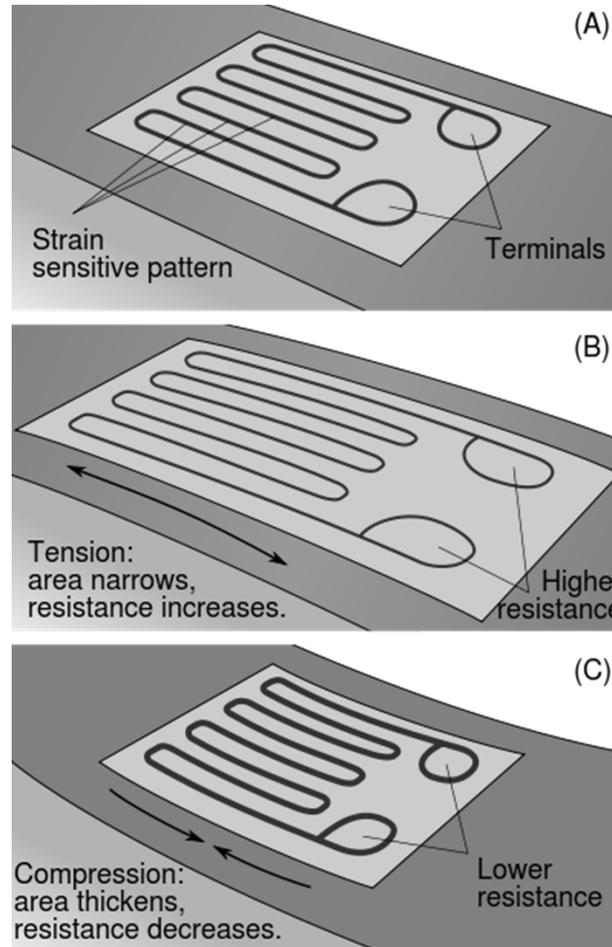
\rightarrow atender as especificações dos resistores (potência máxima dissipada)

Neste experimento
R1 = Sensor: Extensômetro ou Strain-Gauge



Deformação do Strain-gauge submetido à deformação

$$R = \rho L/A$$



Exemplos de aplicação:

- Medidas de deformação elástica (distensão: tração ou compressão)
- Monitoração de Pontes e Edificações
- Balanças Eletrônicas – células de carga

Condicionamento do sinal para Strain Gauge:

Sensibilidade: $GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}}$; onde $GF \approx 2$ (metais)

Supondo: $\frac{\Delta L}{L} = \frac{200 \mu m}{1 m} = 2 \times 10^{-4}$  $\frac{\Delta R}{R} = 4 \times 10^{-4}$

$R = 120 \Omega$, logo $\Delta R = 0,048 \Omega$

Para assegurar exatidão nesta medição: Circuitos Ponte!