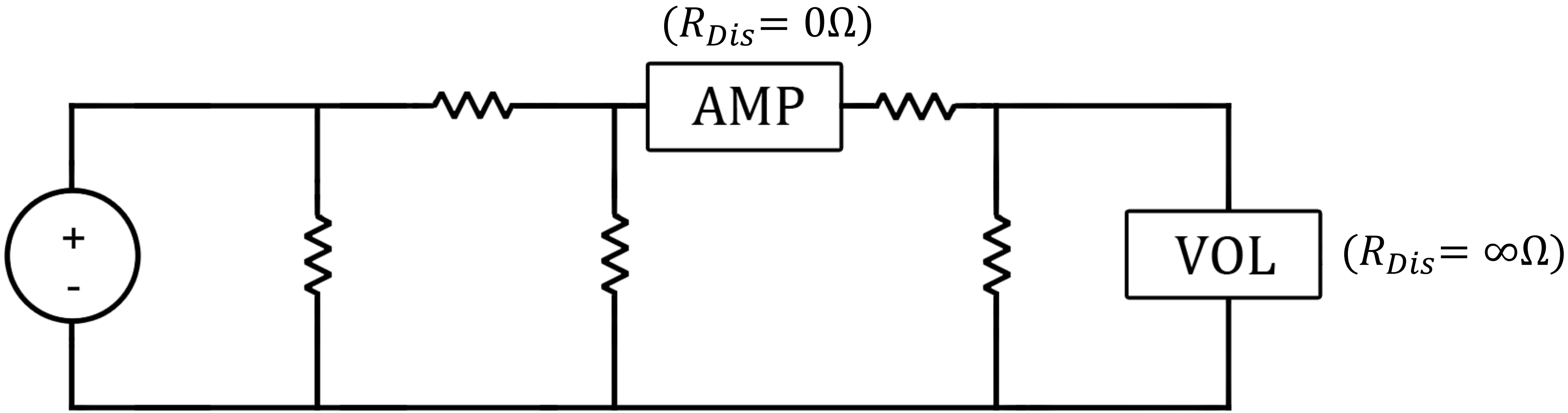
Aula 8

Equipamentos de Medição II
Medições de resistência

Circuitos Elétricos I

Prof. Henrique Amorim - UNIFESP - ICT

Revisão

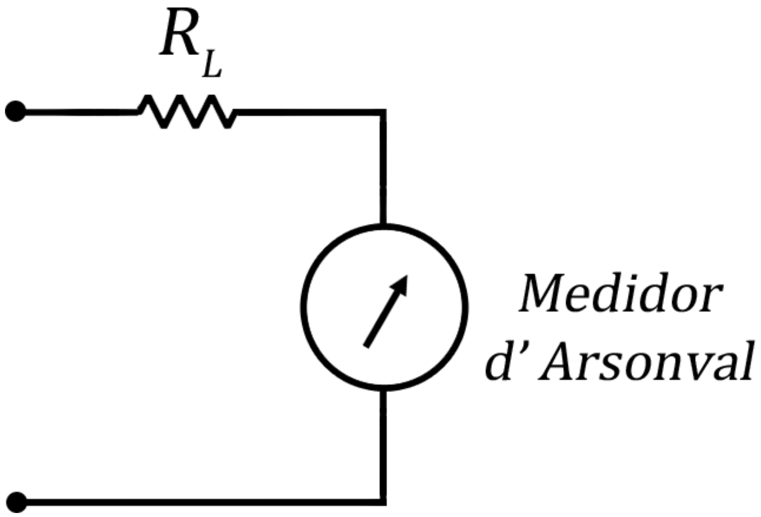


- O Amperímetro é responsável por medir corrente – Ligado em série
- O Voltímetro é responsável por medir tensão – Ligado em paralelo

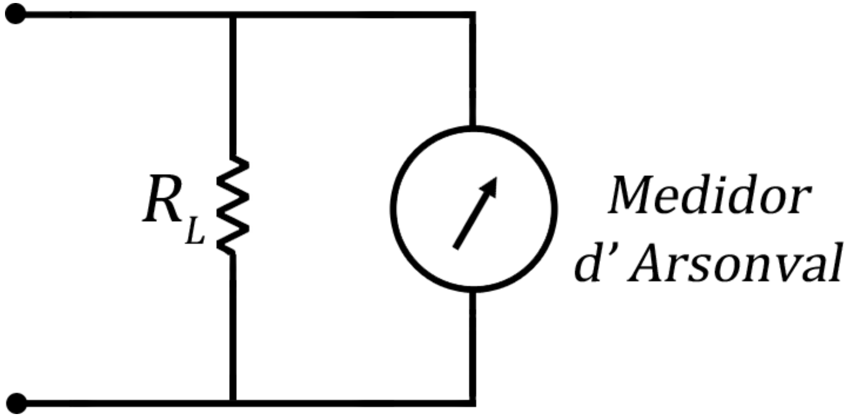
Em um **Amperímetro ideal** a **resistência** interna é igual a **zero**, enquanto em um **Voltímetro ideal** a **resistência** interna é igual a **infinito**. Essa relação torna o **erro** de medição igual a **zero**, uma vez que os **equipamentos ideais não absorvem energia do sistema**.

Revisão Voltímetro x Amperímetro

Voltímetro – Divisor de Tensão



Amperímetro divisor de corrente



RL é a resistência limitadora

O circuito do **voltímetro** é um circuito **divisor de tensão**, a resistência RL cria uma queda de tensão para que o medidor funcione de forma adequada.

O circuito do **Amperímetro** é um circuito **divisor de corrente**, a resistência RL divide a corrente para que o medidor funcione de forma adequada.

Voltímetro Analógico

Sensibilidade

Voltímetro

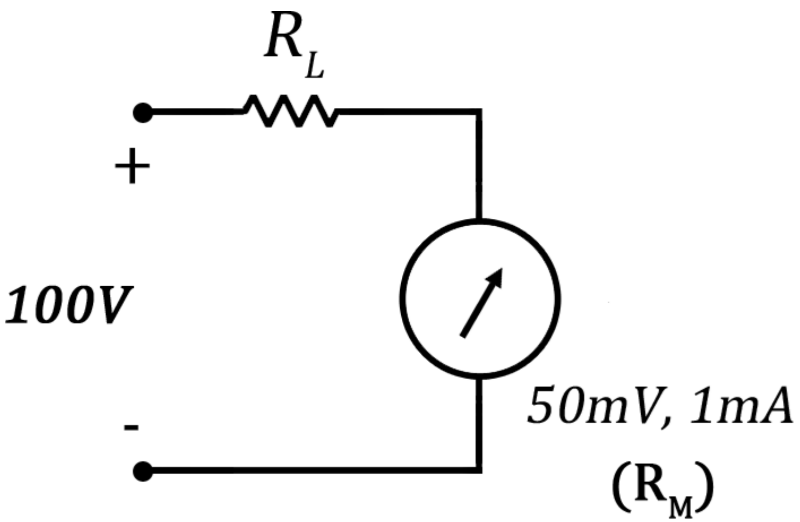
Interpretando o exercício: Quando um voltímetro é configurado a uma determinada faixa de tensão, significa que até a tensão máxima o equipamento deve funcionar sem comprometer o medidor. Neste exercício o equipamento deve medir qualquer queda ou elevação de tensão até no máximo 100V.

$$v = R \cdot i \quad \therefore \quad 50m = R_M \cdot 1m \quad \therefore \quad \boldsymbol{R_M = 50\Omega}$$

$$v_{R_L} = 100 - 50m = 99{,}95V$$

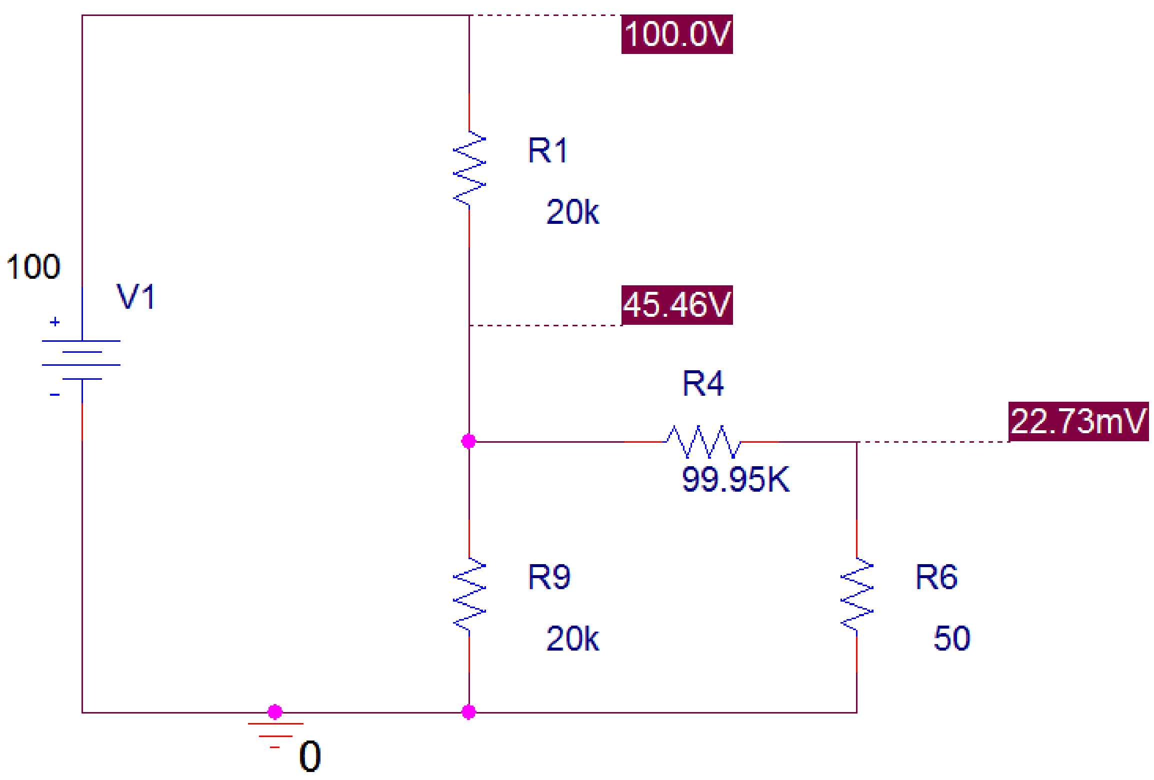
$$\boldsymbol{R_L = \frac{99,95}{1m} = 99,95K\Omega}$$

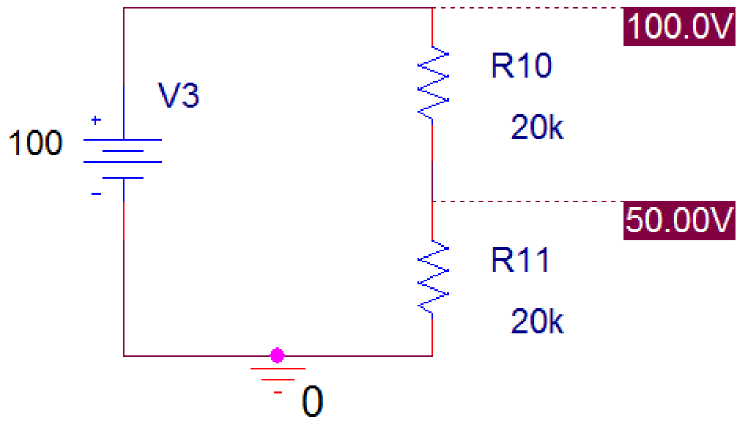
$$\boldsymbol{R_{Disp} = R_L + R_M = 99950 + 50 = 100K\Omega}$$

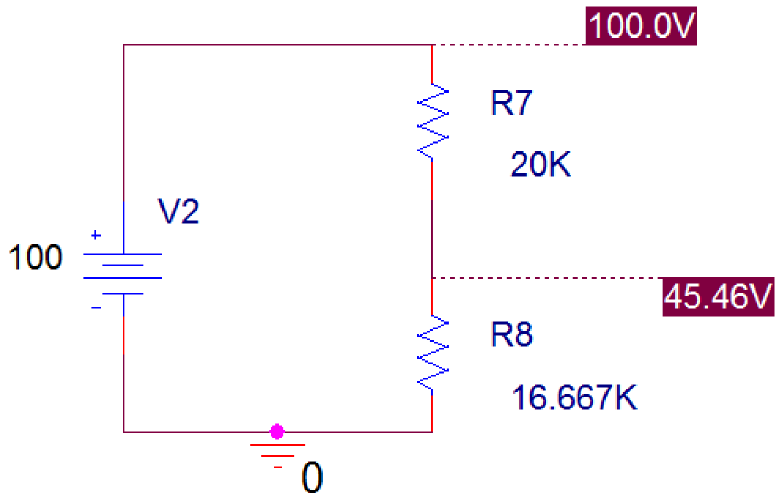


Simulação Voltímetro

Medidor: 50mV, 1mA – Escala 100V





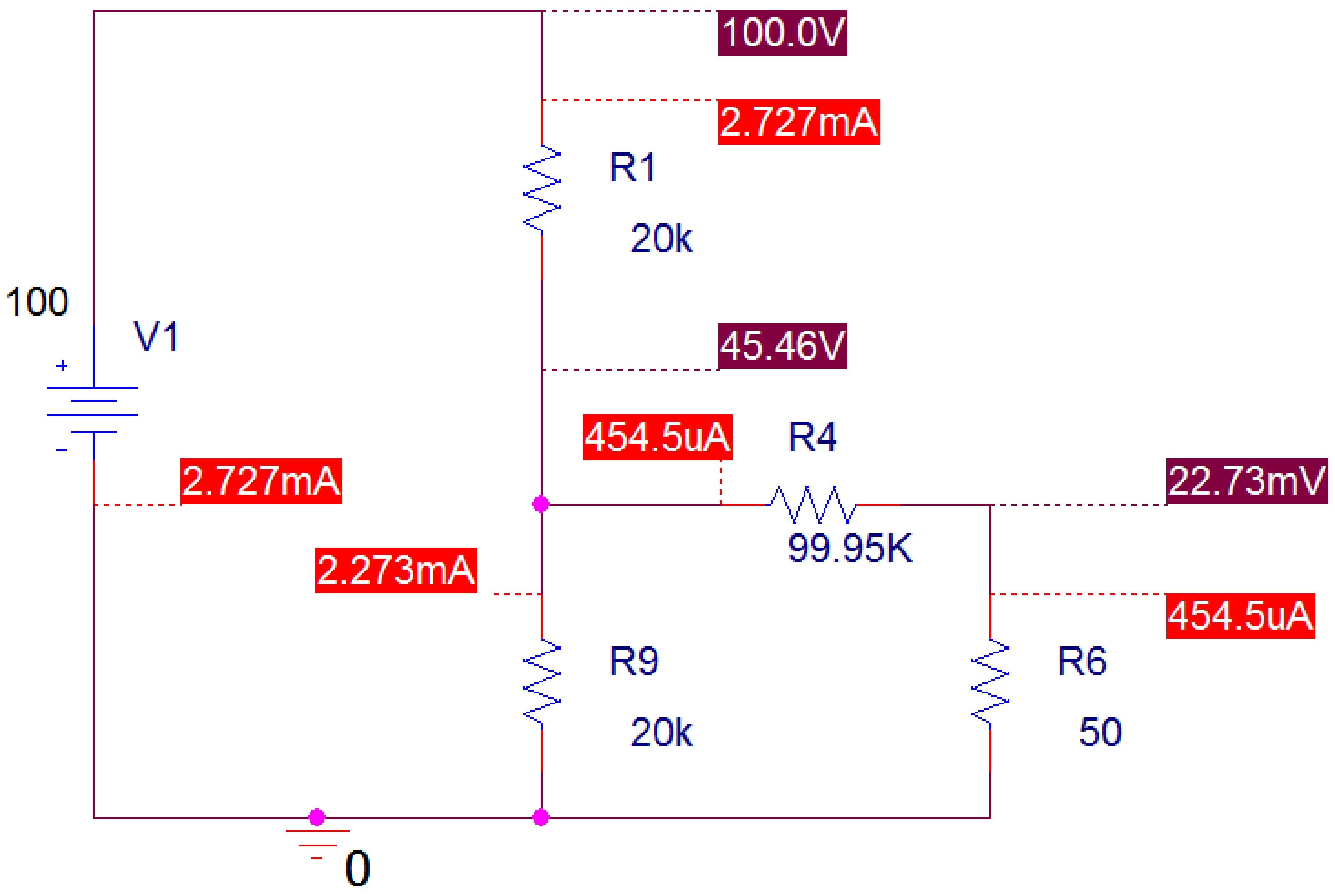


Simulação Voltímetro

Medidor: 50mV, 1mA
Escala 100V

$$50mV \rightarrow 100V$$
$$22{,}73mV \rightarrow xV$$
$$\boldsymbol{x = 45,46V}$$

$$1mA \rightarrow 100V$$
$$454{,}5\mu A \rightarrow xV$$
$$\boldsymbol{x = 45,45V}$$

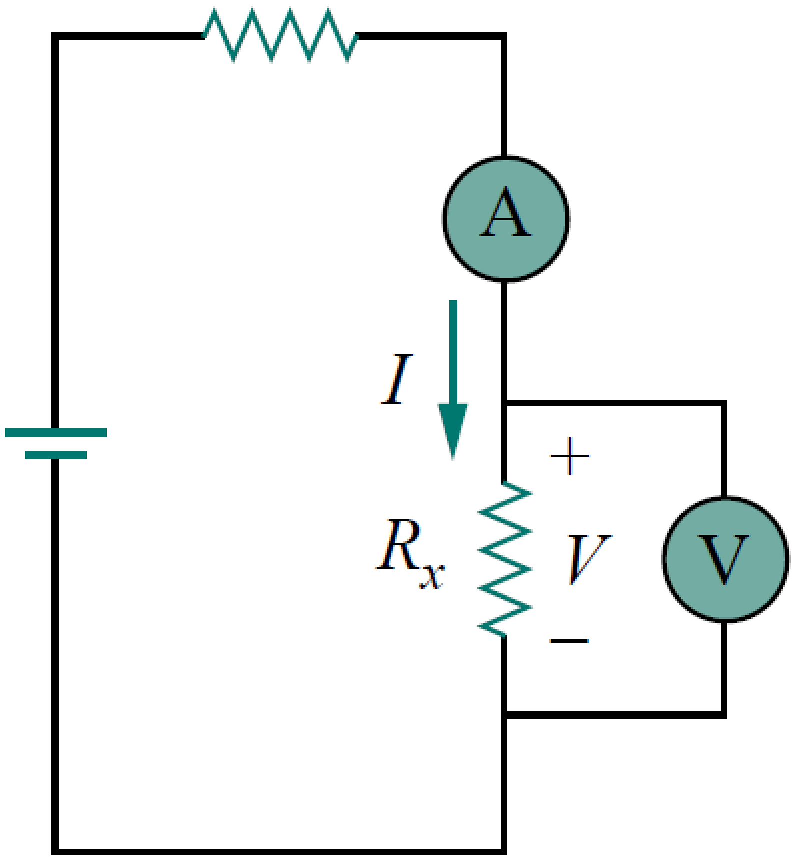


Medir resistência de forma indireta

Exercício: Você possui um voltímetro e um amperímetro, precisa calcular uma resistência desconhecida, como solucionar esse problema?

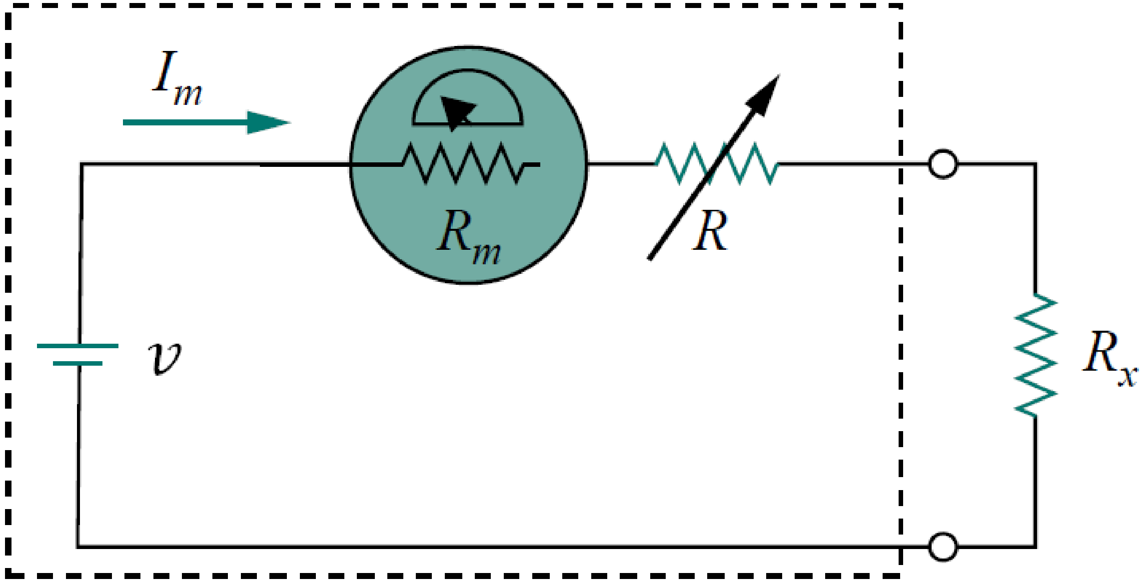
Medir resistência de forma indireta

$$R_x = \frac{V_{voltimetro}}{I_{amperimetro}}$$



Medir resistência de forma direta

A resistência R deve ser selecionada de modo que, em curto circuito, a corrente im alcance o fundo da escala. Assim, a resistência Rx resultará em uma deflexão anti-horária do ponteiro do medidor.

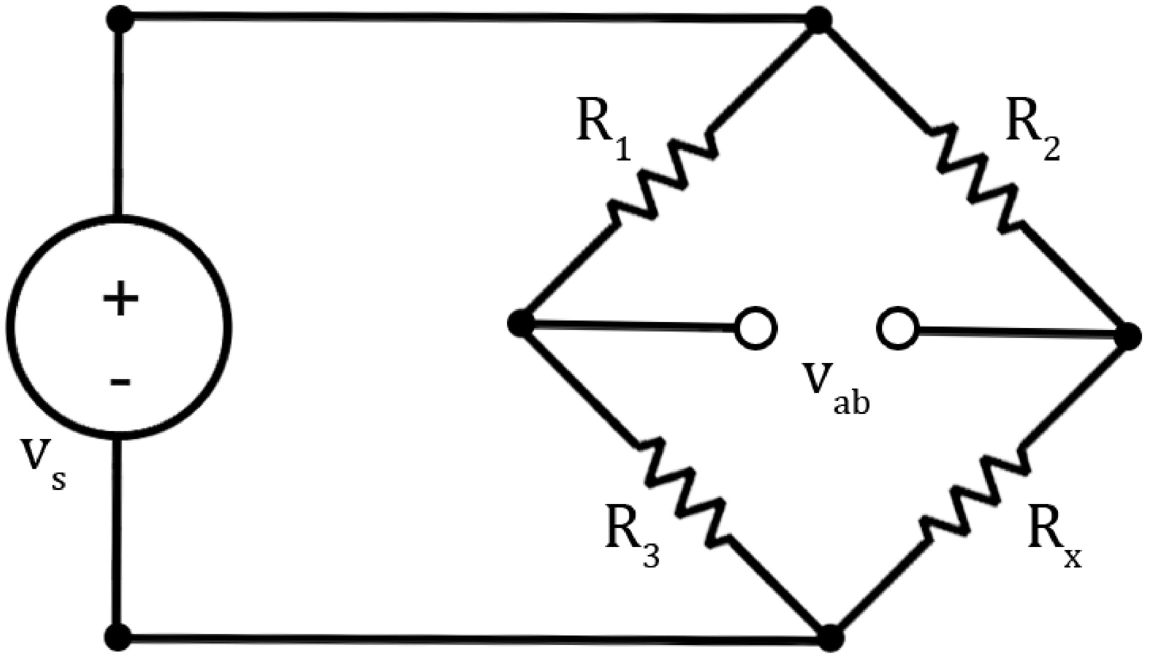


Ponte de Wheatstone

- A ponte de Wheatstone é um circuito que pode ser projetado para detectar pequenas variações de resistência.
- Antes de discutirmos o circuito, devemos compreender as condições para obtermos uma ponte equilibrada.

Ponte equilibrada

$$v_{ab} = 0V$$



Ponte de Wheatstone

$$v_{R_3} - v_{R_x} = 0 \quad \therefore \quad v_{R_3} = v_{R_x}$$

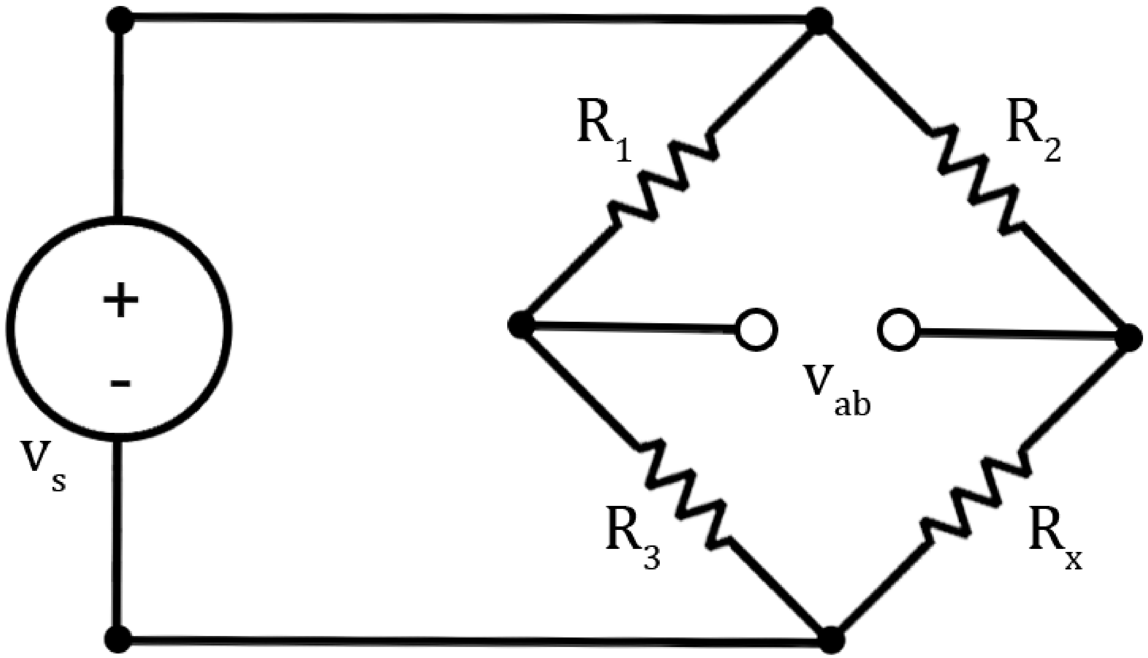
$$v_{R_1} - v_{R_2} = 0 \quad \therefore \quad v_{R_1} = v_{R_2}$$

$$v_{R_3} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot v_s$$

$$v_{R_x} = \frac{R_x}{R_2 + R_x} \cdot v_s$$

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot v_s = \frac{R_x}{R_2 + R_x} \cdot v_s$$

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{R_x}{R_2 + R_x}$$



$$R_3 \cdot (R_2 + R_x) = R_x \cdot (R_1 + R_3)$$

$$\boxed{\boldsymbol{R_1 \cdot R_x = R_2 \cdot R_3}}$$

Ponte de Wheatstone (raciocínio alternativo)

$$v_{R_3} - v_{R_x} = 0 \quad \therefore \quad v_{R_3} = v_{R_x}$$

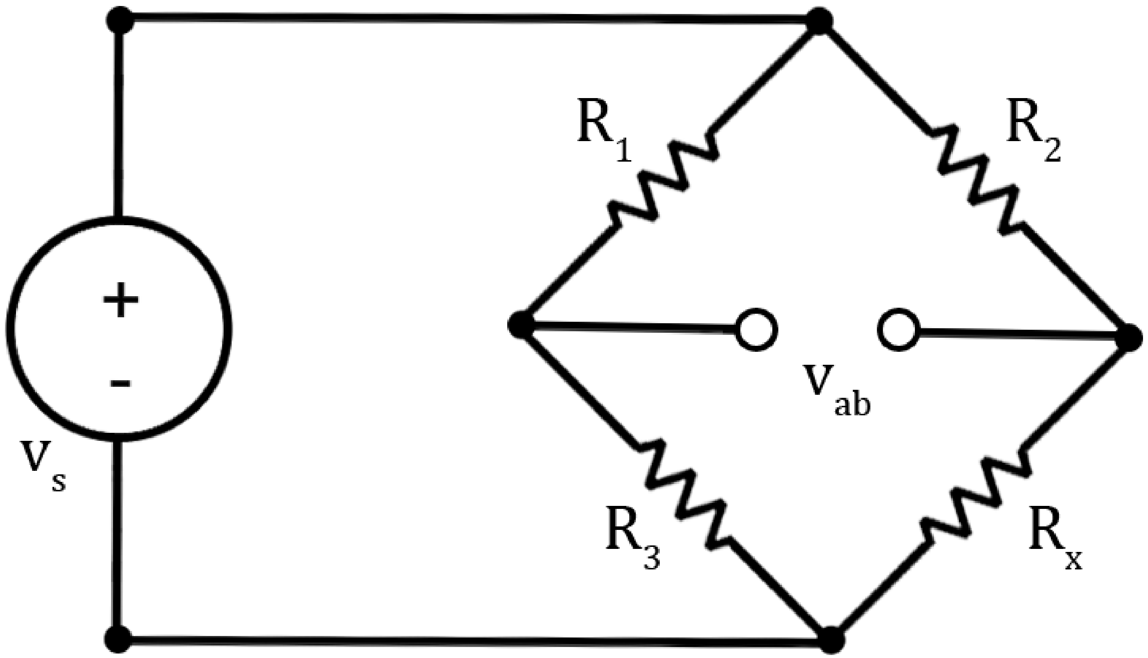
$$v_{R_1} - v_{R_2} = 0 \quad \therefore \quad v_{R_1} = v_{R_2}$$

$$R_3 \cdot i_3 = R_x \cdot i_x$$
$$R_1 \cdot i_1 = R_2 \cdot i_2$$

$$i_1 = i_3 \qquad e \qquad i_2 = i_x$$

$$R_3 \cdot i_1 = R_x \cdot i_x$$
$$R_1 \cdot i_1 = R_2 \cdot i_x$$

$$i_1 = \frac{R_x \cdot i_x}{R_3}$$



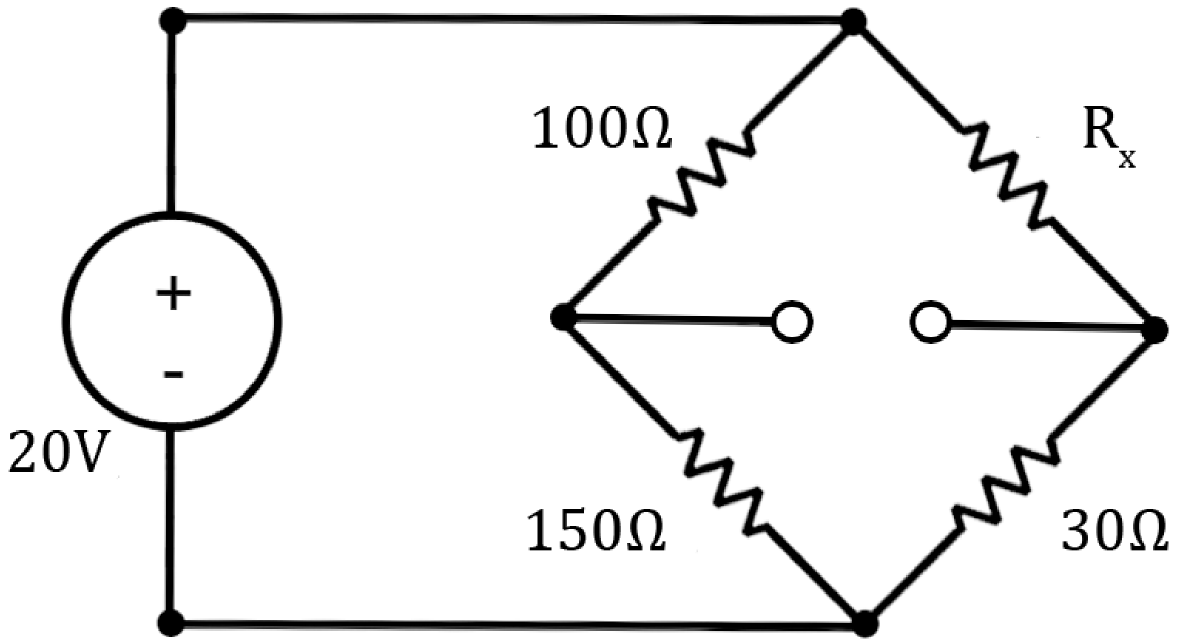
$$R_1 \cdot \frac{R_x \cdot i_x}{R_3} = R_2 \cdot i_x$$

$$\boxed{\boldsymbol{R_1 \cdot R_x = R_2 \cdot R_3}}$$

Ponte de Wheatstone

Exercício: Calcule Rx para equilibrar a ponte, prove que está equilibrada.

$Resposta$: $\mathbf{20\Omega}$



Ponte de Wheatstone

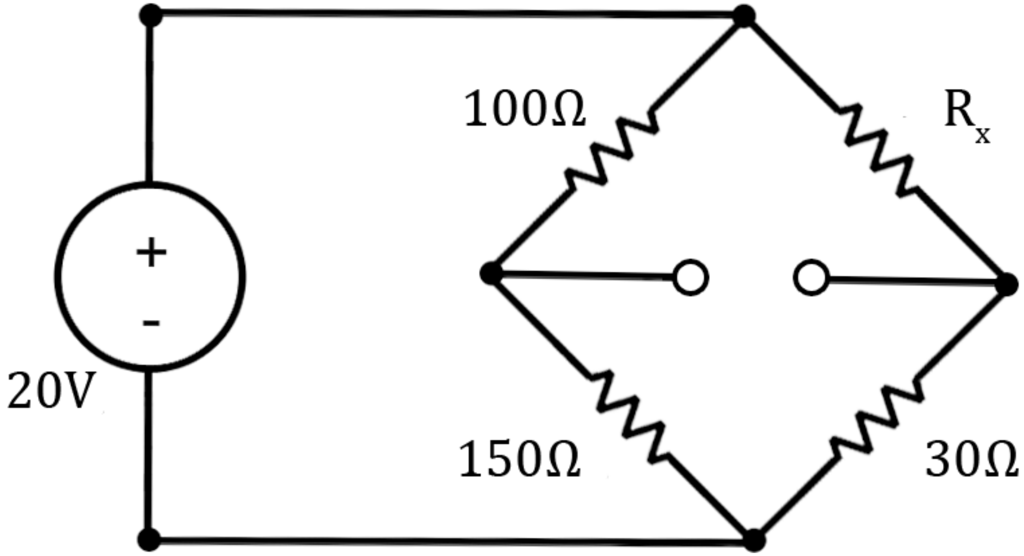
Exercício: Calcule Rx para equilibrar a ponte, prove que está equilibrada.

$$100 \cdot 30 = 150 \cdot R_x$$

$$\boldsymbol{R_x = \frac{100 \cdot 30}{150} = 20\Omega}$$

$$v_{150\Omega} = \frac{150}{100 + 150} \cdot 20 = 12V$$

$$v_{30\Omega} = \frac{30}{30 + 20} \cdot 20 = 12V$$

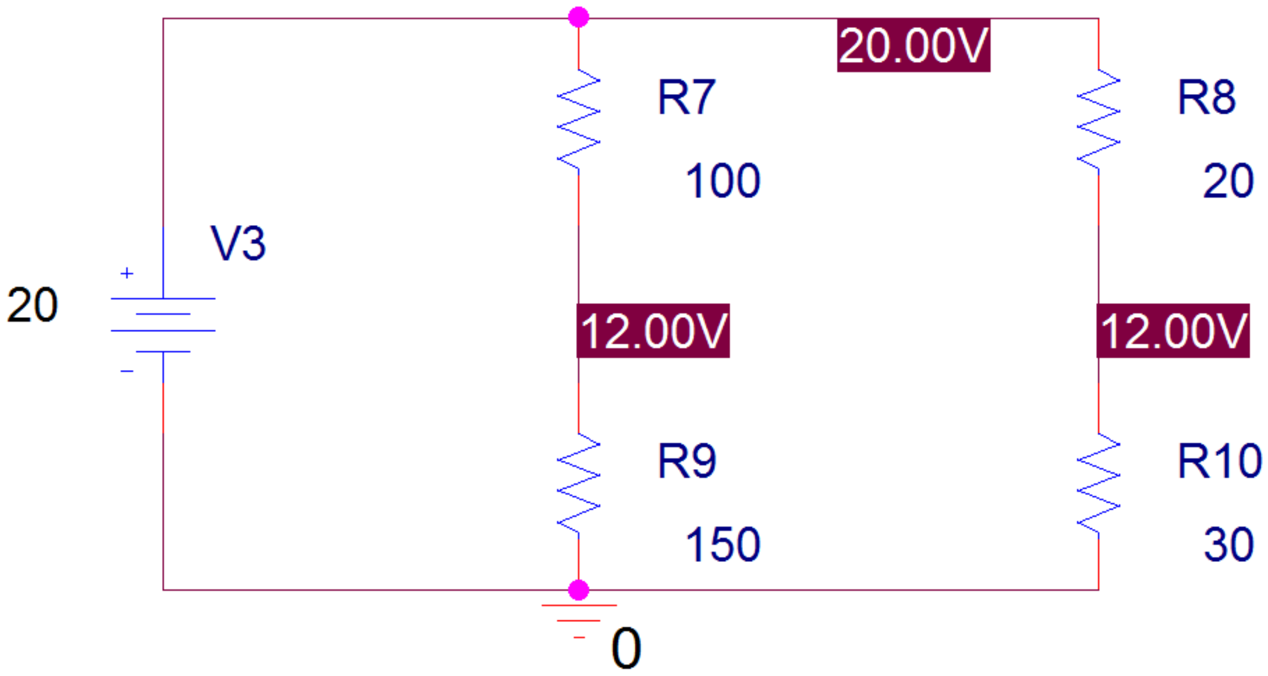


Ponte equilibrada

$$v_{150\Omega} = v_{30\Omega}$$

Ponte de Wheatstone

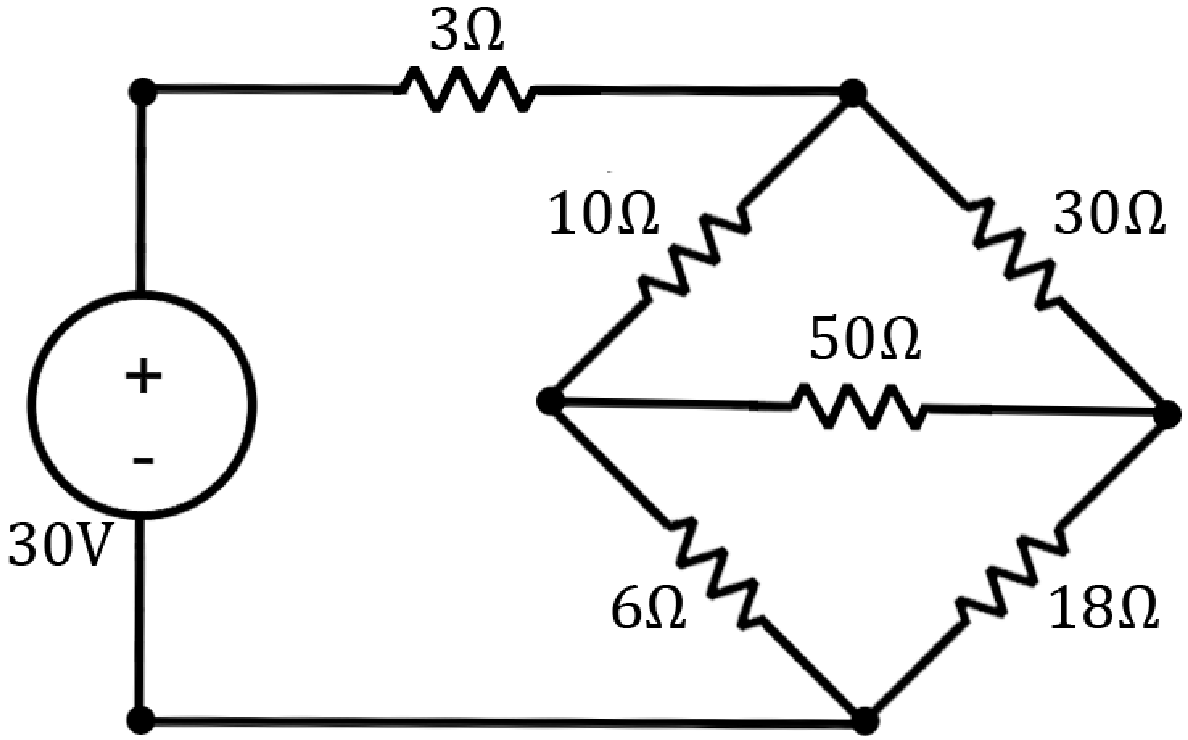
Exercício: Calcule Rx para equilibrar a ponte, prove que está equilibrada.



Ponte de Wheatstone

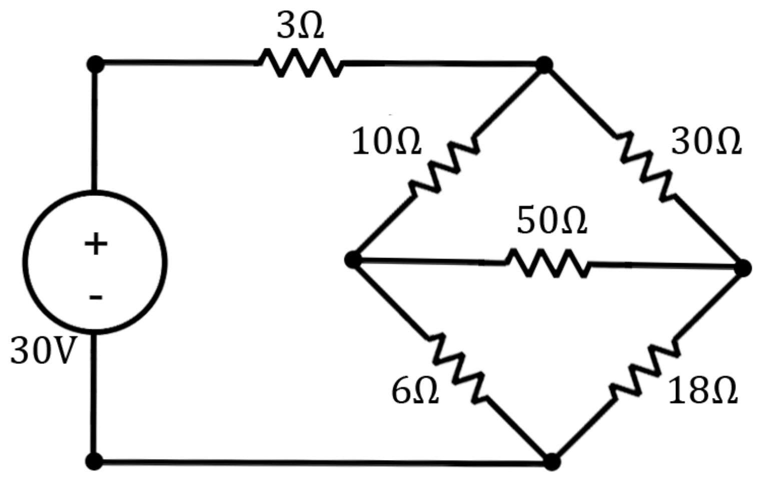
Exercício: Calcule a potência dissipada pelo resistor de 18Ω.

$Resposta$: $\mathbf{4,5W}$



Ponte de Wheatstone

Exercício: Calcule a potência dissipada pelo resistor de 18Ω



O circuito atende ao critério de equilíbrio da ponte

$$\mathbf{10 \cdot 18 = 6 \cdot 30 = 180\Omega}$$

Portanto os resistores de 10Ω e 6Ω estão virtualmente em série, assim como os resistores de 30Ω e 18Ω. A corrente que flui pelo resistor de 50Ω é zero, assim como a queda de tensão no mesmo.

$$\boldsymbol{R_1 = 10 + 6 = 16\Omega}$$

$$\boldsymbol{R_2 = 30 + 18 = 48\Omega}$$

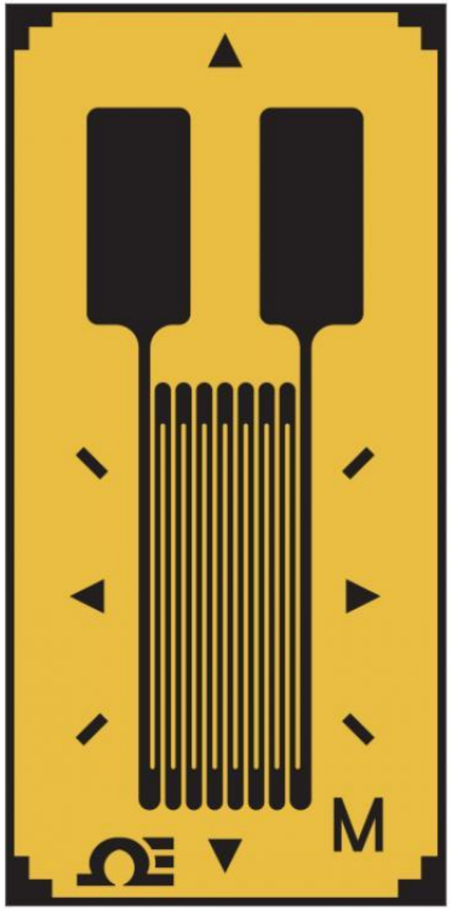
$$\boldsymbol{R_{eq} = \big((10+6)\,||\,(30+18)\big) + 3 = 15\Omega}$$

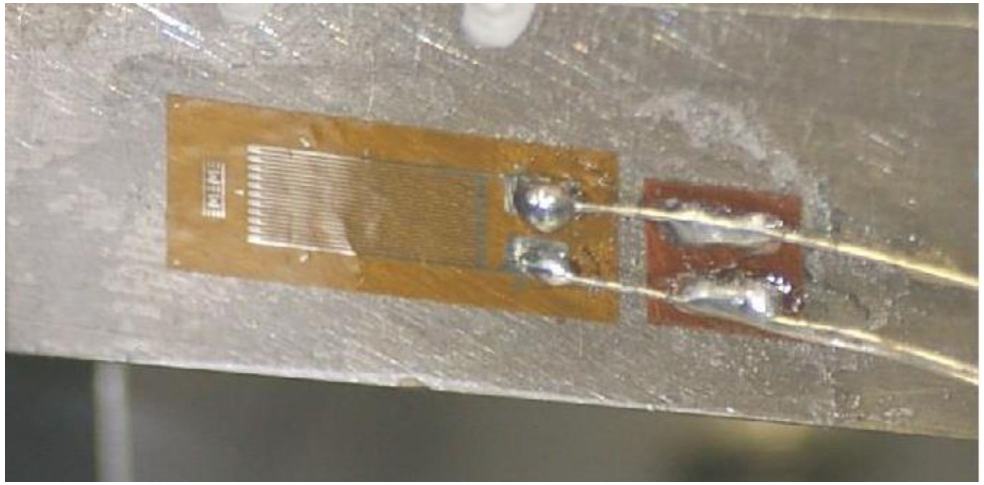
$$\boldsymbol{i_{3\Omega} = \frac{30}{15} = 2\text{A}}$$

$$\boldsymbol{i_{18\Omega} = \frac{16}{16+48} \cdot 2 = 0{,}5A}$$

$$\boldsymbol{P_{18\Omega} = 0{,}5^2 \cdot 18 = 4{,}5W}$$

Strain Gage – sensor de deformação





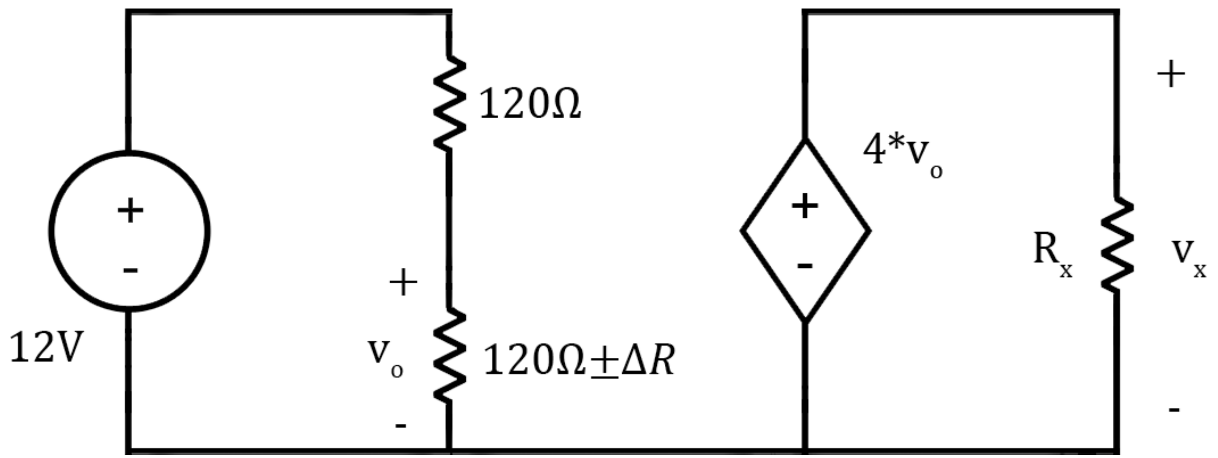
Modelos clássicos

Standard gauge	120 ± 0.4 ohms, 350 ohms ± 1.2 ohm
Gauge with lead wire	120 ± 0.8 ohms, 350 ohms ± 2.4 ohm

Resistência do Stran Gage

$$R \pm \Delta R$$

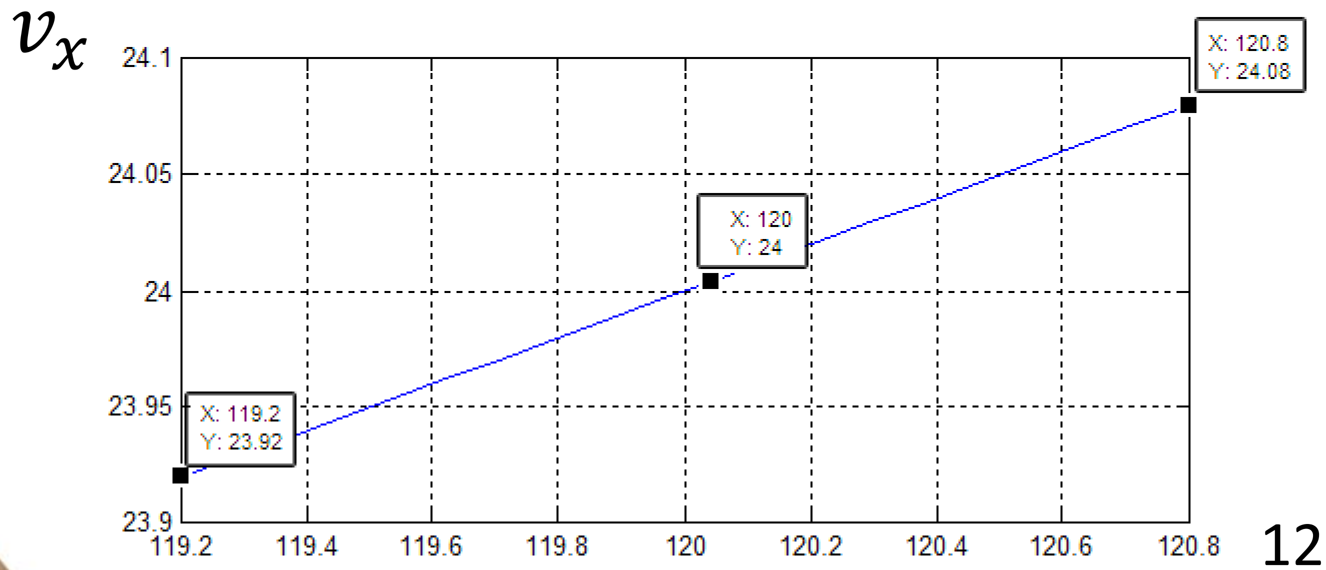
Strain Gage – Estudo de caso



Stain gage acoplado em um simples divisor de tensão.

Vo varia entre 5,98V e 6,02

Um circuito amplificador não é capaz de expandir os limites de variação

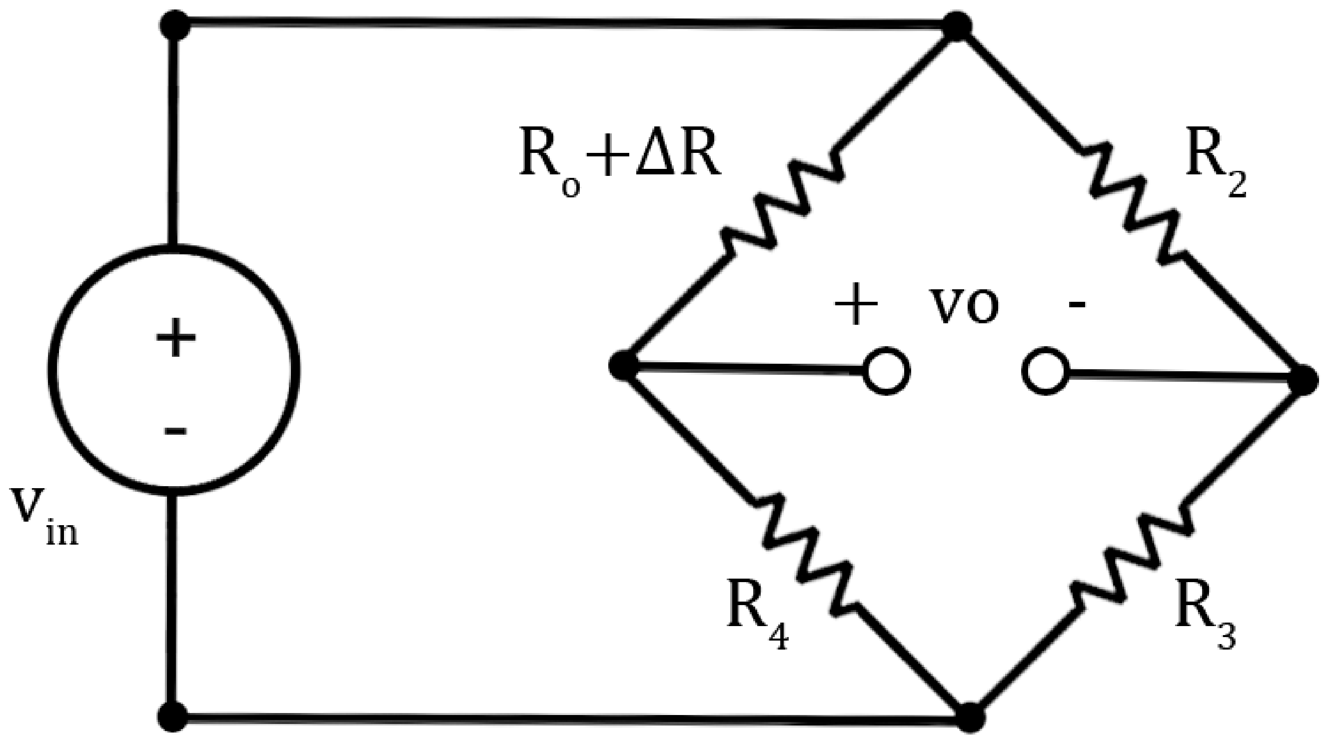


$$\Delta R = -0{,}8\Omega: 0{,}8\Omega$$

$$120\Omega \pm \Delta R$$

Strain Gage – Estudo de caso

Exercício: Determine a equação que descreve o comportamento de vo, considere que quando ΔR=0 a ponte está em equilíbrio A critério de aproximação considere que ΔR<<Ro.



Strain Gage – Estudo de caso

Ponte equilibrada quando:

$$R_o \cdot R_3 = R_4 \cdot R_2 \qquad \rightarrow \qquad v_{R_4} = v_{R_3}$$

$$v_{R_4} = \frac{R_4}{R_4 + R_o + \Delta R} \cdot v_{in}$$

$$v_{R_3} = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \cdot v_{in}$$

$$v_o = v_{R_4} - v_{R_3}$$

$$v_o = \left(\frac{R_4}{R_4 + R_o + \Delta R} - \frac{R_3}{R_3 + R_2}\right) \cdot v_{in}$$

Considerando o equilíbrio:

$$\frac{R_4}{R_4 + R_o} = \frac{R_3}{R_3 + R_2}$$

$$v_o = \left(\frac{R_4}{R_4 + R_o + \Delta R} - \frac{R_4}{R_4 + R_o}\right) \cdot v_{in}$$

$$v_o = v_{in} \cdot R_4 \cdot \left(\frac{1}{R_4 + R_o + \Delta R} - \frac{1}{R_4 + R_o}\right)$$

$$v_o = v_{in} \cdot R_4 \cdot \left(\frac{R_4 + R_o - (R_4 + R_o + \Delta R_o)}{(R_4 + R_o + \Delta R) \cdot (R_4 + R_o)}\right)$$

$$v_o = -\frac{v_{in} \cdot R_4 \cdot \Delta R}{(R_4 + R_o + \Delta R) \cdot (R_4 + R_o)}$$

Strain Gage – Estudo de caso

Se:

$$\boldsymbol{\Delta R \ll R_o}$$

Podemos realizar a seguinte aproximação:

$$v_o \approx -\frac{v_{in} \cdot R_4 \cdot \Delta R}{(R_4 + R_o + 0) \cdot (R_4 + R_o)}$$

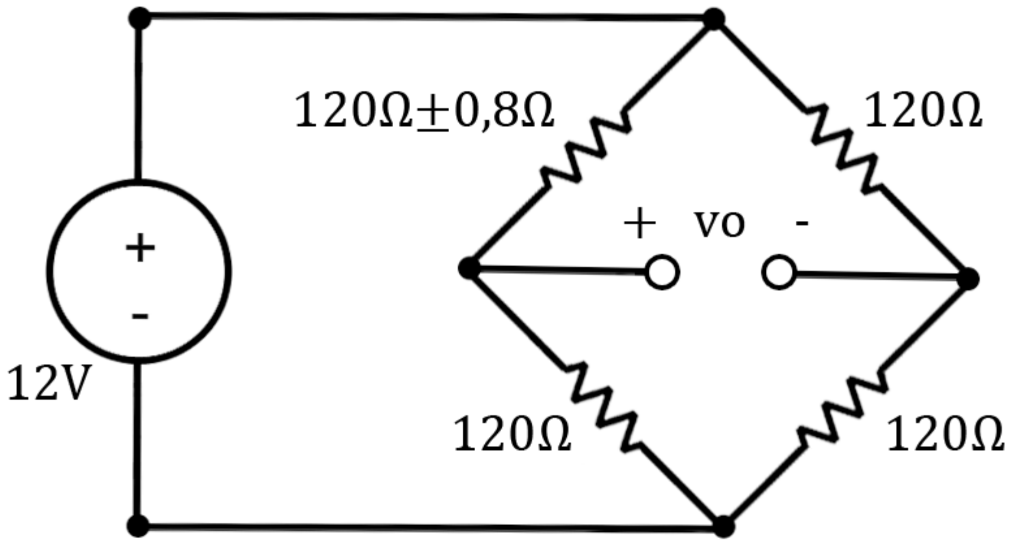
$$\boldsymbol{v_o \approx -\frac{v_{in} \cdot R_4 \cdot \Delta R}{(R_4 + R_o)^2}}$$

Strain Gage – Estudo de caso

No ramo superior direito está conectado um strain gage, com resistência nominal de 120Ω e variação de ±0,8Ω

As demais resistências são iguais a 120Ω. Essa relação torna a ponte equilibrada quando ΔR=0

Pela equação temos:



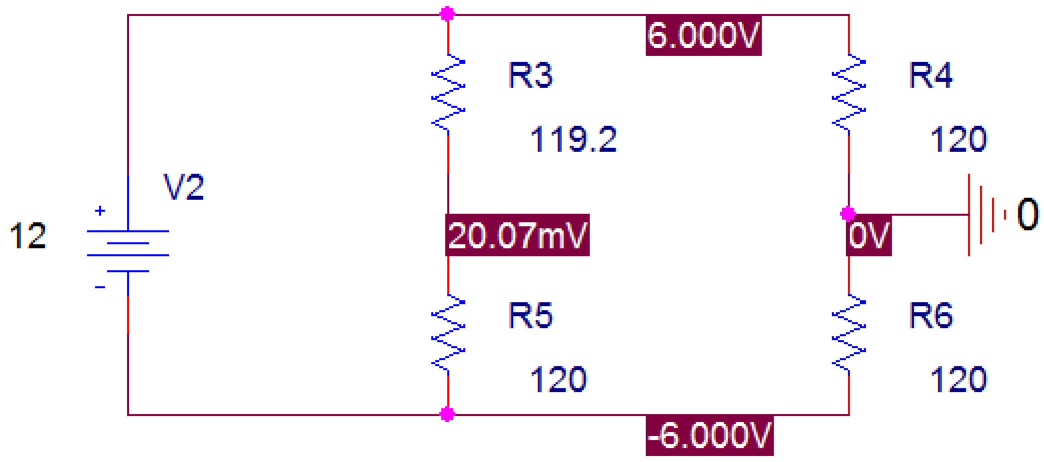
$$\boldsymbol{v_o \approx -\frac{12 \cdot 120 \cdot \Delta R}{(120+120)^2}}$$

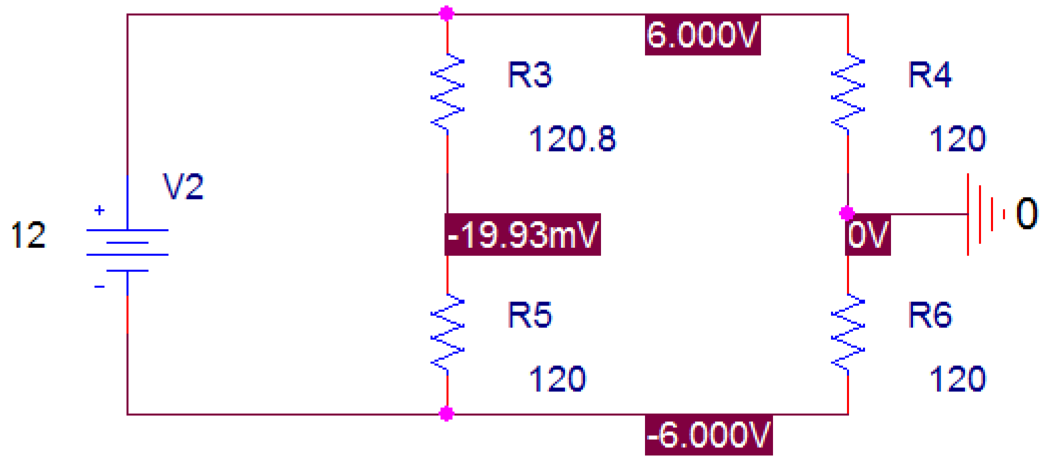
$$\boldsymbol{v_o \approx -0,025 \cdot \Delta R}$$

$$\boldsymbol{Se\ \Delta R = -0,8\Omega \quad v_o \approx 20mV}$$

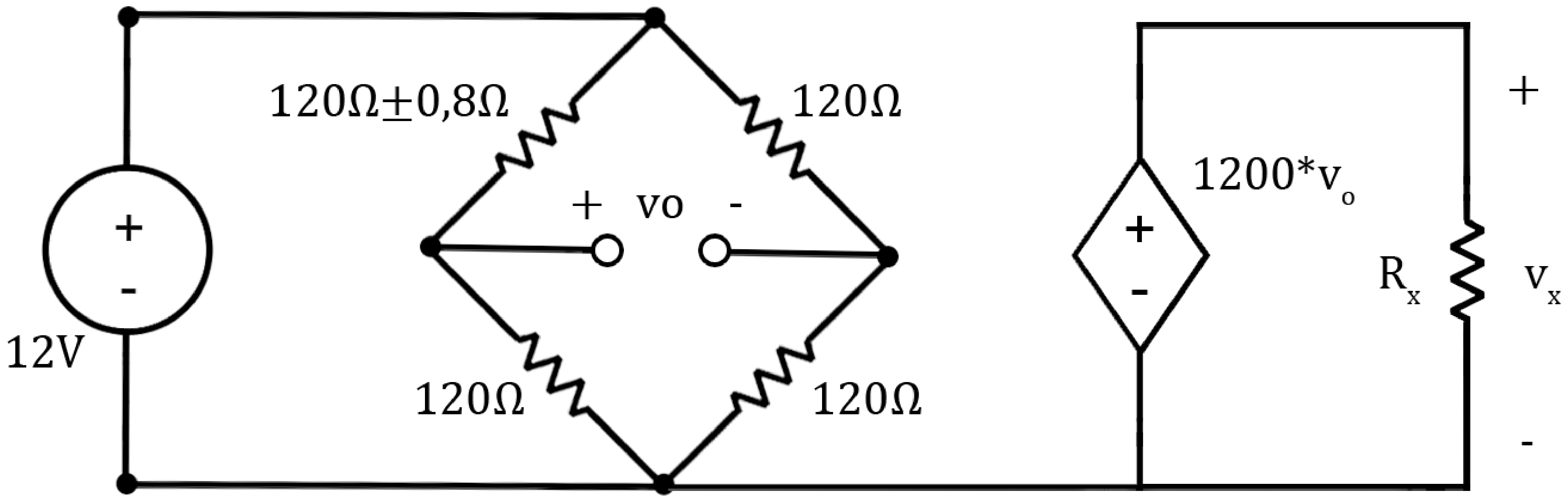
$$\boldsymbol{Se\ \Delta R = +0,8\Omega \quad v_o \approx -20mV}$$

Strain Gage – Simulação





Strain Gage – Estudo de caso



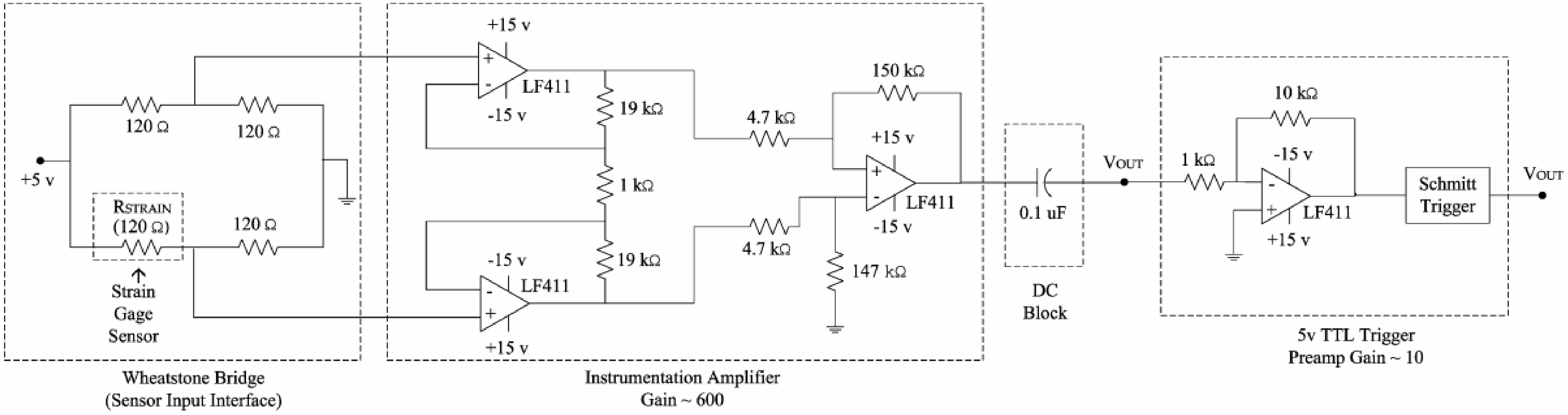
Amplificando vo resultamos no seguinte *range*

Vx varia entre -24v a 24v

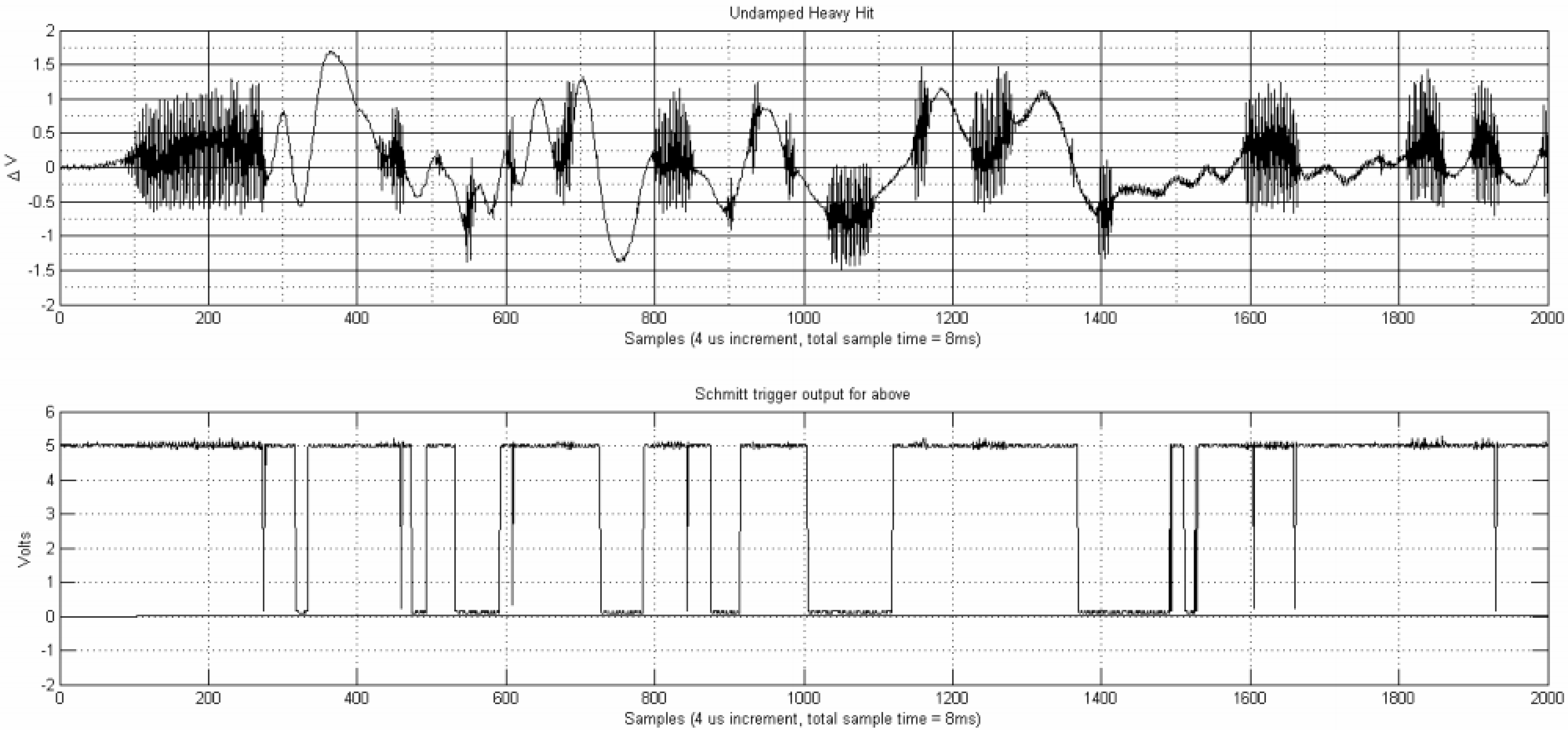
Artigo interessante

Triggering of Electronic Apparatus by a Percussion Instrument: Investigation of a Strain Gage Sensor as System Input Source

Andrew Tubesing, *Member, IEEE*



Artigo interessante



http://www.ee.nmt.edu/~tubesing/research/Tubesing_Percussion_Triggering.pdf