

Variação da resistência com a temperatura  
Fabricados com material semicondutor  
↳ Óxido metálico (níquel, cobalto, titânio,  
cobre ou manganês)  
Tipicamente são comprimidos em um  
corpo cerâmico



Também podem ter maior dimensão  
com contato metálico



IM típico:  $-60^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$

↳ alguns termistores alcançam até  $300^{\circ}\text{C}$

Tipo NTC (negative temperature coefficient)

↳ resistência decresce com o aumento da temperatura

Termistor NTC é o mais comum na medição de temperatura

Equação de Steinhart-Hart

$$\frac{1}{T} = a + b \ln(R_T) + c \ln^3(R_T)$$

$a$ ,  $b$  e  $c$  são constantes

$T$  é a temperatura em kelvin

Para  $c \ll a, b \rightarrow \frac{1}{T} \approx a + b \ln(R_T)$

$$\ln(R_T) = \frac{1}{b} \left( \frac{1}{T} - a \right)$$

... ,  $\beta = \frac{1}{b}$

$$R_T = e^{\frac{1}{b}(\frac{1}{T} - a)} = K e^{\frac{\beta}{T}}$$

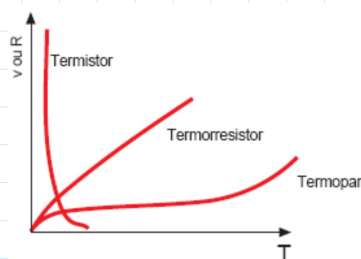
$\beta = \frac{1}{b}$

$K = e^{-\frac{a}{b}}$

forma alternativa comumente usada

$$R_T = R_{298K} e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{298})} \quad 298K = 25^\circ C$$

A relação entre  $T$  e  $R_T$  é altamente não linear



Termistores PTC (positive temperature coefficient) são usados tipicamente nas seguintes aplicações:

aquecedores autorregulados

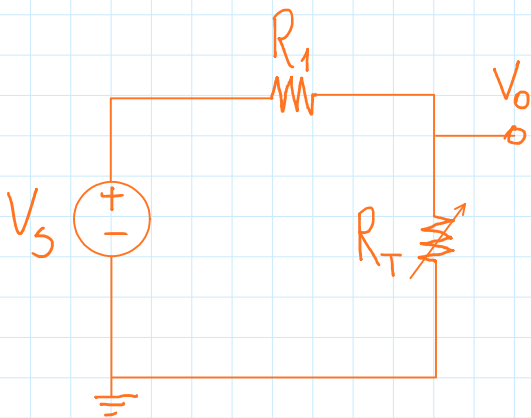
fusível

partida de motores elétricos

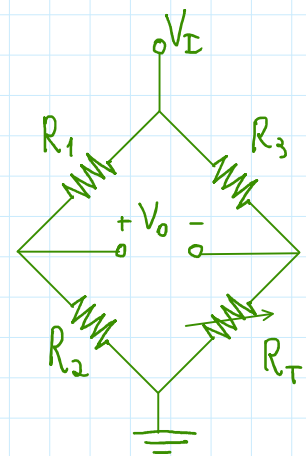
Valores maiores de  $R_T$  (na casa de  $k\Omega$ )  
 Nesse caso, a resistência dos fios  
 usualmente não é considerada na  
 medição

O valor de  $R_T$  é obtido, geralmente,  
 a partir da tensão

circuito divisor  
 de tensão



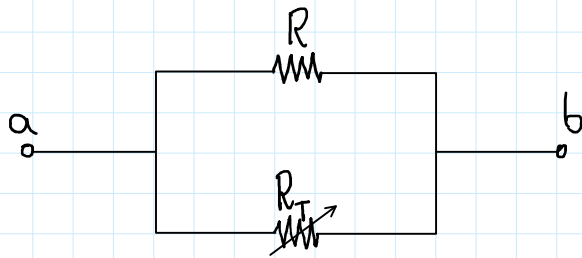
ponte de  
 Wheatstone



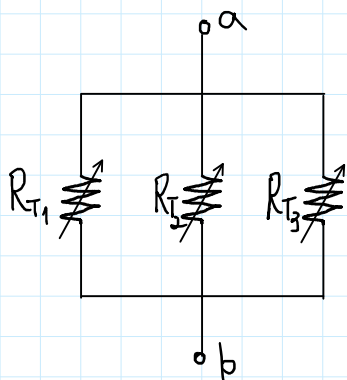
O maior problema na medição de  
 temperatura com termistor é a  
 alta não linearidade

A não linearidade pode ser reduzida usando algumas estratégias

associar um resistor em paralelo com o termistor



associação de termistores em paralelo  $\rightarrow$  tipicamente agrupados em um mesmo encapsulamento



ajuste da ponte de Wheatstone para obter um dado grau de linearidade em uma determinada faixa de temperatura

Exemplo: considere um termistor NTC de  $12\text{ k}\Omega$  em  $25^\circ\text{C}$  ( $298\text{ K}$ )

$$R_T = 12 \cdot 10^3 e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298}\right)}$$

$$\beta = 3740,0$$

IM requerido  $\rightarrow 25^\circ\text{C}$  a  $75^\circ\text{C}$   
 $\rightarrow 298\text{ K}$  a  $348\text{ K}$

$$V_{o_{\max}} = 2\text{ V}$$

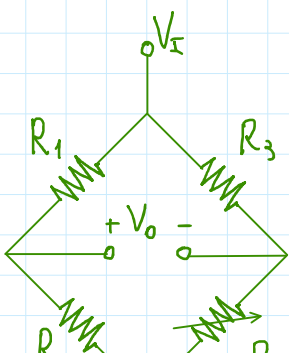
Corrente máxima =  $1\text{ mA}$

$$V_{o_{\min}} = 0\text{ V}$$

não linearidade requerida:  $\leq 2\%$

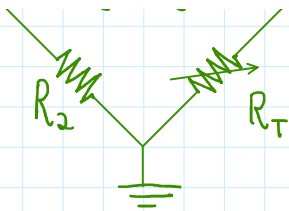
$$NL_{\%} = \left| \frac{V_o - V_{o_{\text{linear}}}}{V_{o_{\max}}} \times 100\% \right| \leq 2\% \quad \forall R_T \in IM$$

Projeto da ponte de Wheatstone



$$R_{T_{\min}} = R_{348\text{K}} = 1977,23\ \Omega$$

$$R_{T_{\max}} = R_{298\text{K}} = 12\text{ k}\Omega$$



$T_{max}$

$298K$

$r \sim 10^4$

$$V_{O_{min}} = 0V$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_{T_{max}}} \rightarrow R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_{T_{max}} = r R_{T_{max}}$$

$$V_{O_{max}} = 2V \rightarrow 2 = V_I \left( \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} - \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_{T_{min}}}} \right)$$

$$2 = V_I \left( \frac{1}{1+r} - \frac{1}{1+r \cdot \frac{12000}{1977,23}} \right)$$

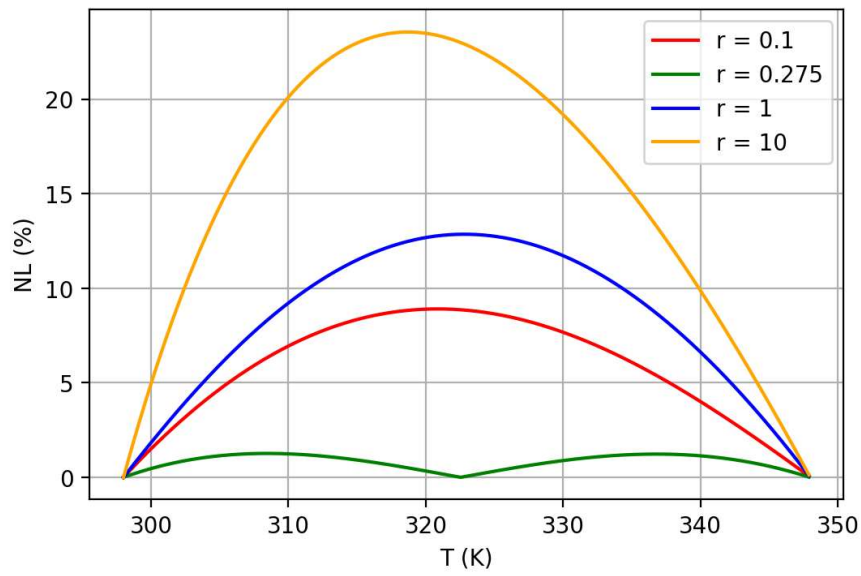
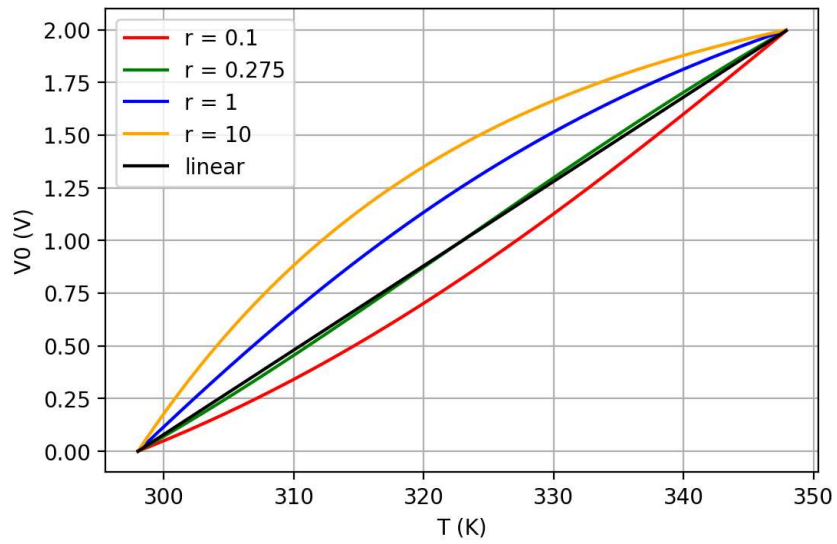
$$\rightarrow V_I = \frac{2}{A} \quad A = \frac{1}{1+r} - \frac{1}{1+6,07r}$$

Finalmente, o valor de  $r$  deve satisfazer o critério de linearidade

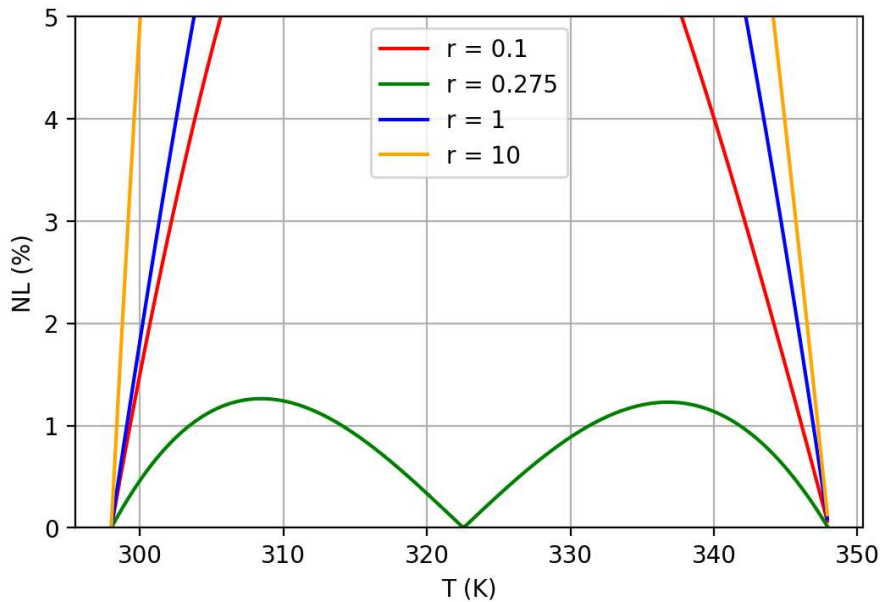
$$V_{O_{linear}} = \frac{T-298}{25}$$

20

$$V_o = V_i \left( \frac{1}{1+r} - \frac{1}{1+r \frac{12000}{R_T}} \right)$$







Note que  $r=0,275$  atende com folga o critério de  $NL (\leq 2\%)$

$$R_3 = r R_{T_{\max}} = 0,275 \cdot 12k = 3,3 k\Omega$$

$$V_I = 4,88 V$$

$$I_{b_{\max}} = \frac{4,88}{R_3 + R_{T_{\min}}} = 0,92 mA < 1mA \rightarrow ok$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 0,275 \rightarrow R_1 = 0,275 R_2$$

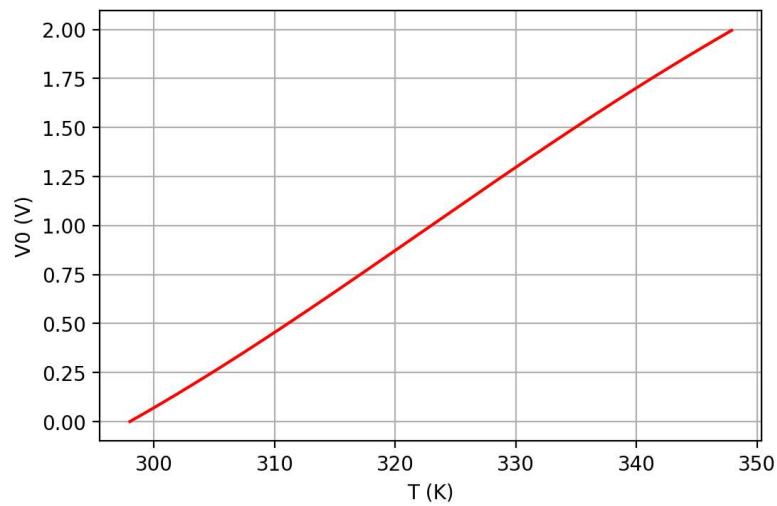
$$R_2 = 10 k\Omega \rightarrow R_1 = 2,75 k\Omega$$

$$R_1 = 2,75 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 3,3 \text{ k}\Omega$$

$$V_E = 4,88 \text{ V}$$



$$T \approx 25 V_0 + 298 \text{ (K)}$$