

## Trabalho 2

- 1) **(6 pontos)** Na medição de temperatura com termopar, sabe-se que é necessário compensar a temperatura da junção de referência para obter uma medida adequada da temperatura do processo. Uma das formas de realizar essa compensação é usar um sensor de temperatura para medir a temperatura da junção e, em seguida, gerar uma tensão elétrica que compense a queda de tensão na junção de referência do termopar. Nesse contexto, o objetivo desta primeira parte do trabalho é compensar a junção de referência de um termopar tipo J usando um termistor e uma ponte de Wheatstone. O diagrama geral da medição é apresentado na Figura 1.

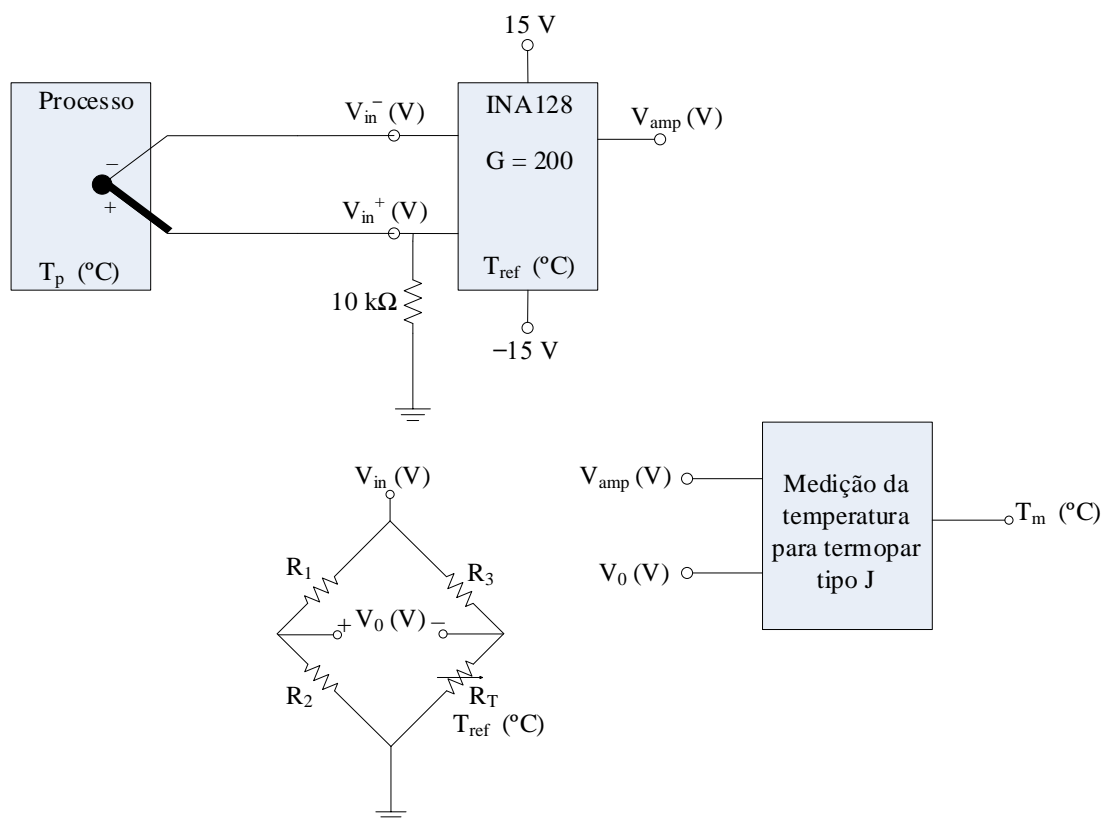


Figura 1 – sistema de medição de temperatura com termopar e compensação da junção de referência com termistor.

A seguir são apresentadas as principais informações sobre a implementação no LTspice.

- O termopar deve ser implementado através da biblioteca “TC\_J.sub” disponível no Moodle.



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Campus Blumenau**  
**Engenharia de Controle e Automação**  
**Metrologia e Instrumentação para Automação**

- Conforme apresentado na Figura 2, a temperatura do processo e a temperatura da junção de referência devem ser fornecidas através de fontes de tensão CC, sendo que nesse caso o valor da tensão é o valor da temperatura em °C. O parâmetro global “temp” no LTspice contém a temperatura ambiente considerada na simulação. Essa temperatura ambiente será usada como a temperatura da junção de referência ( $T_{ref}$ ).
- O amplificador de instrumentação INA128 deve ser implementado através da biblioteca “INA128.sub” (disponível no Moodle), com ganho  $G = 200$ . O *datasheet* do INA128 também está disponível no Moodle.
- Considere que a temperatura da junção de referência ( $T_{ref}$ ) pode variar entre 0 °C e 50 °C. Nessa faixa, o termopar tipo J apresenta comportamento aproximadamente linear com sensibilidade 0,0517 mV/°C, resultando em  $V_T = 0,0517 \cdot T$  mV para  $0 \leq T \leq 50$  °C. Dessa forma, faça o projeto da ponte de Wheatstone com o objetivo de fornecer a tensão  $V_0 = 200 \cdot V_T$  para  $0 \leq T \leq 50$  °C, onde  $V_0$  é a tensão indicada na Figura 1. A não linearidade de  $V_0$  deve ser inferior à 2%.
- O termistor apresenta resistência de 12 k $\Omega$  em 298 K, com  $\beta = 3740,0$ .
- Para obter o resultado da temperatura lida pelo sistema de medição, implemente uma função no LTspice que receba como argumentos de entrada as tensões  $V_0$  e  $V_{amp}$  (em V). O retorno da função deve ser a temperatura  $T_m$  indicada na Figura 1. Essa função pode ser implementada diretamente no gráfico de saída do LTspice. Os coeficientes para implementação da função podem ser obtidos no seguinte link:
  - [https://srdata.nist.gov/its90/type\\_j/jcoefficients\\_inverse.html](https://srdata.nist.gov/its90/type_j/jcoefficients_inverse.html)

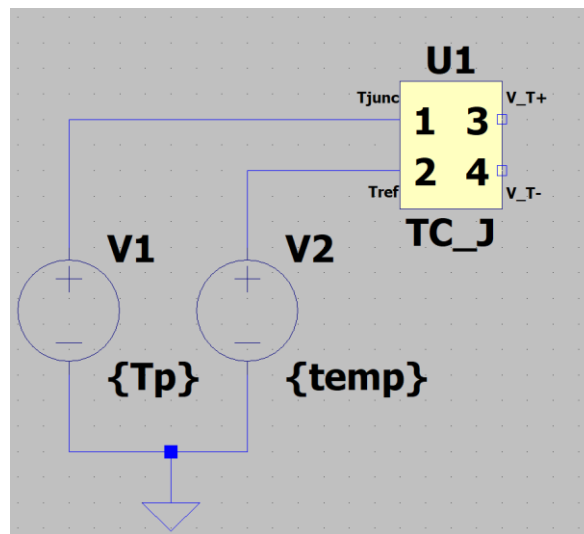


Figura 2 – implementação do termopar tipo J no LTspice.

### Roteiro

- a) Apresente os cálculos e gráficos usados para projetar a ponte de Wheatstone.
  - b) Descreva a implementação de todo o sistema de medição no LTspice.
  - c) Para uma temperatura do processo de 650 °C, varie a temperatura da junção de referência ( $T_{ref}$ ) entre 0 ° e 50 °C. Demonstre, a partir de um gráfico no LTspice, que a temperatura lida pelo sistema fica em torno de 650 °C.
  - d) Para uma temperatura na junção de referência ( $T_{ref}$ ) de 40 °C, varie a temperatura do processo ( $T_p$ ) entre 300 ° e 650 °C. Demonstre, a partir de um gráfico no LTspice, que a temperatura lida pelo sistema corresponde à temperatura do processo.
- 2) (4 pontos) A medição de deformação com extensômetro apresenta dois principais problemas: 1 – a resistência elétrica dos extensômetros varia com a temperatura; 2 – baixa variação da resistência em função da deformação (baixa sensibilidade). Para superar tais problemas, tipicamente são utilizados mais de um extensômetro na ponte de Wheatstone para compensar a temperatura e/ou aumentar a sensibilidade. Na Figura 3 são apresentadas três configurações de medição de deformação com extensômetro: (a) apenas um extensômetro; (b) dois extensômetros iguais; e (c) quatro extensômetros iguais. Considere

resistores de carbono com coeficiente de temperatura ( $t_c$ ) igual a  $-0,5 \text{ m } ^\circ\text{C}^{-1}$  e extensômetros de alumínio com  $t_c = 3,9 \text{ m } ^\circ\text{C}^{-1}$ . O *gauge fator* dos extensômetros é  $G = 2,2$  e a resistência sem deformação é  $R_{e=0} = R_0 = 120 \text{ } \Omega$ . Considere que a deformação por compressão varia na faixa  $-8 \cdot 10^{-3} \leq e \leq 0$  e a deformação por tração varia na faixa  $0 \leq e \leq 8 \cdot 10^{-3}$ .

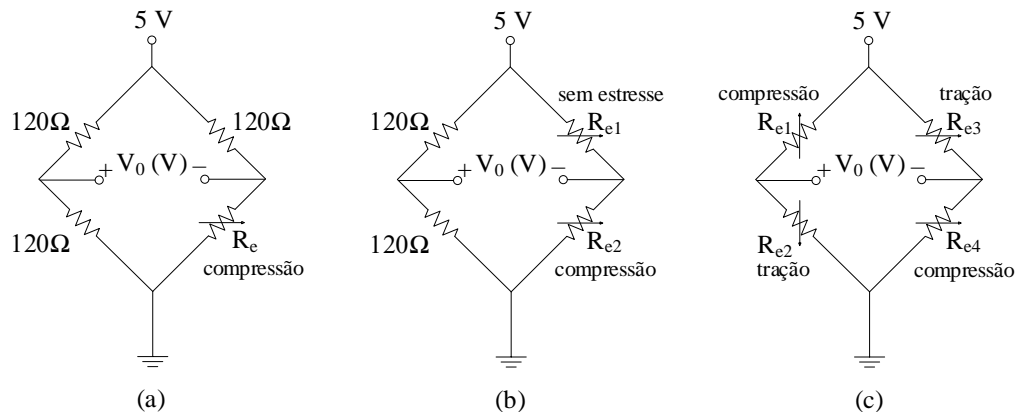


Figura 3 – Medição de deformação com extensômetro: (a) apenas um extensômetro; (b) dois extensômetros iguais, um sob compressão e outro sem estresse; e (c) quatro extensômetros iguais, dois sob tração e dois sob compressão.

### Roteiro

- a) Obtenha o gráfico da tensão  $V_0$  em função da deformação para cada um dos circuitos apresentados na Figura 3. Neste item, use  $t_c = 0$  para todos os componentes, ou seja, a resistência não varia com a temperatura. Compare as curvas obtidas e discuta sobre as vantagens e desvantagens de cada circuito.
- b) Obtenha o gráfico da tensão  $V_0$  em função da deformação para cada um dos circuitos apresentados na Figura 3. Neste item, considere a variação da resistência em função da temperatura. Varie a temperatura ambiente (parâmetro “temp” no LTspice) na faixa  $0 \leq T \leq 50^\circ \text{ C}$ . Compare as curvas obtidas e discuta sobre as vantagens e desvantagens de cada circuito.