

Antes de começar o exame leia atentamente as seguintes instruções:

- Para além da calculadora, só é permitido ter em cima da mesa de exame, os enunciados e folhas entregues pelo docente.
- Identifique, de forma legível, o cabeçalho de todas as folhas de exame que entregar. A identificação imprópria de uma folha de exame implica a sua inutilização.
- A cotação das perguntas encontra-se indicada, no fim das mesmas, entre parêntesis rectos.
- O aluno detectado a plagiar verá o seu exame anulado e poderá incorrer em processo disciplinar.
- A primeira questão pode ser seleccionada de ente duas possíveis opções.

Duração da prova: 1 hora e 1/2.

1) Pretende-se medir a temperatura entre 0°C e 50°C recorrendo ao circuito representado em baixo. Para isso recorreu-se a um RTD cuja tabela de calibração pode ser observada na figura 2.

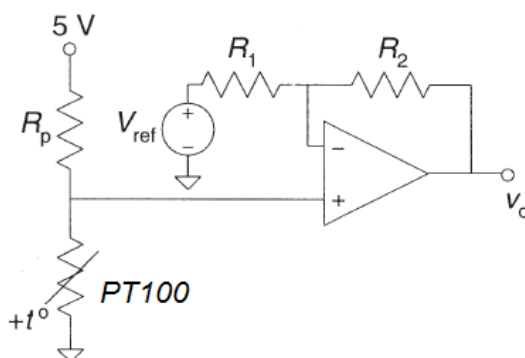


Figura1: Esquema eletrónico do sistema de condicionamento de sinal para o RTD.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.0000	100.3907	100.7814	101.1719	101.5623	101.9526	102.3427	102.7328	103.1227	103.5125
10	103.9022	104.2918	104.6813	105.0706	105.4599	105.8490	106.2380	106.6269	107.0156	107.4043
20	107.7928	108.1813	108.5696	108.9578	109.3458	109.7338	110.1216	110.5094	110.8970	111.2845
30	111.6718	112.0591	112.4463	112.8333	113.2202	113.6070	113.9937	114.3802	114.7667	115.1530
40	115.5392	115.9254	116.3113	116.6972	117.0830	117.4686	117.8541	118.2395	118.6248	119.0100
50	119.3951	119.7800	120.1648	120.5495	120.9341	121.3186	121.7030	122.0872	122.4713	122.8554

Figura 2: Tabela de calibração do sensor PT100 para temperaturas entre 0 e 59 °C (valores em Ω)

a) Indique as principais características de um RTD. [1 valores]

R: Ver PARTE III dos acetatos páginas 21 e 22.

b) Com base na tabela de calibração estime o valor médio da sensibilidade do RTD para a gama de medidas entre 0 e 50°C. [2 valores]

R: Considerando linear o comportamento do sensor entre os extremos da gama de medida a sensibilidade é dada por:

$$S = \frac{119.3951 - 100.0}{50 - 0} = \frac{19.3951}{50} \approx 0.39 \text{ } \Omega/\text{ }^\circ\text{C}$$

- c) Determine R1, R2, Rp e Vref de modo a que a saída do amplificador esteja limitada entre 0 e 2V e a corrente no sensor seja inferior a 50 uA. [4 valores]

R: Observe-se novamente o circuito considerando V1 como a ddp entre o terminal não inversor do AMPOP e a massa.

Considerando o AMPOP ideal as correntes de polarização são nulas. Começemos por determinar o valor da resistência de polarização do RTD. Pretende-se que a corrente seja inferior a 50uA de modo a evitar o seu auto-aquecimento. Para isso deve-se considerar sempre a pior situação que ocorre quando a resistência do RTD é menor. Para a gama de medidas suposta esse valor é obviamente 100 ohms. Assim fica:

$$I_{RDT} = \frac{V_{CC}}{R_p + R_{LDR@100^\circ C}} < 50 \times 10^{-6}$$

Ou seja,

$$R_p > \frac{5}{50 \times 10^{-6}} - 100 \Rightarrow R_p > 99.9 \text{ k}\Omega$$

Consideremos assim para Rp o valor normalizado por excesso de 100kΩ.

Falta agora determinar R1, R2 e Vref. Para isso precisamos de determinar a função de transferência estática do circuito. Na realidade é muito simples e resume-se a:

$$V_0 = \frac{R1 + R2}{R1} V_1 - \frac{R2}{R1} V_{REF}$$

Onde,

$$V_1 = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R_p} \times V_{CC}$$

Pretende-se que, para T=0°C a saída do AMPOP seja 0V e que para T=50°C a saída seja 2V. Isso leva às seguintes duas equações:

Para T = 0°C:

$$0 = \frac{R1 + R2}{R1} \frac{500}{100100} - \frac{R2}{R1} V_{REF}$$

$$0 \approx \frac{R1 + R2}{R1} \frac{500}{100000} - \frac{R2}{R1} V_{REF}$$

Para $T = 50^{\circ}\text{C}$

$$2 = \frac{R1 + R2}{R1} \frac{596.9755}{100.1193951 \times 10^3} - \frac{R2}{R1} V_{REF}$$

$$2 \approx \frac{R1 + R2}{R1} \frac{596.9755}{100000} - \frac{R2}{R1} V_{REF}$$

O que leva a:

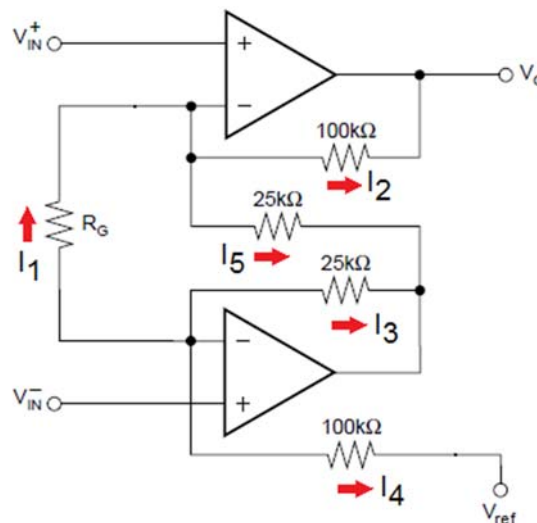
$$R2 = 2061.4 \times R1$$

$$V_{REF} = \frac{R1 + R2}{R2} \frac{5}{1000}$$

Como $R2 \gg R1 \Rightarrow R1 + R2 \approx R2$ logo $V_{REF} = 5 \text{ mV}$

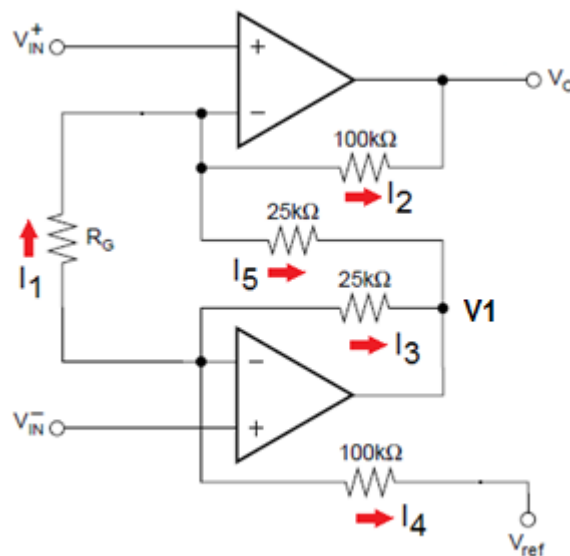
Como ficamos com duas incógnitas e só uma equação devemos atribuir um valor a uma delas e assim derivar a segunda. É preciso notar que, mesmo que matematicamente qualquer valor positivo possa ser escolhido, na prática existem limites que devem ser respeitados devido ao fato do AMPOP possui uma impedância de entrada que não é finita assim como as correntes máximas que devem circular nas suas malhas. Neste contexto, e assumindo $R1 = 500\Omega$, $R2 \approx 1\text{M}\Omega$

- 2) O circuito que se segue mostra o diagrama interno do amplificador de instrumentação INA122.



Obtenha a expressão matemática que relaciona a tensão de saída V_o com os sinais de entrada V_{in}^+ , V_{in}^- e V_{ref} . [5 valores]

R:



$$I_1 = \frac{V_{in}^- - V_{in}^+}{R_G}$$

$$I_2 = \frac{V_{in}^+ - V_o}{100K}$$

$$I_3 = \frac{V_{in}^- - V_1}{25K}$$

$$I_4 = \frac{V_{in}^- - V_{REF}}{100K}$$

$$I_5 = \frac{V_{in}^+ - V_1}{25K}$$

e as seguintes equações devem verificar-se:

$$-I_1 = I_3 + I_4$$

$$I_1 = I_2 + I_5$$

ou seja,

$$-\frac{V_{in}^- - V_{in}^+}{R_G} = \frac{V_{in}^- - V_1}{25K} + \frac{V_{in}^- - V_{REF}}{100K}$$

$$\frac{V_{in}^- - V_{in}^+}{R_G} = \frac{V_{in}^+ - V_o}{100K} + \frac{V_{in}^+ - V_1}{25K}$$

Levando a:

$$V_1 = 25K \left(\frac{V_{in}^-}{R_G} - \frac{V_{in}^+}{R_G} + \frac{V_{in}^-}{25K} + \frac{V_{in}^-}{100K} - \frac{V_{REF}}{100K} \right) \quad (1.1)$$

$$V_0 = 100K \left(\frac{V_{in}^+}{R_G} + \frac{V_{in}^+}{100K} + \frac{V_{in}^+}{25K} - \frac{V_{in}^-}{R_G} - \frac{V_1}{25K} \right) \quad (1.2)$$

Substituindo 1.1 em 1.2 fica,

$$V_0 = 100K \left(\frac{V_{in}^+}{R_G} + \frac{V_{in}^+}{100K} + \frac{V_{in}^+}{25K} - \frac{V_{in}^-}{R_G} - \left(\frac{V_{in}^-}{R_G} - \frac{V_{in}^+}{R_G} + \frac{V_{in}^-}{25K} + \frac{V_{in}^-}{100K} - \frac{V_{REF}}{100K} \right) \right)$$

após simplificação fica:

$$V_0 = 100K \left(\frac{V_{in}^+}{R_G} + \frac{V_{in}^+}{100K} + \frac{V_{in}^+}{25K} - \frac{V_{in}^-}{R_G} - \frac{V_{in}^-}{R_G} + \frac{V_{in}^+}{R_G} - \frac{V_{in}^-}{25K} - \frac{V_{in}^-}{100K} + \frac{V_{REF}}{100K} \right)$$

$$V_0 = 100K \left(V_{in}^+ \left(\frac{2}{R_G} + \frac{1}{100K} + \frac{1}{25K} \right) - V_{in}^- \left(\frac{2}{R_G} + \frac{1}{25K} + \frac{1}{100K} \right) + \frac{V_{REF}}{100K} \right)$$

$$V_0 = (V_{in}^+ - V_{in}^-) 100K \left(\frac{2}{R_G} + \frac{1}{100K} + \frac{1}{25K} \right) + V_{REF}$$

$$V_0 = (V_{in}^+ - V_{in}^-) \left(\frac{200K}{R_G} + 5 \right) + V_{REF}$$

Sugestão de Trabalho. Compare esta expressão com a dada no datasheet do fabricante

3) Responda às seguintes questões:

a) Explique como funciona um extensômetro, quais os valores típicos para a sua sensibilidade e resistências. Indique ainda como é normalmente feito o seu condicionamento. [2 valores]

R: Ver PARTE III dos acetatos páginas 14 a 20

b) Explique como funciona um voltímetro AC analógico. Apresente o seu diagrama de blocos. [2 valores]

R: Ver PARTE II dos acetatos páginas 32 a 36

c) Durante as aulas foi dito que o galvanômetro possui um comportamento do tipo passa-baixo. Explique em que medida este comportamento é aproveitado no dimensionamento de voltímetros e amperímetros AC analógicos. [2 valores]

R: Ver PARTE II dos acetatos páginas 13 a 19

d) Explique como funciona um conversor A/D por aproximações sucessivas. Apresente um diagrama de blocos ilustrativo da sua operação. [2 valores]

R: Ver PARTE IV dos acetatos páginas 28 e 29

FORMULÁRIO:

Erros de Medida

- Erro de Medida

$$\Delta x = x_{\text{Real}} - x_{\text{Medido}}$$

- Valor Absoluto do Erro

$$\delta x = |\Delta x| = |x_{\text{Real}} - x_{\text{Medido}}|$$

- Erro Relativo

$$\varepsilon_x = \delta x / |x_{\text{Real}}| \approx \delta x / |x_{\text{Medido}}|$$

- Se x é uma grandeza função de n grandezas parciais y_1, y_2, \dots, y_n com erros de medida $\varepsilon_{y_1}, \varepsilon_{y_2}, \dots, \varepsilon_{y_n}$ respectivamente, o erro relativo majorado de x é dado por:

$$\varepsilon_x \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f(y_1, \dots, y_n)}{\partial y_i} \cdot \frac{y_i}{f(y_1, \dots, y_n)} \right| \cdot \varepsilon_{y_i}$$

Estatística da Medida

- Média Aritmética

$$\mu = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

- Desvio Médio Absoluto

$$\delta = \sum_{i=1}^n |x_i - \mu| / n = \mu \cdot \varepsilon$$

- Desvio Padrão

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 / n}$$

Exactidão na Instrumentação Analógica

- Erro Absoluto Máximo

$$\delta_{\text{max}} = ic \cdot V_{fe} / 100$$

- Erro Relativo Máximo

$$\varepsilon_{\text{max}} = ic \cdot V_{fe} / V_m$$

Exactidão na Instrumentação Digital

- Especificação da Exactidão

$$\pm [\varepsilon_{in} + n \text{LSD}]$$

- Erro Relativo Máximo

$$\varepsilon_{\text{max}} = \varepsilon_{in} + \frac{n \times \text{Resolução}}{V_m} \times 100$$

- Erro Absoluto Máximo

$$\delta_{\text{max}} = \frac{V_m \cdot \varepsilon_{\text{max}}}{100} = \frac{\varepsilon_{in} V_m}{100} + n \times \text{Resolução}$$

Sinal

- Valor Médio

$$V_o = \frac{1}{T} \int v(t) dt$$

- Valor Eficaz

$$V_{RMS}^2 = \frac{1}{T} \int v^2(t) dt$$

- Factor de Crista

$$FC = \frac{V_p}{V_{RMS}}$$

Medida de Grandezas Eléctricas

- Sensibilidade

$$S = \frac{R_{in}}{V_{FE}}$$

$$S_{AC} = \frac{R_{in}}{V_{RMS}}$$

- Deflexão

$$D = \frac{I_{in}}{I_{AF}}$$

Filtros Passivos de 1ª Ordem

- Frequência de corte (Hz)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Extensómetro

$$\frac{\Delta R}{R} = G \frac{\Delta l}{l}$$