

- 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 cotação das perguntas encontra-se indicada, no fim das mesmas, entre parêntesis retos.

Duração da prova: 1 hora e 1/2.

- 1) A figura que se segue mostra o condicionamento de sinal para um sensor de temperatura PT100. A sua temperatura a 0°C é igual a 100Ω e a sua sensibilidade à temperatura é igual a 4 mΩ/°C.

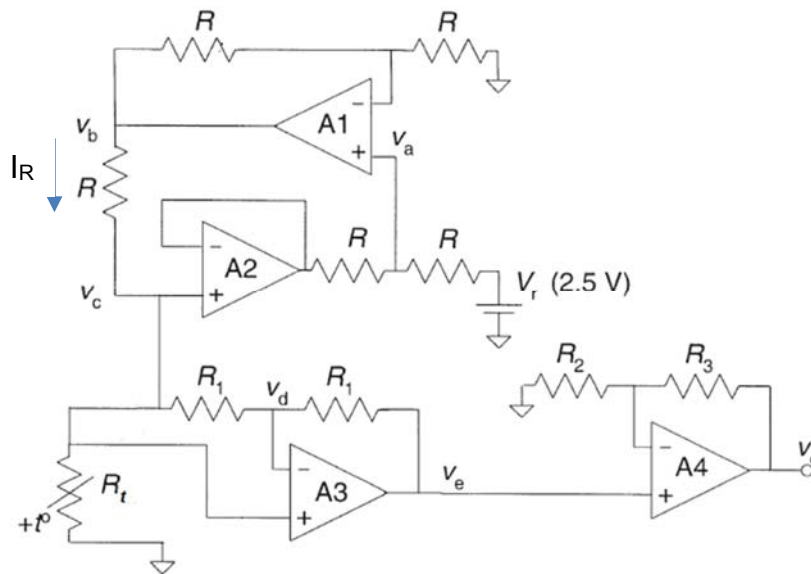


Figura1: Esquema eletrónico do sistema de condicionamento de sinal para o RTD.

- a) Obtenha a função de transferência estática do sensor. [2 valores]

Trata-se da equação de uma reta que relaciona a resistência do RTD com a temperatura. A partir dos dados do problema é fácil ver que:

$$R_{RTD} = 100 + 4 \times 10^{-3} \times T$$

- b) Sabendo que se pretende medir temperaturas entre 15°C e 250°C determine o valor para **R** de modo a que a corrente no sensor seja igual a 1mA. [2 valores]

O condicionamento de sinal de um RTD passa pela injeção de uma corrente contante, normalmente em torno de 1mA, e posterior medição da sua queda de tensão. A corrente de polarização deverá ser tal que limite o efeito de auto-aquecimento. É fácil de ver que que o circuito é composto por quatro AMPOPS. Os amplificadores A1 e A2

implementam uma fonte de corrente, o amplificador A3 mede a queda de tensão no RTD e o amplificador A4 serve para ajuste de ganho.

Para responder a esta questão é necessário conhecer a expressão que nos fornece o valor da corrente que passa no RTD. Para isso vamos fazer uma análise rápida ao circuito:

- A1 está montado como amplificador não inversor com ganho 2.
- A2 está montado como buffer e logo o ganho é 1. Isto significa que se à entrada estiver uma tensão  $V_c$ , à saída vamos observar o mesmo valor de tensão.
- A tensão aplicada à entrada não-inversora do amplificador A1 será por isso  $(V_c+V_r) / 2$  o que implica que  $V_b$  seja igual a  $V_c+V_r$ .

Assim sendo a queda de tensão na resistência R é obviamente  $(V_c+V_r)-V_c=V_r$  que neste caso tem o valor de 2.5V. A corrente que passa na resistência R é assim :  $I_R = 2.5/R$

A corrente  $I_R$  será dividida em três frações: uma que segue para o RTD, outra para a entrada não inversora de A3 e outra para a entrada não-inversora do mesmo AMPOP. Admitindo que os AMPOPS são todos ideais, a corrente na entrada não-inversora é zero. Por outro lado, é fácil de ver que a corrente na entrada inversora é também zero dado que  $V_d=V_c$  e logo a queda de tensão na resistência de entrada R1 é zero. Por isso a corrente  $I_R$  é igual à corrente que atravessa o RTD. Conclui-se então que, para que essa corrente seja de 1mA, o valor de R deve ser igual a  $2.5/1 \times 10^{-3} = 2500 \Omega$

c) Determine a função de transferência  $V_o$  em função da temperatura T. [2 valores]

A tensão à saída do AMPOP A3 será igual à queda de tensão aos terminais do RTD. Assim,

$$V_c = R_{RTD} \times 1 \times 10^{-3}$$

$$V_e = V_c$$

$$V_o = (1 + R_3/R_2) \times V_e$$

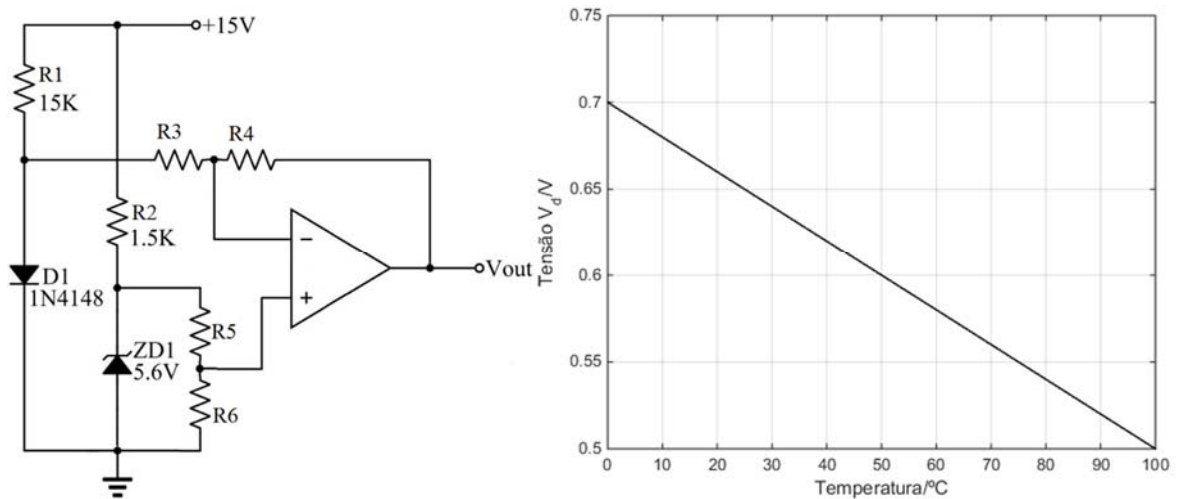
Por isso,

$$V_o = (1 + R_3/R_2) \times R_{RTD} \times 1 \times 10^{-3}$$

E atendendo à alínea a) deste problema:

$$V_o = (1 + R_3/R_2)(100 + 4 \times 10^{-3} \times T) \times 1 \times 10^{-3}$$

2) Um diodo comum, tal como o 1N4148, possui uma curva característica entre a queda de tensão aos seus terminais e a temperatura praticamente linear se a corrente for mantida constante. Neste caso a queda de tensão aos terminais do diodo diminui 2mV por cada grau centígrado de aumento da temperatura. O circuito que se segue aproveita este efeito para implementar um termómetro capaz de medir temperaturas entre 0°C e 100°C. Para uma corrente de polarização em torno de 1mA a relação entre a temperatura T, em graus centígrados, e a queda de tensão no diodo  $V_D$  é pode ser vista no gráfico.



a) Diga justificando se o coeficiente de temperatura do diodo é positivo ou negativo. Adicionalmente, a partir do gráfico, obtenha a expressão matemática que relaciona a queda de tensão no diodo e a temperatura. [2 valores]

Por observação direta da curva característica é fácil concluir que o coeficiente de temperatura é negativo. Efetivamente o declive dessa curva é contante e igual a - 2mV/°C. Neste contexto conclui-se que a relação entre a queda de tensão aos terminais do diodo D1,  $V_D$ , e a temperatura T é dada por:

$$V_D = 0.7 - 2 \times 10^{-3} \times T$$

b) Obtenha a função de transferência do circuito anterior. Pretende-se determinar uma expressão matemática que relacione a tensão à saída do AMPOP com a temperatura a que o diodo está sujeito. [2 valores]

Seja  $V_x$  a tensão aplicada ao terminal não-inversor do AMPOP. Considerando este ideal, o valor de  $V_x$  é dado por:

$$V_x = \frac{R_6}{R_6 + R_5} \times V_Z$$

Onde  $V_Z$  é a tensão imposta pelo diodo Zener que neste caso é 5.6V.

Considerando o diodo D1 como uma fonte de tensão cujo valor depende com a temperatura de acordo com a lei definida na alínea a) deste exercício, conclui-se que a saída do AMPOP é dada por:

$$V_o = (R_3 + R_4/R_3) \times V_x - R_4/R_3 \times V_D$$

ou seja,

$$V_o = ((R_3 + R_4)/R_3) \times R_6/(R_6 + R_5) \times V_z - R_4/R_3 \times (0.7 - 2 \times 10^{-3} \times T)$$

- c) Calcule possíveis valores para R3, R4, R5 e R6 atendendo a que os seus valores devem estar na gama dos KΩ e que não devem ser sujeitas a potências superiores a 1/8 W. [2 valores]

Neste caso é preciso impor condições de operação. Vamos admitir que desejamos que Vo seja 0V se T=0°C e que Vo=1V se T=100°C. Neste caso a relação entre a temperatura e a tensão é direta a menos de um fator de escala de 100. Com base na função de transferência da alínea anterior verifica-se que existem 4 incógnitas. Logo vão ser precisas 4 equações. Começemos com as duas óbvias:

Se T=0°C => V<sub>D</sub> = 0.7V e V<sub>o</sub> = 0V. Assim, e com base na função de transferência da alínea b) fica:

$$0 = ((R_3 + R_4)/R_3) \times R_6/(R_6 + R_5) \times 5.6 - R_4/R_3 \times 0.7 \quad (1)$$

Se T=100°C => V<sub>D</sub> = 0.5V e V<sub>o</sub> = 1V.

$$1 = ((R_3 + R_4)/R_3) \times R_6/(R_6 + R_5) \times 5.6 - R_4/R_3 \times 0.5 \quad (2)$$

Subtraindo ambas as equações fica:

$$1 = R_4/R_3 \times 0.2 \Rightarrow R_4 = 20 \times R_3$$

Admitindo que **R3=1kΩ** então **R4 = 20kΩ**

Substituindo esta igualdade na expressão (1) fica:

$$14 = 21 \times R_6/(R_6 + R_5) \times 5.6 \Rightarrow (21 \times 5.6)/14 - 1 = R_5/R_6 \Rightarrow$$

$$R_5 = 7.4 \times R_6$$

Admitindo que **R6=1kΩ** então **R4 = 7.4kΩ**

### 3) Responda às seguintes questões:

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

Ver apontamentos das aulas teóricas.

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

Ver apontamentos das aulas teóricas.

- c) Durante as aulas foi dito que o galvanómetro 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]

Ver apontamentos das aulas teóricas.

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

Ver apontamentos das aulas teóricas.