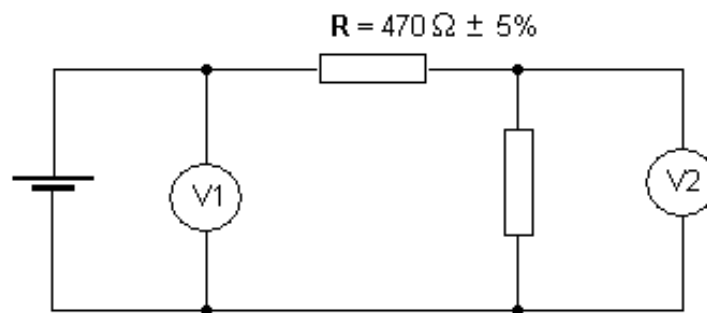


Antes de começar o exame leia atentamente as seguintes instruções:

- 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) Considere a seguinte montagem:



Os voltmétros V1 e V2 utilizados possuem as seguintes características:

Voltímetro V1		Voltímetro V2	
<i>Tipo</i>	Analógico	<i>Tipo</i>	Digital (3 ½ Dígitos)
<i>Classe</i>	0.5	<i>Incerteza</i>	[0.1% (Entrada)+ 1 LSD]
<i>Fim de Escala</i>	20 V	<i>Fim de Escala</i>	19.99 V
<i>Valor Lido</i>	16 V	<i>Valor Lido</i>	11.45 V

a) Calcule, a partir das leituras efectuadas, a **queda de tensão** na resistência R assim como o respectivo erro relativo. [2 valores]

R: A queda de tensão na resistência é simplesmente $V_R = V_1 - V_2$ ou seja $V_R = 16 - 11.45 = 4.55V$.

O erro relativo será estimado utilizando a fórmula fundamental da propagação dos

erros. Ou seja, $\varepsilon_R \leq \left| \frac{\partial V_R}{\partial V_1} \frac{V_1}{V_R} \right| \varepsilon_{V_1} + \left| \frac{\partial V_R}{\partial V_2} \frac{V_2}{V_R} \right| \varepsilon_{V_2}$

Onde os erros relativos associados à medição com os voltímetros são calculados da seguinte forma:

$$\varepsilon_{V_1} = ic \cdot V_{fe} / V_m = 0.5 \frac{20}{16} = 0.625\%$$

$$\varepsilon_{V_2} = \varepsilon_{in} + \frac{n \times \text{Resolução}}{Vm} \times 100 = 0.1 + \frac{1 \times 0.01}{11.45} \times 100 = 0.19\%$$

E logo,

$$\varepsilon_R \leq \frac{V_1}{V_1 - V_2} \varepsilon_{V_1} + \frac{V_2}{V_1 - V_2} \varepsilon_{V_2} \Rightarrow \varepsilon_R \leq \frac{16}{4.55} 0.625 + \frac{11.45}{4.55} 0.19$$

$$\varepsilon_R \leq 2.67\%$$

b) Calcule, a partir das leituras efectuadas, a **potência dissipada** na resistência R assim como o respectivo erro relativo. [2 valores]

R: A única coisa que muda relativamente ao exercício anterior é a variável que se pretende medir. Neste caso a potência dissipada é estimada por:

$$P = \frac{(V_1 - V_2)^2}{R}$$

Aplicando a fórmula fundamental da propagação dos erros, e atendendo a que a incerteza associada à resistência R é 5% obtém-se:

$$\varepsilon_P \leq \left| \frac{\partial P}{\partial V_1} \frac{V_1}{P} \right| \varepsilon_{V_1} + \left| \frac{\partial P}{\partial V_2} \frac{V_2}{P} \right| \varepsilon_{V_2} + \left| \frac{\partial P}{\partial R} \frac{R}{P} \right| \varepsilon_R \text{ onde}$$

$$\frac{\partial P}{\partial V_1} = \frac{2(V_1 - V_2)}{R}$$

$$\frac{\partial P}{\partial V_2} = -\frac{2(V_1 - V_2)}{R}$$

$$\frac{\partial P}{\partial R} = -\frac{(V_1 - V_2)^2}{R^2}$$

$$\varepsilon_P \leq \frac{2V_1}{(V_1 - V_2)} \varepsilon_{V_1} + \frac{2V_2}{(V_1 - V_2)} \varepsilon_{V_2} + \varepsilon_R$$

$$\varepsilon_P \leq \frac{32}{4.55} 0.625 + \frac{22.9}{4.55} 0.19 + 5$$

$$\varepsilon_P \leq 10.4\%$$

2) Um sensor de pH possui a curva de calibração representada na figura 2. Pretende-se adapta-lo a um conversor A/D de 10 bit. Para isso projecta-se um circuito de condicionamento de sinal como aquele representado na figura 1.

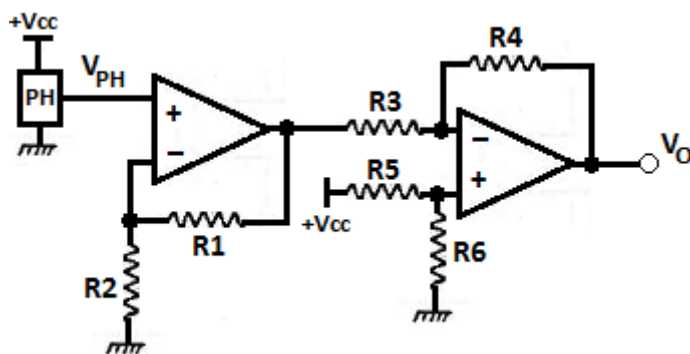


Figura 1

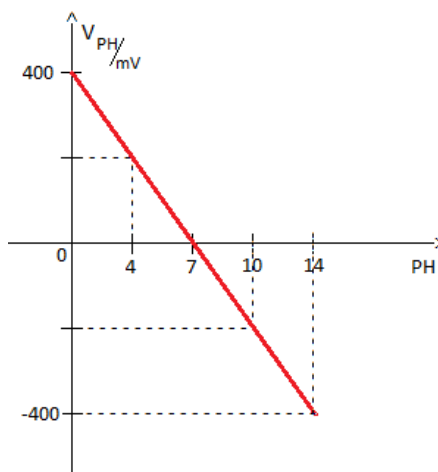


Figura 2

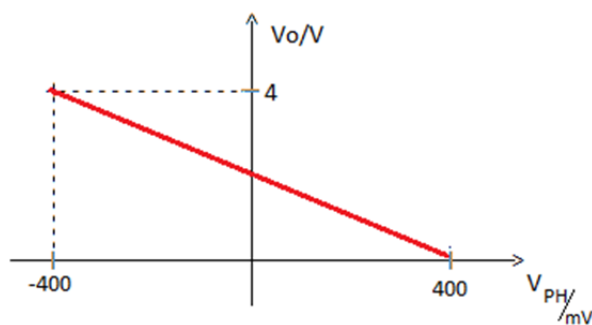
a) Determine a sensibilidade do sensor. [2 valores]

$$R: S_{pH} = \frac{\Delta V_{pH}}{\Delta pH} = \frac{0.8}{14} \approx 0.06V / pH$$

b) Imagine que o conversor A/D a utilizar era do tipo “aproximações sucessivas”. Desenhe o diagrama de blocos e explique o seu funcionamento. [2 valores]

R: Ver acetatos “TÉCNICAS DE CONDICIONAMENTO DE SINAL: Conversão de Dados”, páginas 28 e 29

c) Admita que no circuito da figura 1, Vcc é igual a 12 V. Determine os valores das resistências R1 a R6 de modo a que a função de transferência do circuito tenha o seguinte aspecto: [4 valores]



R: Com base na função de transferência representada, o circuito deve ser capaz de realizar a seguinte operação matemática:

$$V_O = -5 \times V_{pH} + 2 \quad (1)$$

Primeiro obtém-se a função de transferência do circuito. O primeiro AMPOP funciona como amplificador não inversor. Portanto à sua saída tem-se:

$$V_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{pH}$$

A operação do segundo AMPOP é um pouco mais complexa e é representada por:

$$V_o = \left(\frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} \right) V_{cc} - \frac{R_4}{R_3} V_1$$

Combinando ambas as expressões tem-se:

$$V_o = \left(\frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} \right) V_{cc} - \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) V_{pH} \quad (2)$$

Igualando (2) a (1) impõem-se as seguintes igualdades:

$$\left(\frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} \right) V_{cc} = 2 \Rightarrow \left(\frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} \right) = \frac{1}{6}$$

$$\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 5$$

Como se sabe, convém que os valores das resistências de polarização dos AMPOP's tenham valores entre as centenas de ohms e as dezenas de quilo-ohms. Admitindo $R_4 = R_3 = 1K$ então $R_1 = 4R_2$. Se $R_2 = 1K$ então $R_1 = 4K$. Neste caso, se $R_6 = 1K$ então $R_5 = 11K$.

3) Responda às seguintes questões:

- a)** Qual a diferença entre um sensor activo e um sensor passivos. Dê alguns exemplos de sensores para ambos os casos? [2 valores]

R: Ver acetatos “Instrumentação Electrónica e Medidas: Tipos de Sensores e sua Aplicação”

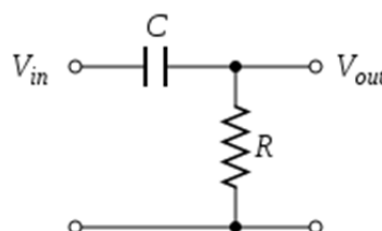
- b)** Diga de que forma é normalmente feito o condicionamento de sinal de um extensómetro. Refira-se aos problemas que devem ser contornados quando se utilizam este tipo de sensores? [2 valores]

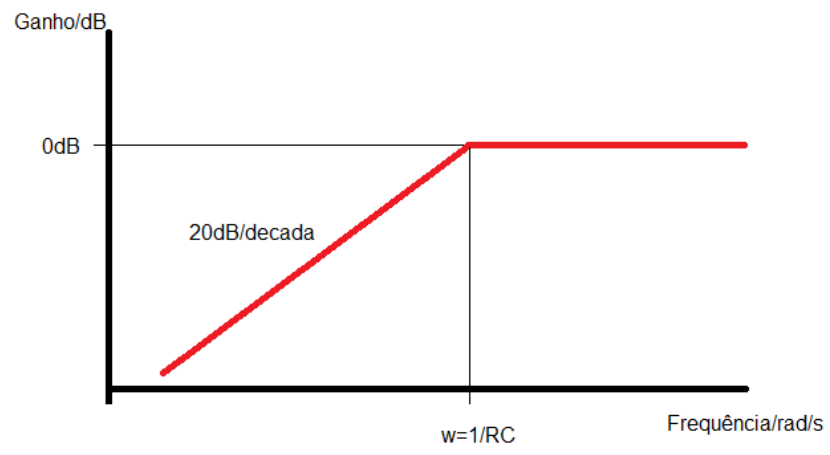
R: Ver acetatos “Instrumentação Electrónica e Medidas: Técnicas de Condicionamento de Sinal”, páginas 8 a 22

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

R: Ver acetatos “TÉCNICAS DE CONDICIONAMENTO DE SINAL: Conversão de Dados”, páginas 28 e 29

- d)** Desenhe o esquema eléctrico de um filtro passivo do tipo passa-alto de primeira ordem. Represente o aspecto da magnitude da sua resposta em frequência (sem esquecer de apresentar o ganho nas altas frequências e a taxa de atenuação nas baixas frequências). [2 valores]





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

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

- Valor Eficaz

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

- 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)

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