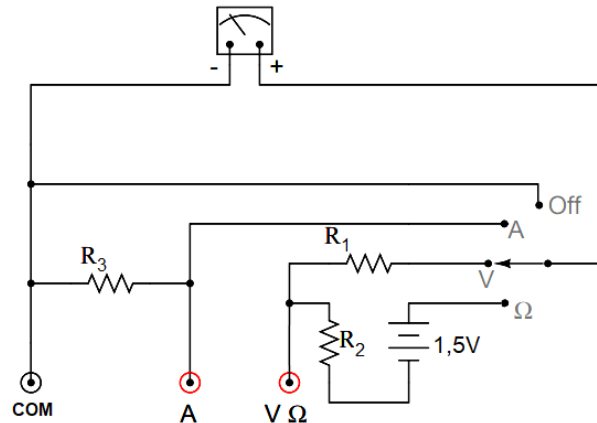


Duração da prova: 1,5 horas

1) Considere o esquema do seguinte multímetro analógico:



O galvanómetro possui uma corrente de fim-de-escala de $50\mu\text{A}$ e uma resistência interna de $1\text{k}\Omega$. Determine o valor das resistências R_1 , R_2 e R_3 sabendo que o valor de fim-de-escala do amperímetro é 10 A , do voltímetro igual a 300 V e o valor de meia-escala do ohmímetro é $1\text{k}\Omega$. [5 valores]

Solução:

Equação associada ao Amperímetro

$$I_A = \frac{R_3}{R_3 + R_A} I_{in}$$

Se $I_{in} = 10\text{ A}$ então $I_A = I_{AF} = 50\mu\text{A}$ de onde se tira que:

$$R_3 = \frac{R_A}{\frac{I_{in}}{I_{AF}} - 1} = \frac{1000}{\frac{10}{50 \times 10^{-6}} - 1} = 5\text{m}\Omega$$

Equação associada ao Voltímetro

$$V_{IN} = I_A (R_1 + R_A)$$

Se $V_{IN} = 300\text{ V}$ então $I_A = I_{AF} = 50\mu\text{A}$ de onde se tira que:

$$R_1 = \frac{V_{IN}}{I_{AF}} - R_A = \frac{300}{50 \times 10^{-6}} - 1000 \approx 6M\Omega$$

Equação associada ao Ohmímetro

Se o valor da resistência de meia escala é $1k\Omega$ significa que quando for colocado aos terminais do ohmímetro uma resistência de $1k\Omega$ a corrente que passa no ramo do microamperímetro deve ser metade da corrente de fim-de-escala. Assim,

$$R_2 = \frac{1.5}{25 \times 10^{-6}} - 2000 = 58k\Omega$$

Qual será o valor indicado pelo ohmímetro quando os seus terminais forem curto-circuitados? O que acha que falta neste ohmímetro?

- 2) Atualmente, o automóvel contém múltiplas malhas de controlo onde sensores desempenham um papel fundamental. O sensor lambda é um desses sensores. Trata-se de um sensor que mede a proporção de oxigénio (O_2) nos gases expelidos pelo sistema de escape. Este sensor é roscado a jusante do coletor e a montante do catalisador (um segundo sensor é também colocado a seguir ao catalisador). A figura que se segue mostra o aspeto de um desses sensores e ao lado pode-se ver um esquema que mostra a sua localização.

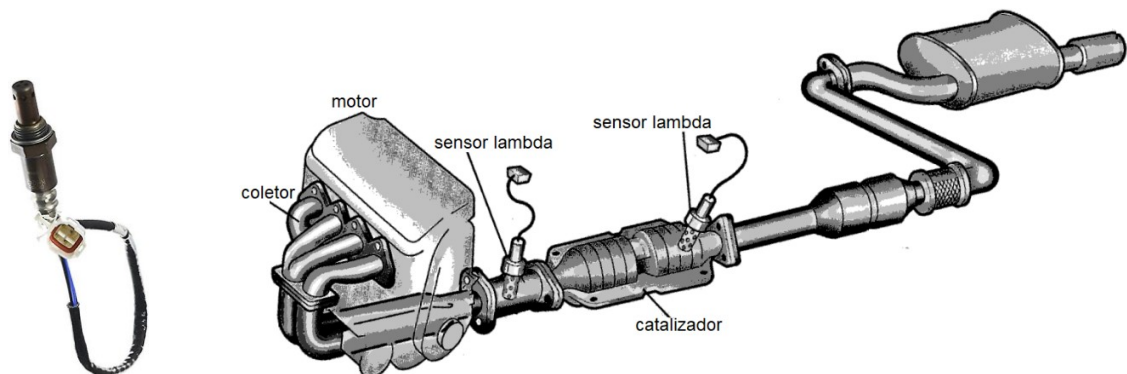
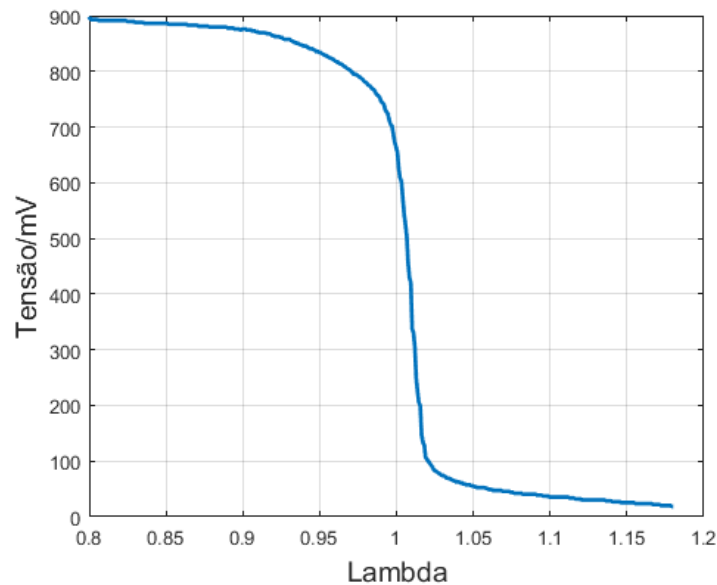


Figura 1 – À esquerda, aspeto do sensor lambda comercial e à direita a sua localização no contexto do sistema de exaustão de um automóvel

O valor da variável independente, lambda, refere-se ao valor relativo entre o oxigénio e o produto da combustão nos cilindros do motor e a variável de saída é uma tensão diferencial. A figura que se segue mostra a curva de calibração desse sensor.



- a) Diga, justificando convenientemente, se se trata de um sensor com comportamento linear ou não-linear. [1 valores]

Solução:

Como a sensibilidade não é constante ao longo de toda a gama dinâmica de funcionamento, então o sensor tem um comportamento não-linear.

- b) Estime o valor da sensibilidade do sensor em torno de $\lambda=1$. [2 valores]

Solução:

A sensibilidade é determinada com base na aproximação do declive da reta tangente à curva de calibração no ponto em questão. Neste caso,

$$S_{\lambda=1} \approx \frac{0.7 - 0.5}{0.99 - 1.01} = -10 \text{ V}/\lambda$$

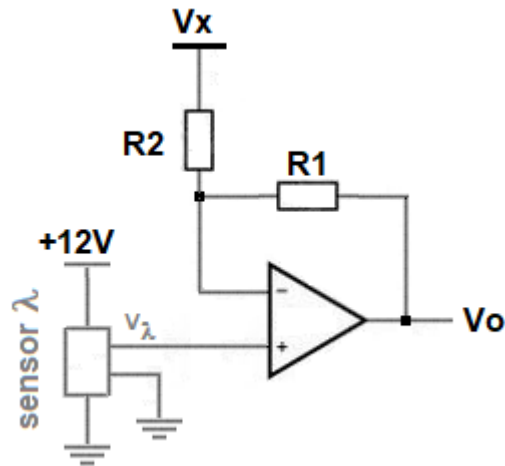
- c) Este sensor comporta-se como uma célula de combustível onde a diferença de potencial entre dois elétrodos é proporcional ao valor relativo da quantidade de oxigénio nos gases de exaustão. Diga, justificando convenientemente, se este sensor se pode classificar como sensor passivo ou ativo. [1 valores]

Solução:

Dado que o sensor se comporta como um gerador cuja f.e.m. é (inversamente) proporcional ao valor de λ então trata-se de um sensor ativo.

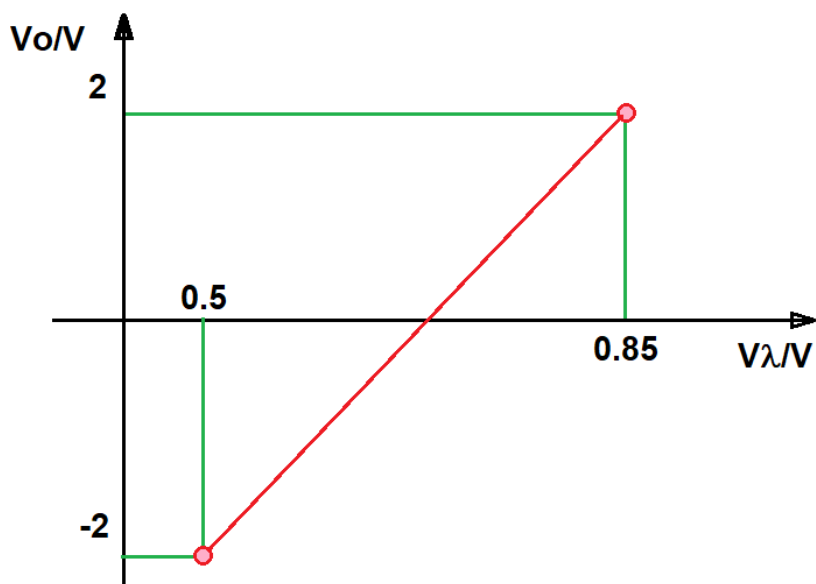
- d) Considere-se o seguinte circuito de condicionamento de sinal para o sensor lambda apresentado. No circuito, V_λ refere-se à tensão à saída do sensor cujo comportamento se encontra representado no gráfico anterior. Determine o valor das

resistências R1 e R2 assim como a tensão de referência Vx de forma a que a saída do AMPOP seja igual a -2V quando $\lambda=1.05$ e +2V quando $\lambda=0.95$. [5 valores]



Solução:

Quando $\lambda = 0.95$ $V_\lambda \approx 0.85V$ e quando $\lambda = 1.05$, $V_\lambda \approx 0.5V$. O circuito de condicionamento de sinal é usado para realizar o seguinte mapeamento:



Ou seja,

$$V_o + 2 = \frac{4}{0.35}(V_\lambda - 0.5)$$

Que de outra forma toma o seguinte aspeto:

$$V_o = \frac{4}{0.35}V_\lambda - \frac{5.4}{0.7}$$

A função de transferência estática deste circuito é:

$$V_o = V_\lambda \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) - \frac{R_1}{R_2} V_x$$

. Daqui obtêm-se as seguintes duas equações:

$$\frac{R_1}{R_2} + 1 = \frac{4}{0.35}$$

$$\frac{R_1}{R_2} V_x = \frac{5.4}{0.7}$$

$$V_x \approx 0.74V$$

$$R_1 \approx 10.43R_2$$

O valor de R2 pode ser escolhido arbitrariamente desde que, por razões de ordem prática, se situe entre 1k e 100k. Escolhendo R2 = 1kΩ leva a que R1=10.43kΩ.

3) Responda às seguintes questões:

- a) Para um termopar tipo K com a junção de referência a uma temperatura constante e igual a 20°C diga como procederia para poder utilizar a tabela de calibração do fabricante. Justifique. [1 valores]

Solução:

Pela lei das temperaturas intermédias seria necessário adicionar o valor da força eletromotriz gerada por esse termopar considerando que a junção de referência se encontra a 0°C e a junção de medida à temperatura de 20°C.

- b) Indique duas diferenças entre um termómetro de platina (RTD) e um termopar. [1 valor]

Solução:

O RTD é um sensor passivo, o termopar é um sensor ativo. O RTD possui menor largura de banda quando comparado ao termopar.

- c) O que entende por erro de linearidade e diga como normalmente é calculado e expresso. [1 valores]

Solução:

O erro de linearidade é determinado normalmente como a máxima distância entre a curva de calibração do sensor e uma reta que une os extremos dessa curva.

- d) 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. [1 valor]

Solução:

Acima da frequência de corte, um galvanómetro comporta-se como um integrador eletromecânico pelo que o valor indicado pelo ponteiro é o valor médio do sinal aplicado à sua entrada.

- e) Um multímetro possui a indicação “true RMS”. O que é que isso significa e qual é a diferença entre outro multímetro que não seja “true RMS”? [1 valor]

Solução:

Um voltímetro ou amperímetro *true RMS* possui a capacidade de indicar o valor eficaz de um sinal variante no tempo sem assumir qualquer tipo de perfil para esse sinal. Em particular, admitir que o sinal é sinusoidal. Para o caso de medições AC, um aparelho true RMS permite medições mais exatas da tensão ou corrente eficaz nas situações em que existe elevada distorção harmónica. Um aparelho que não seja true RMS foi projetado tendo em consideração de que o perfil do sinal AC é sinusoidal puro.

- f) Dois filtros passivos, filtro A e B, possuem uma frequência de corte igual a 1kHz. No entanto, o filtro A é de primeira ordem e o filtro B é de segunda ordem. Qual o valor aproximado da atenuação, em dB, para um sinal com frequência de 10kHz? [1 valor]

Solução:

Um filtro de primeira ordem presta uma atenuação de 20dB por década a partir da frequência de corte. 10kHz é uma década à frente da frequência de corte pelo que a atenuação a essa frequência é -20 dB.

FIM DA PROVA

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 $\varepsilon_{y_1}, \varepsilon_{y_2}, \dots, \varepsilon_{y_n}$ respetivamente, 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

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

Exatidão na Instrumentação Analógica

- Erro Absoluto Máximo

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

- Erro Relativo Máximo

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

Exatidão na Instrumentação Digital

- Especificação da Exatidão

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

- 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

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

- Fator de Crista

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

Medida de Grandezas Elétricas

- 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

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