

- 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.

A monitorização do pH é fundamental em muitos processos industriais. Em particular, o valor de PH indica a acidez ou basicidade de uma solução aquosa. Soluções com pH menor que 7 são ácidas, e com pH maior que 7 são alcalinas. Normalmente os sensores, ou sondas, de PH possuem o aspeto ilustrado na figura 2a. Este sensor comporta-se como uma fonte de tensão cuja amplitude varia linearmente com o valor do pH. Adicionalmente, e como se pode ver da curva de calibração da figura 2b, a sensibilidade deste sensor aumenta com o valor da temperatura da solução.



Fig 2a – Aspeto de uma sonda de PH comercial

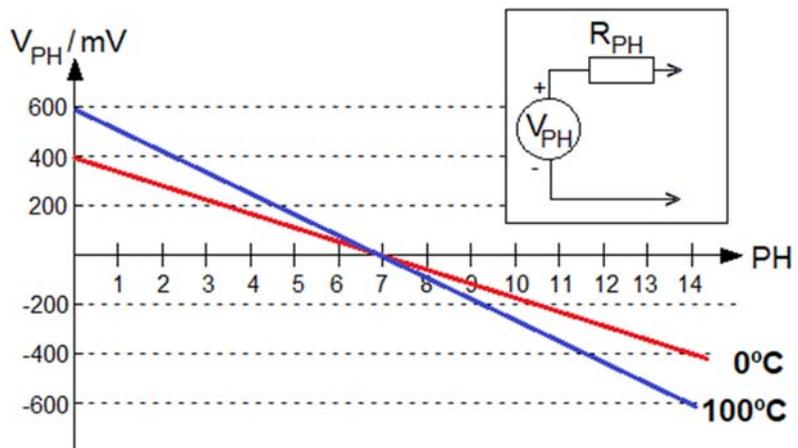


Fig 2b – Curva de calibração (ideal) de uma sonda PH e sua variação com a temperatura.

A impedância da sonda de pH é geralmente muito elevada. Da ordem das centenas de $M\Omega$ pelo que o valor da tensão debitada por esta sonda não pode ser lido diretamente por um voltímetro convencional. De modo a contornar este problema projetou-se o circuito de condicionamento de sinal representado na figura 3. Este circuito fornece dois sinais distintos: um sinal em tensão que representa o valor do pH ao qual a sonda está sujeito e um sinal, também em tensão, que representa a temperatura da sonda. Este último é gerado por um sensor de temperatura LM35 cuja tensão de saída se relaciona com a temperatura, para a gama entre os 0 e os $150^{\circ}C$, através da equação:

$$V_{LM35} = 0.01 \times T$$

Onde V_{LM35} se refere à tensão à saída do sensor e T a temperatura em graus centígrados.

- iii. Determine a equação que represente a relação entre o valor do pH, a temperatura da sonda e a tensão gerada. [2 valores]

Resposta:

$$V_{pH} = (2T + 400) - \left(\frac{2}{7}T + \frac{400}{7}\right)pH$$

O LM35 é um circuito integrado com três terminais que opera como sensor de temperatura:

- iv. Com base na relação entre a tensão à sua saída e a temperatura diga justificando se se trata de um sensor linear ou não linear. [2 valores]
- v. Qual o valor da sua sensibilidade? [2 valores]

Resposta:

A questão (i) e (ii) estão intimamente ligadas. Efetivamente, e respondendo à alínea (ii), a sensibilidade do sensor, de acordo com a expressão matemática apresentada no enunciado, é:

$$S = \frac{dV_{LM35}}{dT} = 0.01V/^{\circ}C$$

Um sensor diz-se linear se a sua sensibilidade é constante. Como se pode ver da expressão anterior, a sensibilidade é efetivamente constante. Assim, verifica-se que o comportamento do sensor é linear dentro da gama de medida para o qual foi desenhado. É claro que isto não significa que não existam erros de linearidade. Efetivamente esses erros advêm do facto de se assumir que a curva de calibração é uma reta quando na realidade não o é

- vi. De entre outros sensores de temperatura estudados ao longo da unidade curricular, escolha um deles e refira-se ao seu princípio de funcionamento e características. [2 valores]

Resolução:

Ver parte III dos slides das aulas.

- c) Considere o circuito de condicionamento de sinal da figura 3 que envolve apenas os amplificadores operacionais.
- i. Sabendo que a tensão de offset à saída de U1 é 0.69V determine a corrente elétrica de polarização do díodo. [2 valores]

Resolução:

Bem fácil. Como o amplificador operacional está montado na configuração de seguidor de tensão (ou buffer) significa que a tensão à saída é igual à tensão aplicada na entrada não-inversora. Neste caso a corrente de polarização do díodo, dado que a corrente de bias do amplificador é teoricamente zero é dada por:

$$I_D = \frac{5 - 0.69}{1000} = 4.3mA$$

(lei de ohm!)

- ii. A saída VOUT deste circuito será ligado à entrada analógica de um Arduino UNO. Neste contexto diga qual a motivação para a tensão de offset gerada por U1. [2 valores]

Resolução:

Muito simples. Como todos vocês fizeram o trabalho prático com o Arduino sabem que este apenas aceita sinais analógicos cuja amplitude esteja entre os 0V e os 5V. Dado que o sensor de pH fornece uma tensão negativa para valores de pH inferiores a 7 é necessário adicionar um offset a esse sinal de modo a que a tensão global seja sempre positiva.

- iii. Determine a função de transferência Vout em função de V_{PH}. Para além disso determine os valores de R2 e R3 de forma a que Vout seja 4V se pH = 0 e 1V se pH = 14. (considere a curva nominal de 0°C), [2 valores]

Resolução:

Facilmente se verifica que,

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) (V_{PH} + V_{OFFSET})$$

$$\text{Se } pH = 0 \text{ então } V_{PH} = 0.4V$$

$$4 = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) (0.4 + 0.69)$$

O ganho do amplificador será então igual a 3.67 aproximadamente. Portanto a razão das resistências deve ser 2.67. Como já sabemos, na prática, o valor das resistências deverá ser escolhido em torno dos milhares de ohms. Assumindo que R₃=1kΩ então R₂ deverá ser em torno dos 2.7kΩ. É fácil verificar que:

$$\text{Se } pH = 14 \text{ então } V_{PH} = -0.4V$$

3.67(-0.4 + 0.69) ≈ 1V que era o que se pretendia.