

- Este teste tem quatro grupos. Responda a cada um **em folhas separadas**.
 - **Identifique todas as folhas** com o seu número e com o seu primeiro e último nome.
 - O teste decorre sem consulta, excetuando-se a consulta de um **máximo de seis páginas A4** (três folhas, frente e verso) trazidas pelo aluno.
 - Não é permitido o uso de **calculadoras programáveis** (em caso de necessidade, o corpo docente reserva-se o direito de fazer reset à memória das calculadoras dos alunos).
 - Em caso algum é permitido o uso de calculadoras com qualquer **capacidade gráfica**.
 - A cotação de cada pergunta está indicada no início de cada grupo. A cotação total é de 10 valores.
-

Grupo I (4 perguntas — 2 valores)

Cada pergunta tem a cotação de 0,5 valores.

Para medir o pH, vai utilizar-se um sensor cuja documentação inclui a informação das Figuras 1 e 2. Será também utilizado um conversor AD de 16 bits cuja documentação inclui a informação das Figuras 3 e 4.

1. Admita que as tensões indicadas na Figura 1 são exatas. Mostre que a saída do sensor se acha no intervalo [0 V; 3,5 V].
2. Trace um gráfico mostrando a evolução da saída do sensor, em Volt, como função do pH medido.
3. Suponha que o sensor é ligado diretamente à entrada analógica do conversor AD. Qual será a resolução da medição do pH?
4. Nas condições da pergunta anterior, qual será a precisão da medição, considerando quer a precisão do sensor quer a resolução da conversão AD?

Grupo II (4 perguntas — 3 valores)

As perguntas 1 e 2 têm a cotação de 1 valor.

As perguntas 3 e 4 têm a cotação de 0,5 valores.

Suponha que só se vão medir valores de pH entre 3 e 11.

1. Conceba um condicionamento de sinal, a aplicar à saída do sensor, que permita aproveitar completamente a gama do conversor AD.
2. Mostre como poderia implementar esse condicionamento de sinal, usando amplificadores operacionais. Dimensione razoavelmente as resistências e outros componentes de que precisar. Considere que tem disponíveis as tensões de ± 15 V.
3. Calcule a nova resolução da medição do pH.

4. Comparando essa nova resolução quer com a resolução que tinha sem utilizar condicionamento de sinal, quer com a precisão do sensor, o que conclui quanto à utilidade deste condicionamento de sinal?

Grupo III (2 perguntas — 2 valores)

Cada pergunta tem a cotação de 1 valor.

Detetou-se ruído na medição de pH com a frequência de 50 Hz.

1. Conceba um filtro de segunda ordem que reduza a amplitude do ruído a 1% do seu valor original, perturbando o menos possível as baixas frequências a duas décadas ou mais do ruído. (Não precisa de mostrar como poderia implementar esse filtro usando amplificadores operacionais.)
2. Com base na velocidade de resposta indicada na Figura 2, modele o sensor usando uma função de transferência de primeira ordem com ganho unitário a baixas frequências.

Grupo IV (2 perguntas — 3 valores)

Cada pergunta tem a cotação de 1,5 valores.

A Figura 5 mostra um diagrama de Bode de um controlador de corrente.

1. Qual o número mínimo de polos e zeros que tem o modelo cujo diagrama de Bode está representado? Diga para cada polo e zero se é real ou complexo, e em que semiplano complexo se encontra.
2. Trace o diagrama de Bode assintótico da função de transferência $\frac{s-1}{(s^2+5s+100)(s+0.1)}$.

How the Sensor Works

The pH amplifier inside the handle is a circuit that allows the standard combination pH electrode to be monitored by a lab interface. The cable from the pH amplifier ends in a BTA plug.

The pH Sensor produces a voltage of approximately 1.75 volts in a pH 7 buffer. The voltage increases by about 0.25 volts for every pH number decrease. The voltage decreases by about 0.25 volts/pH number as the pH increases.

Figura 1: Extrato da documentação de um sensor de pH.

Specifications

Type	Sealed, gel-filled, polycarbonate body, Ag/AgCl
Response time	90% of final reading in 1 second in a buffer
Temperature range	5 to 80°C (readings not compensated)
Range	pH 0–14
Accuracy	± 0.2 pH units
Isopotential pH	pH 7 (point at which temperature has no effect)
Default calibration values	slope: -3.838 intercept: 13.720
Shaft diameter	12 mm OD

Figura 2: Extrato da documentação de um sensor de pH (continuação).

7.3.5.2 ADC Transfer Function

The device supports single-ended and pseudo-differential analog inputs. The device output is in straight binary format. Figure 40 and Table 2 show the ideal transfer characteristics for a 16-bit ADC with unipolar inputs.

Equation 1 gives the least significant bit (LSB) for the ADC:

$$1 \text{ LSB} = V_{\text{REF}} / 2^{16} \quad (1)$$

Figura 3: Extrato da documentação de um conversor AD de 16 bits.

SINGLE-ENDED INPUT VOLTAGE ($V_{\text{REF}} = 4.096 \text{ V}$)	OUTPUT CODE (HEX)
4.0959375 V	FFFF
2.0480625 V	8001
2.048 V	8000
2.0479375 V	7FFF
0.0000625 V	0001
0 V	0000

Figura 4: Extrato da documentação de um conversor AD de 16 bits (parte da Table 2 referida no excerto da Figura 3).

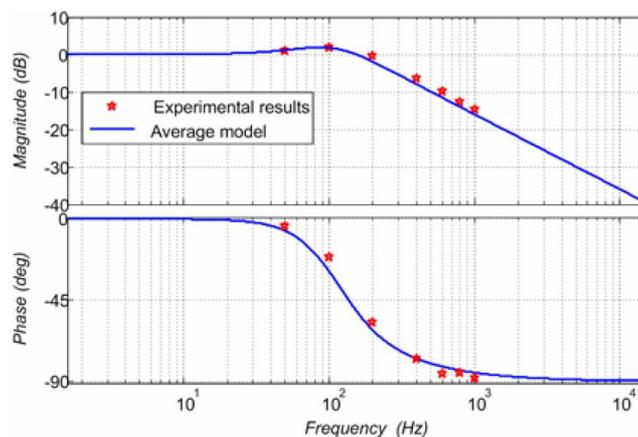
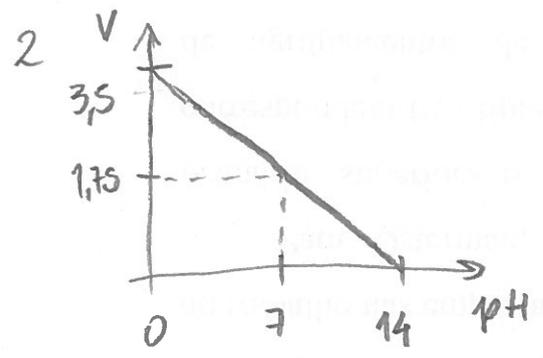


Figura 5: Diagrama de Bode de um controlador de corrente.

I 1

pH	V
14	$1,75 - 7 \times 0,25 = 1,75 - 1,75 = 0$
7	1,75
0	$1,75 + 7 \times 0,25 = 1,75 + 1,75 = 3,5$



I 3

V sensor	V do AD	n.º do AD
	4,096	2^{16}
3,5	3,5	$2^{16} \times \frac{3,5}{4,096} = 56000$
0	0	0

logo a resolução é $\frac{14}{56000} = 0,25 \times 10^{-3}$

4

precisão da cadeia = $\underbrace{0,2}_{\text{precisão do sensor}} + \underbrace{0,25 \times 10^{-3}}_{\text{resolução do AD}} = 0,20025 \approx 0,2$

II 1

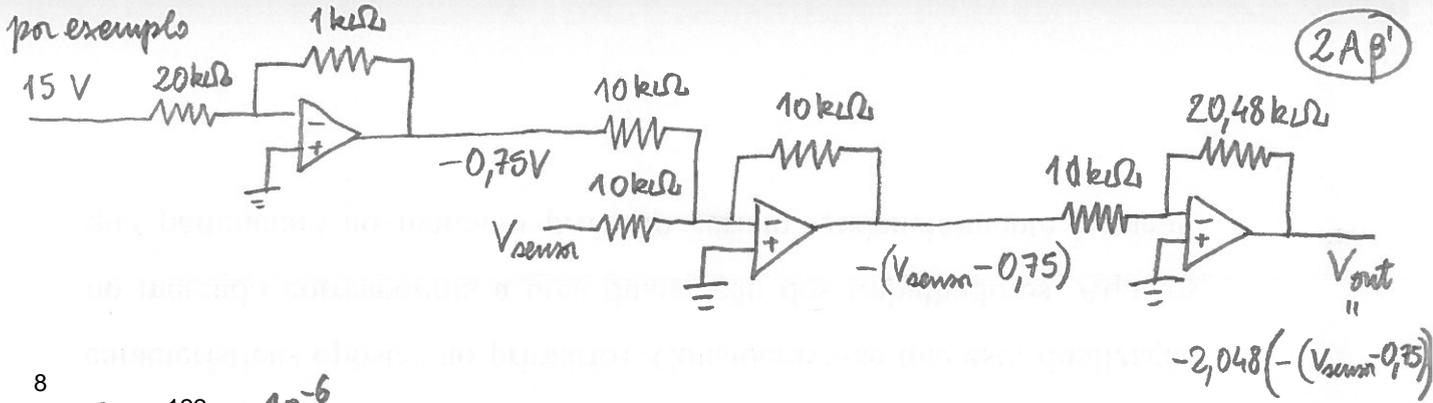
pH	V sensor	V do AD
14	0	4,096
11	$1,75 - 4 \times 0,25 = 0,75$	} 2V
3	$1,75 + 4 \times 0,25 = 2,75$	
0	3,5	0

Atada é dito sobre se a tensão final deve aumentar ou diminuir c/o pH, portanto isso fica a critério de quem resolve.

É preciso subtrair 0,75 V
 • multiplicar por $\frac{4,096}{2} = 2,048$

V_{sensor} [CS] $V_{\text{out}} = (V_{\text{sensor}} - 0,75) \times 2,048$

2



3

$$\frac{8}{2^{16}} = 122 \times 10^{-6}$$

4

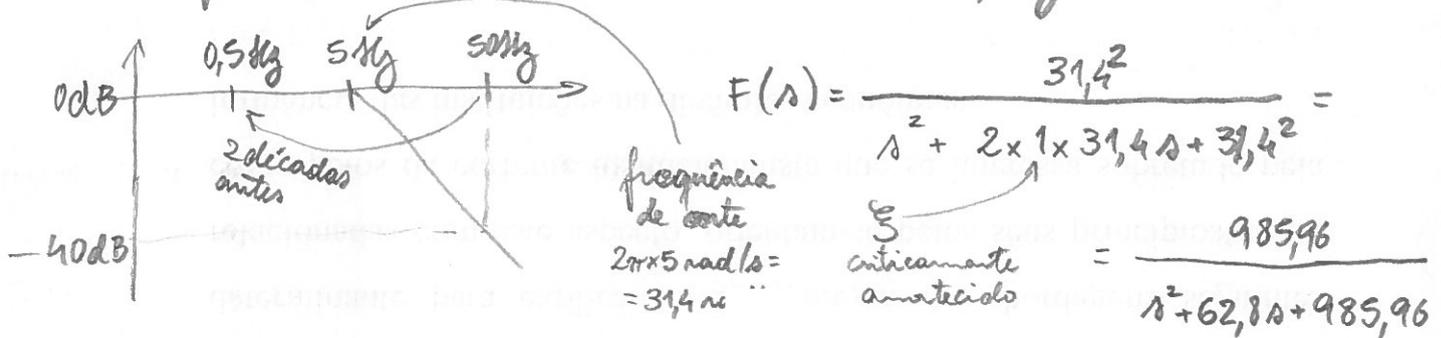
resolução sem CS \ll precisão do sensor
Se antes já era um exagero, com CS é pior: o CS é inútil.

III 1

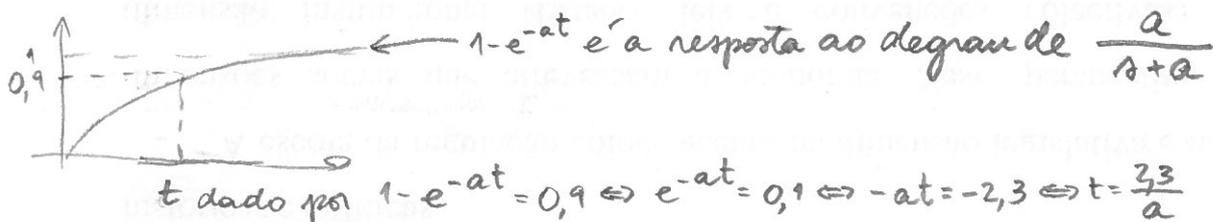
$$20 \log_{10} 0,01 = 20 \times (-2) = -40 \text{ dB de atenuação}$$

$10^{-2} = 1\%$

Um filtro de 2ª ordem decai a 40 dB/década, logo



2.



no caso $t=1s$ logo $a = \frac{2,3}{1} = 2,3$ e portanto $H(s) = \frac{2,3}{s+2,3}$

IV 1

Pico de ressonância: 2 polos pelo menos

Fase final -90° , declive final $\frac{-35 - (-15)}{1} = -20 \text{ dB/década}$: diferença entre n° de zeros e polos é 1

ganho começa a 0dB, fase em 0° : não há polos ou zeros na origem nem nada no SPD

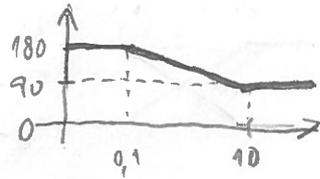
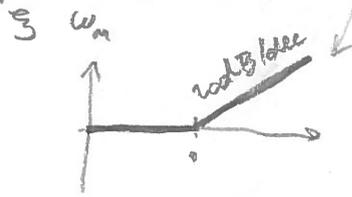
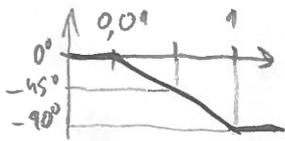
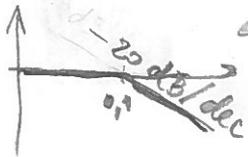
logo: 2 polos estáveis (no SPE), complexos conjugados, $c/\xi < \frac{\sqrt{2}}{2}$
1 zero de fase mínima (no SPE), real

(Não podemos ter um zero no SPE e depois 2 polos reais no SPE, porque nesse caso a fase começaria por subir, mas não sobe.)

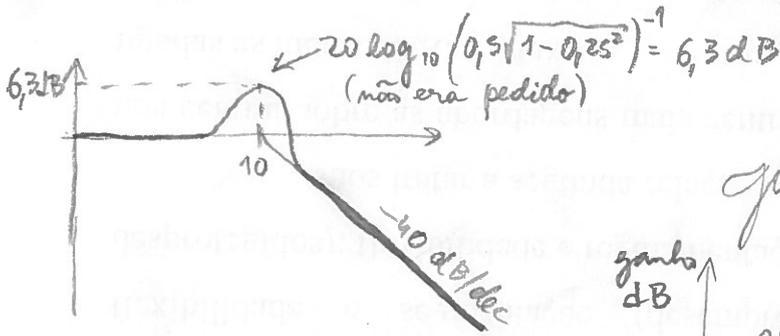
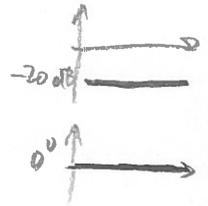
2

$$\frac{s-1}{(s^2+5s+100)(s+0,1)} = \frac{0,1}{s+0,1} \times \frac{10^2}{s^2+2 \times 0,25 \times 10 \times s + 10^2} \times (s-1) \times \frac{1}{10}$$

2Ap^v



$$20 \log_{10} \frac{1}{10} = -20 \text{ dB}$$



juntamos os quatro blocos:

