

CADERNO DE EXERCÍCIOS (VERSÃO PROVISÓRIA)

1. Um dado sensor possui um erro de linearidade de 1% da leitura mais 0.1% do fim de escala. Um segundo sensor, com a mesma gama de medida, possui um erro de linearidade de 0.5% da leitura mais 0.2% do valor de fim de escala.
  - a) Para que gama de valores é o primeiro sensor mais exacto do que o segundo?
  - b) Se o segundo sensor possuir uma gama de medidas duas vezes superior à do primeiro, para que gama de valores será este mais exacto.

2. Determine a sensibilidade de um dado sensor de temperatura a partir das seguintes observações:

Resistência ( $\Omega$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
307	200
314	230
321	260
328	290

3. Um sensor não-linear possui uma curva de calibração que pode ser aproximada pela seguinte equação:

$$y = 450 \cdot (1 - e^{-0.1x}), \quad x \in [0, 30]$$

Qual a sensibilidade deste sensor?

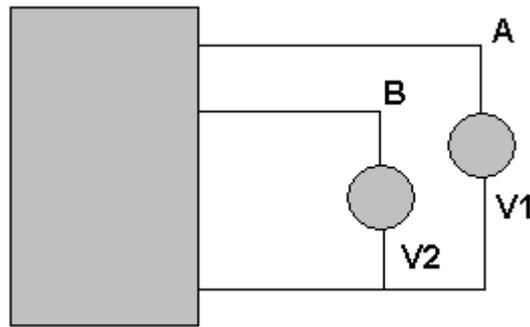
4. Um conjunto de seis medidas foram tomadas sobre uma grandeza invariante no tempo para dois métodos de medida distintos sobre as mesmas condições.

<b>Método #1</b>	2.99	2.94	3.02	2.91	3.05	3.11
<b>Método #2</b>	2.95	3.06	3.08	2.93	2.98	3.04

Qual o mais preciso?

5. Qual o erro de linearidade (em percentagem do valor de fim de escala) quando a um potenciómetro de  $1\text{K}\Omega$ , com o cursor deslocado de  $1/3$  do seu valor máximo, lhe é aplicada uma carga de  $10\text{K}\Omega$ .
6. Determinar o erro máximo relativo cometido no cálculo do paralelo de duas resistências sabendo que os erros relativos máximos em  $R_1$  e  $R_2$  são  $\varepsilon_{R_1}$  e  $\varepsilon_{R_2}$ . Compare os resultados obtidos pela aplicação da expressão geral dos error com o resultado alcançado pela regra diferencial logarítmica.

7. Para medir a d.d.p. entre os pontos A e B propôs-se a montagem da figura tendo-se obtido:



$V_1=8.70\text{V}$  (escala 10V e índice de classe 0.5)

$V_2=8.35\text{V}$  (escala 10V e índice de classe 1)

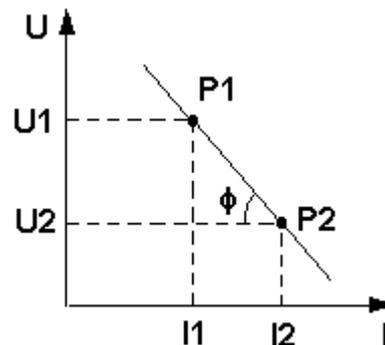
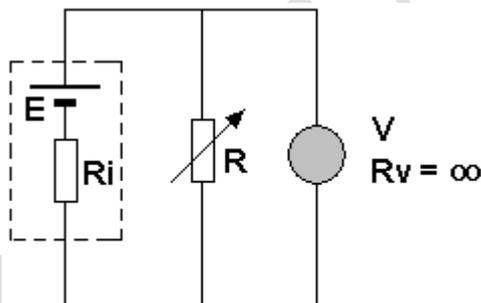
Qual o erro máximo relativo da medida? Conclua sobre o método utilizado.

8. Utilizaram-se três pilhas padrão para verificar a classe de precisão de um voltímetro, tendo-se registado os seguintes valores:

	TENSÃO DA PILHA (V)	ESCALA VOLTÍMETRO (V)	VALOR LIDO (V)
M1	1.523	3	1.54
M2	5.975	10	6.15
M3	9.023	10	9.28

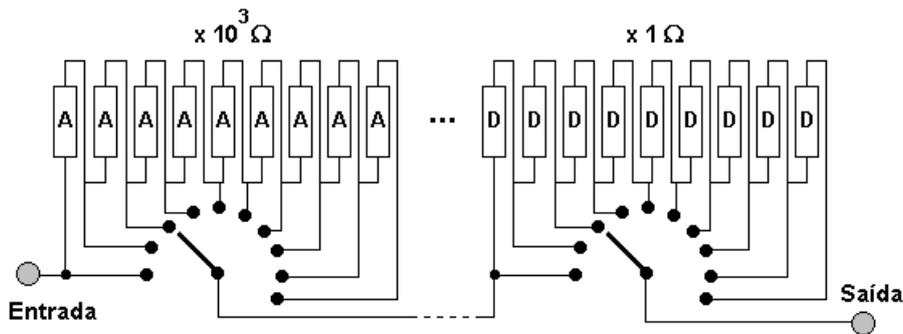
Nos valores indicados para a tensão da pilha padrão admite-se um erro máximo de  $0.001\text{V}$ . Poderá o voltímetro considerar-se da classe 1 ( $ic=1$ )? Justifique.

9. Considere o circuito e gráfico seguinte para a medida da resistência interna de uma bateria:



Sabendo que:  $U_1=3\text{V}$ ,  $R_1=1000\Omega\pm 0.5\%$ ,  $U_2=2.4\text{V}$ ,  $R_2=600\Omega\pm 0.5\%$ ,  $ic = 0.2$ ,  $V_{fe} = 10\text{V}$ .

- Determine os rectângulos de incerteza dos pontos P1 e P2.
  - Determine o erro máximo relativo cometido no cálculo da resistência interna  $R_i$ . (Recorra à expressão geral do erro e à análise do gráfico com os rectângulos de incerteza).
10. Uma década de resistências é um dispositivo de bancada composto por um conjunto de resistências e por um número variável de comutadores rotativos com 10 posições. O esquema interno de um destes dispositivos é sintetizado pela figura que se segue:



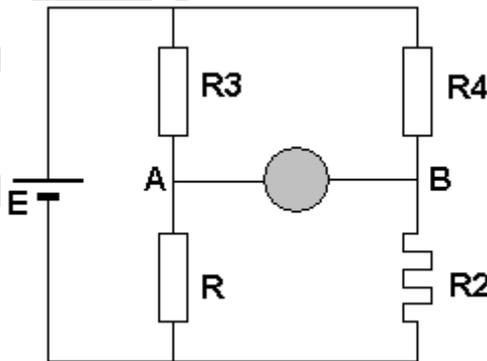
Considere que possui uma caixa com quatro décadas com as seguintes características:

Década A	10 Resistências de 1000Ω	(0.1%)
Década B	10 Resistências de 100Ω	(0.1%)
Década C	10 Resistências de 10Ω	(0.5%)
Década D	10 Resistências de 1Ω	(1.0%)

Admitindo que tinha seleccionado a resistência de 5643Ω, determine os erros relativo e absoluto máximos desta resistência.

11. Uma resistência R foi medida com uma ponte de Wheatstone. Sabendo que  $R = R_2 R_3 / R_4$  e  $R_3 = 1000\Omega \pm 0.05\%$ ,  $R_4 = 100\Omega \pm 0.05\%$  e R2 é uma caixa de quatro décadas com:

Década A	10 Resistências de 1000Ω	$\pm 0.5 \Omega$
Década B	10 Resistências de 100Ω	$\pm 0.1 \Omega$
Década C	10 Resistências de 10Ω	$\pm 0.05 \Omega$
Década D	10 Resistências de 1Ω	$\pm 0.05 \Omega$



Determine R e o respectivo erro absoluto sabendo que, no equilíbrio, R2 foi ajustada para 5436 Ω.

12. Na medida de uma resistência R utilizaram-se dois métodos distintos tendo-se, em cada um, efectuado uma série de 10 leituras. Os valores registados foram os seguintes:

Método	Resistência (Ω)									
#1	147.2	147.4	147.9	148.1	147.1	147.5	147.6	147.4	147.6	147.5
#2	147.3	146.5	147.2	147.8	147.9	146.9	148.0	147.9	147.6	147.0

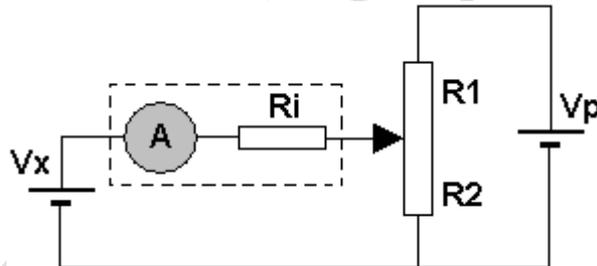
Relativamente a cada um dos métodos determine a média, o desvio padrão, o erro médio e o erro provável na média. Com base nos resultados obtidos compare os dois métodos quanto à precisão.

13. Para o cálculo de uma capacidade  $C_x$  recorreu-se à seguinte expressão:

$$C_x = \frac{2}{\omega^2 R^2 C}$$

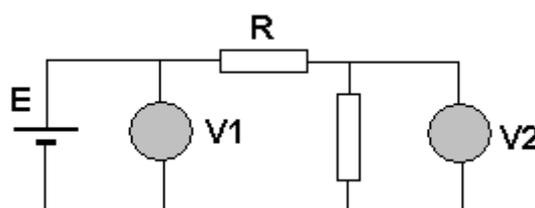
Se  $\omega = 10^4 \text{ rad/s} \pm 0.01\%$ ,  $R = 100 \text{K}\Omega \pm 0.05\%$  e  $C = 500 \text{pF} \pm 1 \text{pF}$ , determine  $C_x$  e o respectivo erro.

14. Com um voltímetro digital de 3 dígitos (fim de escala 99.9) efectuou-se uma leitura de 32.5V. A especificação de exactidão do aparelho era de  $\pm [0.1\% \text{ da entrada} + 1 \text{ dígito LSD}]$ . Determine o erro máximo da leitura.
15. Um voltímetro digital de 3 ½ dígitos apresenta um valor de fim de escala de 1.999V. Desenhar a curva limite de erro para este voltímetro na gama 0.100 V a 1.999V. A especificação de exactidão é  $\pm [0.05\% \text{ da leitura} + 1 \text{ LSD}]$ .
16. O esquema da figura representa um método de zero para a medida de uma tensão desconhecida  $V_x$  a partir de elementos conhecidos,  $V_p$ ,  $R_1$  e  $R_2$ . (Note-se que quando a corrente no amperímetro é nula  $V_x = V_p \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$  ).



Supondo que  $V_p = 8 \text{V} \pm 0.1\%$ , a resistência total do potenciómetro  $R_t = 8 \text{K}\Omega$  sendo o erro relativo máximo de cada um dos braços de 0.5%. O amperímetro é de classe 0.5, possui uma resistência interna de  $50 \Omega$  e uma corrente de fim de escala de 1mA. Sabendo que  $R_2 = 2 \text{K}\Omega$  determine o valor de  $V_x$  e o respectivo erro de medida considerando a situação em que o amperímetro é ideal e a situação em que o amperímetro é real.

17. Para a medida da potência dissipada na resistência  $R$  utilizou-se a montagem representada na figura:



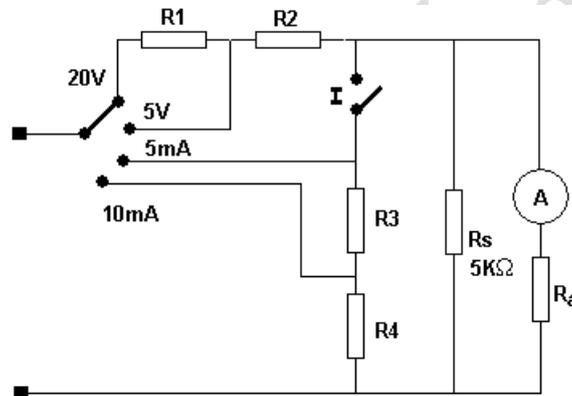
Sabendo que:

Voltímetro	V1	V2
Fim de Escala	10V	5V
Classe	1	1
Leitura	8V	4V

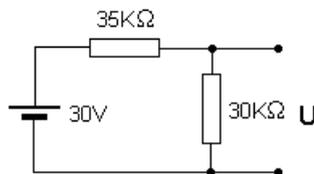
Com  $R=320\Omega \pm 10\%$  determine o valor da potência dissipada em R ( a partir das leituras de V1 e V2) e calcule o erro relativo máximo respectivo.

18. Um elemento motor electromagnético de corrente de fim de escala  $40\mu A$  e resistência interna  $R_a = 5K\Omega$  foi utilizada no circuito da figura visando a obtenção de um amperímetro e um voltímetro com as seguintes escalas:

- Escalas de Tensão (Interruptor I Aberto): 20V e 5V
- Escalas de Corrente (Interruptor I Fechado): 5mA e 10mA

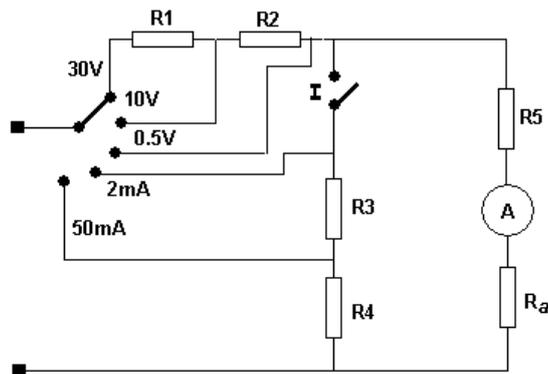


- Determine os valores de R1, R2, R3 e R4
- Determine a resistência interna do multímetro em cada uma das escalas, bem como a sensibilidade do voltímetro.
- Com o multímetro projectado mediu-se a tensão U nos terminais da resistência de  $30K\Omega$  do circuito da figura seguinte. Admitindo que os valores indicados para f.e.m. da fonte de tensão e para as resistências são exactos, calcule o valor lido pelo voltímetro bem como o respectivo erro por efeito de carga.

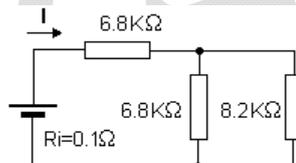


- Nas condições da alínea anterior e sabendo que as resistências do circuito são conhecidas com uma tolerância de 5% e a f.e.m. com uma tolerância de 1% indique o intervalo de valores da leitura do voltímetro.

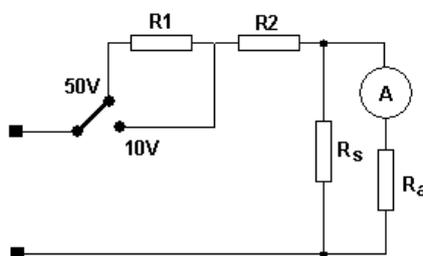
19. Para a construção de um voltímetro utiliza-se o esquema da figura que recorre a um elemento motor de corrente de fim de escala  $100\mu A$  e resistência interna  $R_a = 2K\Omega$ .



- a) Determine os valores de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  e  $R_5$
- b) Determine a resistência interna do multímetro em cada uma das escalas, bem como a sensibilidade do voltímetro.
- c) Para a medida da corrente  $I$  do circuito da figura seguinte utilizou-se o amperímetro projectado em a), que depois de testado se verificou ser da classe 1. Tendo previamente seleccionado a escala mais conveniente registou-se uma leitura de 1.23 mA.
  - i) Indique, justificando qual a escala que escolheria para efectuar a medida.
  - ii) Calcule o menor intervalo de valores em que, garantidamente, se inclui o valor real da corrente  $I$  (antes de inserir o amperímetro no circuito).



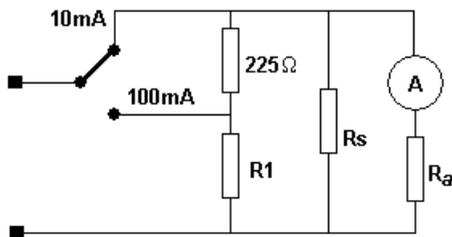
20. Considere um voltímetro baseado num elemento motor de corrente de fim de escala  $50\mu\text{A}$  e resistência interna  $R_a = 1\text{K}\Omega$  (medida a  $20^\circ\text{C}$ ). O voltímetro deve ser constituído pela série de duas resistências adicionais ( $R_1$  e  $R_2$ ), que se encontram, por sua vez, em série com o conjunto elemento motor em paralelo com uma resistência  $R_s$ .



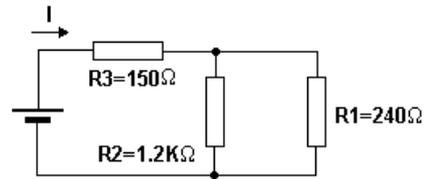
- a) Determine os valores de  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_s$  por forma a que o voltímetro apresente uma sensibilidade  $S = 10\text{K}\Omega/\text{V}$  e escalas de 10V e 50V.
- b) Supondo que a resistência interna do elemento motor possui um coeficiente de variação térmica  $\Delta R_a/\Delta T = 1\Omega/^\circ\text{C}$ , determine a precisão mínima de  $R_s$  por forma a poder medir-se, com este voltímetro, uma tensão de 5V com um erro relativo máximo inferior a 2%, numa

gama de temperaturas entre 10°C e 30°C. Considere que nesta gama as resistências R1 e R2 apresentam uma precisão superior a 99%.

21. Considere o miliamperímetro DC representado na figura (a) com escalas de 10mA e 100mA. Sabe-se que o elemento motor tem uma resistência interna  $R_a = 750\Omega$  e que a resistência interna do miliamperímetro, na escala de 100mA, é  $R_i = 24\Omega$ .



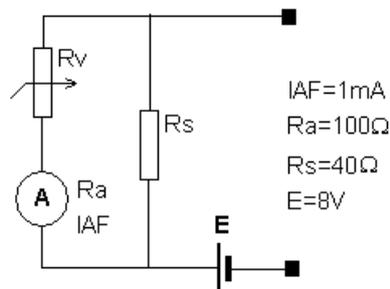
(a)



(b)

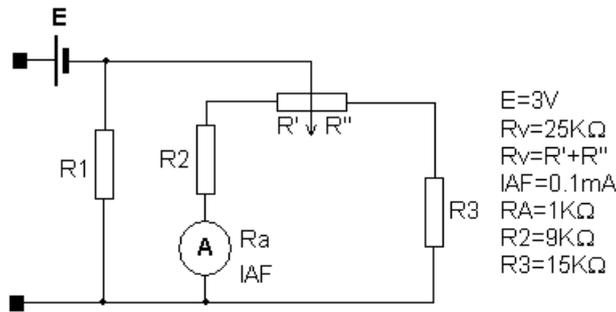
- Determine o valor de R1, Rs e da corrente de fim de escala do elemento motor.
- O miliamperímetro foi usado para medir a corrente I na resistência R3 do circuito da figura (b), tendo indicado  $I=4\text{mA}$ . Sabendo que o miliamperímetro é da classe 1.5 e que as resistências R1, R2 e R3 têm tolerâncias de 5%, determine o menor intervalo no qual se pode afirmar estar incluído o valor de E (f.e.m. da fonte de tensão utilizada).

22. Apresenta-se na figura o esquema de um Ohmímetro.



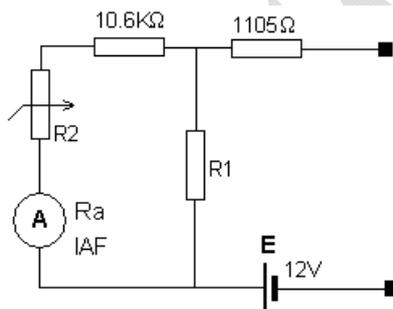
- Após o ajuste de zero o ohmímetro foi utilizado na medida de uma resistência tendo-se observado uma deflexão de  $\frac{3}{4}$  de escala. Determine o valor de Rv bem como o valor da resistência medida.
- Sabendo que, por envelhecimento, a bateria passou a apresentar uma f.e.m. de 6V determine o valor da resistência que provocaria deflexão idêntica à da alínea anterior.

23. Apresenta-se na figura o esquema de um Ohmímetro série.



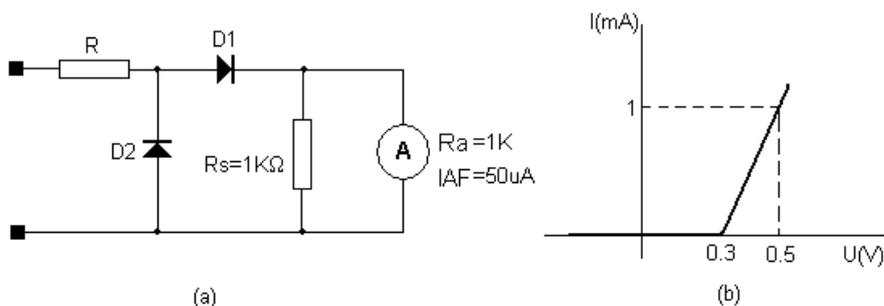
- Dimensione  $R_1$  de modo a que a indicação a meio da escala seja de  $750\Omega$ .
- Esboce a curva de erros cometidos com o ohmímetro, em função do valor da f.e.m. da bateria  $E$ . i) Entre que limites pode variar a f.e.m.  $E$  para que o erro seja no máximo 2%. ii) Qual o erro que se comete quando, com  $E=2V$ , se mede uma resistência que origina uma deflexão de  $3/5$  da escala.

24. Considere o ohmímetro da figura. Sabe-se que o elemento motor tem uma corrente de fim de escala de  $100\mu A$  e uma resistência interna  $R_a = 1K\Omega$  e que se obtém uma deflexão de  $3/4$  de escala na medida de uma resistência  $R = 500\Omega$



- Determine o valor da resistência  $R_1$  e  $R_2$ .
- Supondo que, por envelhecimento a f.e.m. da bateria passava a 75% do valor inicial, calcule o valor da resistência para a qual, nestas condições e depois de se ajustar o zero, o ohmímetro indicava  $375\Omega$ .

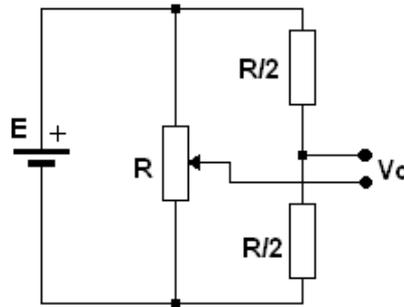
25. Considere que o voltímetro AC da figura (a) tem um valor de fim de escala de 10V (valor eficaz) para tensões sinusoidais.



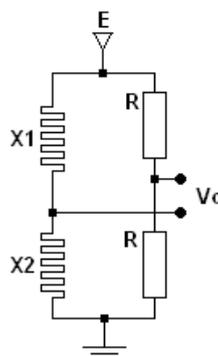
- Supondo os díodos ideais calcule o valor de  $R$ .

- b) Qual será a indicação deste voltímetro se aos seus terminais se ligar uma onda triangular simétrica com 6V de pico? Qual o verdadeiro valor eficaz da onda triangular?
- c) Supondo que os díodos podem ser aproximados pela característica corrente tensão da figura (b), determine o valor que devia utilizar para a resistência R.

26. Considere a seguinte ponte em que o potenciômetro R está acoplado ao eixo de rotação de um Robot. Para uma rotação completa do braço ( $-\pi$  a  $\pi$ ), o potenciômetro vai de uma à outra extremidade da resistência.



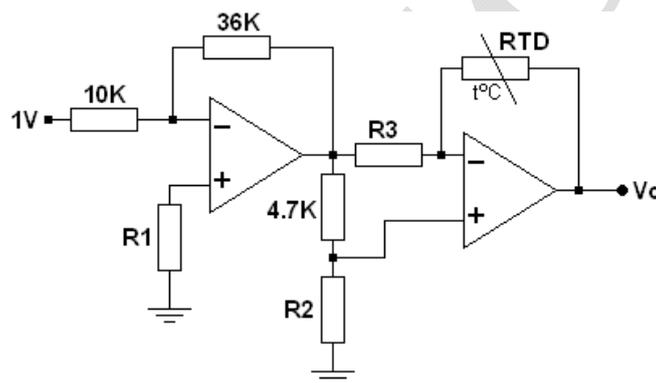
- a) Determine a relação entre a saída  $V_o$  e o ângulo.
  - b) Determine a sua sensibilidade máxima sabendo que a potência máxima no potenciômetro não deve exceder  $P_{max}$ .
27. Um extensômetro de factor G igual a 2 é ajustado a uma peça de aço sujeita a uma tensão de  $10290 N/m^2$ . O módulo de elasticidade do aço é aproximadamente igual a  $21 \times 10^6 N/m^2$ . Calcule a variação relativa da resistência do extensômetro.
28. Um extensômetro com  $G=2.4$  está colada a uma barra de aço com módulo de elasticidade  $21 \times 10^6 N/m^2$ . A resistência normal do extensômetro é  $120\Omega$ . Sob tracção o valor da resistência muda para  $120.1\Omega$ . Determine o esforço de tracção.
29. Considere-se uma ponte de Wheatstone onde X1 é um extensômetro com resistência igual a  $120\Omega$  ( $G=2$ ) e X2 um extensômetro idêntico ao primeiro não sujeito a deformação (compensação). As resistências R são fixas com valor de  $120\Omega$ . A corrente máxima admissível nos extensômetros é de 30mA.



- Determine o valor máximo da tensão de alimentação E.
- Se o elemento sensor for ligado ao aço ( $21.42 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ) e a alimentação da ponte for de 5V, qual será a tensão de saída  $V_o$  quando o esforço aplicado for de 7KPa?
- Se o extensômetro X2 não existisse qual seria a tensão de saída resultante de um aquecimento de  $38^\circ\text{C}$  do conjunto aço-extensômetro? Que deformação aparente essa tensão representaria? (Coeficiente de expansão do aço  $11.7 \times 10^{-6}$ , da liga do extensômetro  $26.82 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$ . Coeficiente de resistência térmica para o extensômetro  $10.8 \times 10^{-6} \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ ).

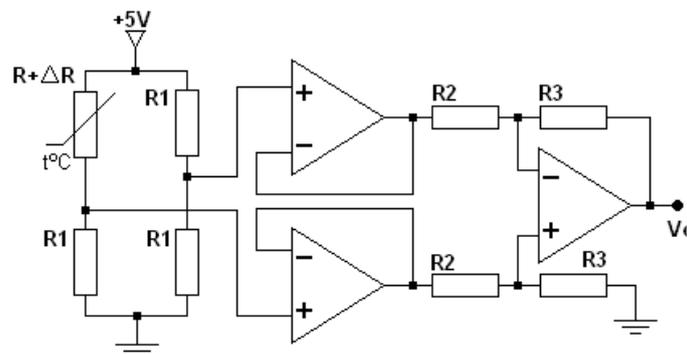
30. Um RTD de platina possui uma resistência de  $100\Omega$  aos  $0^\circ\text{C}$ ,  $138.5\Omega$  aos  $100^\circ\text{C}$  e  $175.83\Omega$  aos  $200^\circ\text{C}$ . Qual será o erro de não linearidade aos  $100^\circ\text{C}$  se o sensor for suposto linear na gama entre  $0^\circ\text{C}$  e  $200^\circ\text{C}$ .

31. Considere uma resistência de platina dependente da temperatura que varia linearmente de  $100\Omega$  a  $200\Omega$  para uma variação correspondente da temperatura de 0 a  $266^\circ\text{C}$  [8].



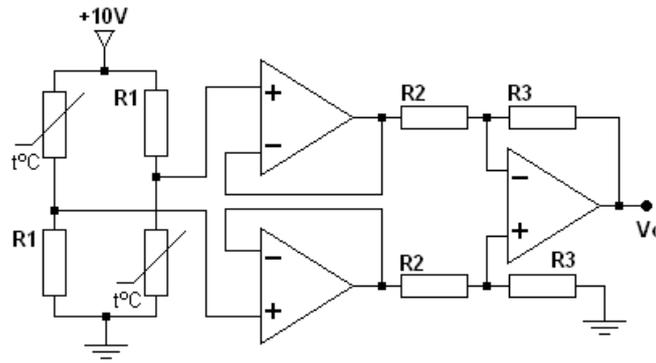
Determine os valores das resistências não conhecidas por forma a termos à saída uma tensão entre 0 e 1.8V para a gama de temperaturas em questão.

32. À temperatura de  $0^\circ\text{C}$ ,  $R_1=R=10\text{K}\Omega$ . A resistência do termístor varia linearmente de  $9\text{K}\Omega$  ( $10^\circ\text{C}$ ) até  $11\text{K}\Omega$  ( $-10^\circ\text{C}$ ).  $R_2=2\text{K}\Omega$  e  $R_3=100\text{K}\Omega$ .



- O termístor possui coeficiente de temperatura positivo ou negativo? Porque?
- Determine o valor da tensão de saída às seguintes temperaturas:  $+5^\circ\text{C}$ ,  $+10^\circ\text{C}$ ,  $-5^\circ\text{C}$  e  $-10^\circ\text{C}$ .

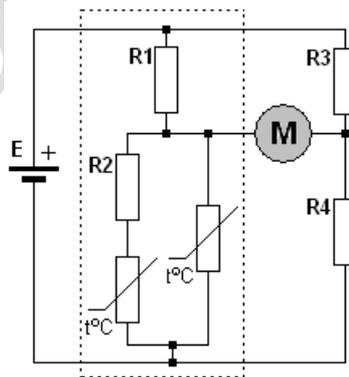
33. Observe o seguinte circuito:



Os termístores são idênticos e a sua resistência esta relacionada com a temperatura por  $R(T) = 0.14 \cdot T^2 + 521.94$  onde  $T$  é a temperatura em Kelvin. Assumindo que a ponte está em equilíbrio quando  $T=100^\circ\text{C}$  ( $R_T=R_1=20\text{K}\Omega$ ) e que  $R_2=9\text{K}\Omega$  e  $R_3=180\text{K}\Omega$  determine:

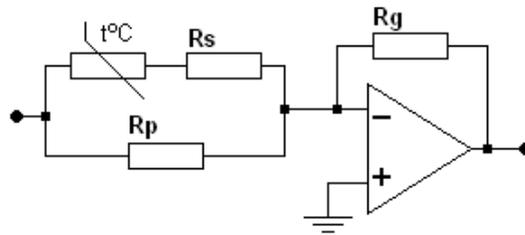
- O valor de  $V_o$  para as temperaturas  $T = 110^\circ\text{C}$  e  $T = 90^\circ\text{C}$ .
- Qual a relação entre a sensibilidade à temperatura do presente circuito relativamente aquele conseguido utilizando apenas um termístor no primeiro braço da ponte.

34. Para a aquisição e armazenamento de temperaturas é utilizada uma sonda baseada em termístores e um aparelho de registo  $M$  com impedância de entrada suposta infinita. Segundo o fabricante, a sonda possui um comportamento linear numa gama de medida entre  $-5^\circ\text{C}$  e  $45^\circ\text{C}$  quando ligada como divisor de tensão. Nesta configuração, e considerando  $R_1=5700\Omega$  e  $R_2=12\Omega$  a tensão de saída é dada pelo seguinte modelo  $V_o = E \cdot (-0.0056846 \cdot T + 0.805858)$  onde  $T$  é a temperatura em graus centígrados e, no presente caso,  $E=5\text{V}$ . [1]



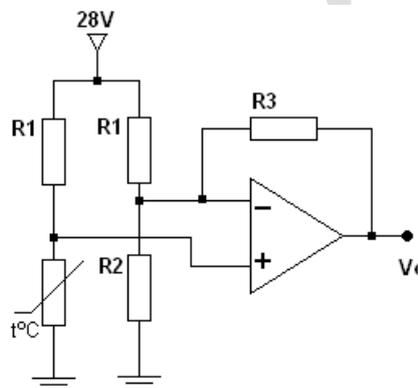
- Determine a relação entre as resistências  $R_3$  e  $R_4$  sabendo que a ponte está em equilíbrio quando o sensor está submetido a uma temperatura de  $30^\circ\text{C}$ .
- Considerando que a gama de medida do aparelho  $M$  é  $[-285,285]\text{mV}$ , e atendendo à alínea anterior, qual a temperatura máxima e mínima capaz de ser registada.

35. Um amplificador DC exhibe um aumento no ganho quando se observa um aumento da temperatura.



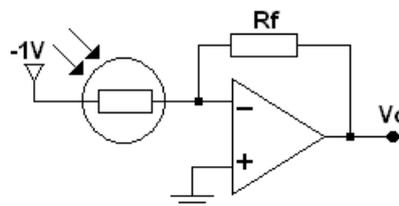
O termistor possui uma resistência de  $30\text{K}\Omega$  à temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e um  $\beta$  de  $4000\text{K}$  para a gama de temperaturas de interesse. Se às temperaturas de  $15, 25$  e  $35^\circ\text{C}$  o ganho deve ser  $0.9, 1$  e  $1.1$  respectivamente quais devem ser os valores das resistências  **$R_s$ ,  $R_p$  e  $R_g$** ?

36. Considere o seguinte circuito projectado para medir temperaturas na gama de  $0$  a  $40^\circ\text{C}$ . Para este fim utilizou-se um PTC com comportamento linear na gama de medidas possuindo um coeficiente de temperatura de  $0.75\%/K$  e resistência igual a  $2\text{K}\Omega@25^\circ\text{C}$ .



Sabendo que a corrente máxima aceitável no termistor é de  $1\text{mA}$  e que a tensão de saída deve variar de  $0$  a  $12\text{V}$  para a gama de temperaturas de interesse determine:

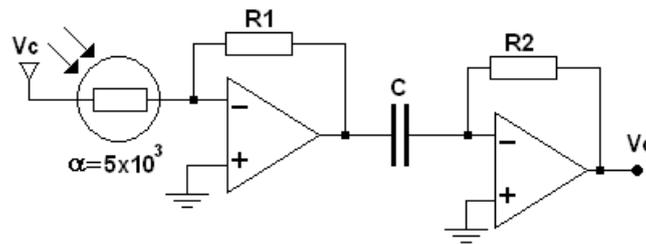
- O valor dos componentes por forma a garantir as especificações dadas.
  - Determine a temperatura onde o erro de linearidade integral é máximo. Qual o seu valor?
37. A figura que se segue ilustra um luxímetro construído com base num LDR com  $\alpha = 5000$  e  $\gamma = 1$ . Este aparelho possui uma gama de medida entre  $0$  e  $1000\text{ W/m}^2$ .



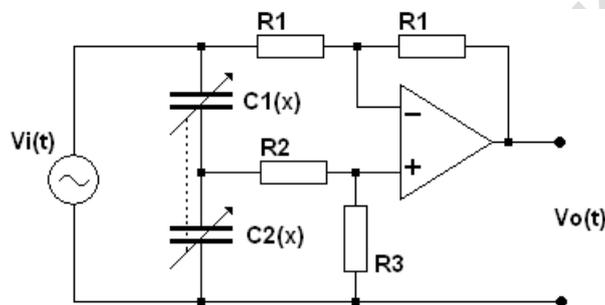
Sabendo que a saída deve variar entre  $0$  e  $10\text{V}$  para a gama de medidas referidas, Determine:

- O valor da resistência de realimentação considerando o AMPOP ideal.
- Qual o erro, em percentagem do valor de fim de escala, associado a uma medição de  $500\text{W/m}^2$  sabendo que o ganho em malha aberta do AMPOP é finita e igual a  $104$ .

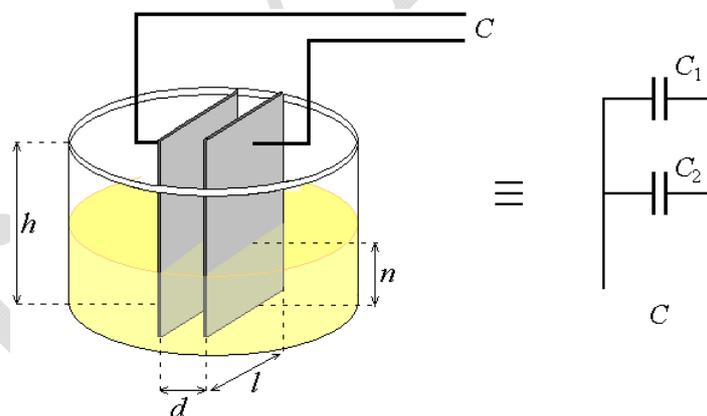
38. Mostre que se  $\gamma = 2$  e considerando que  $\Phi = \varphi \cdot \sin(\omega t)$ , a saída em tensão do seguinte circuito varia linearmente com o fluxo incidente no LDR.



39. Mostre que, para um par de sensores capacitivos de distância variável em montagem push-pull, a saída do seguinte circuito é  $V_o(t) = \pm(x/d) \cdot V_i(t)$ . Admita, para isso, valores para as resistências.



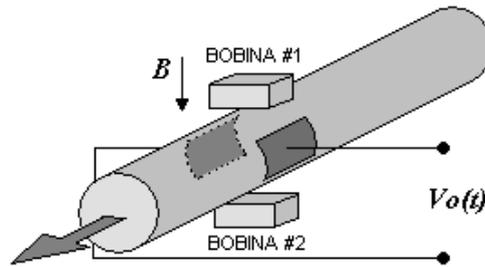
40. Considere o seguinte método para a medição do nível de um líquido num tanque.



O espaço livre é constituído por ar com permitividade  $\epsilon_0$  e o líquido, relativamente ao ar, possui uma permitividade relativa  $\epsilon_r$ .

- Determine a capacidade do condensador em função do nível do líquido.
  - Apresente um possível circuito de condicionamento para o sinal proveniente do sensor.
41. Considere o medidor de caudal electromagnético da figura subsequente cuja conduta possui um diâmetro de 5cm. Perpendicularmente a ele existe um campo magnético constante e uniforme de 0.1T. A tensão nos eléctrodos está aplicada à entrada de um amplificador com ganho 1000 e

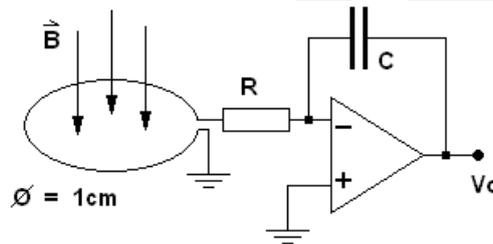
resistência de entrada de  $2.5M\Omega$ . Considere ainda que a condutividade do líquido é tal que a resistência entre os eléctrodos é de  $250K\Omega$ .



**Sentido do Fluxo**

- a) Determine a velocidade média do líquido quando a tensão obtida à saída do amplificador é de  $0.2V$ .
- b) Determine a variação, em percentagem, do sinal de saída quando a condutividade do líquido diminuir 20%.

42. Um sensor electromagnético é utilizado para medir a indução magnética, suposta uniforme, numa dada região.



Para medir o campo a espira é inicialmente colocada de forma a que o seu plano seja perpendicular ao vector  $\vec{B}$  sendo depois rodada rapidamente até o seu plano ficar paralelo ao mesmo vector. Considere o integrador ideal cuja saída é inicialmente nula. Escreva a expressão da tensão de saída após a operação indicada em função de  $B$ .

43. Considere um termopar tipo J (Ferro-Constantan) com a seguinte tabela de calibração fornecida pelo fabricante.

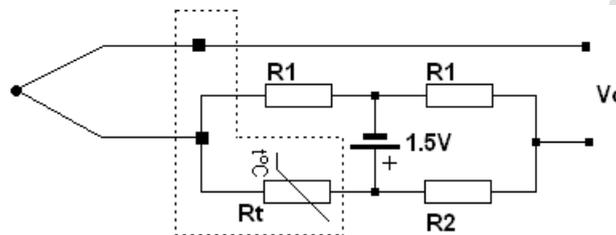
**Voltage table for thermocouples to EN 60 584**

in mV for  $10^\circ C$  temperature steps ( $0^\circ C$  cold junction)

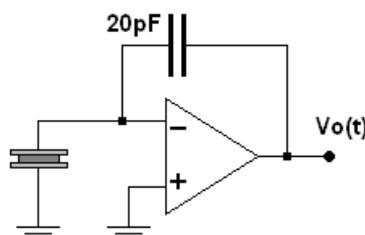
Fe-Con J										
$^\circ C$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-7.890	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-4.632	-5.036	-5.426	-5.801	-6.159	-6.499	-6.821	-7.122	-7.402	-7.659
0	0	-0.501	-0.995	-1.481	-1.960	-2.431	-2.892	-3.344	-3.785	-4.215
$^\circ C$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0.507	1.019	1.536	2.058	2.585	3.115	3.649	4.186	4.725
100	5.268	5.812	6.359	6.907	7.457	8.008	8.560	9.113	9.667	10.222
200	10.777	11.332	11.887	12.442	12.998	13.553	14.108	14.663	15.217	15.771
300	16.325	16.879	17.432	17.984	18.537	19.089	19.640	20.192	20.743	21.295
400	21.846	22.397	22.949	23.501	24.054	24.607	25.161	25.716	26.272	26.829
500	27.388	27.949	28.511	29.075	29.642	30.210	30.782	31.356	31.933	32.513
600	33.096	33.683	34.273	34.867	35.464	36.066	36.671	37.280	37.893	38.510
700	39.130	39.754	40.382	41.013	41.647	42.283	42.922	43.563	44.207	44.852

- a) Sabendo que o termopar possui uma junção a  $0^{\circ}\text{C}$  e a outra a  $110^{\circ}\text{C}$  qual a f.e.m. exibida aos seus terminais.
- b) Com uma junção a  $0^{\circ}\text{C}$  e uma f.e.m de  $6.56\text{mV}$  qual a temperatura na outra junção.
- c) Considerando agora que a junção de referência está à temperatura ambiente ( $27^{\circ}\text{C}$ ) qual será o valor da f.e.m. termoelétrica à temperatura de  $245^{\circ}\text{C}$ .

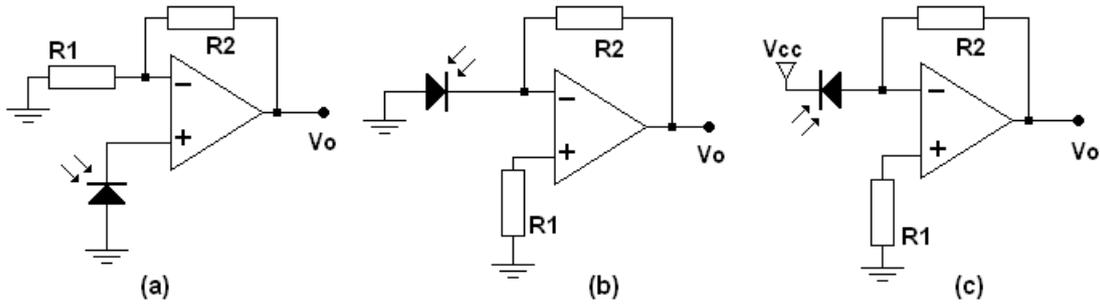
44. A figura que se segue mostra um circuito para a medida de temperaturas usando um termopar tipo J cuja tabela de calibração é idêntica à do exercício anterior. O circuito possui a capacidade de compensação automática da junção de referência para temperaturas ambientais entre  $20$  e  $30^{\circ}\text{C}$  usando uma ponte de Wheatstone e um termistor NTC com  $\beta$  igual a  $1000$  e  $R_0=10\text{K}\Omega@25^{\circ}\text{C}$ . Determine os valores dos componentes de modo a satisfazer as especificações dadas.



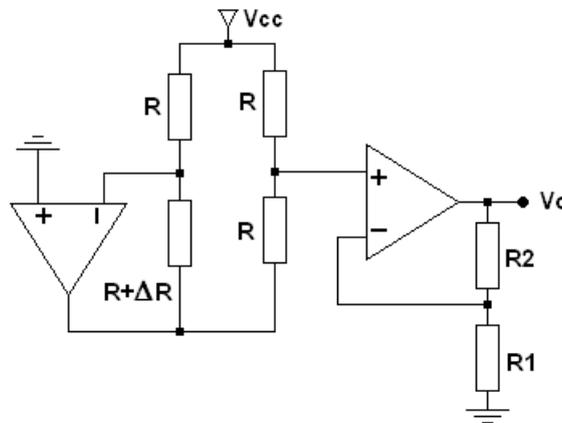
45. Pretende-se desenvolver um sistema de condicionamento de sinal para um termopar tipo J (tabela do exercício 43). O sistema deve possuir a capacidade de compensar variações térmicas da junção de referência que se presume variar entre  $10$  e  $30^{\circ}\text{C}$ . Para tal recorreu-se a um diodo de silício cuja sensibilidade é constante e igual a  $-2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  dentro da gama de variações da temperatura ambiente. Mais ainda, verificou-se na prática que  $V_d@25^{\circ}\text{C}=0.6\text{V}$  para  $I_d = 1\text{mA}$ . O sistema de medida será usado para monitorização de temperaturas até  $700^{\circ}\text{C}$  fornecendo uma tensão de saída proporcional. A tensão de alimentação do sistema deverá ser, por motivos de compatibilidade com o restante sistema de aquisição, de  $5\text{V}$ .
46. Um sensor piezoelétrico, constituído por um material cujo módulo de Young é  $9 \times 10^{10}\text{ Pa}$ , possui  $1\text{ cm}^2$  de área e uma espessura de  $0.1\text{ cm}$ . A sua sensibilidade é de  $2\text{pC/N}$  e a sua permissividade relativa é  $5$ . Supondo que este se encontra ligado a um amplificador de carga considerado ideal determine a máxima variação da espessura do cristal e o valor pico a pico do sinal de saída quando a este é aplicada uma força  $F=0.01\sin(10^3t)$ .



47. Determine a função de transferência  $V_o = f(\Phi)$  dos seguintes circuitos:

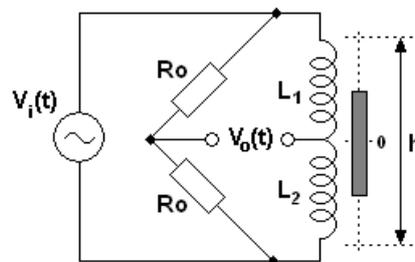


48. Mostre que a saída do seguinte circuito varia linearmente com a variação de resistência do sensor. Qual a vantagem deste circuito relativamente ao circuito obtido por montagem em ponte desse mesmo sensor?



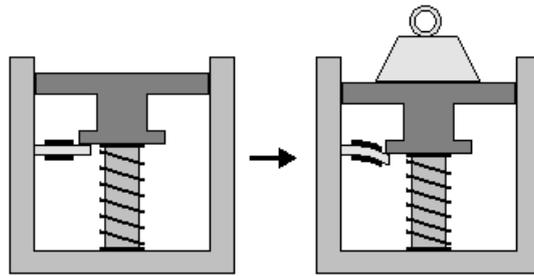
49. A figura que se segue mostra um circuito de condicionamento de sinal para um sensor de deslocamento linear do tipo indutivo. Este sensor é composto por dois enrolamentos idênticos fixos e um núcleo ferromagnético móvel solidário com o processo a medir. Para deslocamentos do núcleo em torno de  $h/2$  a relação entre as indutâncias  $L_1$  e  $L_2$  e o deslocamento  $x$  é aproximadamente linear e pode ser expresso pelas seguintes equações:

$$L_1 = \left(1 \pm \frac{x}{h}\right) \frac{L_o}{2} \text{ e } L_2 = \left(1 \mp \frac{x}{h}\right) \frac{L_o}{2}$$



- Determine  $V_o(t)$  em função de  $x$  assim como a sensibilidade da montagem.
- Mostre que o circuito de condicionamento possui a capacidade de eliminar erros de medida devido a grandezas de influência. Em que condições isso é possível?

50. Considere uma balança hipotética construída em torno de dois extensômetros idênticos com resistência em repouso igual a  $100\Omega$  montados em lados opostos sobre uma placa deformável.

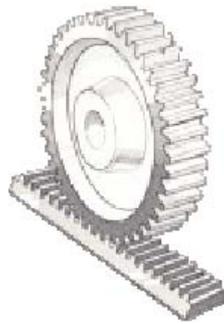


Considere que, para deformações relativas inferiores, em módulo, a  $10^{-2}$ , a relação entre o peso e a variação relativa da resistência é aproximadamente linear e pode ser descrita pela seguinte lei:

$$P = 200 \frac{dR}{R} \text{ (kg)}$$

- Sabendo que a constante dos extensômetros é 2.5 determine a gama de medida do sistema.
  - Atendendo a que o condicionamento de sinal dos sensores é feito por intermédio de uma ponte de Wheatstone em que ambos os extensômetros estão montados em braços adjacentes deduza a relação entre o peso e a tensão de saída. Considerando que a ponte é alimentada com uma tensão contínua igual a 10V qual a tensão máxima de saída?
  - Faça o esboço de um circuito que, associado à ponte de Wheatstone da alínea (b) forneça uma tensão, em Volt, igual ao peso no prato da balança.
  - Considere que o circuito de condicionamento de sinal está afastado da ponte sendo necessário recorrer a utilização de condutores com resistência igual a  $1\Omega$ . Determine o erro introduzido.
  - Sugira uma modificação no sistema de medida de forma a ser possível duplicar a sua sensibilidade.
51. Para determinar a velocidade angular do veio de um motor instalou-se um codificador incremental óptico de uma pista com 1000 aberturas.
- Qual a sua resolução.
  - Se a saída do receptor óptico excita a entrada de relógio de um contador de 16 bits reinicializado todos os segundos qual a velocidade máxima angular máxima passível de ser medida? Que valores são indicados para velocidades superiores?
52. O sistema mecânico composto por um pinhão e cremalheira é usado para converter movimento angular em movimento linear. Para a medição do movimento linear é instalado um codificador óptico incremental de forma ao seu movimento ser solidário com o movimento de rotação do pinhão. Este codificador possui duas pistas concêntricas desfasadas mecanicamente de  $90^\circ$

fornecendo informação tanto sobre a posição como sobre o sentido do movimento através de duas saídas TTL.

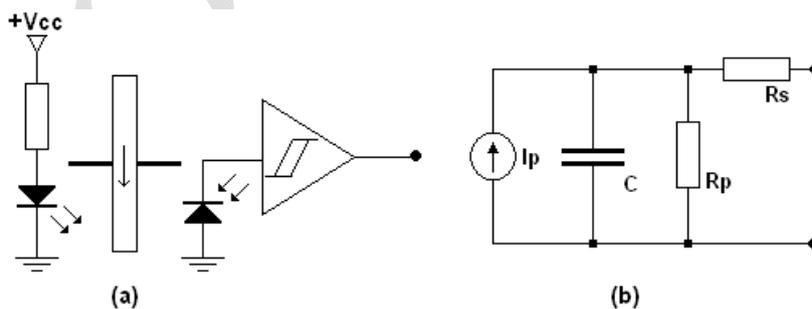


Considere que o pinhão possui 50 dentes por volta, a cremalheira 100 dentes por metro e o codificador uma resolução de 1800 impulsos por revolução.

*Nota: Se o pinhão possui  $N$  dentes por volta e a cremalheira  $L$  dentes por metro, o deslocamento linear será igual a  $N/L$  metros por volta.*

- a) Qual a resolução obtida para a posição linear e angular?
- b) Sabendo que a posição angular incremental é obtida através de um contador up/down de 16 bits qual a gama de medida do sistema?.
- c) Admitindo que quando a linha U/D está a '1' lógico o contador incrementa e quando colocada a '0' o contador decrementa esboce um possível circuito capaz traduzir, a partir das duas saídas do codificador, o sentido do deslocamento.

53. A figura (a) que se segue mostra um codificador incremental óptico com 300 aberturas por revolução.



Considerando que a impedância de entrada do comparador é elevada (ordem dos  $M\Omega$ ) e que o comportamento do fotodíodo pode ser aproximado pelo modelo eléctrico da figura (b) ( $C=10\text{pF}$ ,  $R_p=1\text{M}\Omega$ ,  $R_s=120\Omega$ ) determine a máxima velocidade angular mensurável se a atenuação máxima admissível do sinal à saída do fotodíodo for de -3dB.

Provisório