Questão 1 (4,00 pontos – cada item vale 0,80)

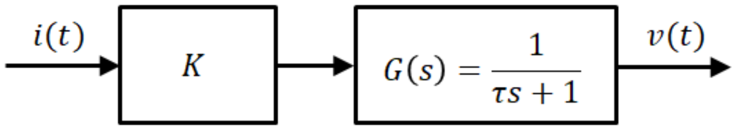
Um sistema de medição é constituído de apenas um termopar cuja equação é dada na tabela abaixo. O *range* de entrada do sensor é de 0°C a 120°C e o de saída é de 0 mV a 5 mV. A tabela também contém os valores médios e os desvios-padrões dos parâmetros do modelo. A partir dos dados apresentados, faça o que se pede nos itens abaixo.

Equação do modelo	$\boldsymbol{E(T) = C_0 + C_1 T + C_2 T^2}$
Valores médios	$\overline{C_0} = 0{,}000; \overline{C_1} = 6{,}933 \cdot 10^{-2}; \overline{C_2} = -2{,}305 \cdot 10^{-4}$
Desvios-padrões	$\sigma_T = 0; \sigma_{C_0} = 3{,}21 \cdot 10^{-3}; \sigma_{C_1} = 4{,}83 \cdot 10^{-3}; \sigma_{C_2} = 0$

a) Obtenha a reta ideal desse elemento.
b) Defina a função de não linearidade $N(T)$.
c) Obtenha a temperatura $T_{N_{Max}}$ tal que $N(T)$ assume seu valor máximo $\widehat{N} = N\left(T_{N_{Max}}\right)$ no intervalo (0°C, 120°C). Calcule $\widehat{N}$ em mV e como valor percentual da deflexão do fundo de escala (*span* de saída).
d) Sabe-se que a tensão de saída do termopar está sujeita à influência de variações da temperatura T_2 da outra junção do sensor. Além disso, o modelo dado na tabela é válido para $T_2 = 0°\text{C}$. Suponha que tenha sido observado que para $T_2 = 10°\text{C}$, $E(0°\text{C}) = 0{,}2\ \text{mV}$ e $E(120°\text{C}) = 5{,}2\ \text{mV}$. Por outro lado, para $T_2 = 15°\text{C}$, $E(0°\text{C}) = 0{,}3\ \text{mV}$ e $E(120°\text{C}) = 5{,}3\ \text{mV}$. Estenda a equação do modelo dado na tabela de modo a incluir a influência das variações de T_2, lembrando-se de fornecer os valores de todos os parâmetros envolvidos.
e) Calcule o desvio padrão da variável de saída do sensor para uma temperatura verdadeira de entrada de $T_{N_{Max}}$ (desconsidere os efeitos ambientais).
f) Você tem à disposição um microcontrolador capaz de compensar a não linearidade do sensor por meio de operações como soma, multiplicação, potenciação, radiciação, etc. Indique de que modo essa compensação poderia ser feita, desprezando-se quaisquer efeitos dinâmicos ou estatísticos associados ao processo de conversão analógico/digital.
Dica: $E(T)$ é inversível no intervalo (0°C, 120°C) e $E\left(E^{-1}(T)\right) = T$.

Questão 2 (3 pontos)

Você deverá utilizar um conversor de corrente-tensão com sensibilidade de regime permanente K e comportamento dinâmico definido por $G(s)$ para medir um sinal de corrente periódico de $100\ \text{rad/s}$ de frequência. A figura abaixo ilustra o problema bem como a expressão para $G(s)$.



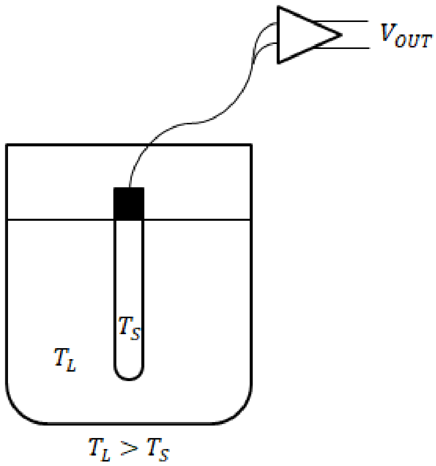
$$\tau = \frac{1}{1000 \text{ rad/s}}$$

Para que se possa investigar as propriedades desse sinal, é preciso que o sistema meça até o seu 10º harmônico com acurácia. Para tanto, o sensor deve medir adequadamente até o dobro da frequência desse harmônico, ou seja, a função de transferência $G(s)$ deve ser tal que $|G(j2000)| \approx 1$. Porém, a largura de banda $\omega_B = 1/\tau$ do sensor não é adequada para esse fim, como se depreende da figura. Logo, valendo-se de um amplificador de tensão de ganho K_A, de um conversor de tensão-corrente de sensibilidade K_F (assuma que o comportamento dinâmico de ambos pode ser ignorado) e de uma unidade de subtração de corrente, você resolve adotar a técnica de medição em malha fechada para aumentar a largura de banda do sistema de medição. A partir dessas considerações, responda os itens abaixo.

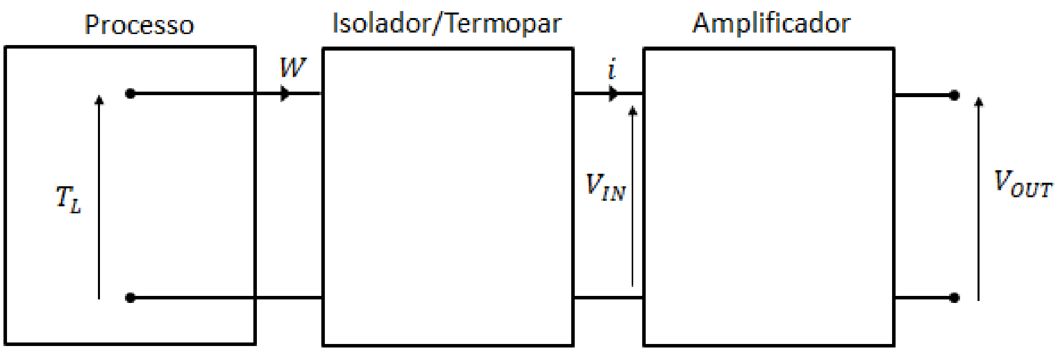
a) (0,5 ponto) Desenhe o diagrama de blocos do sistema em malha fechada.
b) (1,0 ponto) Obtenha a função de transferência do novo sistema. Qual é a nova sensibilidade K' em regime permanente? E a nova largura de banda $\omega_B{}'$? Atenção! Não adote aproximações associadas às magnitudes relativas de K, K_A e K_F.
c) (1,0 ponto) Para garantir que o novo sistema atenda os requisitos do problema, defina a nova largura de banda $\omega_B{}'$ como sendo 5 (cinco) vezes maior que a frequência máxima (2000 rad/s) que se deseja medir com acurácia. Supondo que $K_F = K^{-1}$, determine o valor de K_A que atende às especificações dadas.
d) (0,5 ponto) Utilize o valor de K_A obtido no item anterior para obter a nova sensibilidade do sistema.

Questão 3 (3 pontos)

A figura abaixo ilustra um sistema de medição utilizado para medir a temperatura T_L de um líquido. Esse sistema é constituído de um termopar protegido por um isolador metálico cilíndrico. Supondo que a temperatura do líquido é maior que a da junção do termopar, T_S, o calor flui do líquido para a mesma através do isolador a uma taxa W. A taxa de variação de T_S depende do fluxo W, que por sua vez depende do gradiente de temperatura $(T_L - T_S)$.



O circuito do termopar pode ser modelado por uma tensão equivalente de Thévenin dada por $E_{Th} = K_T T_S$, onde K_T é uma constante, em série com uma impedância equivalente de Thévenin, Z_{Th}. Há também um amplificador de tensão com impedância de entrada Z_{IN}, ganho A e impedância de saída Z_{OUT}. A tensão de saída do amplificador é dada por V_{OUT}, enquanto a de entrada é V_{IN}. A figura abaixo ilustra o sistema como um todo por meio de redes de duas portas.



A partir das informações anteriores, faça o que se pede abaixo.

a) (1,5 ponto) Obtenha a função de transferência de T_S em relação a T_L; de V_{IN} em relação a T_S; de V_{OUT} em relação a V_{IN}. Assuma que nenhuma carga está conectada à saída do amplificador; arbitre os parâmetros necessários como massa do isolador, capacidade térmica, etc.

b) (1,0 ponto) Obtenha a função de transferência de V_{OUT} em relação a T_L.

c) (0,5 ponto) Qual relação deve haver entre os parâmetros do sistema para que sua sensibilidade em regime permanente dependa principalmente da sensibilidade K_T e do ganho A, apenas?