3ª PROVA - RESOLUÇÃO

1ª Questão: (2,0 Pts) Considere um processo industrial de 3ª ordem, do tipo 1, sujeito a perturbações constantes por partes e também perturbações senoidais de 60 Hz (motores elétricos trifásicos nas proximidades). Existe incerteza em relação ao modelo do processo e, obviamente, há um limite para a amplitude do sinal do atuador. Espera-se, como é usual em projetos de engenharia: um projeto de baixo custo, a maior velocidade possível para o acompanhamento da referência (transitório e regime permanente), sobrepasso menor que 10% e uma significativa atenuação das perturbações.

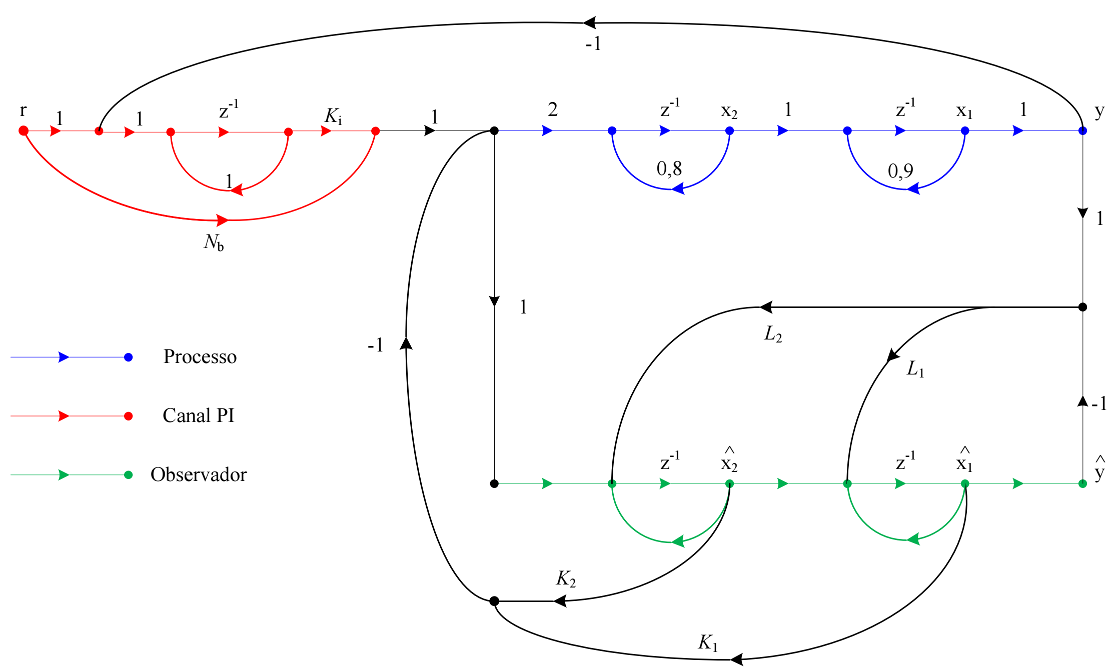
Para estas especificações, qual, dentre as opções abaixo, seria a "melhor" opção de projeto? Justifique.

1- Controlador PI com observador de perturbações senoidais
2- Realimentação de estados com canal integral (modelo aumentado do processo)
3- Espaço de estados com canal PI e blindagem eletromagnética do processo (Gaiola de Faraday)
4- Espaço de estados com observador de perturbações senoidais
5- Espaço de estados com observador de perturbações senoidais e observador de perturbações constantes

---
"Melhor" opção: 5

Justificativa:
1 - Não pode ser, pois o observador precisa de um modelo do processo para estimar o erro que alimenta o observador de perturbações.
2- Não pode ser, pois não há rejeição de perturbações constantes.
3- Uma blindagem eletromagnética é antieconômica na maioria dos casos práticos.
4- Como há incerteza no modelo há necessidade do canal integral, mesmo para um sistema do tipo 1.
5- Este controlador atende a todas as especificações.

2ª Questão*:* Considere o seguinte sistema de controle discreto, onde x_1 e x_2 são as variáveis de estado do processo.



a) (1,0) Projete um observador de estados preditos de tal forma que os pólos do observador sejam $z_{1,2} = 0{,}5$.
b) (1,0) Projete um controlador por realimentação de estados com canal integral com todos os pólos em z = 0,7.
c) (0,5) Acrescente um canal proporcional, para que a função de transferência completa seja de 2ª ordem.
d) (0,5) Apresente a função de transferência de malha fechada completa Y(z)/R(z).

--- **Resolução:**

a) Dinâmica do observador: $|z\mathbf{I}-\mathbf{\Phi}+\mathbf{LH}| = z^2 - z + 0{,}25$

$$\mathbf{x}(k+1) = \begin{bmatrix} 0{,}9 & 1 \\ 0 & 0{,}8 \end{bmatrix}\mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}u \qquad \mathbf{LH} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & 0 \\ l_2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x}(k)$$

$$\begin{vmatrix} z-0{,}9+l_1 & -1 \\ l_2 & z-0{,}8 \end{vmatrix} = z^2 + z(l_1 - 1{,}7) - 0{,}8l_1 + l_2 + 0{,}72 \qquad \boxed{\Rightarrow \mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0{,}7 \\ 0{,}09 \end{bmatrix}}$$

b) Integral do erro: $x_I(k+1) = x_I(k) + r(k) - y(k)$

Sistema aumentado:

$$\begin{bmatrix} x_I(k+1) \\ \mathbf{x}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -H \\ 0 & \phi \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_I(k) \\ \mathbf{x}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \Gamma \end{bmatrix}u(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}r(k)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & H \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_I(k) \\ \mathbf{x}(k) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_I \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0{,}9 & 1 \\ 0 & 0 & 0{,}8 \end{bmatrix}\mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}u(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}r(k)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x}(k)$$

$$|z\mathbf{I} - \phi + \Gamma K| = \begin{bmatrix} z-1 & 1 & 0 \\ 0 & z-0{,}9 & -1 \\ 2k_I & 2k_1 & z-0{,}8+2k_2 \end{bmatrix} = z^3 + z^2(k_2 - 2{,}8) + z(2{,}6 + k_1 - k_2) + k_I - k_1 - 0{,}8$$

$$(z-0{,}7)^3 = z^3 - 2{,}1z^2 + 1{,}47z - 0{,}343$$

$$\boxed{K = \begin{bmatrix} k_I & k_1 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}0135 & 0{,}095 & 0{,}3 \end{bmatrix}}$$

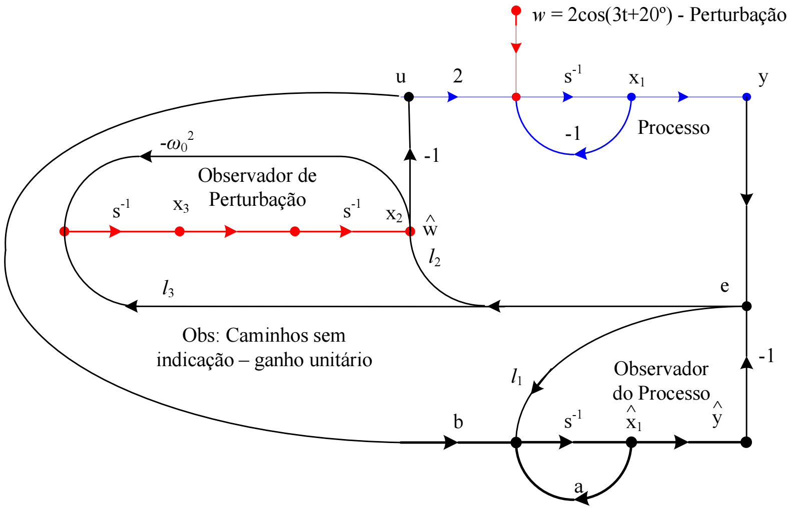
c) $0{,}7 = 1 - \dfrac{-0{,}0135}{\overline{N}} \rightarrow \overline{N} = -\dfrac{0{,}0135}{0{,}3}$ $\qquad \boxed{\overline{N} = -0{,}045}$

d) $\boxed{\dfrac{Y(z)}{U(z)} = \dfrac{11{,}11}{(z-0{,}7)(z-0{,}7)}}$

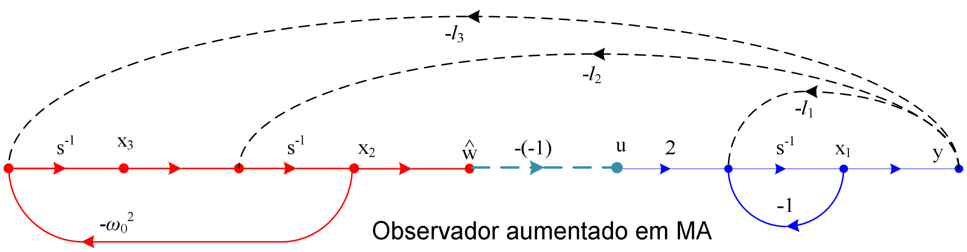
3ª Questão: Considere o seguinte esquema que permite rejeitar perturbações senoidais.

a) (2,0) Obtenha a equação característica do observador (3ª ordem) em função de l_1, l_2 e l_3.

b) (0,5) Calcule l_1, l_2 e l_3 de tal forma que $\Delta(s) = s^3 + 2s^2 + 2s + 1$



Obs: Pelo Princípio da superposição o observador pode ser projetado a partir do seguinte fluxografo:



$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -9 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

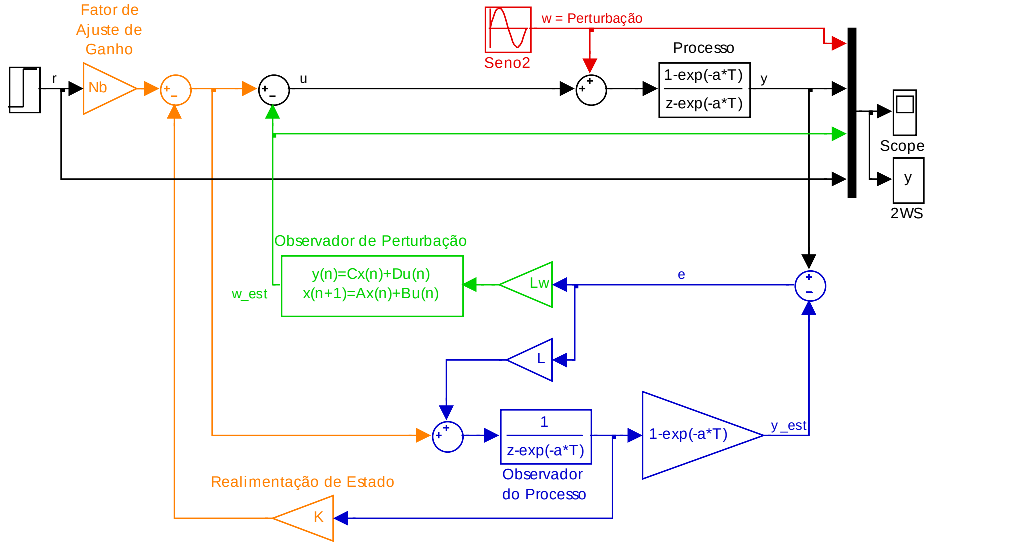
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

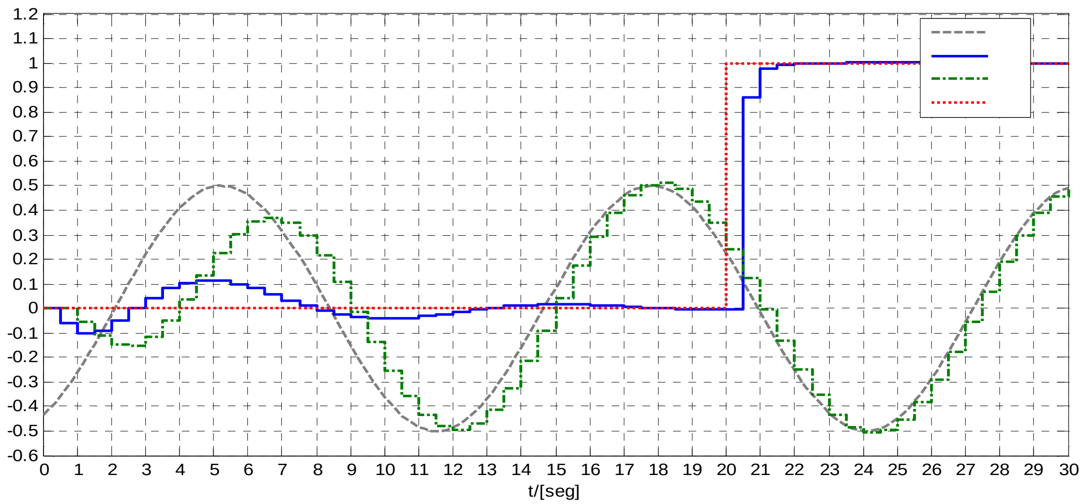
$$\left| sI - A_a + LC_a \right| = \begin{vmatrix} s+1+l_1 & -2 & 0 \\ l_2 & s & -1 \\ l_3 & 9 & s \end{vmatrix} =$$

$$s^3 + s^2(1+l_1) + s(9+2l_2) + 9 + 9l_1 + 2l_3$$

$$\Delta(s) = s^3 + 2s^2 + 2s + 1 \qquad \boxed{l_1 = 1, \quad l_2 = -3{,}5, \quad l_3 = -8{,}5}$$

4ª **Questão**: (2,5 Pts) Considere o controle no espaço-de-estados de um processo sujeito a perturbações senoidais. O observador do processo permite gerar o sinal de erro para o observador de perturbações. Uma resposta típica é mostrada, a=0,3.

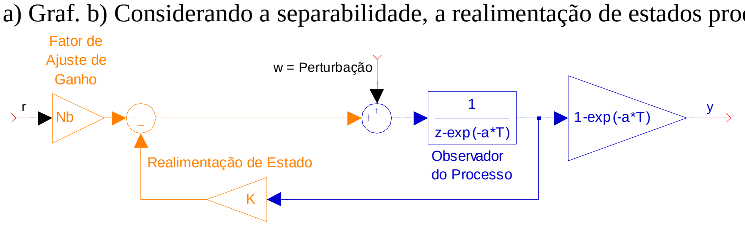




a) (0,5) Identifique no gráfico os sinais r, y, w e w_est.
b) (1,5) Considerando que não há erro em regime permanente para o degrau de referência, qual a função de transferência de malha fechada $Y(s)/R(s)$?
c) (0,5) Qual o ganho K? Qual valor de Nb foi utilizado?

---

a) Graf. b) Considerando a separabilidade, a realimentação de estados produz o seguinte sistema de 1ª ordem:



$$T = 0{,}5; \quad \frac{Y(z)}{R(z)} = Nb\frac{1-\exp(-0{,}15)}{z-\exp(-0{,}15)+K} = Nb\frac{0{,}1393}{z-0{,}8607+K}$$

$$y(k+1)+(K-0{,}8607)y(k) = 0{,}1393Nb.r(k);$$

Do detalhe: $r(20\text{ seg})=1$, $y(20\text{ seg})=0$, $y(20{,}5\text{ seg})= 0{,}86 = 0{,}1393.Nb.1$ $\rightarrow$ $\boxed{Nb=6{,}1737}$

Não há erro em regime permanente $\rightarrow$ $Nb.0{,}1393 = 1 - 0{,}8607 + K \rightarrow \boxed{K=0{,}7207}$

$$\boxed{\frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{0{,}86}{z-0{,}14}}$$