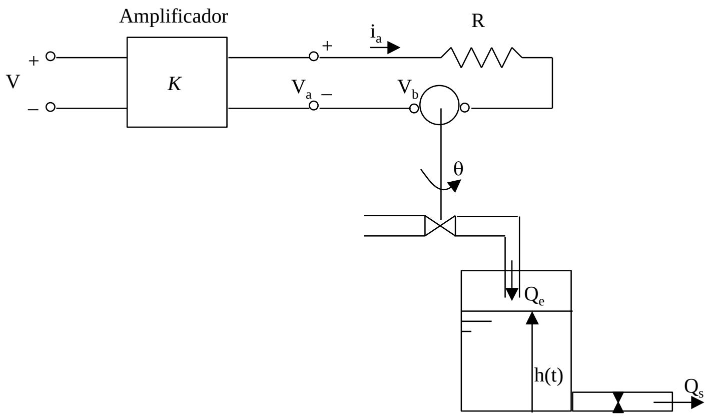
PROVA 1 - PMR2360: Controle e Automação I – 02/10/205

Prof. Eduardo Aoun Tannuri

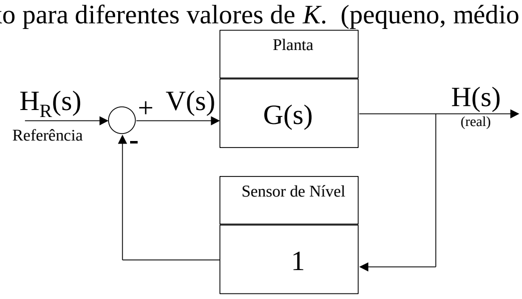
Nome: ____ No. USP: ________

1) (3,0 pontos) O sistema abaixo possui um motor CC controlado pela corrente de armadura i_a que gira um eixo e abre uma válvula. A indutância do motor CC é desprezível, isto é, L_a=0. Igualmente, o atrito de rotação do eixo do motor e da válvula é desprezível, isto é, b=0. A força contra-eletromotriz é proporcional à rotação $\dot{\theta}$ (isto é, $V_b = K_b\dot{\theta}$) e o torque elétrico é proporcional à corrente de armadura ($T_e = K_a i_a$). A inércia da válvula e da árvore do motor é J. Existe ainda um amplificador de entrada, com amplificação K. A vazão de saída de água pelo reservatório é $Q_s = K_R h$ e a de entrada é proporcional à abertura da válvula ($Q_e = K_v\theta$). A área seccional do reservatório é A.



a) (Valor 1,0) obtenha a função de transferência G(s)=H(s)/V(s)

b) (Valor 1,0) Usando um diagrama do lugar das raízes esquemático, ilustre a estabilidade do sistema em malha fechado abaixo para diferentes valores de K. (pequeno, médio e grande)



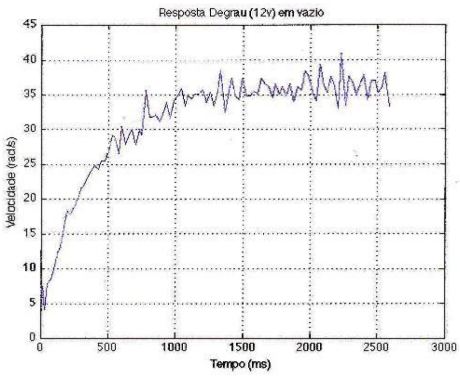
c) (Valor 1,0) Esboce a resposta temporal para entrada H_R degrau em cada um dos três casos analisados no item b.

2) (3,5 pontos) Esta questão versa sobre o projeto de um sistema de controle para um moto-redutor DC de 12V, dotado de um encoder. A figura (a) abaixo ilustra o motor com uma roda montada em seu eixo. A figura (b) contém o resultado do ensaio de entrada em degrau (12V) aplicado em t=0s. A velocidade foi obtida a partir de um sistema de aquisição de dados.

a) (Valor 1,0) Assumindo a simplificação de que a função de transferência do sistema seja da forma $\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)}$, sendo $\Theta(s)$ o ângulo (em rad) do eixo de saída do moto-redutor e V(s) a tensão aplicada, obtenha os parâmetros K e T. Justifique todos os passos e hipóteses.

A partir deste item, independentemente de ter ou não resolvido o item (a), assuma $\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{2,9}{s(0,3s+1)}$

(a)



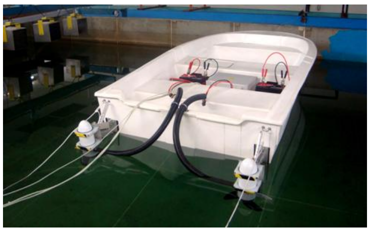
(b)

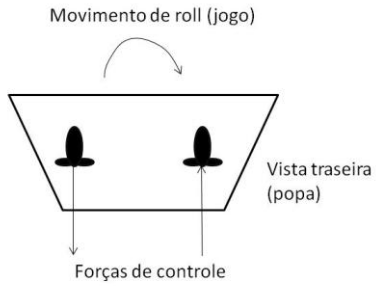
b) (Valor 1,0) Projete um controlador PD da forma $K_P(1 + T_D s)$ considerando que o sistema deverá possuir, em malha fechada, tempo de estabilização 2% menor que 0,5s e sobressinal menor que 10%. Dica: Utilize o diagrama de polos e zeros e a técnica de lugar das raízes, notando que o controlador apenas introduz um zero ao sistema em malha aberta.

c) (Valor 1,5) O controlador foi implementado com um tempo de amostragem muito rápido (da ordem de 1ms) de forma a garantir que a amostragem e digitalização não influíssem a resposta em malha fechada. Ao testar o servomotor a uma entrada na referência em degrau, obteve-se a resposta abaixo, com sobressinal bem maior que o especificado.

A causa disso é creditada à existência de uma dinâmica elétrica (devido à indutância do motor) desprezada na fase de modelagem e projeto do controlador, do tipo $\frac{1}{T_E s+1}$. A partir do gráfico acima, estime o valor da constante de tempo elétrica T_E.

3) (3,0 pontos) O jogo de um navio de recreação deve ser minimizado, a fim de garantir o conforto dos passageiros. Uma das técnicas que se está estudando para este fim, no laboratório TPN-USP em parceria com uma empresa incubada, é a utilização de propulsores gerando forças reativas para baixo e para cima, compensando tal movimento, como mostrado na figura abaixo.





O modelo matemático obtido para um barco modelo (escala reduzida), sendo θ o ângulo de jogo (roll) medido por um inclinômetro e M o momento (binário) gerado pelos propulsores de controle é:

$$30\,\ddot{\theta} + 100\,\dot{\theta} + 2500\,\theta = M$$

Projete um sistema de controle de avanço $M(\Theta(s))$ que garanta que o sistema em malha fechada apresente fator de amortecimento de 0,7 e frequência natural de 12rad/s. A escolha destes parâmetros não é foco do presente problema, mas advém da necessidade de fazer o sistema responder pouco às ondas incidentes.

1

a) $V_a = K . V$

elétrica $V_a = i_a . R + V_b$

$V_a = i_a . R + K_b . \dot{\theta}$

$K.V = i_a . R + K_b . \dot{\theta} \rightarrow i_a = \frac{K.V - K_b . \dot{\theta}}{R}$

mecânica / válvula $J . \ddot{\theta} = K_a . i_a$

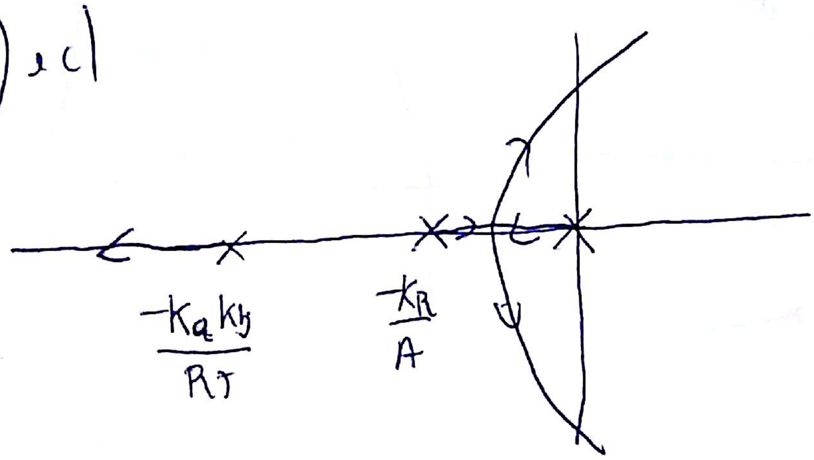
$J . \ddot{\theta} = \frac{K_a}{R} . (KV - K_b . \dot{\theta}) \Rightarrow \left(Js^2 + \frac{K_b . K_a}{R} s\right) \theta(s) = \frac{K_a K}{R} V_s$

Tanque $A . \dot{h} = K_v . \theta - K_R . h$

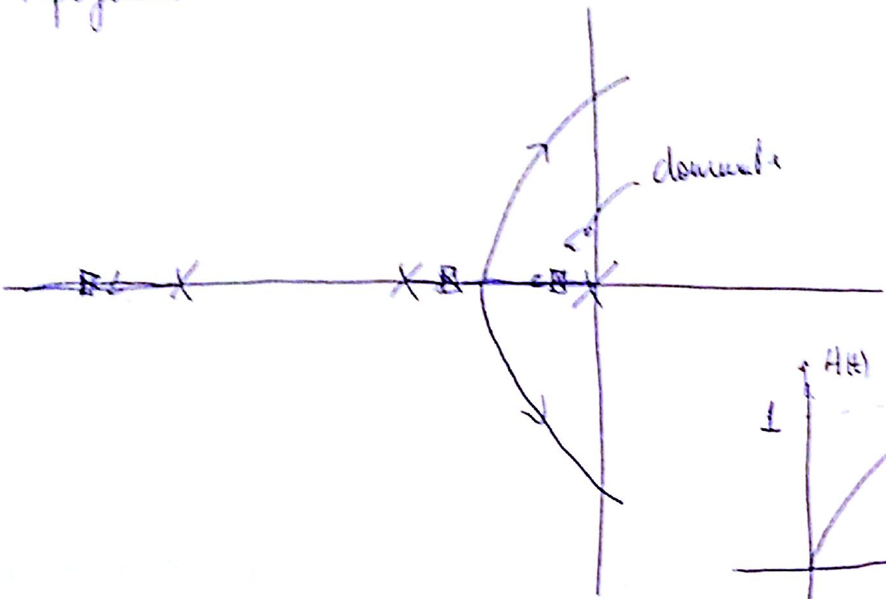
$(A.s + K_R) H(s) = K_v . \theta(s) = \frac{K_v K_a . K}{R} . \frac{1}{Js^2 + \frac{K_b K_a}{R} s} . V(s)$

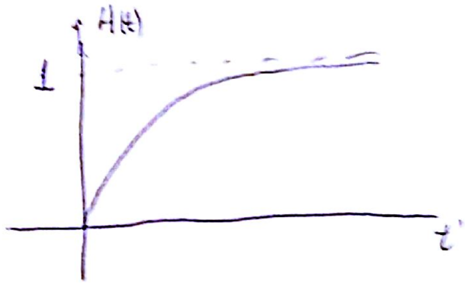
$$\frac{H(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K_a K_v K}{R}}{(As + K_R)\left(Js^2 + \frac{K_b K_a}{R} s\right)}$$

b) e c)

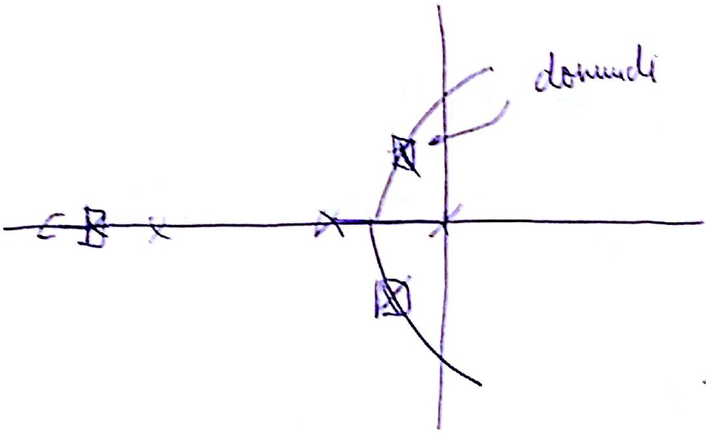


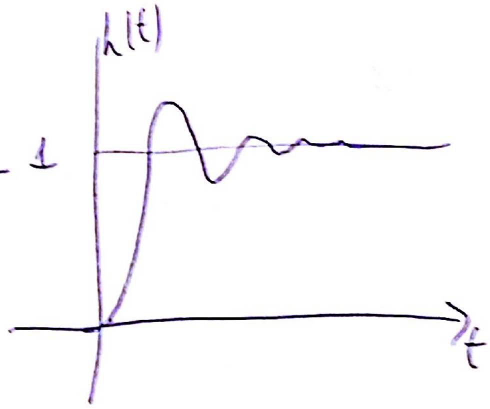
Kpequeno



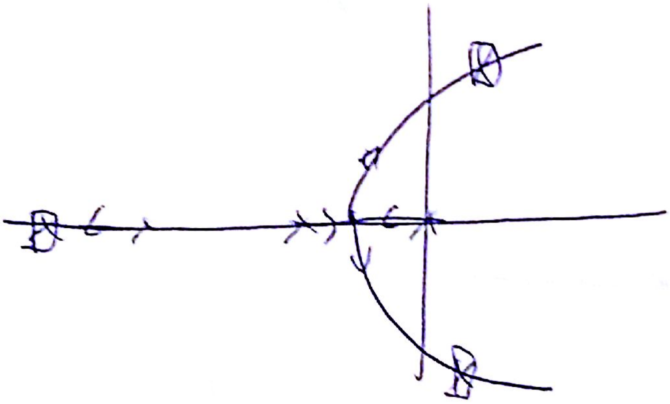


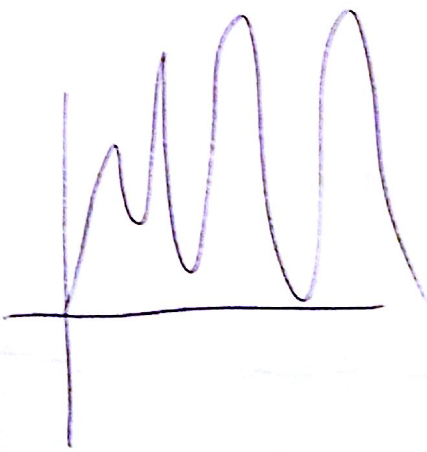
KMÉDIO





KELEVADO





GABARITO

1) a) $\dfrac{\Omega(s)}{V(s)} = \dfrac{K}{\tau s+1}$ com $K = \dfrac{35\,rad/s}{12V} = 2{,}9\,rad/s/V$

$\Omega(\tau) = 0{,}632 \times 35 = 22{,}2\,rad/s \Rightarrow$ pelo gráfico $\tau = 0{,}3s$ (300 ms)

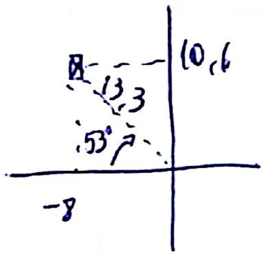
$\Rightarrow \dfrac{\Theta(s)}{V(s)} = \dfrac{2{,}9}{s(0{,}3s+1)}$

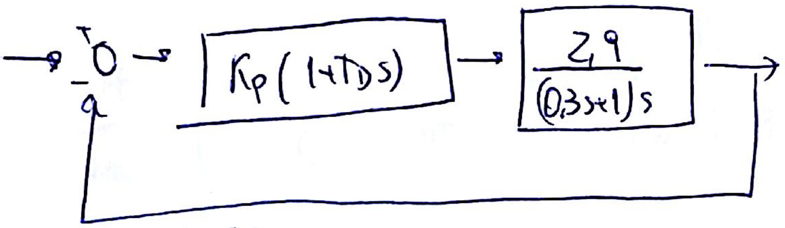
integrador

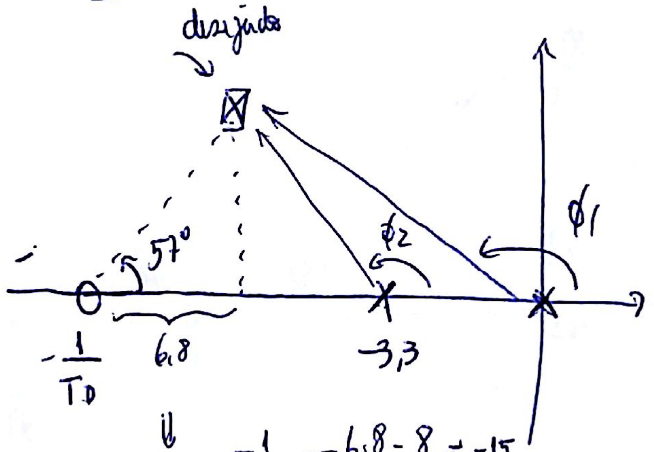
b) $t_s = 0{,}5s$
$M_p \le 10\%$

$\Rightarrow \dfrac{4}{\zeta\omega_n} = 0{,}5 \Rightarrow \zeta\omega_n = 8$

$exp\left(\dfrac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right) = 0{,}1$ $\zeta = 0{,}6$ polos desejados $= -8 \pm 10{,}6j$







$\phi_1 = 123°$ Cond. fase
$\phi_2 = 114°$

$\Rightarrow -\phi_1 - \phi_2 + \Theta = -180°$
$\Theta = 57°$

$\Downarrow$

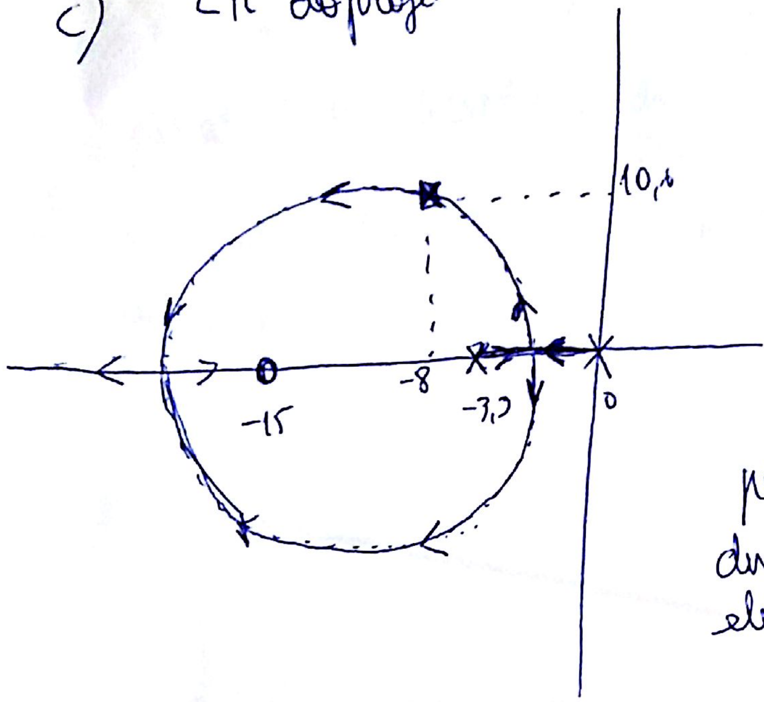
$-\dfrac{1}{T_D} = -6{,}8 - 8 = \underline{\underline{-15}}$

$T_D = \underline{\underline{0{,}067s}}$ $\Rightarrow PD = K_p(1 + 0{,}067s)$

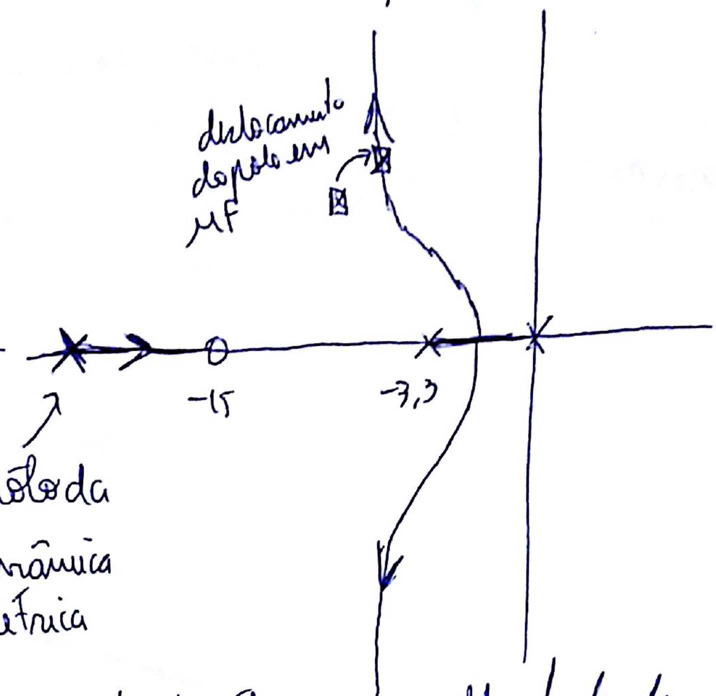
Cond. módulo

$$\left| K_p(1+0{,}067s) \cdot \dfrac{2{,}9}{(0{,}3s+1)s} \right|_{s=-8\pm 10{,}6j} = 1 \Rightarrow K_p = 18{,}75$$

c) LR do projeto



LR considerando pólo elétrico

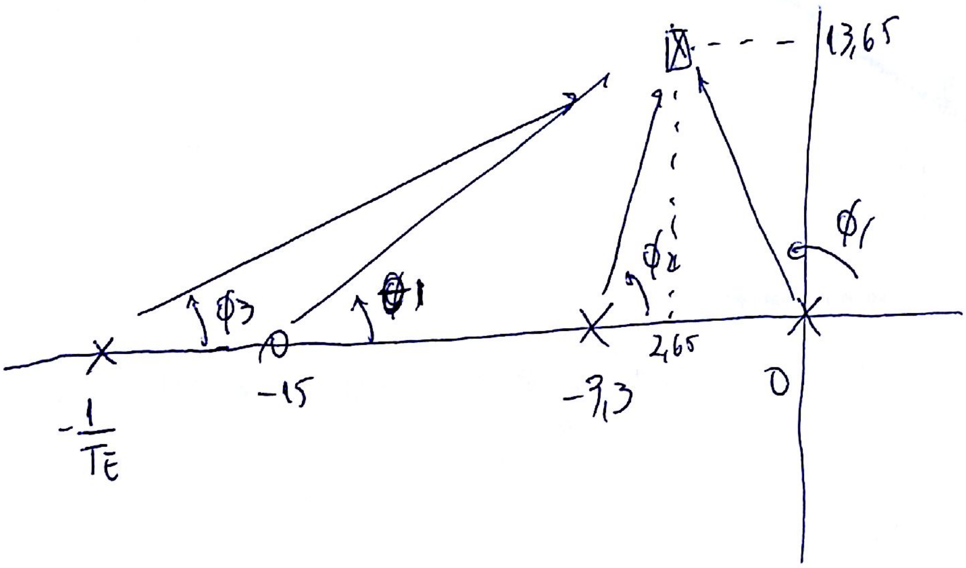


O pólo elétrico causa um deslocamento do pólo em malha fechada.

~~pol~~ pelo gráfico da resposta temporal ao degrau:

$M_p \cong 55\%$ $\Rightarrow$ $\zeta = 0{,}2$ $\Rightarrow$ pólo dominante $= -2{,}65 \pm 13{,}65j$

$T_R \cong 0{,}65 - 0{,}2 = 0{,}45\,s$ $\quad \omega_n = 13{,}92$



$\phi_1 = 101^\circ$

$\phi_2 = 87^\circ \Rightarrow \phi_3 = 39^\circ$

$\theta_1 = 47^\circ$

$\Downarrow$

obtém-se a posição do pólo elétrico

$\frac{1}{T_E} = 19{,}5$

$\Downarrow$

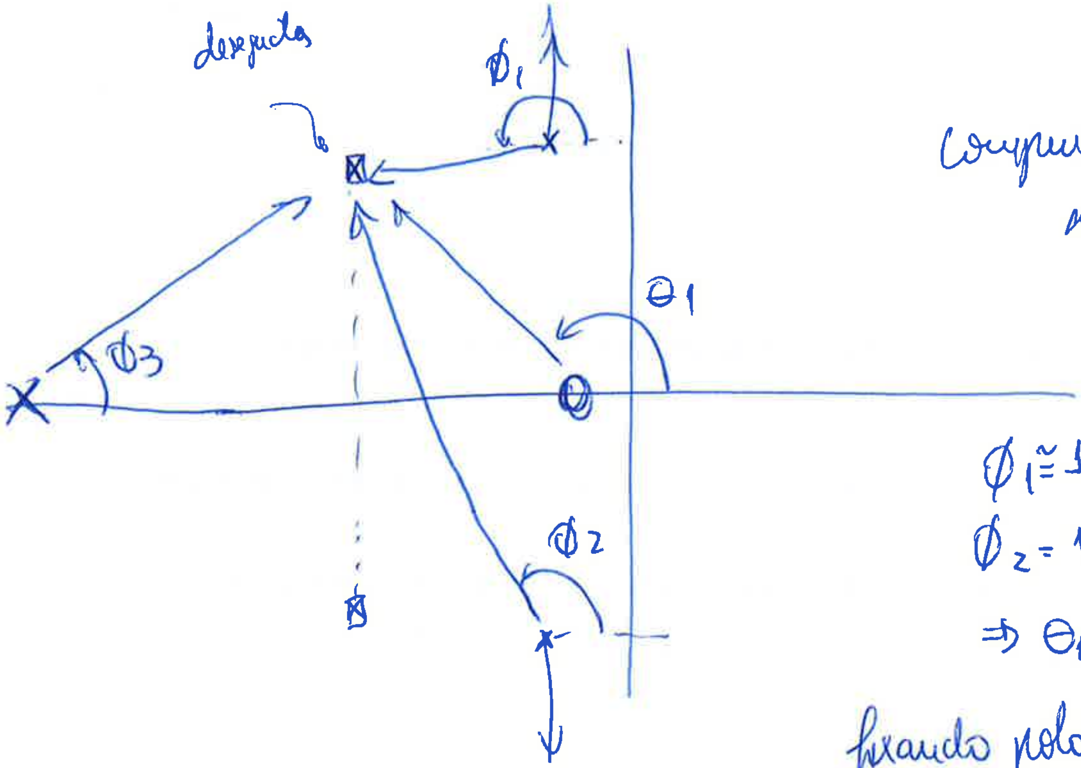
$\boxed{T_E = 0{,}05\,s}$

3) $\dfrac{\Theta(s)}{M(s)} = \dfrac{1}{30s^2+100s+2500}$

polos MA $= -1{,}67 \pm 8{,}9j$

polos desejados $= 12\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2}j\right) =$

$= -8{,}5 \pm 8{,}5j$



Compensador de avanço

$K_c\left(\dfrac{1+sT}{1+\alpha sT}\right)$

$\phi_1 \cong 180°$

$\phi_2 = 111°$

$\Rightarrow \theta_1 - \phi_3 = 111°$

fixando polo do controlador em -60

$\Rightarrow \phi_3 = 10°$

$\Rightarrow$ zero do controlador será em $-3{,}3$

$\Rightarrow G_c = K_c\left(\dfrac{s+3{,}3}{s+60}\right)$

K_c é obtido por $\left| K_c \cdot \dfrac{s+3{,}3}{s+60} \cdot \dfrac{1}{30s^2+100s+2500} \right|_{s=-8{,}5\pm 8{,}5j} \Rightarrow \boxed{K_c = 2 \cdot 10^4}$