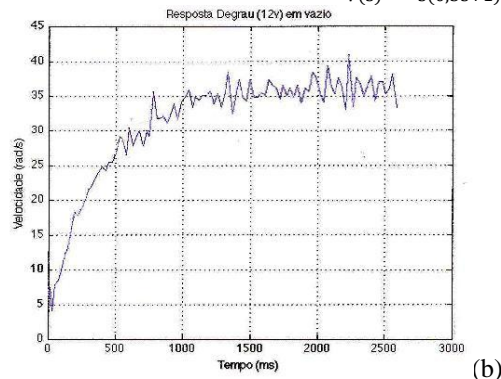


Nome: _____ No. USP: _____ 2) 1)

1) (3,0 pontos) Esta questão versa sobre o projeto de um sistema de controle para um moto-reductor 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.

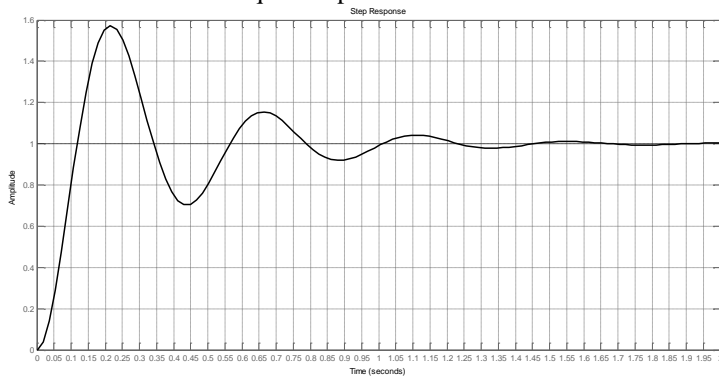
a) (Valor 1,0) Assumindo a simplificação de que a função de transferência do sistema seja da forma $\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)}$, sendo $\theta(s)$ o ângulo (em rad) do eixo de saída do moto-reductor e $V(s)$ a tensão aplicada, obtenha os parâmetros K e T . Justifique todos os passos e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

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



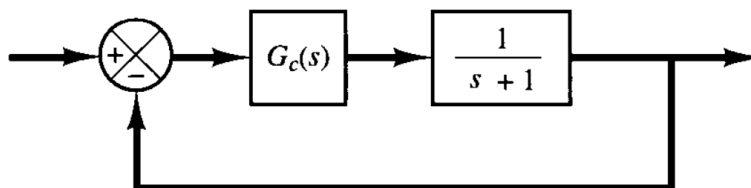
b) (Valor 1,0) Projete um controlador PD da forma $K_p(1 + T_D s)$ considerando que o sistema deverá possuir, em malha fechada, tempo de estabilização 2% menor que 0,5s e sobressinal menor que 10%. Dica: Utilize o diagrama de polos e zeros e a técnica de lugar das raízes, notando que o controlador apenas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

2) (3,0 pontos) Projete um controlador para que o erro estático de velocidade do sistema abaixo seja $4sec^{-1}$ e a margem de fase de 50° .

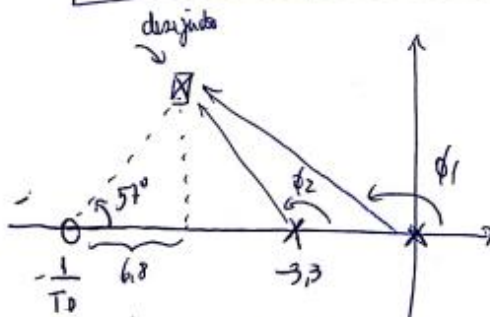
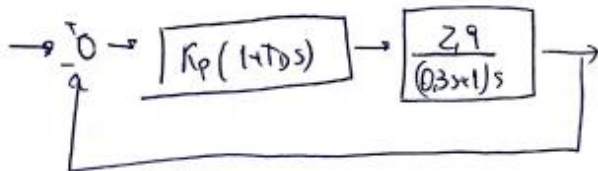
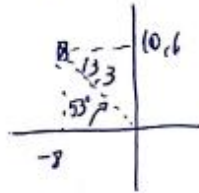


1)

a) $\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{Ts+1}$ com $K = \frac{35 \text{ rad/s}}{12V} = 2,9 \text{ rad/s/V}$
 $\Omega(\bar{\omega}) = 0,632 \times 35 = 22,2 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{pulo gráfico}$
 $\bar{\omega} = 0,3 \text{ s} (300 \text{ ms})$

$\Rightarrow \frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{2,9}{s(0,3s+1)}$ \downarrow
 \uparrow integrador

b) $t_s = 0,5 \text{ s}$
 $M_p \leq 10\%$ $\Rightarrow \frac{4}{\zeta \omega_n} = 0,5 \Rightarrow \zeta \omega_n = 8$
 $\exp\left(\frac{-\pi \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right) = 0,1 \Rightarrow \zeta = 0,6$ polos desiguais $= -8 \pm 10,6j$



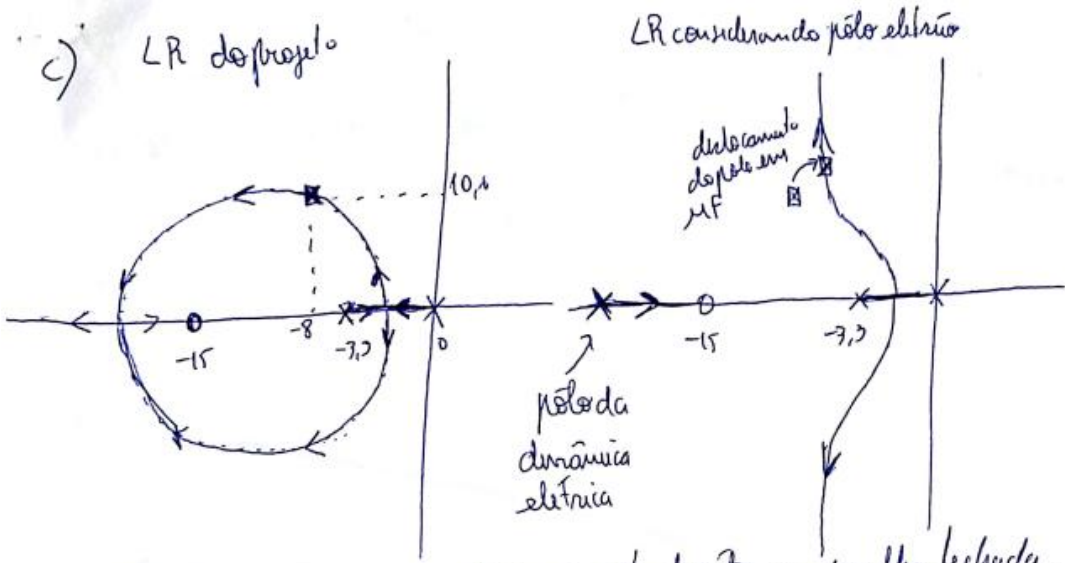
$\phi_1 = 123^\circ$ cond. fase
 $\phi_2 = 114^\circ$
 $\Rightarrow -\phi_1 - \phi_2 + \theta = -180^\circ$
 $\theta = 57^\circ$

$-\frac{1}{T_D} = -6,8 - 8 = -15$
 $T_D = 0,067 \text{ s}$

$\Rightarrow PD = K_P(1+0,067s)$

Cond. módulo

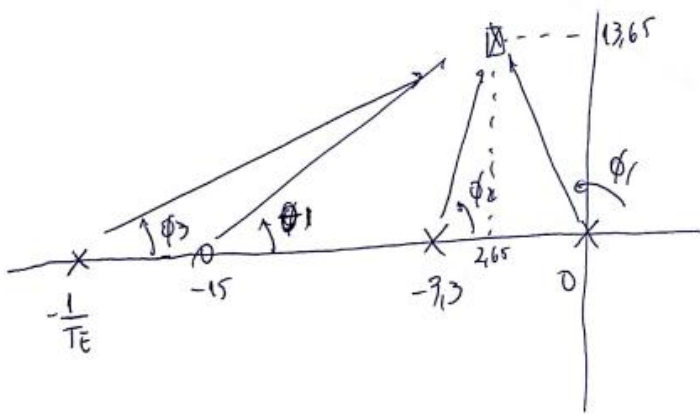
$\left| K_P(1+0,067s) \cdot \frac{2,9}{(0,3s+1)s} \right|_{s=-8 \pm 10,6j} = 1 \Rightarrow K_P = 18,75$



O pólo elétrico causa um deslocamento do pólo em malha fechada.
 pelo gráfico da resposta temporal ao degrau:

$$M_p \approx 55\% \Rightarrow \zeta = 0,2 \Rightarrow \text{polo dominante} = -2,65 \pm 13,65j$$

$$T_m \approx 0,65 - 0,2 = 0,45s \quad \omega_n = 13,92$$



$$\phi_1 = 101^\circ$$

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

$$\theta_1 = 47^\circ$$

obtem-se a posição do pólo elétrico

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

↓

$T_E = 0,05s$

2)

O sistema não possui integrador, logo o controlador deve ser do tipo

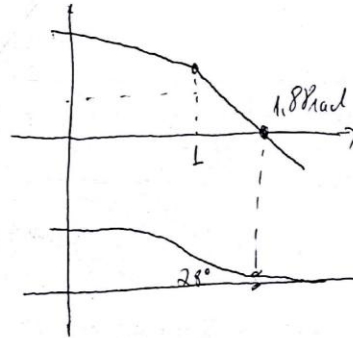
$$G_c(s) = \frac{K_c}{s} - \frac{T_s+1}{\lambda T s+1}$$

o valor de K_c é dado por:

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G \cdot G_c = 4 = K_v \Rightarrow \boxed{K_c = 4}$$

Bode de $\frac{K_c}{s} \cdot G$:

$$K_c \cdot \frac{1}{s(s+1)}$$



\Rightarrow margem de fase = 50°

$$\Rightarrow \phi_m = 22 + 28 = 50^\circ \Rightarrow d = 0,38$$

\Rightarrow frequência crítica nova \rightarrow onde ganho de $\frac{K_c}{s} \cdot G$ é $-4,2 \text{ dB} = 2,44 \text{ rad/s}$

$$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T} = 2,44 \Rightarrow T = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 2,44} = 0,166 \text{ s}$$

$$\Rightarrow G_c = 4 \cdot \frac{0,166s+1}{0,166 \cdot 0,38s+1}$$