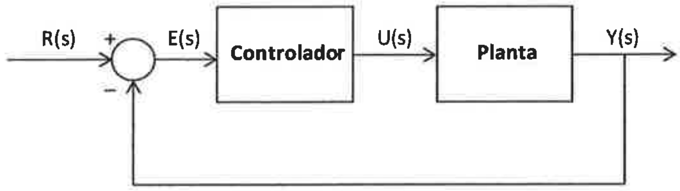
PROVA 2 - PMR2360: Controle e Automação I – 01/12/2015

Prof. Eduardo Aoun Tannuri

Nome: ____ **No. USP:** ________

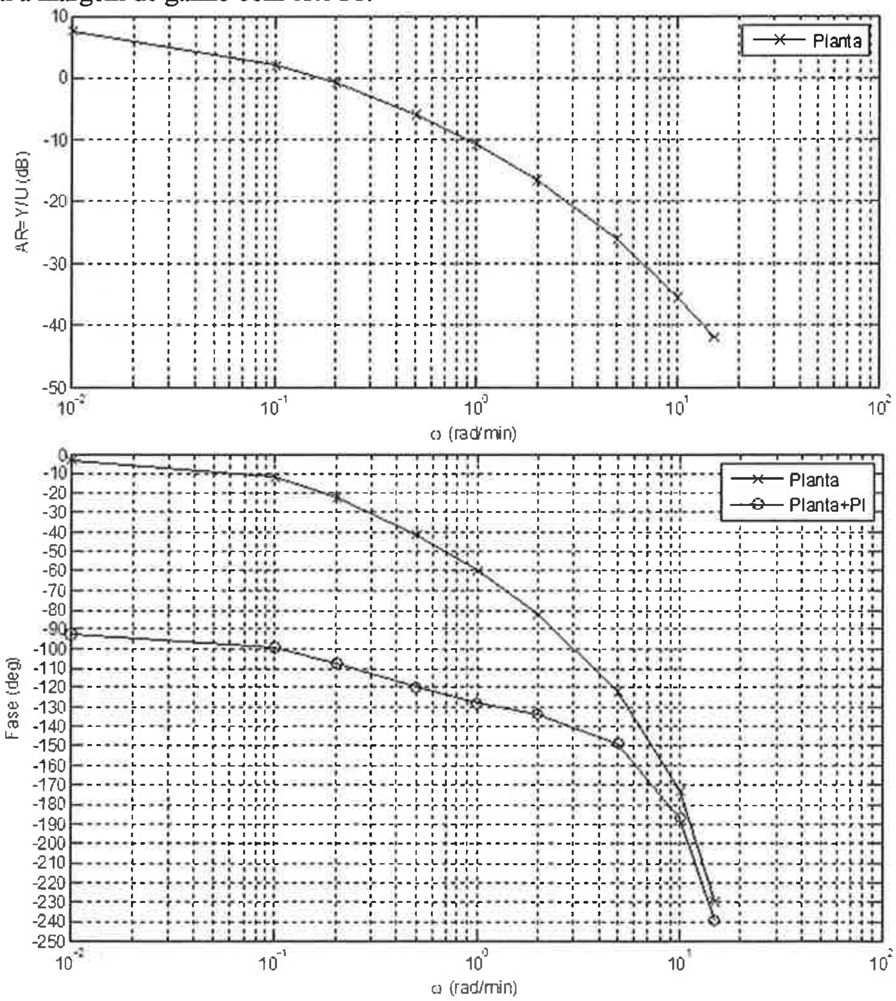
1) (3,0 pontos) A resposta em frequência de um sistema foi obtida experimentalmente, através da excitação senoidal diretamente na entrada da planta *U(s)*, e a medição da resposta da mesma *Y(s)*, sob várias frequências. O resultado é dado na tabela abaixo.

w (rad/min)	*AR (Ganho)*	*FI (Fase - deg)*
0.01	2.4	-3
0.1	1.25	-12
0.2	0.9	-22
0.5	0.5	-41
1	0.29	-60
2	0.15	-82
5	0.05	-122
10	0.017	-173
15	0.008	-230

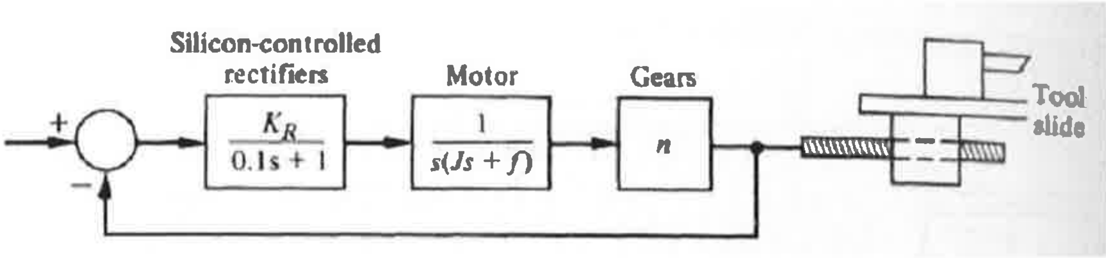


a) Utilizando-se um controlador PI na forma $G_c(s) = K_c(1 + \frac{1}{T_i s})$ com $T_i = 0.4min$, obtenha o valor do ganho K_c para que a margem de fase seja de 45°. Para facilitar sua solução, apresentam-se na figura abaixo os gráficos de Ganho (da Planta) e de Fase (da Planta e da Planta+PI). Justifique detalhadamente sua resposta.

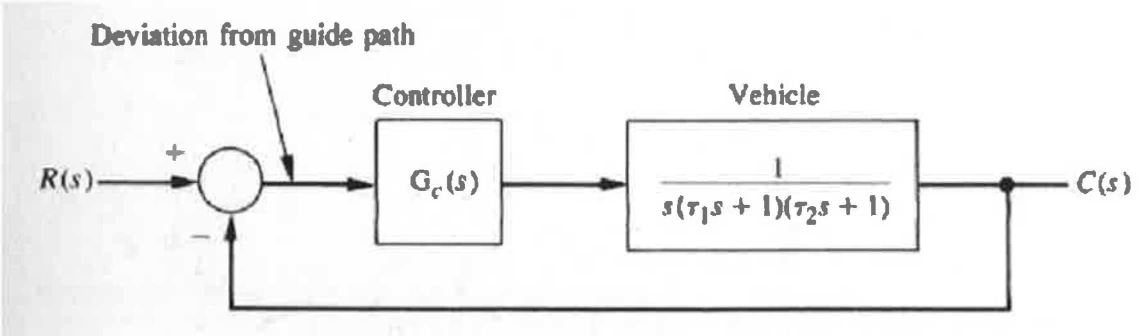
b) Qual a margem de ganho com este PI?



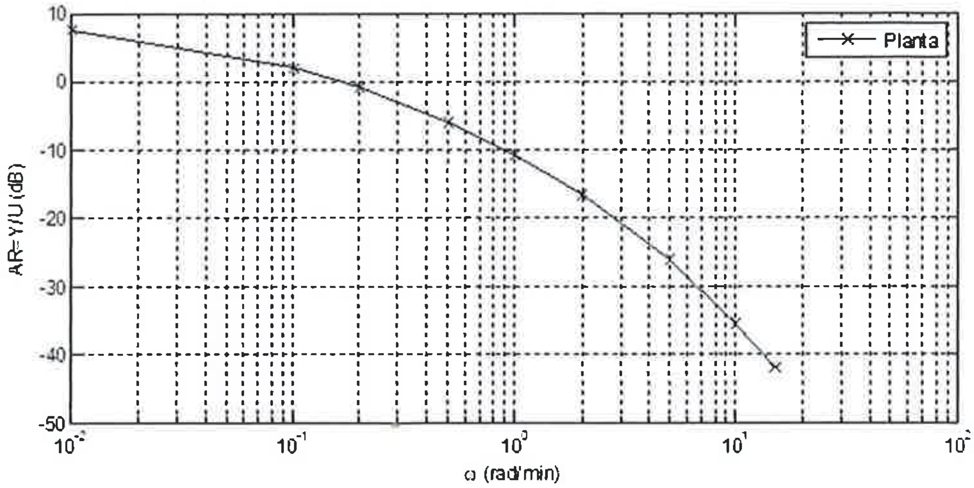
2) (3,5 pontos) Uma máquina de comando numérico demanda uma precisão para acompanhamento de referência em rampa de 3% e uma margem de fase de 35°. A taxa de redução da caixa de engrenagens é n=0,1, o momento de inércia das partes girantes é $J=10^{-3}$ e o atrito é $f=10^{-2}$. O ganho dos retificadores é $K_R=5$. Projete um controlador por atraso de fase a ser colocado em série ao retificador para atender aos requisitos. O formato do controlador é $G_c(s) = K_c \frac{Ts+1}{\beta Ts+1}$.

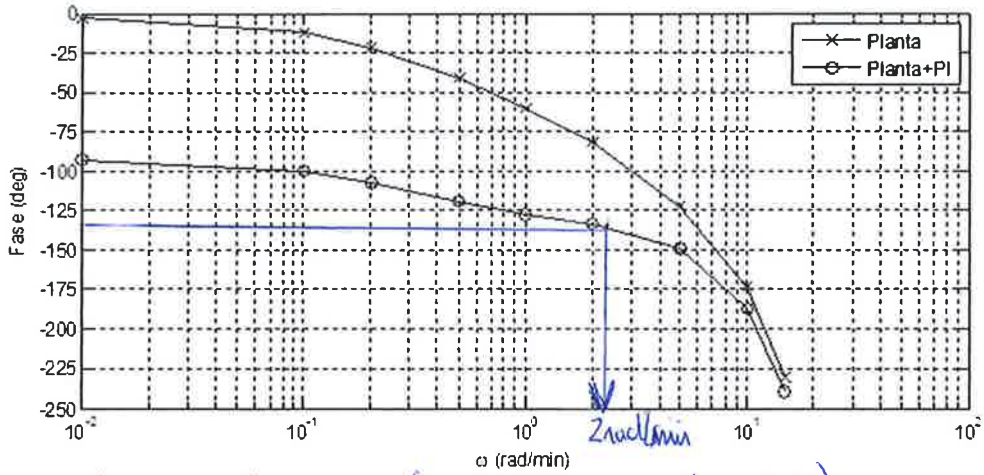


3) (3,5 pontos) O modelo dinâmico de um veículo guiado automático (AGV) que segue uma trilha demarcada no solo, e a malha de controle associada, são apresentadas na figura abaixo, onde $\tau_1 = 40ms$ e $\tau_2 = 0{,}1ms$. Projete um controlador de avanço de fase $G_c(s) = K_c \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1}$ que garanta $K_v = 100$ e margem de fase de 45°. (Dica: verifique a possibilidade de simplificar o modelo do veículo para o projeto, com uma justificativa).



Gabarito Q1)





a) $PI = G_c = K_c \left(1 + \frac{1}{0{,}4s}\right) = K_c \left(\frac{0{,}4s+1}{0{,}4s}\right) = K_c \left(\frac{s+2{,}5}{s}\right)$

p/ $\phi = -135°$ ($MF = 45°$) $\Rightarrow \omega_c \cong 2$ rad/min (do gráfico)

nesta freq $\omega_c = 2$ rad/min o ganho de $G \times G_c$ deve ser igual a 1 (0dB)

$\Rightarrow \left| K_c \cdot \frac{j \cdot 2 + 2{,}5}{j \cdot 2} \cdot \underbrace{G(2j)}_{\cong -17\,dB \text{ do gráfico}} \right| = 1 \Rightarrow \boxed{K_c = 4{,}4}$

b) $\phi = -180°$ p/ $\omega_1 \cong 9$ rad/min (do gráfico)

$|G(9j)| \cong -35\,dB = 1{,}77 \cdot 10^{-2}$

$\Rightarrow \left| 4{,}4 \times \frac{j \times 9 + 2{,}5}{j \times 9} \cdot 1{,}77 \cdot 10^{-2} \right| = 8{,}12 \times 10^{-2} \Rightarrow GM = \frac{1}{8{,}2 \times 10^{-2}} = 12{,}3 = \underline{\underline{22dB}}$

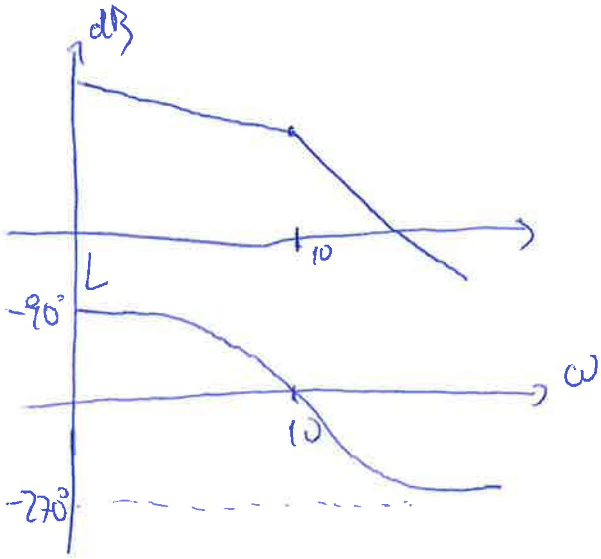
Ganho Q2)

$$G(s) = \frac{5}{0,1s+1} \cdot \frac{1}{s(10^{-3}s+10^{-2})} \cdot 0,1 = \frac{5000}{s(s+10)^2}$$

erro estática: $K_v > \frac{1}{0,03} = 33$

$$\Rightarrow \lim_{s \to 0} s \cdot G(s) \times K_c = 50 \times K_c = 33 \Rightarrow \underline{\underline{K_c = 0,66}}$$

Bode Sist. Não Compensado $G \times K_c$



na fase $= -140°$ o ganho de $G \cdot K_c$ deverá ser 1

$-180° + 35° + 5°$

folga

ganho atual de $G \times 0,66$ p/ $\omega = \omega_c$

$$\left| \frac{5000}{4,66j(4,66j+10)^2} \times 0,66 \right| = 5,8$$

$\Downarrow$

$\Rightarrow -90° - 2 \times \arctan\left(\frac{\omega_c}{10}\right) = -140°$

$-\arctan\left(\frac{\omega_c}{10}\right) = 25° \Rightarrow \omega_c = 4,66\,rad/s$

$\beta = 5,8$

$T \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{10} \times 4,66 \Rightarrow T = 2,1$

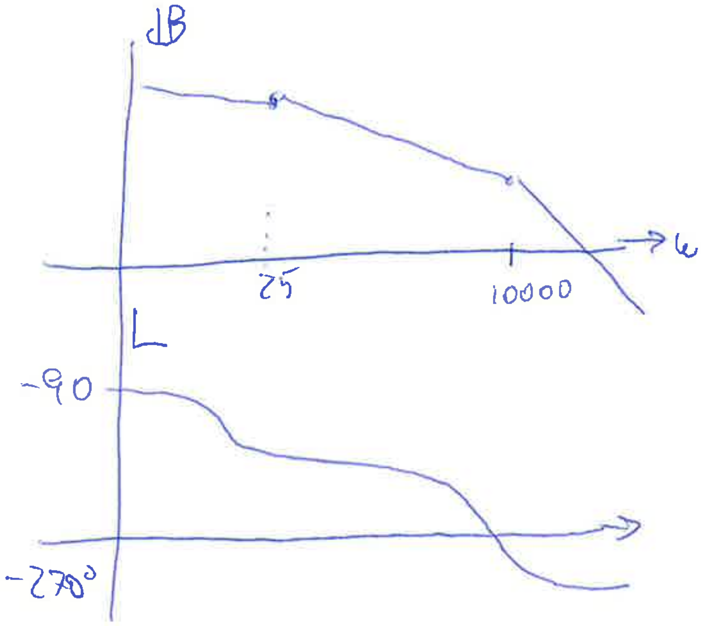
$\Downarrow$

$$G_c = \frac{2,1s+1}{2,1 \times 5,8s+1}$$

$K_c = 0,66$

Q3) $K_c = 100$ (erro estático)

$$G_c \cdot K_c = \frac{100}{s(0{,}04s+1)(0{,}0001s+1)}$$



PM atual

$W_c \rightarrow |G \cdot K_c| = 1$

$$|j\omega\,(0{,}04j\omega+1)(0{,}0001j\omega+1)| = 100$$

supondo $W_c \ll 10000$ rad/s

⇓

simplifica a equação $|j\omega\,(0{,}04j\omega+1)| = 100$

$\hookrightarrow \ldots \quad W_c = 47$ rad/s

$$\boxed{\frac{100}{j \cdot 47(j \cdot 47 \cdot 0{,}04+1)}} = -90 - \text{atan}(47 \cdot 0{,}04) = 152° \Rightarrow \text{PM atual} = 28°$$

↳ acréscimo de fase = $17° + 5° = 22°$
folga

$$\Rightarrow \text{sen}\,22° = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \Rightarrow \alpha = 0{,}46$$

Novo W_c (devido ao aumento do ganho)

$$\left|\frac{100}{jw_c \cdot (jw_c \cdot 0{,}04+1)}\right| = \sqrt{\alpha} \Rightarrow w_c \cong 55 \text{ rad/s}$$

⇓

$$\frac{1}{\sqrt{\alpha} \times T} = 55 \Rightarrow T = 0{,}027 \Rightarrow G_c = \frac{0{,}027s+1}{0{,}027 \cdot 0{,}46\,s+1}$$