RODRIGO ALVES DE ALMEIDA

PROVA 4 CMC-12 COMP-22

Q1) • $|G(jw_{cp})| = \frac{1}{K} \Rightarrow \frac{10K}{w_{cp}\sqrt{25+w_{cp}^2}\sqrt{100+w_{cp}^2}} = 1$

$K = \frac{w_{cp}\sqrt{25+w_{cp}^2}\sqrt{100+w_{cp}^2}}{10}$ * $\rightsquigarrow$ estritamente crescente para $w_{cp} > 0$

$w_{cp} = 2 \Rightarrow K = 10{,}9836$

$\boxed{K \geq 10{,}9836}$

• $\angle KG(jw) = -\text{atan}\left(\frac{50-w^2}{-15w}\right)$

$\angle KG(jw_{cG}) = -180^\circ \Rightarrow w_{cG} = \sqrt{50}$ rad/s

$|KG(jw_{cp})| = \frac{K}{75} \Rightarrow |KG(jw_{cp})|_{dB} = 20\log_{10}\frac{K}{75} \geq 11$

$\frac{K}{75} \geq 3{,}5481$

$\boxed{K \geq 266{,}11}$

• $\angle KG(jw_{cp}) + 180^\circ \geq 40^\circ$

$-\text{atan}\left(\frac{50-w_{cp}^2}{-15w_{cp}}\right) \geq -140^\circ$

$w_{cp}^2 - 50 \leq 15w_{cp}\tan(140^\circ) \overset{\text{roots}}{\rightsquigarrow} -16 \leq w_{cp} \leq 3{,}173$

como $w_{cp} > 0$, de * tira-se que

$\boxed{K \leq 19{,}71}$

Scanned with CamScanner

Q2 a) $C(s) = \dfrac{Ts+1}{\alpha Ts+1}$, $T > 0$, $0 < \alpha < 1$

malha aberta : $G'(s) = \dfrac{K(Ts+1)}{(s^2+2s)(\alpha Ts+1)}$ $\Rightarrow$ $G_f(s) = \dfrac{K(Ts+1)}{\alpha Ts^3 + (1+2\alpha T)s^2 + (2+KT)s + K}$

$E(s) = \dfrac{1}{s}\left(\dfrac{\alpha Ts^3 + (1+2\alpha T)s^2 + 2s}{\alpha Ts^3 + (1+2\alpha T)s^2 + (2+KT)s + K}\right)$ $e_\infty = \lim\limits_{s \to 0} sE(s) = 0$

degrau unitário

ignorando o compensador e considerando $PM = 65^\circ$

$55^\circ + 10^\circ$

segurança

$\Rightarrow \angle G(j\omega_{cp}) = -115^\circ$ $\Rightarrow$ $|G(j\omega_{cp})| = 1$

$115^\circ = \operatorname{atan}\left(\dfrac{2}{-\omega}\right)$ $K = \omega_{cp}\sqrt{\omega_{cp}^2+4}$

$\omega_{cp} = 0{,}9326$ $K = 2{,}058$

assim, projetando o lead para fornecer um $\phi_{max} = 55^\circ$ em $\omega_{cp} = 0{,}9326$, temos

$\alpha = 0{,}09941$

$T = 3{,}4008$

testes

$|G_f(j\omega_b)| = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$

$,11\,\omega_b^6 - 3{,}28\,\omega_b^4 - 23{,}89\,\omega_b^2 - 4{,}23 = 0$

$\omega_b = 5{,}89$

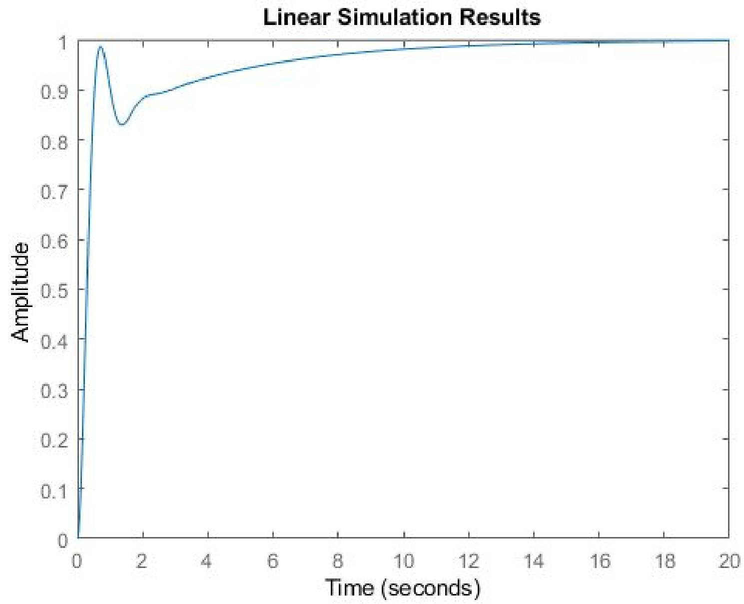
$|G'(j\omega_{cp})| = 1$

$\omega_{cp} = 3{,}8$

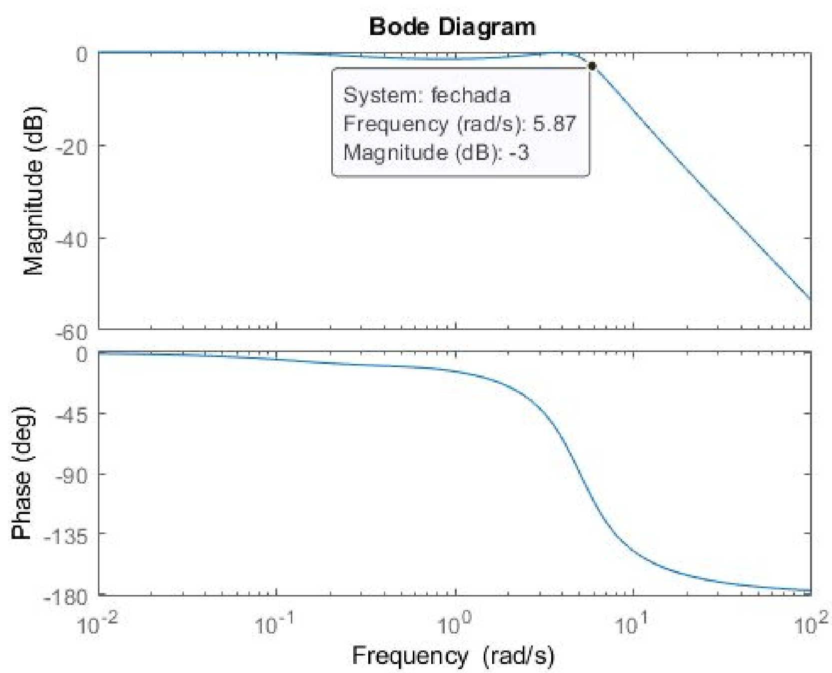
$\angle G'(j\omega_{cp}) = -119^\circ$

$PM = 61^\circ$

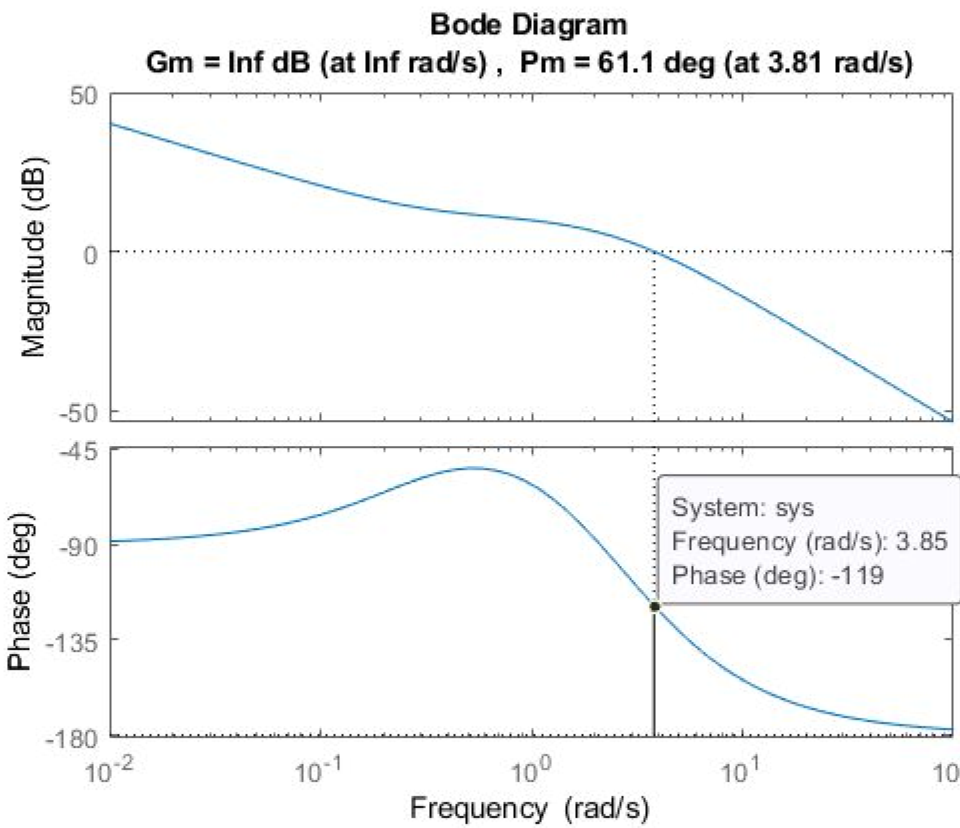
1 - Criando a função de transferência em malha fechada e simulando-a com o comando lsim para uma entrada degrau, verifica-se que o erro em regime é nulo:



2 - A partir do diagrama de Bode da função de transferência em malha fechada, verifica-se que a banda passante é maior que 3 rad/s



3 - Com o comando margin na função de transferência em malha aberta, verifica-se que a margem de fase é de aproximadamente 60º



(03) $C(s) = K\alpha \dfrac{Ts+1}{\alpha Ts+1}$, $T>0$, $\alpha>1$

podemos inicialmente ignorar o controlador e ajustar K para que se tenha um $PM = 50° + 10°$.

$\angle G(j\omega_{cp}) = -180° + PM = -120°$

$$G(j\omega_{cp}) = \frac{10K}{(1000-500\omega_{cp}^2) + 5100\omega_{cp} j}$$

$$-\operatorname{atan}\left(\frac{5100\omega_{cp}}{1000-500\omega_{cp}^2}\right) = -120°$$

$$\frac{5100\omega_{cp}}{1000-500\omega_{cp}^2} = -\sqrt{3}$$

$$500\sqrt{3}\omega_{cp}^2 - 5100\omega_{cp} - 1000\sqrt{3} = 0$$

$\downarrow$ roots

$$\omega_{cp} = 6{,}21 \text{ rad/s}$$

$\Rightarrow |G(j\omega_{cp})| = 1$

$$10K = \sqrt{(1000-500\omega_{cp}^2)^2 + (5100\omega_{cp})^2}$$

$$\boxed{K = 3657{,}6}$$

para ajuste do erro, calcula-se a equação de malha fechada:

$$G_f(s) = \frac{10K\alpha Ts + 10K\alpha}{500\alpha Ts^3 + (5100\alpha T + 500)s^2 + ((1000+10K)\alpha T + 5100)s + (1000+10K\alpha)}$$

$$e_{\infty,rampa} = 1 - G_f(0) = 1 - \frac{10K\alpha}{1000+10K\alpha} = \frac{1000}{1000+10K\alpha}$$

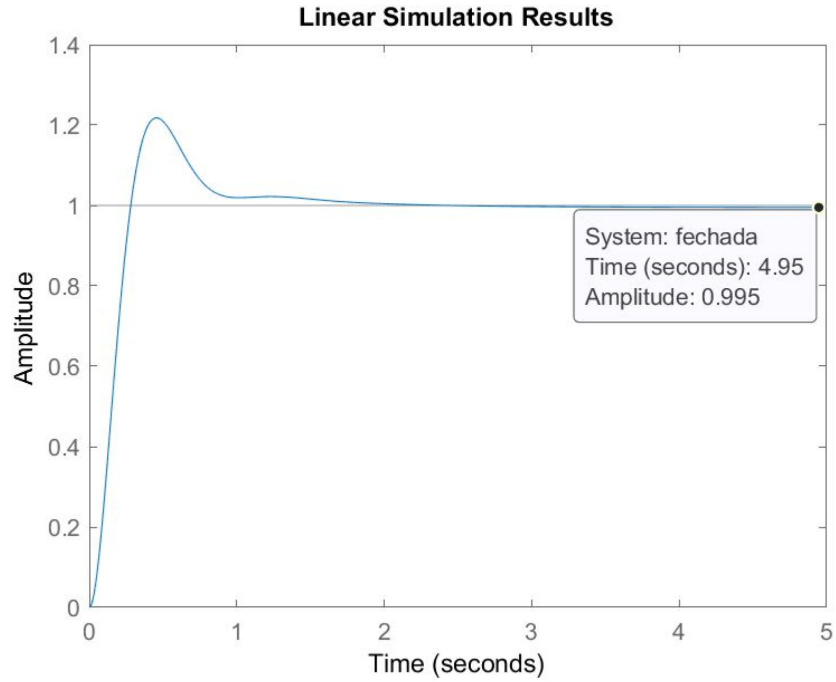
fazendo $e_{\infty rampa} = 0{,}005$

$$\boxed{\alpha = 5{,}44}$$

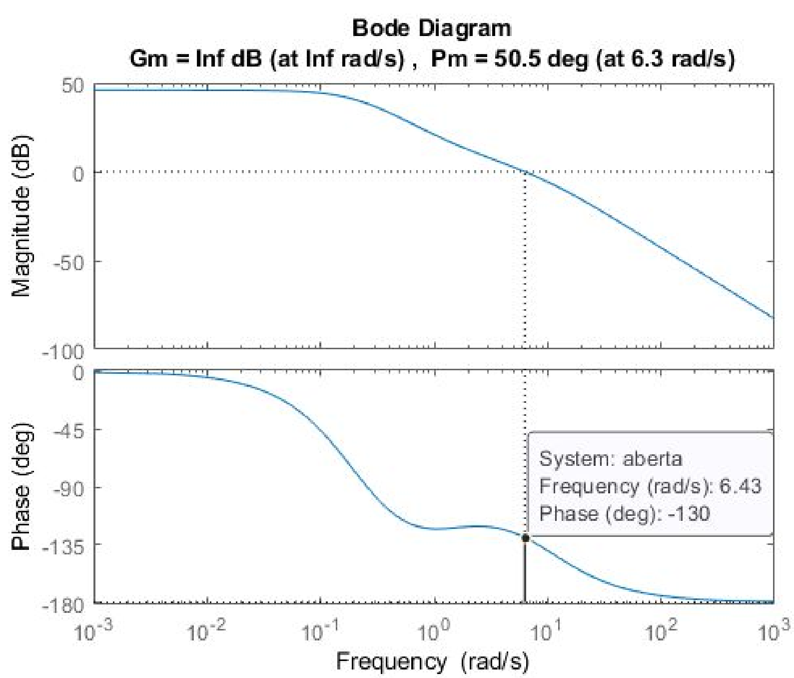
para T, podemos usar o recomendado

$$\frac{1}{T} = \frac{\omega_{cp}}{5} \Rightarrow \boxed{T = 0{,}8}$$

1 - Fazendo a simulação do sistema em malha fechada a partir da função lsim verifica-se que o erro tende a 0.005, como foi projetado:



2 - A partir do comando margin no sistema em malha aberta, verifica-se que o ganho de fase é de 50.5º



04) $s = \frac{2}{T}\left(\frac{z-1}{z+1}\right)$

$$C(z) = k_p + \frac{k_i T(z+1)}{2(z-1)} = \frac{U(z)}{E(z)}$$

$$U(z)(2z-2) = E(z)\left(2zk_p - 2k_p + k_i T z + k_i T\right)$$

$$U(z)\cdot(2z-2) = E(z)\left((2k_p+k_iT)z + (-2k_p+k_iT)\right)$$

$$U(z)\left(2 - 2z^{-1}\right) = E(z)\left((2k_p+k_iT) + (-2k_p+k_iT)z^{-1}\right)$$

$$2u[k] - 2u[k-1] = (2k_p+k_iT)e[k] + (-2k_p+k_iT)e[k-1]$$

$$u[k] = u[k-1] + \left(k_p + \frac{k_iT}{2}\right)e[k] + \left(-k_p + \frac{k_iT}{2}\right)e[k-1]$$