Prof. Adolfo Bauchspiess
http://www.ene.unb.br/adolfo/CDig

Quinta-Feira, 27 de maio de 2008, 7^{30} - 10^{00}

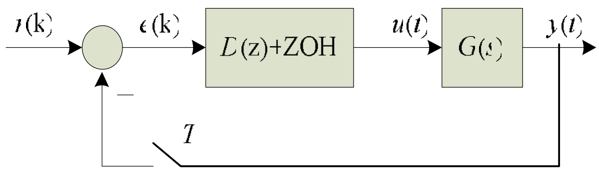
Nome:____Matrícula:________________

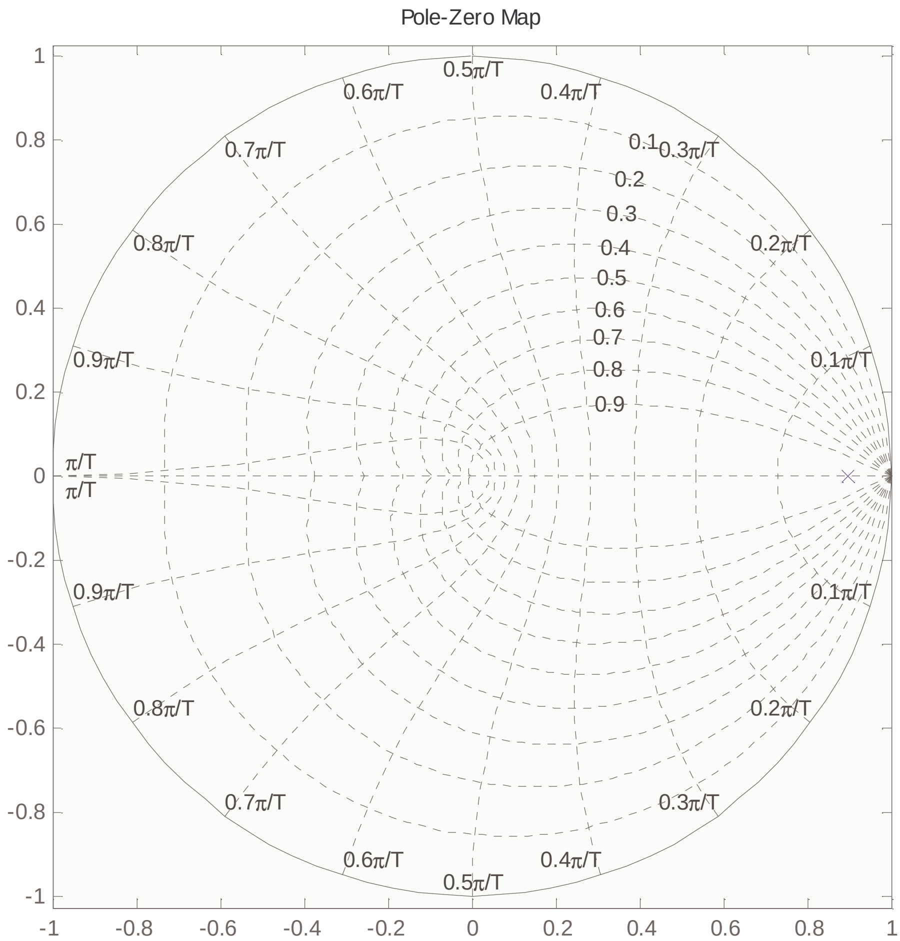
2ª PROVA

1ª Questão: (3Pts) Considere o seguinte processo. $G(s)=\dfrac{Y(s)}{U(s)}=\dfrac{0{,}1054}{s+0{,}1054}e^{-2s}\xrightarrow{T=1seg}G(z)=\dfrac{0{,}1}{z^3-0{,}9z^2}$

Projete um compensador $D(z)=K\dfrac{(z+a)(z-0{,}9)}{z(z-1)}$, para atender às especificações (dinâmica dominante):

- Erro nulo para entrada degrau
- Sobrepasso $\leq 25\% \rightarrow \zeta \geq 0{,}4$
- Tempo de acomodação (1%) $t_s = 4{,}6/\sigma \leq 30$ seg
- Tempo de subida t_r (10-90%) $= 1{,}8/\omega_n \leq 2{,}86$ seg





$t_r \leq 2{,}86 \rightarrow \omega_n \geq 0{,}2\pi$

$com\ \zeta = 0{,}4\ e\ \omega_n = 0{,}2\pi \rightarrow s_0 = -\sigma + \omega_d i;\ \ z_0 = \exp(sT) = 0{,}6523 + 0{,}4235i$

$t_s \leq 30 \rightarrow \sigma \geq 0{,}1533 \qquad |z| \leq \exp(-0{,}1533) = 0{,}858$

$|z_0| = abs(0{,}6523 + 0{,}4235i) = 0{,}777 < 0{,}858$

$$\frac{0{,}1}{z^3 - 0{,}9z^2}\frac{z - 0{,}9}{z(z-1)} = \frac{0{,}1}{z^3(z-1)}$$

$$\left\langle \frac{0{,}1}{z^3(z-1)} \right._{z=0{,}6523+0{,}4234i} = -228.36°$$

$$\psi_{av} = 48{,}36°$$

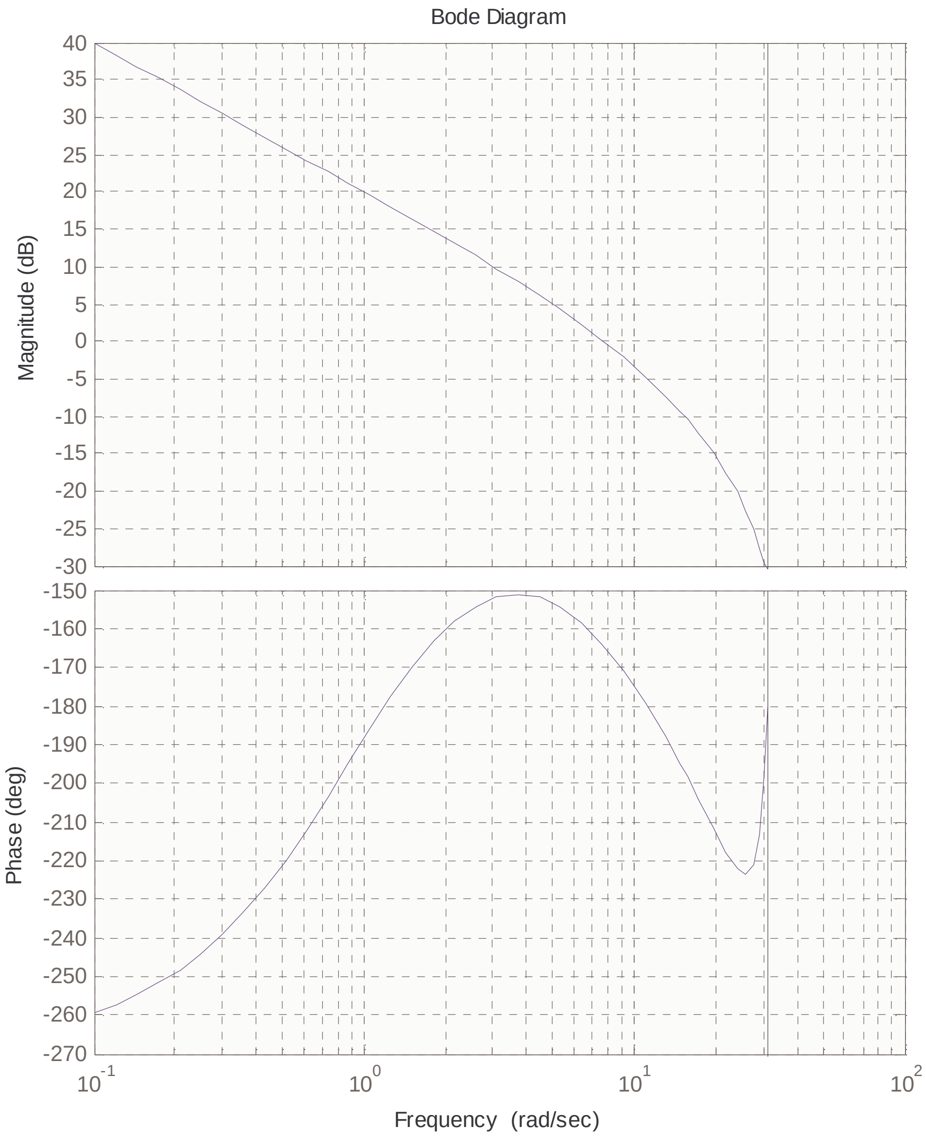
$$\tan(48{,}36°) = \frac{0{,}4235}{\Delta} \qquad \Delta = 0{,}3765 \rightarrow zero = 0{,}6523 - \Delta = 0{,}2758$$

$$\left| K\frac{(z-0{,}2758)(z-0{,}9)}{z(z-1)}\frac{0{,}1}{z^3 - 0{,}9z^2} \right| = 1 \rightarrow K = 4{,}5487$$

$$\boxed{D(z) = 4{,}5487\frac{(z-0{,}2758)(z-0{,}9)}{z(z-1)}}$$

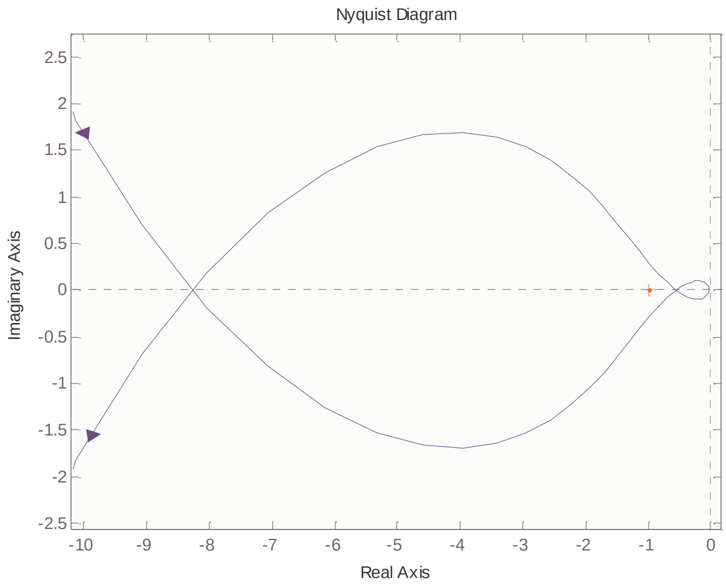
2ª **Questão**: Considere um sistema discreto com um pólo instável em malha aberta.

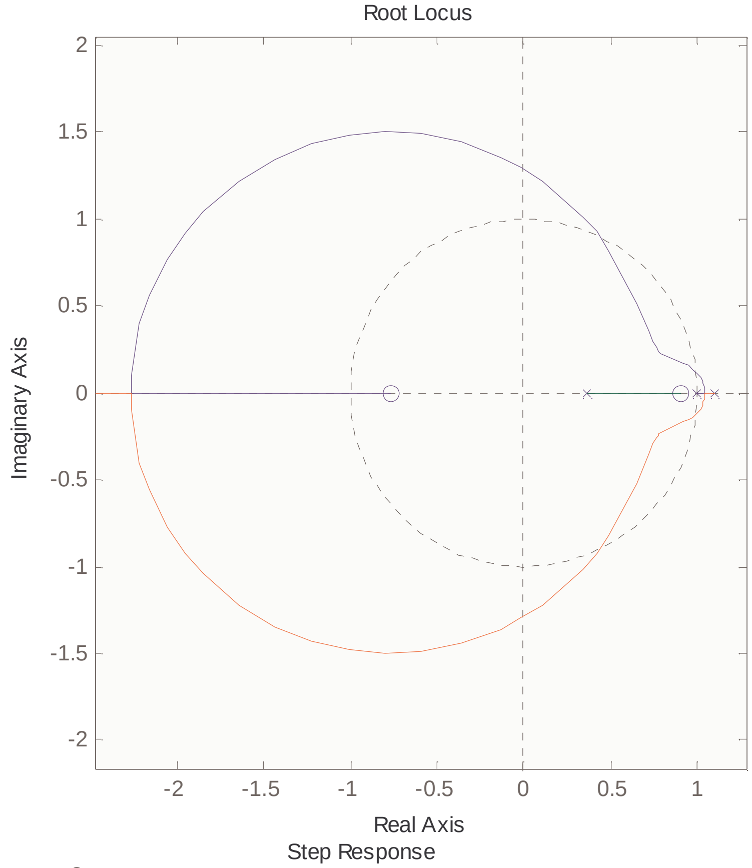
a) (1,0) Qual a Margem de Ganho e a Margem de Fase para realimentação unitária?
b) (1,0) Esboce o diagrama de Nyquist. Qual a faixa de valores de ganho K em ($-\infty < K < \infty$) para os quais o sistema é estável?
c) (1,0) Projete um controlador proporcional para que se tenha a maior margem de fase possível. Qual a margem de ganho para este ponto de operação?
d) (1,0) Na condição anterior, qual o erro em regime permanente a uma rampa unitária de referência?

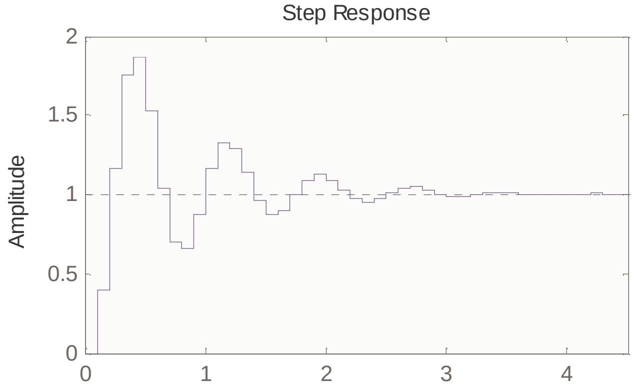


$$G(s)=\frac{\mathrm{Y(s)}}{\mathrm{U(s)}}=\frac{100(s+1)}{s(s-1)(s+10)}\xrightarrow{T=0,1seg}G(z)=\frac{0,39501(z-0.9048)(z+0.7686)}{(z-1)(z-1.105)(z-0.3679)}$$

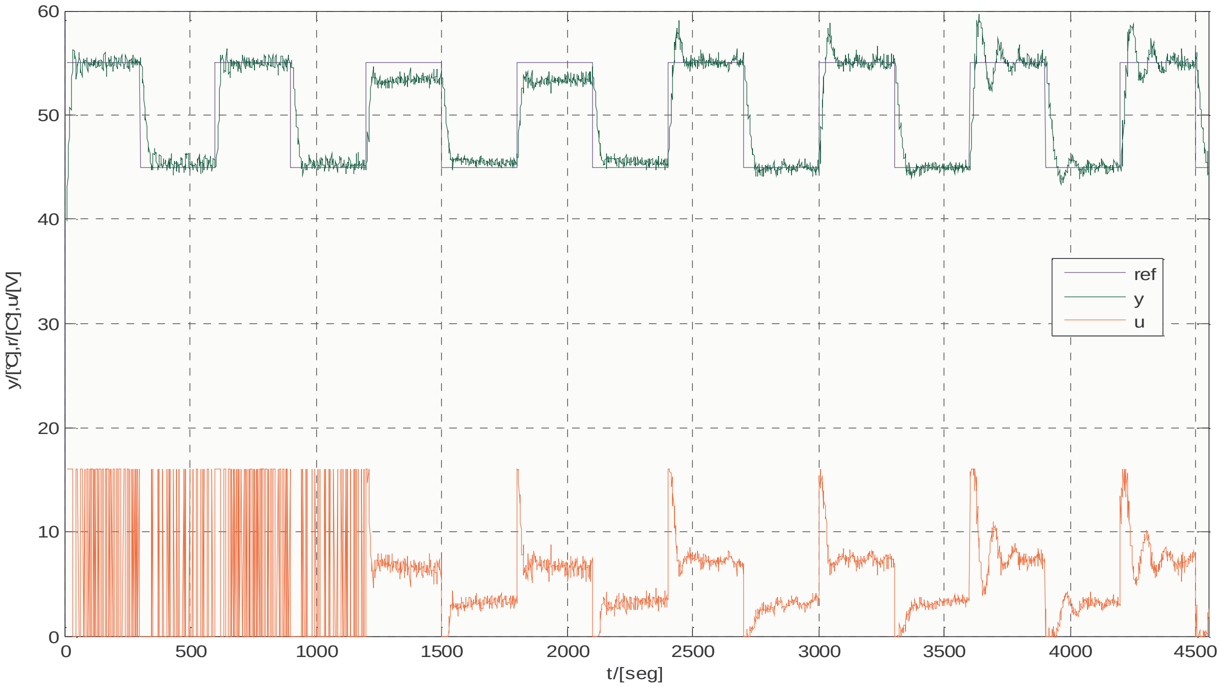
a) MG = 5dB, MF = 15,6º
b) 1/8,266 < K < 1/0,56 → 0,12 < K < 1,77
c) Maior MF possível 28,9° em ω = 3,67 rad/s com K=0,39 (-8,18dB). Margem de ganho = -10dB.
d) $e_{ss}(\infty) = 1/K_v$ $K_v = \lim s\,G(s)$ $K_v = 0,1 * G(0,1) = 3,846$ $e_{ss}(\infty) = 0,26$


Nyquist Diagram
Imaginary Axis
Real Axis
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-10
-9
-8
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0


Root Locus
Imaginary Axis
Real Axis
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1


Step Response
Amplitude
2
1.5
1
0.5
0
0
1
2
3
4

3ª Questão: Considere a seguinte resposta obtida com o processo térmico utilizado no laboratório de controle digital. Quatro controladores diferentes foram utilizados em seqüência: Liga-Desliga, P, PI e PID.



a) (1,0pt) Por que as respostas ascendente e descendente dos controladores PI e PID são diferentes? É possível escolher um outro ponto de operação e/ou excursão do sinal de referência para caracterizar o sistema como linear?

b) (1,0) Por que a resposta com os controladores Liga-Desliga e P não apresentam sobre-sinal?

c) (1,0) Considerando a temperatura ambiente constante, se o ponto de operação fosse alterado para 90°, que alterações seriam esperadas para a resposta do controlador P e PI?

---

a) A diferença ocorre por que o ponto de operação escolhido e a faixa de operação fazem que o sinal de controle fica mais tempo saturado em zero. Não é possível resfriar o processo. Uma excursão suficientemente pequena que evite a saturação permitiria caracterizar o sistema como linear (resposta simétrica).

b) O controlador liga desliga tem uma pequena histerese que evita sobre-sinal. Um controlador P, para um processo térmico contínuo (1ª ordem) jamais terá oscilação (LGR). O controlador discreto poderá oscilar se o período de amostragem for grande e poderá, inclusive, ficar instável se o ganho for muito alto.

c) Para o controlador proporcional teríamos uma resposta mais lenta com valores bastante aquém da referência. O controlador PI ficará mais lento, porém alcançará o valor final. Haverá saturação durante longo período.