Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

CONTROLO – 2003/2004– 1º semestre

1º Exame – 12 de Janeiro de 2004

- Identifique com nome e número todas as folhas do exame
- ***Resolva problemas distintos em folhas separadas***
- Justifique cuidadosamente os seus cálculos e respostas
- **Exame com consulta de uma folha A4 e de tabelas de transformadas**
- É permitida a utilização de máquinas de calcular
- Duração: 3 horas

Problema 1 (cotação = 35/100)

Considere o sistema representado na Figura 1, com função de transferência

$$G_1(s) = Y(s)/X(s)$$

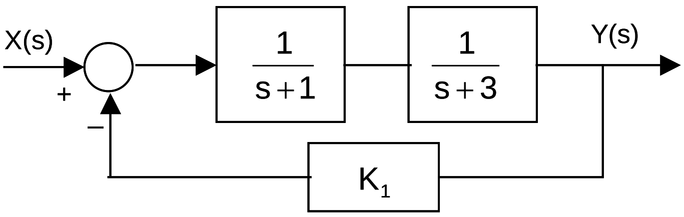


Figura 1

1. Use a técnica de root-locus para desenhar o lugar geométrico do pólos do sistema em cadeia fechada como função do parâmetro K_1, considerado positivo. Calcule e indique os pontos notáveis.

2. Determine o valor do parâmetro K_1 por forma a que o sistema responda a uma entrada escalão de amplitude unitária com uma sobreelevação de 4.32%. Justifique cuidadosamente a sua resposta. Qual é o tempo de estabelecimento a 5%.?

O sistema anterior é agora sujeito a controlo em cadeia fechada com retroacção unitária, e com um controlador $G_c(s)$ tal como representado na Figura 2. O parâmetro K_1 é o dimensionado na alínea 2.

Nota: Se não resolveu a alínea 2, considere, a partir deste ponto, que K_1=10.

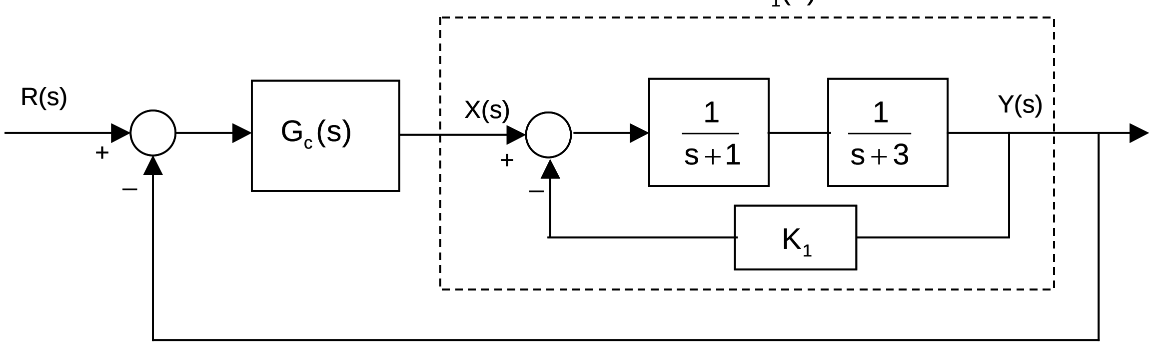


Figura 2

3. Para um Controlador Integral da forma $G_c(s) = \frac{K}{s}$, calcule o valor do erro em regime estacionário para entradas escalão unitário (r(t)=u(t)), rampa unitária (r(t)=tu(t)) e parábola ($r(t)=t^2u(t)$). Justifique a sua resposta.

4. Para o controlador integral referido na alínea anterior, esboce o root-locus do sistema como função de K, para K positivo. Calcule os pontos notáveis do root-locus, em

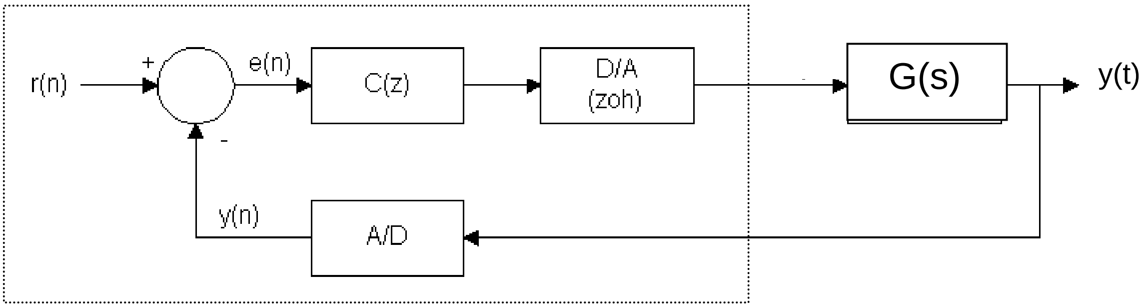
particular, se existirem, os troços do eixo real, os pontos de saída e entrada no eixo real, os ângulos de saída de pólos ou de chegada a zeros, os pontos de intersecção com o eixo imaginário e o ganho correspondente.

Classifique o sistema do ponto de vista de estabilidade como função do ganho K.

5. Qual é o controlador $G_c(s)$, com a estrutura mais simples, que garante erro estático de posição nulo e estabilidade para qualquer valor de K positivo. Dimensione um controlador com essa estrutura usando como base para o projecto o root-locus esboçado na alínea anterior.

Problema 2 (cotação 25/100)

Considere o sistema de controlo digital representado na figura seguinte:



Intervalo de amostragem T = 0,5 seg.

1. Determine a função de transferência $G(z)$ do equivalente discreto do sistema contínuo com função de transferência $G(s) = \dfrac{1}{s-1}$ *precedido do retentor de ordem zero* (ZOH).

2. Para C(z) = K ,
   i) Analise a estabilidade do sistema em malha fechada em tempo discreto em função de $-\infty < K < +\infty$, e esboce o correspondente *root-locus.*
   ii) Pretende-se que a resposta em tempo contínuo y(t) ao escalão, em malha fechada, seja caracterizada por uma constante de tempo τ = 5 seg. Determine o valor do ganho K do controlador digital.

Nota: Se não resolveu a alínea a), considere $G(z) = \dfrac{1}{z-2}$

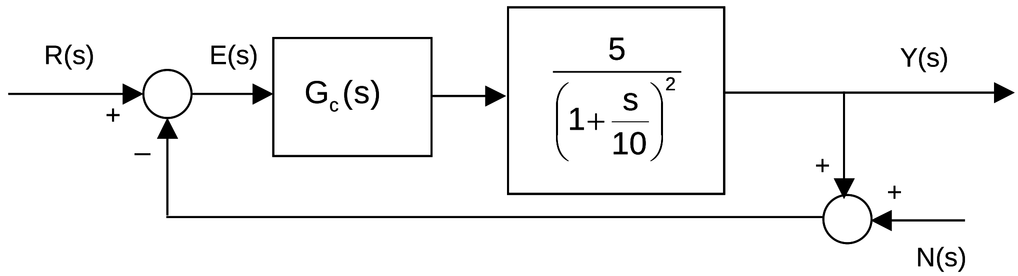
TABELA:

$a^n\, u[n] \quad \leftrightarrow \quad \dfrac{1}{1-\mathbf{a}z^{-1}}$
$n\, a^n\, u[n] \quad \leftrightarrow \quad \dfrac{\mathbf{a}z^{-1}}{(1-\mathbf{a}z^{-1})^2}$
$G(z) = (1-z^{-1})Z\left\{\dfrac{G(s)}{s}\right\}$
$x[0] = \lim\limits_{z\to+\infty} X(z)$

$x[+\infty] = \lim\limits_{z\to 1}(1-z^{-1})X(z)$

Problema 3 (cotação 40/100)

Considere o sistema de controlo da figura seguinte onde $G_c(s)$ é o controlador, e *r*, *n* e *y* representam respectivamente a entrada de referência, o ruído no sensor e a saída do sistema.



1 Determine um controlador $G_c(s)$ tal que o sistema em malha fechada cumpra simultaneamente as seguintes especificações:

a) O sistema em malha fechada é estável.

b) Erro em regime permanente nulo para uma entrada *r* escalão unitário.

c) Erro em regime permanente igual ou inferior a 0.1 para uma entrada *r* rampa unitária.

d) Seguimento de sinais de referência *r(.)* na gama de frequências [0, 0.1] rad s^{-1} com erro menor ou igual a -40 db.

e) O ruído *n* no sensor na gama de frequências superior a 100 $rad.s^{-1}$ é atenuado pelo menos de 65dB (ganho de –65dB).

f) Margem de fase superior a 45º.

Justifique **detalhadamente** as condições a impor ao "ganho de malha" e a escolha do controlador. Trace as aproximações assimptóticas do diagrama de Bode (amplitude e fase) correspondente a $G_c(s)G(s)$.
Nota: por simplicidade, baseie o projecto nas aproximações assimptóticas.

2 O projecto anterior foi baseado na aproximação assimptótica dos diagramas de Bode envolvidos. Discuta se esse facto, ou outras aproximações que tenha feito, podem eventualmente conduzir a que a especificação na margem de fase não seja satisfeita no dimensionamento que fez.
Nota: não se pretende que faça nenhuns cálculos para responder a esta alínea.

3 Esboce o diagrama de Nyquist do sistema e confirme a estabilidade do sistema em cadeia fechada. Pretende-se um esboço no qual os aspectos essenciais do diagrama que permitem a análise de estabilidade por aplicação do critério de Nyquist estejam correctamente representados e justificados. Deverá também indicar o contorno de Nyquist considerado.

4 Suponha que ocorria uma mudança de sinal na função de transferência do "Processo" que passaria a ser $G(s) = \frac{5}{\left(1-\frac{s}{10}\right)^2}$, mantendo-se constantes os parâmetros do controlador.

O sistema em cadeia fechada mantinha-se estável ? Justifique utilizando o critério de Nyquist.

(Se não dimensionou o compensador pedido na alínea 1. considere nas alíneas 3. e 4. que $G_C(s) = \frac{1}{s}$)