Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

CONTROLO – 2003/2004 – 1º semestre

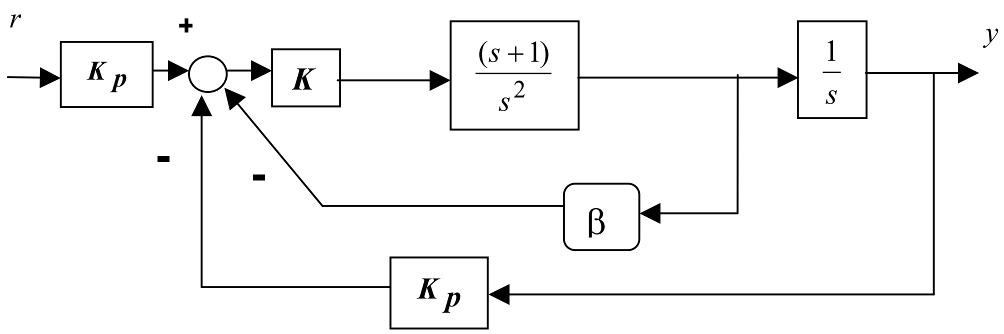
2º Exame – 31 Janeiro 2004

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

Este Exame tem 3 Problemas

Problema 1 [cotação = 40/100]

Considere o sistema representado pelo diagrama de blocos da figura que representa um sistema de controlo de posição:



Faça: $K_p = 2$

a) Para β **= 2** analise a estabilidade do sistema em malha fechada em função de $-\infty < K < +\infty$ utilizando o critério de Routh-Hurwitz.

b) Para β **= 2** trace o *root-locus* em função de **K > 0**, determinando todos os pontos e ângulos relevantes. 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 pontos de intersecção com o eixo imaginário e o ganho correspondente.

c) Para um determinado valor de K finito e não nulo a resposta ao escalão unitário é:

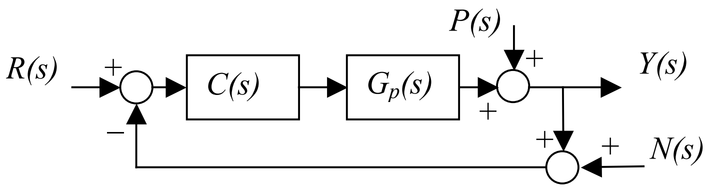
$$y(t) = \left[A + Be^{-t/\tau_1} + C\,t\,e^{-t/\tau_2} + D\,e^{-t/\tau_3}\right]u(t)\,.$$

Determine, justificando: τ_1 , τ_2 , A .

d) Suponha que por acidente se trocava a polaridade do taquímetro (β **= - 2**). Quais as consequências na estabilidade do sistema em malha fechada para **K > 0** ?
Justifique a sua resposta com o esboço do correspondente *root-locus*. Determine e represente neste esboço apenas as características do diagrama necessárias para a análise de estabilidade pedida.

Problema 2 [cotação = 35/100]

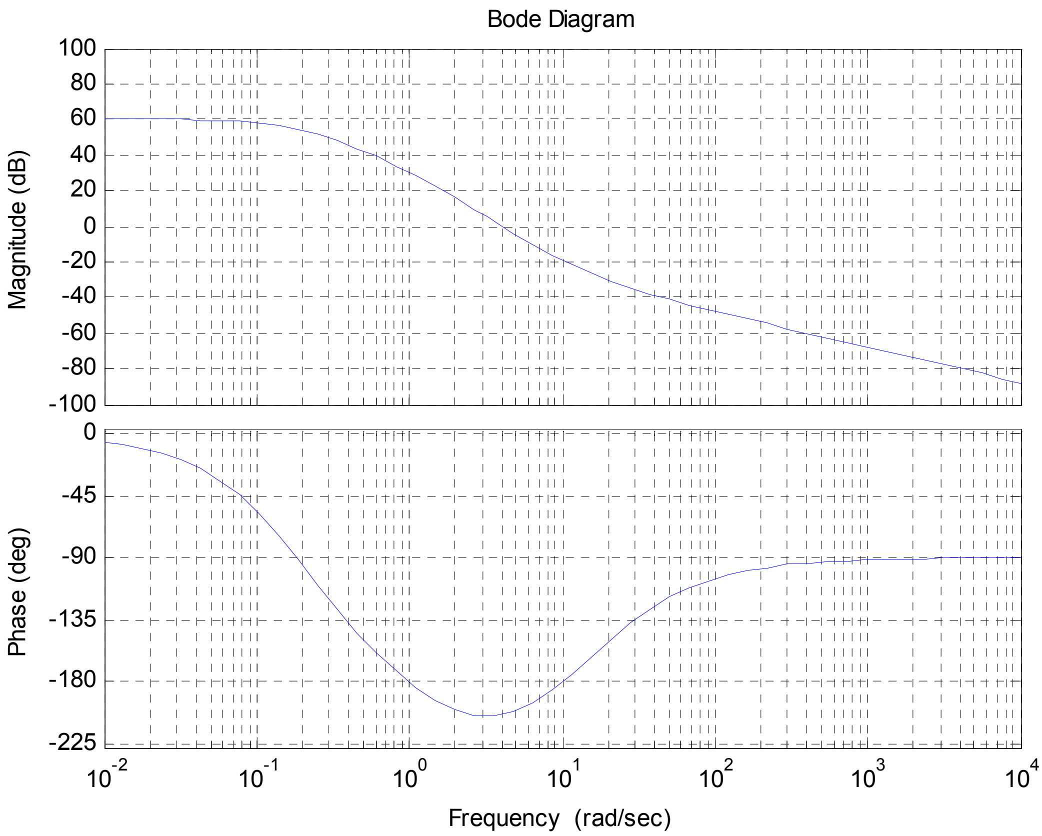
Considere o sistema da figura:



Apresenta-se na figura seguinte o diagrama de Bode de $G_p(j\omega)$.

As frequências de corte situam-se na gama representada e o sistema com função de tranferência $G_p(s)$ é de **fase mínima**.

Nota: Pretende-se que resolva este problema sem determinar $G_p(s)$.



a) Obtenha, a partir do diagrama de Bode, estimativas dos ganhos $|G_p(jw)|$ correspondentes a $\arg G_p(j\omega)=\pm 180^o$ e $\arg G_p(j\omega)=0^o$.

b) Esboce o diagrama de Nyquist de $C(s)G_p(s)$ para $C(s)=1$, assinalando os pontos determinados em a). Indique o contorno de Nyquist. Determine a estabilidade do sistema em malha fechada.

c) Utilizando um controlador proporcional $C(s)=K$, pretende-se cumprir as seguintes especificações:

i) Sistema estável em malha fechada

ii) Seguimento de sinais de referência r na gama de frequências [0, 0.1] $rads^{-1}$ com erro menor ou igual a -60dB.

iii) Margem de fase maior ou igual a 45º.

- Estabeleça a condição que deve satisfazer o "ganho de malha" para cumprir a especificação ii).
- Indique a(s) gama(s) de valores $K>0$ que permitem cumprir a especificação i).
- Indique um valor de K que permite cumprir todas as especificações (K em unidades lineares).

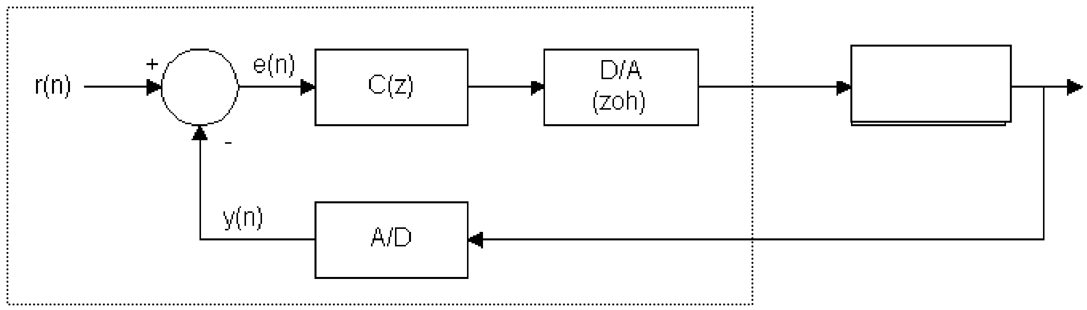
d) Considerando o controlador obtido em c) determine o valor mínimo da atenuação de perturbações $\boldsymbol{p}$ na banda $[0,\ 0.1]\ rads^{-1}$ e o valor mínimo da atenuação de ruído $\boldsymbol{n}$ na banda $[10^2,\ 10^4]\ rads^{-1}$. Indique os valores em dB.

e) Suponha que existe um atraso $\tau>0$ na transmissão de informação entre o controlador $C(s)$ e o sistema a controlar $G_p(s)$. Para o sistema determinado em c) calcule o atraso máximo tolerado a partir do qual o sistema se torna instável.

Nota: no caso de não ter resolvido a alínea c), considere $K=200$ para as alíneas d) e e).

Problema 3 [cotação = 25/100]

Considere o sistema de controlo digital representado na figura seguinte:



$$G(s) = \frac{1}{s}$$

a) Mostre que a função de transferência $G(z)$ do equivalente discreto do sistema contínuo G(s) precedido do retentor de ordem zero (ZOH) é $G(z) = \frac{T}{z-1}$ sendo *T* o período de amostragem.

Pretende-se que a resposta *y(t)* a um escalão unitário na referência *r* satisfaça as seguintes **especificações**:

Tempo de estabelecimento: t_s (5%) = 3 seg
Tempo de pico: t_p = 1,5 seg.

O valor da frequência de amostragem realizável nesta malha de controlo está limitado superiormente: $f_S \leq 2$ Hz .

b) Utilizando a via do *Projecto Directo* dimensione os parâmetros de um controlador $C(z) = \frac{K}{(z-a)}$ por forma a satisfazer aquelas especificações. Faça T = 0,5 seg .

c) Mantendo constantes os parâmetros do controlador calculados na alínea anterior, suponha que o intervalo de amostragem T aumentava. Quais as modificações qualitativas no tempo de estabelecimento e no tempo de pico da resposta ao escalão ? E a estabilidade ? Justifique cuidadosamente (pode ser útil apoiar-se no *root-locus*).

d) Justifique a seguinte afirmação: "A via do *Projecto por Emulação* não seria neste caso a mais adequada para o projecto do controlador digital C(z)".

TABELA:

$a^n u[n] \leftrightarrow \frac{1}{1-\mathbf{a}z^{-1}}$

$n\, a^n u[n] \leftrightarrow \frac{\mathbf{a}z^{-1}}{(1-\mathbf{a}z^{-1})^2}$

$$G(z) = (1-z^{-1})Z\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}$$

$$x[0] = \lim_{z\to+\infty} X(z)$$

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