Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

CONTROLO – 2004/2005 – 2º semestre

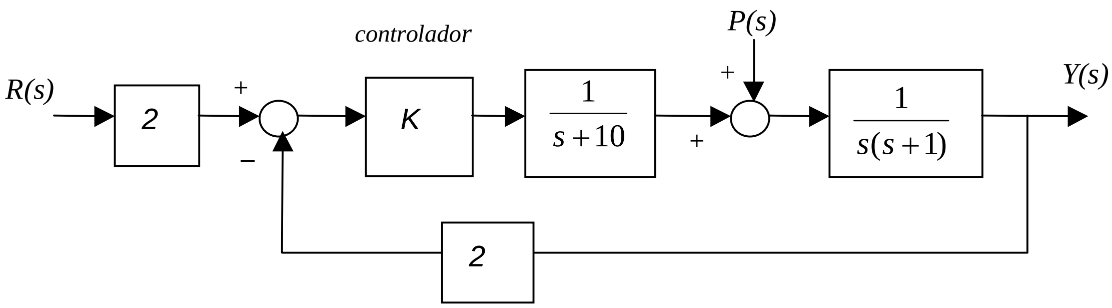
1º Exame – 22 Junho 2005

- ***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

Considere o sistema de controlo de posição angular de uma antena representado na figura. R(s) é a variável de referência. P(s) é uma perturbação exterior.



a) O sistema pode ser descrito por: $Y(s) = G_1(s)\, R(s) + G_2(s)\, P(s)$. Determine as funções de transferência $G_1(s)$ e $G_2(s)$.

b) Determine os valores de $-\infty<K<+\infty$ para os quais o sistema é estável utilizando o critério de Routh-Hurwitz.

c) Esboce o *root-locus* para $-\infty<K<+\infty$ determinando os pontos e ângulos notáveis.

d) Pretende-se rejeitar o efeito da perturbação sobre a saída. Qual o desvio mínimo produzido por uma perturbação escalão p(t) = u(t) sobre a saída y, que se pode obter por ajuste de K, em regime permanente ?

e) Vamos agora substituir o controlador Proporcional K por um controlador Proporcional Derivativo C(s).

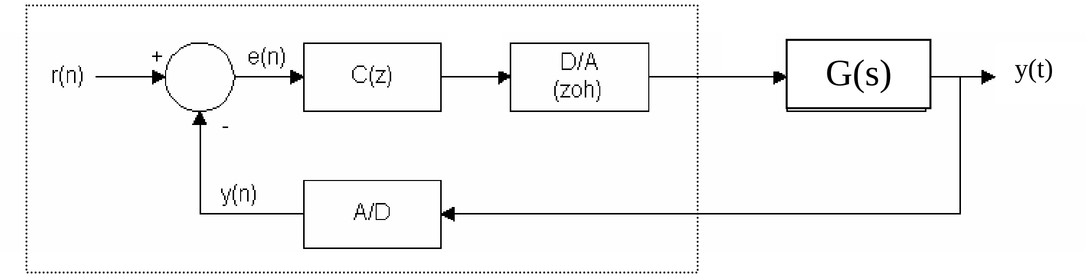
i) Pretende-se que a resposta y(t) a um escalão unitário em r(t) tenha as seguintes especificações:

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

Dimensione C(s)
Apresente todos os cálculos.

ii) Com o controlador dimensionado, será de esperar que aquelas especificações sejam rigorosamente cumpridas ? Justifique.

Problema 2 Considere o sistema de controlo digital representado na Figura:



a) Mostre que o equivalente discreto do sistema contínuo $G(s)=\frac{1}{s}$ precedido do retentor de ordem zero (ZOH) é $G(z)=\frac{T}{z-1}$ sendo T o período de amostragem. Apresente todos os passos da dedução.

Considere um controlador proporcional *C(z)* = *K* e período de amostragem *T* = 0,5 seg.

b) Analise a estabilidade do sistema em malha fechada em função de $-\infty<K<+\infty$. Esboce o correspondente ***root-locus***.

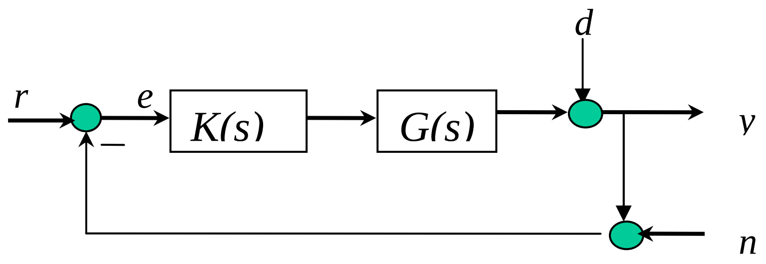
c) Pretende-se que a resposta em tempo contínuo *y(t)* do sistema em malha fechada a um escalão unitário em *r* seja caracterizada por uma constante de tempo $\tau = 1$ seg. Determine o correspondente valor de *K* pela via do Projecto Directo no plano-z.

d) Se optasse pela via do Projecto por Emulação consideraria uma boa escolha aquele valor de T= 0,5 seg. ? Justifique.

e) Fixando o valor de *K* projectado em c) discuta, qualitativa mas cuidadosamente, os efeitos do aumento do período de amostragem nas características dinâmicas da resposta *y(t)* (rapidez, forma, estabilidade). Pode apoiar a sua análise no *root-locus*.

Problema 3

Considere o sistema de controlo da Figura, onde *G(s)* representa o sistema a controlar, *K(s)* é um controlador, ***r d*** e ***n*** representam respectivamente o sinal de comando, uma perturbação externa à saída, e ruído no sensor.



Seja: $\mathrm{G(s)} = \dfrac{1}{s(s+1)}$

a) Pretende-se projectar um controlador K(s) de modo a satisfazer as seguintes especificações (em malha fechada):

i) Erro nulo em regime permanente para um escalão na referência *r*.

ii) Efeito da perturbação *d* na saída *y* atenuado pelo menos 60dB (ganho de –60dB) na gama de frequências $[0, 10^{-2}]$ *rad* s^{-1}.

iii) Efeito do ruído *n* do sensor na saída *y* atenuado pelo menos 60dB (ganho de –60dB) na gama de frequências superior a 100 $rad.s^{-1}$.

(as variáveis *d, n, y,* são descritas por processos estocásticos com densidade espectral de potência limitada às gamas de frequência indicadas)

iv) Margem de fase superior a 40º.

v) Sistema estável em malha fechada

- Justifique <u>detalhadamente</u> e represente gràficamente as **restrições** a impor ao *ganho de malha* $|K(j\omega)G(j\omega)|$. Comece por estabelecer as condições relativas à malha fechada.

- **Projecte** um controlador $\mathrm{K(s)} = K_0 \dfrac{(1+s/a)}{(1+s/b)}$ que permita satisfazer aquelas especificações.

Baseie o projecto nas aproximações assimptóticas. Trace as aproximações assimptóticas do **diagrama de Bode** (amplitude e fase) correspondente a *K(s)G(s)*. Assinale a **margem de fase**.

- Esboce o **diagrama de Nyquist**, indicando o respectivo **contorno** de Nyquist, e aplique o correspondente **critério**, para **verificar a estabilidade** do sistema compensado. Justifique <u>cuidadosamente</u> o traçado do diagrama.

<u>Nota</u>: *em caso de dificuldade, pode tentar resolver este problema apenas para algumas daquelas especificações, numa base de cotação reduzida (nesse caso K(s) pode não ser o sugerido).*

b) Na análise anterior desprezou-se a dinâmica do sensor na cadeia de retroacção o qual foi representado por um simples ganho unitáro. Suponha agora que o sensor tem uma função de transferência da forma $\mathrm{H(s)} = \dfrac{p}{(s+p)}$. Para o sistema com o controlador *K(s)* dimensionado em a) quais os valores de *p>0* que punham em perigo a estabilidade do sistema ? Justifique, baseando-se numa análise no domínio da frequência. Pode utilizar aproximaçõe assimptóticas.