Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

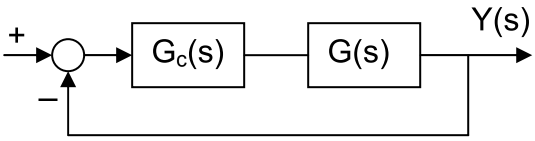
CONTROLO – 2006/2007

2º Exame – 7.Fevereiro.2007

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

Problema 1 (6 valores)

Considere um sistema mecânico, controlado em posição, descrito em cadeia fechada pelo diagrama de blocos da Figura,



em que
$$G(s) = \frac{5}{s(s^2+2s+5)}$$

e $G_C(s)$ é um compensador cujo projecto se pretende realizar.

1. Considere inicialmente que $G_C(s) = K$

a) Analise a estabilidade do sistema em malha fechada em função de $K \in \Re$ utilizando o critério de Routh-Hurwitz.

b) Esboce o lugar geométrico dos pólos do sistema em cadeia fechada para $K \in]-\infty,+\infty[$. Calcule e indique todos os pontos relevantes do root-locus (em particular, se existirem, os troços do eixo real que pertencem ao root-locus, as assímptotas, o ângulo das assimptotas com o eixo real, o centro assimptótico, o ângulo de partida dos pólos, os pontos de cruzamento com o eixos imaginário e real). Justifique cuidadosamente.

c) Diga se é possível, com o controlador proporcional, garantir um erro de seguimento (em regime estacionário) menor do que 10% a uma entrada rampa de declive unitário, e caso seja calcule o valor de K correspondente. Justifique o seu raciocínio.

d) Para um determinado valor de K, a resposta ao escalão unitário, u(t), tem a forma:

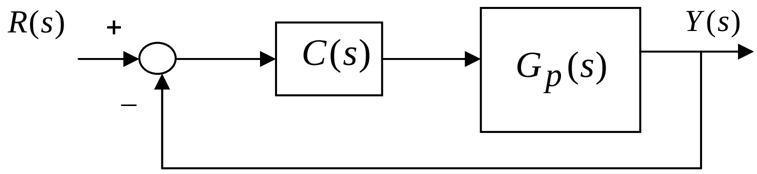
$$y(t) = \left[A + B\,e^{-t/\tau} + C\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi)\right]u(t)$$

Determine A, τ, ω. (não recorra a cálculos com transformadas)

2 – Considere agora a utilização de um controlador PD ideal, $G_C(s) = K(s+a)$. Indique o intervalo de valores de a para os quais o sistema em malha fechada é estável para todo K>0.

Problema 2 (6 valores)

Considere o sistema da figura:



$$G_p(s) = \frac{1}{(s+4)^2}$$

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

Tempo de estabelecimento (5%) = 1 seg.
Sobreelevação = 10%.
Erro em regime permanente nulo

a) De entre os seguintes controladores C(s), seleccione o que considere mais adequado ao objectivo de cumprir aquelas especificações.:
   i) Proporcional-Integral
   ii) Proporcional-Derivativo

   Justifique.

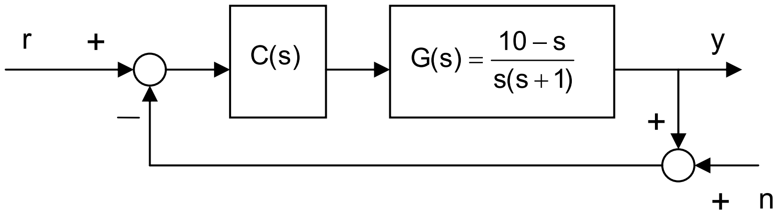
   Dimensione o controlador seleccionado.

b) Suponha agora que o controlador dimensionado em a) era transferido da cadeia de acção para a cadeia de retroacção. Haveria diferenças, e quais, na resposta y(t) ao escalão em r(t) entre cada uma das configurações ? Justifique.

c) Suponha agora que se pretendia fazer Controlo Digital com o objectivo de cumprir aquelas mesmas especificações. Se optasse pela via do *Projecto por Emulação*, consideraria uma boa escolha o valor T = 0,3 seg para o intervalo de amostragem? Justifique cuidadosamente.

Problema 3 (8 valores)

Considere o sistema da figura seguinte



a) Desenhe o diagrama de Bode assimptótico de G(s). Use a grelha quadriculada fornecida com o enunciado.

b) Assumindo que C(s)=1, esboce o diagrama de Nyquist do sistema assinalando os pontos relevantes. Justifique cuidadosamente a sua resposta.

c) Para as condições da alínea anterior, caracterize o sistema em cadeia fechada do ponto de vista de estabilidade.

d) Indique os valores da margem de ganho e de fase lidos no diagrama de Bode desenhado na alínea a). Comente estes valores face à sua resposta na alínea c). De que modo estas conclusões se alterariam se, em vez de usar o diagrama de Bode assimptótico, tivesse usado o diagrama de Bode real. Justifique.

Pretende-se agora dimensionar C(s) por forma a que o sistema em cadeia fechada da figura satisfaça um conjunto de especificações:

E1 - Rejeição do ruído n(t) na saída y(t) superior a 30dB (ganho inferior a –30dB) na banda de frequências de $\omega \geq 100$ rad s^{-1}, e

E2 – Seguimento de sinais de referência r(t) na gama de frequências [0, 0.1] rad s^{-1} com erro menor ou igual a -35dB, e

E3 – valor mínimo possível do erro estacionário a uma entrada de tipo rampa, e

E4 – valor máximo possível da margem de fase.

e) No diagrama de Bode assimptótico da alínea a) indique (claramente) as zonas de exclusão correspondentes às especificações E1 e E2.

f) Dimensione o mais simples compensador C(s) de forma a satisfazer simultaneamente as especificações E1, E2 e E3. Justifique cuidadosamente a sua resposta.

g) Dimensione agora um compensador de 1ª ordem, C(s), que para além de satisfazer E1, E2 e E3, satisfaça também E4. Por simplicidade de análise, baseie o seu raciocínio na aproximação assimptótica dos diagramas de amplitude e de fase. Justifique a sua resposta.

h) Suponha que existe um atraso $\tau>0$ na transmissão de informação entre o controlador C(s) e o sistema a controlar G(s). Para o sistema com o controlador dimensionado na alínea g) calcule o atraso máximo tolerado a partir do qual o sistema se torna instável.