



CONTROLO – 2005/2005

1º Exame – 16.Janeiro.2006

- 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 o sistema realimentado da Figura 1.1

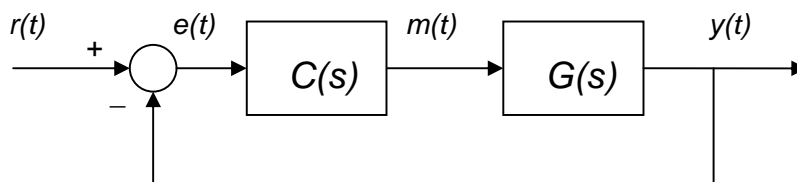


Figura 1.1: Sistema de controlo por retroacção da saída

Admita que $C(s)$ é um controlador proporcional-integral (PI): $C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} \right)$

e ainda que o sistema a controlar tem a seguinte função de transferência: $G(s) = \frac{1}{(s+4)(s+9)}$

a) Indique, justificando, vantagens do controlador PI no controlo por retroacção da saída do sistema em causa.

b) Calcule os valores de K_p e T_i de forma a que sejam verificadas as seguintes especificações:

- O erro estático de velocidade seja 0,36, ou seja, $e(+\infty) = 0,36$ quando $r(t) = tu(t)$, sendo $u(t)$ o escalão unitário.
- O sistema em cadeia fechada tenha o comportamento de um sistema de segunda ordem sem zeros, sub-amortecido, com tempo de estabelecimento $t_s(5\%) = 1,5$ seg.

Justifique todos os cálculos apresentados.

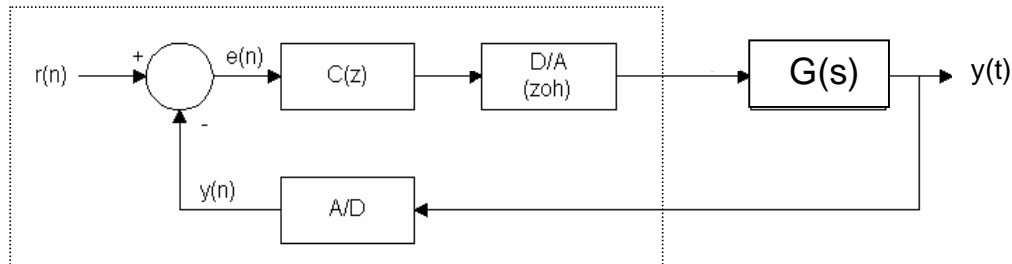
c) Para os valores de K_p e T_i calculados na alínea anterior, indique a função de transferência em cadeia fechada identificando os pólos, os zeros e o ganho estático.

d) Para $K_p = 1$, esboce o *root-locus* do sistema em cadeia fechada em função de $K_i = 1/T_i$ (positivo) determinando os ângulos e pontos notáveis do *root-locus*.

Nota: A resolução desta alínea é independente das anteriores.

Problema 2 (6 valores)

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.

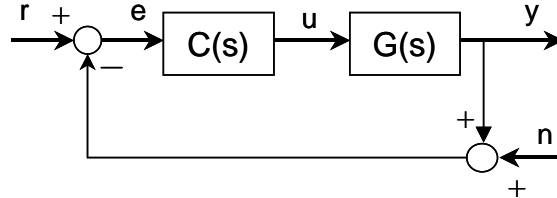
b) Pretende-se que a resposta em tempo contínuo $y(t)$ a um escalão unitário não apresente sobre-elevação e corresponda a polo duplo em $s = -1$. Determine, pela via do Projecto Directo, o controlador digital $C(z)$ mais simples que permite realizar aquele objectivo, e calcule os seus parâmetros. Faça $T = 0,5$ seg

c) Considere o sistema funcionando com o controlador dimensionado em b). Nessas circunstâncias, quais os efeitos qualitativos da variação do intervalo de amostragem T sobre as características dinâmicas da resposta $y(t)$ (rapidez, forma, estabilidade) do sistema em malha fechada? Apoie a sua análise no traçado do *root-locus* no plano-z.

d) Procure realizar a especificação da alínea b) mas utilizando, desta vez, a via do Projecto por Emulação. Justifique a escolha do novo período de amostragem e utilize a transformação bi-linear $s = \frac{2}{T} \frac{(z-1)}{(z+1)}$. Deduza a equação às diferenças a implementar no computador. Comente a realizabilidade do controlador projectado.

Problema 3 (8 valores)

Considere o sistema da figura seguinte



com

$$G(s) = \frac{s+10}{10s(s-1)}$$

- a) Esboce o diagrama de Bode assintótico (amplitude e fase) de $G(s)$.

- A partir daqui e para as alíneas b), c), d) considere que o controlador é proporcional, i.e., $C(s)=K$ com $K \geq 1$.
- Baseie as suas análises, em todas as alíneas, na versão assintótica do diagrama de Bode

- b) Usando o critério de Nyquist, analise e discuta a estabilidade do sistema em cadeia fechada em função de K .
- c) Pretende-se cumprir a especificação seguinte:
Rejeição do ruído $n(t)$ na saída $y(t)$ superior a 30dB (ganho inferior a -30dB) na banda de frequências de $\omega \geq 100 \text{ rad s}^{-1}$.
- i) Deduza a condição a impor ao ganho de malha $C(s)G(s)$ por forma a cumprir a especificação anterior.
- ii) Determine, usando o diagrama esboçado em a), o intervalo de valores de K que satisfazem esta especificação e garantem que o sistema em cadeia fechada é estável.
- d) Para cada um dos valores extremos do intervalo determinado no ponto ii) da alínea anterior, determine o valor aproximado da margem de fase, tomando como base o diagrama assintótico desenhado na alínea a).
- e) Será que a utilização de um compensador de atraso de fase ou de avanço de fase permitiria aumentar ainda mais a margem de fase que foi obtida com o compensador proporcional discutido na alínea anterior, satisfazendo as mesmas especificações (estabilidade e rejeição de ruído)? Em caso afirmativo dimensione um desses compensadores.