



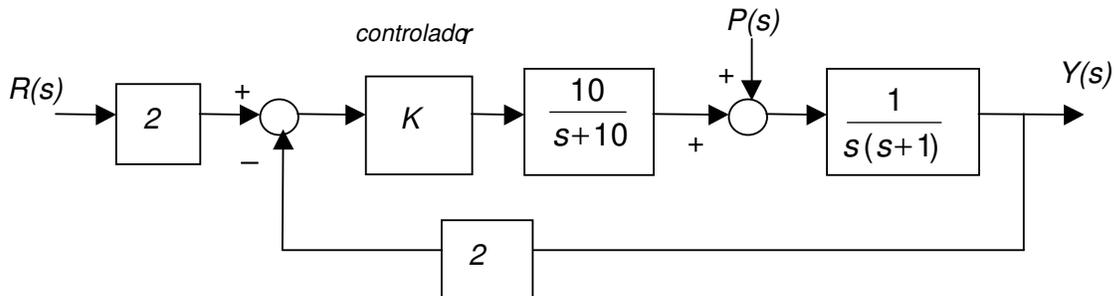
CONTROLO – 2006/2007

1º Exame – 23.Janeiro.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 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.



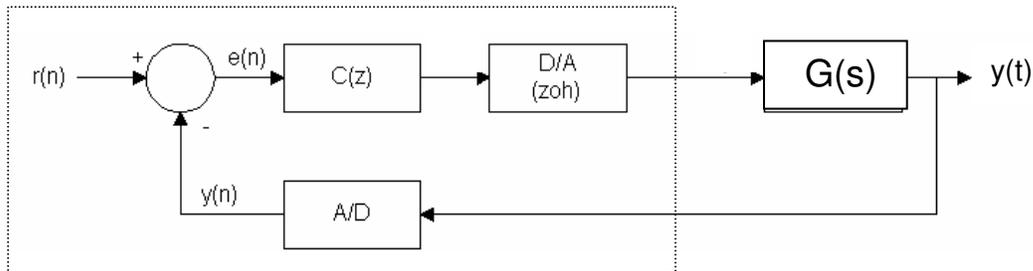
- Determine os valores de $-\infty < K < +\infty$ para os quais o sistema é estável utilizando o critério de Routh-Hurwitz.
- Trace o *root-locus* para $-\infty < K < +\infty$ determinando os pontos e ângulos notáveis.
- Pretende-se reduzir o efeito da perturbação sobre a saída por ajuste do ganho K .
 - Qual o *desvio* (|erro|) mínimo produzido por uma perturbação escalão $p(t) = u(t)$ sobre a saída y , em regime permanente, que se pode obter por ajuste de K ? ;
 - E para uma perturbação rampa $p(t) = t.u(t)$?
Justifique cuidadosamente.
- Vamos agora substituir o controlador Proporcional K por um controlador dinâmico $K(s)$
 - Pretende-se que a resposta $y(t)$ a um escalão unitário em $r(t)$ tenha as seguintes características:

Tempo de estabelecimento (5%) = 3 seg.
Frequência das oscilações amortecidas = 2 rad/s.

Escolha o controlador $K(s)$ mais simples que lhe pareça conduzir ao cumprimento daquelas especificações (pode ser útil apoiar-se no *root-locus*).
Dimensione $K(s)$. Apresente todos os cálculos.
 - Para o controlador dimensionado, e tendo em conta o procedimento de projecto utilizado, será que ocorrem diferenças entre a resposta do sistema e a resposta desejada ? Justifique de forma qualitativa mas cuidadosa.

Problema 2 (6 valores)

Considere o sistema de controlo digital representado na Figura:



- a) Mostre que o equivalente discreto do sistema contínuo $G(s) = \frac{s+2}{s}$ precedido do retentor de ordem zero (ZOH) é $G(z) = \frac{z-1+2T}{z-1}$ sendo T o período de amostragem. Apresente todos os passos da dedução.

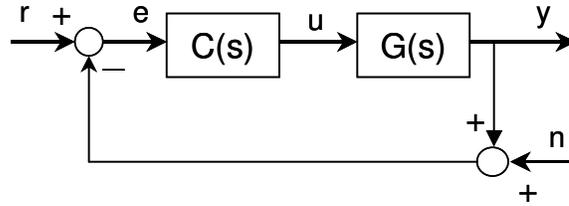
No que se segue, supõe-se [tempo de conversão+tempo de cálculo] \ll T.

Seja $C(z) = K$ e $T = 0,5$ seg

- b) Trace o root-locus do sistema discreto no plano-z em função de $K \in]-\infty, +\infty[$.
- c) Analise a estabilidade do sistema em malha fechada no plano-z em função de K .
- d) Pretende-se que a componente transitória da resposta em tempo contínuo $y(t)$ do sistema em malha fechada seja caracterizada por uma constante de tempo $\tau = 2$ seg. Utilizando a via do *Projecto Directo* dimensione o ganho $K = K_1$ do controlador digital.
- e) Suponha que se fazia $K > K_1$; qual a modificação esperada na rapidez da resposta $y(t)$? Justifique cuidadosamente.
- f) Utilizando o controlador dimensionado em d), suponha que se aumentava o intervalo de amostragem. Qual o limite superior do valor de T antes de o sistema ficar instável?

Problema 3 (8 valores)

Considere o sistema da figura seguinte



com

$$G(s) = 3,16 \frac{31,6}{(s+1)(s+31,6)}$$

Parte I

Pretende-se dimensionar o compensador $C(s)$ por forma a que o sistema em cadeia fechada da figura satisfaça a seguinte especificação:

E1 – erro estacionário a uma entrada rampa com declive unitário igual a $1/31,6$

- Dimensione o mais simples compensador $C(s)$ que satisfaça E1. Justifique a sua resposta.
- Para o compensador dimensionado na alínea a) esboce o diagrama de Bode assintótico da função de transferência em cadeia aberta. Indique os valores das margens de ganho e de fase a partir da leitura do diagrama de Bode assintótico.
- Esboce o diagrama de Nyquist do sistema, justificando cuidadosamente a sua resposta. Caracterize o sistema em cadeia fechada do ponto de vista de estabilidade. De que modo esta conclusão se alteraria se aumentasse ou diminuísse o ganho do compensador.

Parte II

Pretende-se agora dimensionar o compensador $C(s)$ por forma a que o sistema em cadeia fechada da figura satisfaça as seguintes especificações:

- E1 – erro estacionário a uma entrada de tipo rampa com declive unitário igual a $1/31,6$. Note que esta especificação é a considerada na Parte I, e ainda;
 - E2 - Rejeição do ruído $n(t)$ na saída $y(t)$ superior a 40dB (ganho inferior a -40 dB) na banda de frequências de $\omega \geq 100 \text{ rad s}^{-1}$, e
 - E3 – Seguimento de sinais de referência $r(t)$ na gama de frequências $[0, 0.1] \text{ rad s}^{-1}$ com erro menor ou igual a -50 dB, e
 - E4 – Margem de fase máxima.
- No diagrama de Bode assintótico da alínea b) esboce as zonas de exclusão correspondentes às especificações E2 e E3.
 - Dimensione um compensador $C(s)$ que satisfaça as especificações E1 a E4. Justifique cuidadosamente a sua resposta. Sugere-se que na sua resposta:
 - comece por escolher o tipo de compensador e, em seguida,
 - dimensione os parâmetros do compensador.
 - Modifique o diagrama de Bode assintótico para a nova função de transferência em cadeia aberta e indique o valor da margem de fase obtida com o compensador dimensionado na alínea anterior. Justifique a sua resposta