INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

CONTROLO

5^a **Série**

(controlo digital, análise e projecto no plano-z)

- **As questões assinaladas com * serão abordadas na correspondente aula de apoio.**
- **Os alunos devem procurar resolver as referidas questões antes das aulas. Nas aulas de apoio, a discussão dos problemas vai ser feita a partir das dúvidas surgidas nas resoluções previamente feitas pelos alunos.**
- **Para o seu estudo individual sugere-se ainda que os alunos procurem resolver mais problemas que podem ser encontrados nos livros apontados na bibliografia recomendada da cadeira.**

* **1.** Entre os polos da transformada de Laplace de um sinal $x(t)$ e os polos da transformada-Z do sinal resultante da amostragem numérica $x(kT)$, existe a relação $z = e^{sT}$ em que T é o período de amostragem. Supondo que $x(kT)$ representa a componente transitória da resposta de um sistema de 2^a ordem, represente no plano-z o lugar geométrico dos polos correspondentes a cada uma das seguintes condições:
i) tempo de estabelecimento constante.
ii) frequência das oscilações amortecidas constante.
iii) factor de amortecimento constante.

2. Seja o sistema causal contínuo com função de transferência $G(s) = 1/s$.

a) Determine a função de transferência $G_d(z)$ do equivalente discreto do sistema $G(s)$, precedido por um *zero-order hold*.

b) Considere o sistema discreto realimentado da figura 1. Indique, em função do intervalo de amostragem T, os valores de K para os quais o sistema é estável. Trace o *root-locus*. Compare com o que aconteceria no caso contínuo.

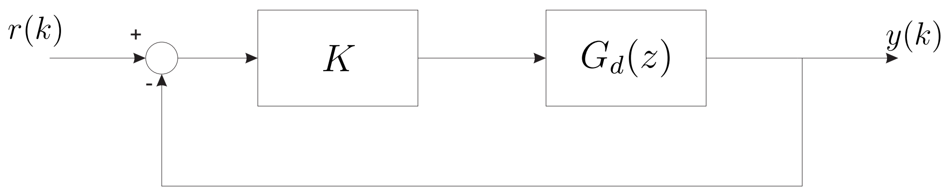

Figure 1: Sistema discreto realimentado.

c) Considere $T = 1$. Determine e esboce a resposta ao escalão unitário do sistema discreto realimentado da figura 1 para $K = 0.5$, $K = 1$, $K = 1.5$ e $K = 5$.

*** 3.** (E. Morgado, Controlo, 2002) - Seja o sistema representado na Fig. em que se realiza controlo digital por computador.

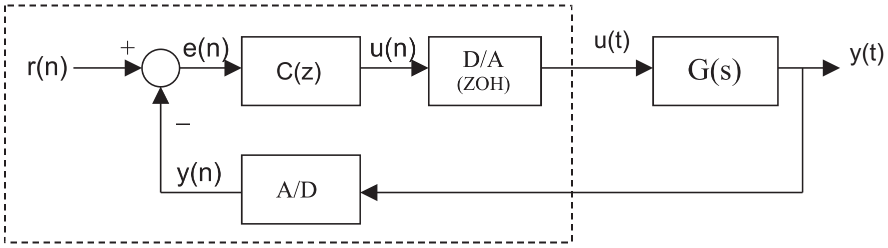

Figure 2:

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

Pretende-se que:
i) na resposta ao escalão, o regime transitório da saída y(t) seja caracterizado por:
- coeficientede amortecimento $\xi = 0.456$ ($S\% = 20\%$)
- tempo de estabelecimento (5%) = 3 seg.
ii) na resposta à rampa, erro nulo em regime permanente.

Dimensione um controlador digital com acção Proporcional-Integral e indique a correspondente equação às diferenças a implementar no computador de modo a tentar satisfazer aquelas especificações. Utilize os seguintes métodos alternativos:

a) Projecto do controlador PI no plano-z, precedido da discretização da parte contínua do sistema (Projecto Directo). Considere para função de transferência do controlador: $C(z) = K_P + K_I \frac{Tz}{z-1}$ (termo integral obtido pela *backward rectangular rule*). Faça T = 0,2 seg..

b) Projecto do controlador PI no plano-s, seguido de discretização do controlador (Projecto por Emulação). Utilize o método da transformação bi-linear e justifique a escolha do período de amostragem.

Para cada caso comente sobre a realizabilidade do algoritmo de controlo em tempo real e a possível conveniência da introdução de um atraso unitário.

Avalie os resultados obtidos através da simulação em MATLAB.

Soluções
1 - i) circunferência $|z| = e^{-\xi\omega_n T}$; ii) radial $\arg\{z\} = \omega_d T$; iii) espiral logarítmica.
2 - a) $G_d(z) = (1 - z^{-1})Z\{G(s)/s\} = T/(z-1)$; b) estável sse $0 < K < 2/T$.
3 - a) $G(z) = T/(z-1)$, $z_{1,2} = 0,75 \pm j0,32$, $C(z) = 2,5.(z-0,67)/(z-1)$, c/ atraso: $C(z) = 2,1.(z-0,79)/z(z-1)$, simulação conduzirá a reajuste dos parâmetros de $C(z)$.
b) $s_{1,2} = -1 \pm j2$, $C(s) = 2.(s+2,5)/s$, $\omega_{LB} \approx 4rad/s$, $\omega_s \geq 20.\omega_{LB}$, $T \sim 0,05seg$, $C(z) = 2,13.(z-0,88)/(z-1)$, simulação conduzirá a reajuste dos parâmetros de $C(z)$.