

SEM 538 – Sistemas de Controle II - 2017

Prof.: Adriano Almeida Gonçalves Siqueira

Descrição: Sistemas discretos no tempo, equações a diferenças. Transformada Z e transformações de sistemas contínuos para discretos. Estabilidade e mapeamento do plano complexo. Controladores PID discretos. Análise em espaços de estado para sistemas contínuos e discretos. Projeto e implementação de controladores em sistemas dinâmicos reais.

Referências:

1 - Digital Control of Dynamic Systems - Gene F. Franklin / J. David Powell
Addison-Wesley Pub. Co., 1998. 3 ed.

2 - Digital Control System - Rolf Isermann
Springer Verlag, Heidelberg-Berlin, 1988.

3- Discrete-time Control Systems - Katsuhiko Ogata
Prentice Hall, 1995.

4 - Digital Control Systems - Benjamin C. Kuo
Holt, Rinehart & Winston, Inc., 1980.

5 - Digital Control Systems Analysis and Design – Charles L. Phillips/ H. Troy Nagle
Prentice Hall, 1984.

6 – Modelagem da Dinâmica de Sistemas e Estudo da Resposta – Luiz Carlos Felício Rima, 2007.

7 - Controle Digital - Plinio Castrucci / Roberto Moura Sales
Ed. Edgar Blücher Ltda. 1990

8 - Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos
Elder M Hemerly
Ed. Edgard Blücher Ltda., 1996

Avaliação: A nota final (NF) será dada por:

$$NF = [NP + NR] / 2$$

NP - Nota da prova

NR - Notas dos trabalhos e práticas

Programa Preliminar:

Março	
6	Introdução e Exercício – Revisão Sistemas de Controle I
8	Não haverá aula
13	Espaço de Estados
15	Espaço de Estados – Controle Ótimo LQR
20	Espaço de Estados – Controlador/Observador
22	Equações a diferença, sistemas discretos
27	Transformada Z
29	Estabilidade e mapeamento do plano complexo - Transformações de sistemas contínuos para discretos
Abril	
3	Lugar das Raízes – Aula Laboratório
5	Lugar das Raízes – Aula Laboratório
10	Não haverá aula – Semana Santa
12	Não haverá aula – Semana Santa
17	Controladores PID Discretos
19	Espaço de Estados – Sistemas Discretos
24	Prática 1 - Grupos 1 a 4 – grupos de 4 alunos
26	Prática 1 - Grupos 5 a 8
Maio	
1	Feriado
3	Prática 1 - Grupos 9 a 12
8	Exercícios
10	PROVA
15	SEMATRON
17	SEMATRON
22	Não haverá aula
24	Não haverá aula
29	Preparação das Práticas - Elo e Junta Flexíveis/ Pêndulo Invertido
31	Preparação das Práticas - Levitação Magnética
Junho	
5	Práticas - Grupos 1 a 4 – grupos de 4 alunos
7	Práticas - Grupos 5 a 8
12	Práticas - Grupos 9 a 12
14	Práticas - Grupos 1 a 4
19	Práticas - Grupos 5 a 8
21	Práticas - Grupos 9 a 12
26	Práticas - Grupos 1 a 4
28	Práticas - Grupos 5 a 8
Julho	
3	Práticas - Grupos 9 a 12
4	

1. Espaço de Estados

Considere o sistema dinâmico:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = f,$$

a função transferência entre a posição x e a força f é dada por:

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k}.$$

Na representação em espaço de estados, considere o estado, a entrada e a saída como:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u} = f, \quad \mathbf{y} = x,$$

Então:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m & -b/m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/m \end{bmatrix} f,$$
$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix},$$

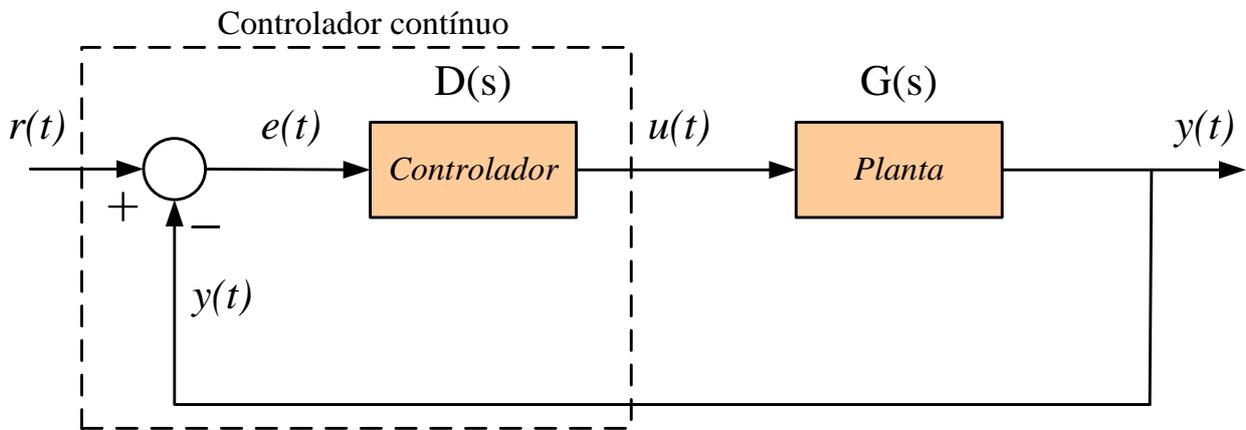
Ou

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},$$
$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}.$$

A análise de estabilidade do sistema é obtida calculando-se os autovalores da matriz dinâmica A . Se todos os autovalores de A possuírem parte real negativa, o sistema é estável.

2. Introdução a Sistemas Discretos

2.1. Sistema dinâmico (planta) e controlador contínuos



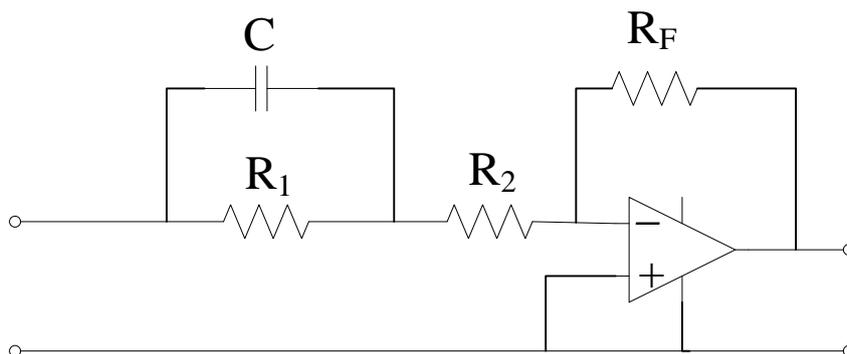
Controladores contínuos podem ser implementados com circuitos eletrônicos analógicos. Por exemplo, para um compensador em avanço da forma:

$$D(s) = \frac{s + z}{s + p}, \quad z < p$$

ou, de forma equivalente:

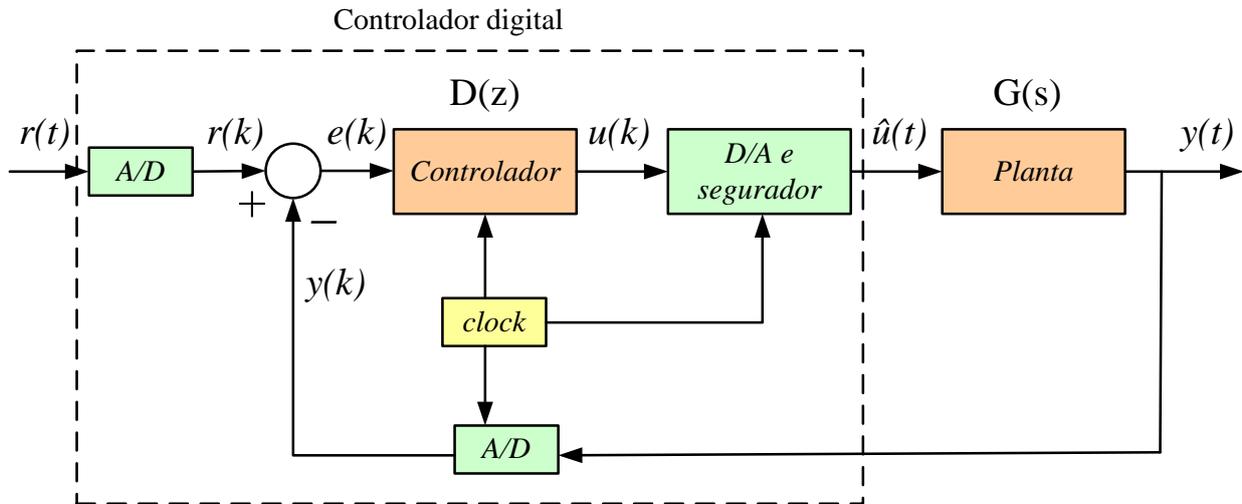
$$D(s) = -K \frac{T_1 s + 1}{\alpha T_1 s + 1}, \quad 0 < \alpha < 1$$

pode ser implementado com o seguinte circuito elétrico:

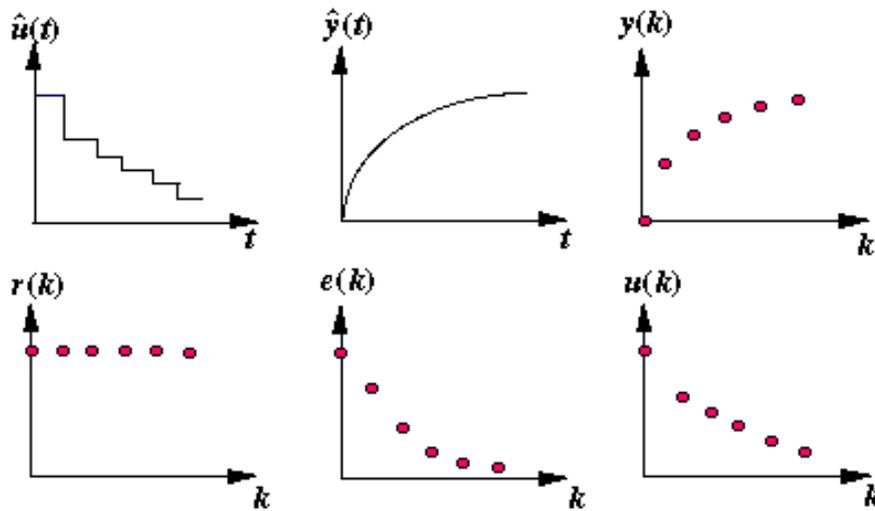


sendo $K = \frac{R_F}{R_1 + R_2}$, $T_1 = R_1 C$, e $\alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$.

2.2. Sistema dinâmico (planta) contínuo e controlador digital

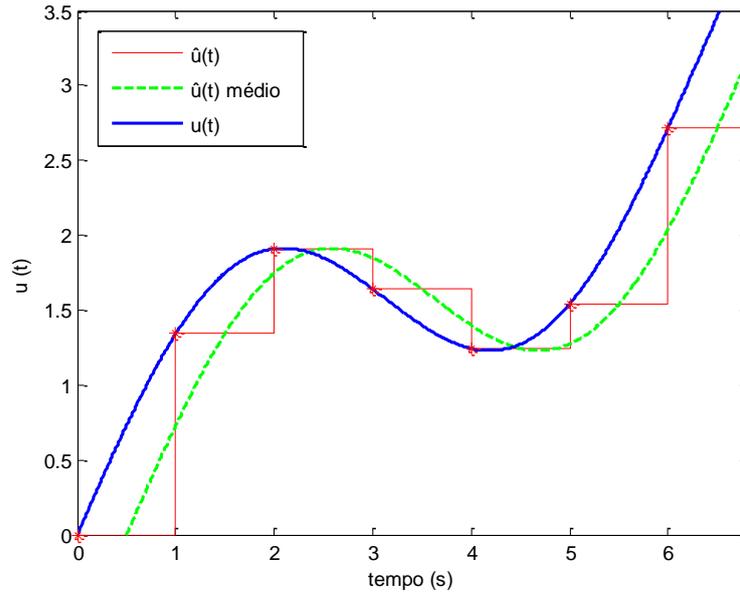


Controladores digitais operam com sinais discretos (amostras dos sinais contínuos). Os sinais do diagrama de blocos acima são mostrados abaixo:



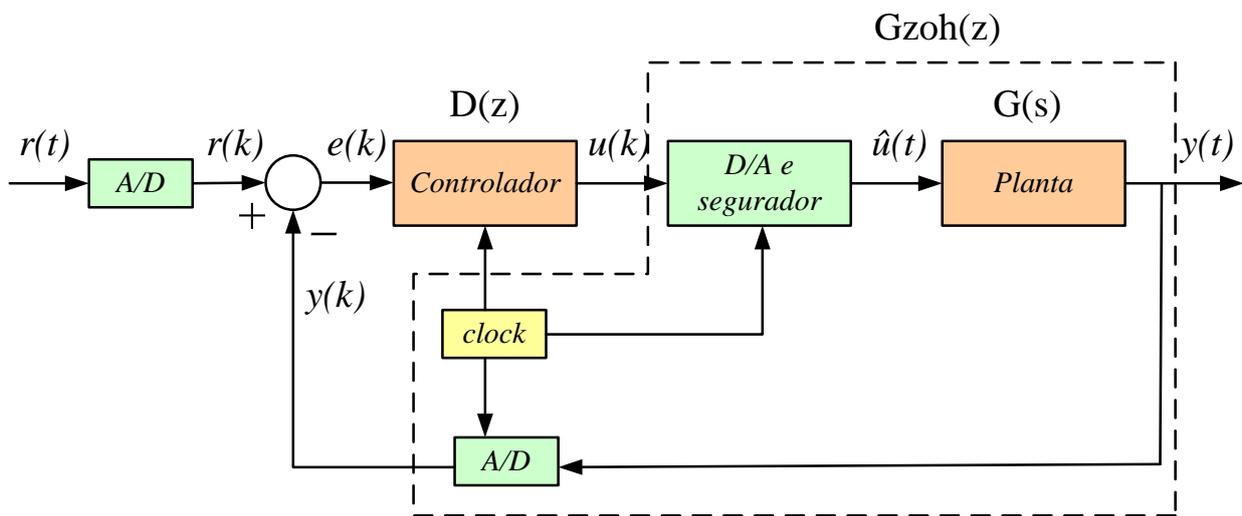
O *clock* conectado aos conversores D/A e A/D fornece um pulso a cada T segundos e cada conversor envia o sinal apenas quando recebe o pulso.

Suponha que $u(k)$ represente um sinal de entrada discreto. Existem técnicas para transformá-lo em um sinal contínuo $\hat{u}(t)$. Uma forma é manter $\hat{u}(t)$ constante e igual a $u(k)$ no intervalo kT a $(k+1)T$. Este procedimento é chamado **segurador de ordem zero (zero-order holder)**. Entretanto o segurador de ordem zero apresenta em média um atraso de $T/2$, veja figura abaixo.

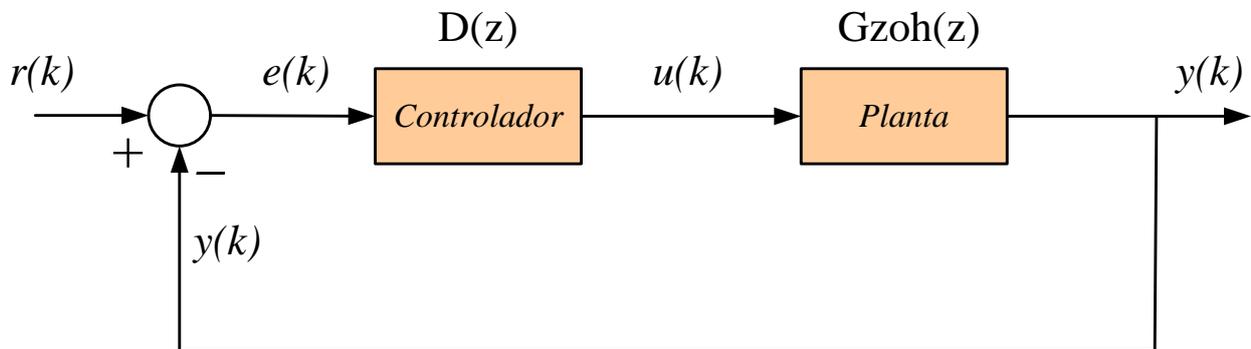


2.3. Equivalência do Segurador de Ordem Zero

Para incluir o atraso do segurador no projeto do controlador, uma solução é encontrar a equivalência discreta para a parte contínua (planta), permitindo trabalhar apenas com funções discretas.



2.4. Sistema dinâmico e controlador discretos



O objetivo do curso é fornecer ferramentas para o estudo de funções discretas e o projeto de controladores digitais.