

SEM 538 – Sistemas de Controle II - 2023

Prof.: Adriano Almeida Gonçalves Siqueira, siqueira@sc.usp.br

**Dia e Horário das Aulas: Segundas-feiras (B07) e quartas-feiras (D11)
10:10 hs - 12:00hs**

Descrição:

- Análise em espaços de estado para sistemas contínuos e discretos. Projeto e implementação de controladores em sistemas dinâmicos reais.
- 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.
- Projeto, simulação e implementação de controladores em sistemas reais: pêndulo invertido e levitação magnética.

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.

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

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

NP - Nota da prova

NR - Notas dos trabalhos, projetos e práticas

Programa:

Março	
13	Não haverá aula
15	Introdução
20	Revisão Sistemas de Controle I - Provas 2022
22	Revisão Sistemas de Controle I - Provas 2022
27	Espaço de Estados
29	Espaço de Estados – Controle Ótimo
Abril	
3	Não haverá aula - Semana Santa
5	Não haverá aula - Semana Santa
10	Espaço de Estados – Observadores
12	Exercícios
17	Sistemas Discretos - Equações a diferença
19	Transformada Z
24	Estabilidade e mapeamento do plano complexo
26	Transformações de sistemas contínuos para discretos
Maio	
3	Controladores PID Discretos
8	Não haverá aula
10	Não haverá aula
15	Prática 1 – Grupos 1 a 4 – grupos de 3 alunos
17	Prática 1 – Grupos 5 a 8
22	Prática 1 – Grupos 9 a 12
24	Prática 1 – Grupos 13 a 16
29	Lugar das Raízes - Exercícios
31	Modelagem e Simulação - Levitação Magnética - Prática 2
Junho	
5	PROVA
7	Modelagem e Simulação - Pêndulo Invertido - Prática 3
12	Não haverá aula
14	Prática 2 (Grupos 1 e 2) e Prática 3 (Grupos 3 e 4)
19	Prática 2 (Grupos 5 e 6) e Prática 3 (Grupos 7 e 8)
21	Prática 2 (Grupos 9 e 10) e Prática 3 (Grupos 11 e 12)
26	Prática 2 (Grupos 13 e 14) e Prática 3 (Grupos 15 e 16)
28	Prática 3 (Grupos 1 e 2) e Prática 2 (Grupos 3 e 4)
Julho	
3	Prática 3 (Grupos 5 e 6) e Prática 2 (Grupos 7 e 8)
5	Prática 3 (Grupos 9 e 10) e Prática 2 (Grupos 11 e 12)
10	Prática 3 (Grupos 13 e 14) e Prática 2 (Grupos 15 e 16)
12	
17	
19	

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:

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

Então:

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

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix},$$

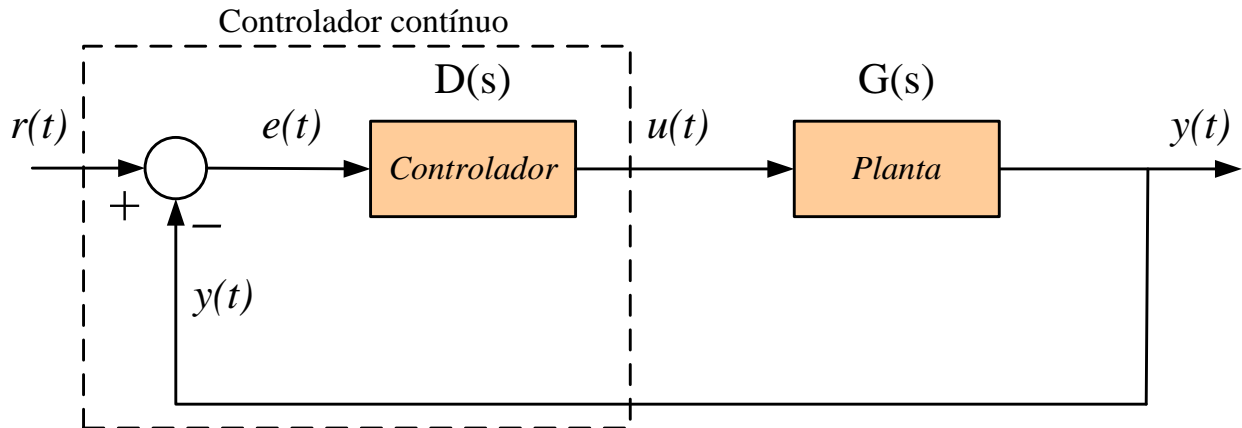
Ou

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

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}.$$

Sistemas Discretos

Sistema dinâmico (planta) e controlador contínuos



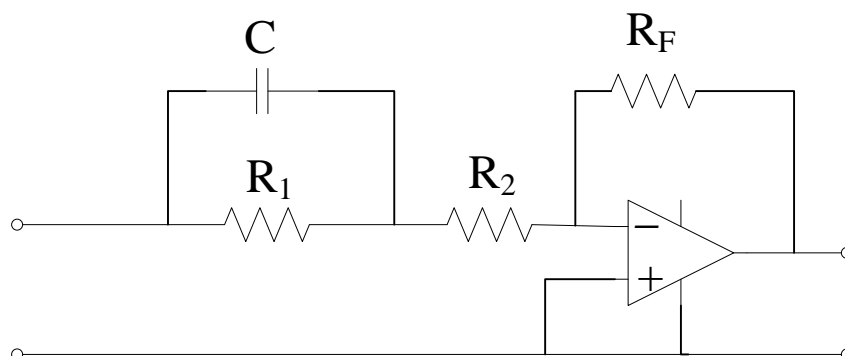
Controladores contínuos podem ser implementados com circuitos eletrônicos analógicos. Por exemplo, para um compensador em avanço da forma:

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

ou, de forma equivalente:

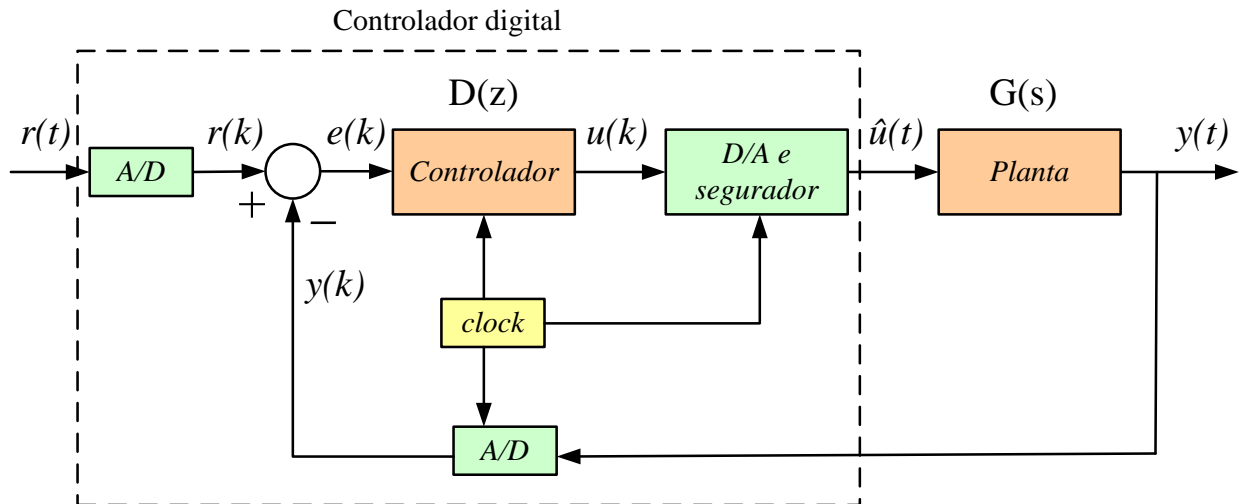
$$D(s) = -K \frac{T_1 s + 1}{\alpha T_1 s + 1}, \quad 0 < \alpha < 1$$

pode ser implementado com o seguinte circuito elétrico:



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

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:

