

# Planejamento da Disciplina Controle e Servomecanismos II

Esta versão utiliza a 3<sup>a</sup> edição do livro [1]  
e não mais será atualizada

## **Identificação**

**UERJ**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Eletrônica e Telecomunicações**

**Assunto:** Planejamento para a disciplina no primeiro semestre de 2005.

**Professor:** José Paulo Vilela Soares da Cunha

**E-mails:** [jpaulo@lee.eng.uerj.br](mailto:jpaulo@lee.eng.uerj.br) e [jpaulo@uerj.br](mailto:jpaulo@uerj.br)

**Homepage:** <http://www.lee.eng.uerj.br/~jpaulo/contrii.html>

**Local e data:** Rio de Janeiro, 5 de abril de 2005

# 1 Tópicos desta Disciplina

Na primeira parte desta disciplina, aborda-se o controle no espaço de estado de sistemas lineares em tempo contínuo:

1. Revisão de sistemas dinâmicos no tempo contínuo e sua modelagem.
2. Revisão de equação de estado.
3. Conceitos sobre sistemas em tempo contínuo no espaço de estado: autovalores, estabilidade, controlabilidade e observabilidade.
4. Realimentação de estado para sistemas em tempo contínuo.
5. Observadores de estado para sistemas em tempo contínuo.

Na segunda parte, aborda-se o controle de sistemas lineares em tempo discreto, tendo em vista o controle de servomecanismos e processos por computador digital. Os principais tópicos são:

1. Introdução ao controle digital.
2. Sinais e sistemas em tempo discreto.
3. Equações a diferenças.
4. Transformada  $z$  e suas propriedades.
5. Sinais do tempo contínuo amostrados no tempo. O espectro dos sinais amostrados e o fenômeno de *aliasing*.
6. Função de transferência de sistemas em tempo discreto.
7. Critério de estabilidade de Jury.
8. Sistemas do tempo contínuo com sinais amostrados. Uso do *sample & hold*. Equação de estado.
9. Resposta dinâmica e análise de sinais do tempo discreto.
10. Noções básicas sobre filtros digitais.
11. Técnicas de conversão do projeto de controladores do tempo contínuo para o tempo discreto.
12. Controladores PID digitais.

13. Análise e projeto pelo diagrama do lugar das raízes no *plano*  $z$ .
14. Métodos de resposta em frequência para a análise e o projeto de sistemas de controle em tempo discreto.
15. Aspectos de implementação de controladores digitais:
  - (a) Conversores A/D e conversores D/A.
  - (b) Efeitos da quantização e da amostragem dos sinais.
  - (c) Implementação de algoritmos em tempo real.

## 2 Orientação Geral para o Estudo desta Disciplina

O aluno deve começar pela revisão de sistemas de controle lineares em tempo contínuo. Para isto recomenda-se qualquer uma das referências [2, 1, 3] ou [4].

Para o estudo de controle no espaço de estado (controlabilidade, observabilidade, realimentação de estado e observadores) recomenda-se o livro [1] ou [3]. Este planejamento utiliza a 3ª edição do livro [1].

Para a introdução aos sinais no tempo discreto, à transformada  $z$  e aos filtros digitais recomenda-se o livro de processamento de sinais no tempo discreto [5], uma vez que estes temas são usualmente tratados superficialmente nos livros de controle digital.

Para os tópicos específicos de controle digital recomenda-se a adoção dos livros [6] e [7] nos quais esta disciplina está baseada. No entanto, os alunos podem utilizar as referências [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14] ou outro livro de controle digital.

Os livros [1, 3] e [8] apresentam diversos exemplos de análise e projeto de sistemas de controle empregando o *software* MATLAB, que atualmente é de uso bastante difundido na área de controle. Por isso esses livros também poderão ser utilizados como complementos nesta disciplina.

Para o estudo de aspectos de implementação de controladores digitais recomenda-se [6] e [15].

## Referências

- [1] K. Ogata, *Engenharia de Controle Moderno*. Livros Técnicos e Científicos S.A., 3ª ed., 1998.
- [2] K. Ogata, *Engenharia de Controle Moderno*. Prentice-Hall do Brasil, 2ª ed., 1993.

- [3] K. Ogata, *Engenharia de Controle Moderno*. Pearson Brasil, 4<sup>a</sup> ed., 2003.
- [4] J. J. D’Azzo and C. H. Houpis, *Análise e Projeto de Sistemas de Controle Lineares*. Guanabara Dois, 2<sup>a</sup> ed., 1984.
- [5] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, and J. R. Buck, *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice-Hall, 2nd ed., 1999.
- [6] G. F. Franklin, J. D. Powell, and M. L. Workman, *Digital Control of Dynamic Systems*. Addison-Wesley, 2nd ed., 1990.
- [7] K. J. Åström and B. Wittenmark, *Computer-Controlled Systems: Theory and Design*. Prentice-Hall, 3rd ed., 1997.
- [8] C. L. Phillips and H. T. Nagle, *Digital Control System Analysis and Design*. Prentice-Hall, 3rd ed., 1995.
- [9] K. Ogata, *Discrete-Time Control Systems*. Prentice-Hall, 2nd ed., 1995.
- [10] B. C. Kuo, *Digital Control Systems*. Saunders College Publishing, 2nd ed., 1992.
- [11] R. G. Jacquot, *Modern Digital Control Systems*. Marcel Dekker, Inc., 1981.
- [12] C. L. Barczak, *Controle Digital de Sistemas Dinâmicos: Projeto e Análise*. Editora Edgard Blücher Ltda., 1995.
- [13] E. M. Hemerly, *Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos*. Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.
- [14] M. S. Santina, A. R. Stubberud, and G. H. Hostetter, *Digital Control System Design*. Saunders College Publishing, 2nd ed., 1994.
- [15] P. H. Garrett, *Advanced Instrumentation and Computer I/O Design: Real-Time System Computer Interface Engineering*. IEEE Press, 1994.

### 3 Orientação Detalhada para cada Tópico

Nesta seção é apresentada uma orientação para o aluno estudar cada um dos tópicos abordados. Apresenta-se uma relação de seções de livros que devem ser estudadas. Naturalmente o aluno não deve restringir seus estudos a estas seções, pois trata-se de uma relação mínima.

### **3.1 Revisão de sistemas dinâmicos no tempo contínuo e sua modelagem**

Recomenda-se o estudo das seguintes seções da referência [1]: 3.1, 3.6 a 3.7 e 3.10.

São recomendados os exercícios [1] B.3.7 a B.3.12, B.5.18 e B.5.19. Também são recomendados os exercícios da 2ª edição do livro [2]: B.2.1 a B.2.4, B.2.6, B.2.9 a B.2.11, B.2.14 e B.2.15.

### **3.2 Revisão de equação de estado**

A abordagem por equação de estado é utilizada em várias seções do capítulo 3 do livro [1]. Recomenda-se, especialmente, as seções 3.4 e 3.5.

Exercícios recomendados: B.3.4 a B.3.6.

### **3.3 Autovalores, estabilidade, controlabilidade e observabilidade de sistemas em tempo contínuo**

Para o estudo introdutório desses conceitos referentes a sistemas em tempo contínuo recomenda-se a leitura parcial das seguintes seções da referência [1]: 11.1, 11.2, 11.6 e 11.7.

Exercícios recomendados: B.11.1, B.11.2, B.11.4, B.11.10 a B.11.17.

### **3.4 Realimentação de estado**

A realimentação de estado de sistemas em tempo contínuo é apresentada nas seções 12.1 a 12.4 da referência [1].

Exercícios recomendados: B.12.3 a B.12.7 e B.12.15.

### **3.5 Observadores de estado**

Para o estudo de observadores de estado de sistemas em tempo contínuo recomenda-se parte das seções 12.5 e 12.6 da referência [1].

Exercícios recomendados: B.12.8, B.12.10 e B.12.11.

### **3.6 Introdução ao controle digital**

Recomenda-se as seções 1.1 a 1.5 do livro [6]. Naturalmente outros livros de Controle Digital também apresentam capítulos introdutórios que podem contribuir para orientar o aluno no estudo desta disciplina.

### **3.7 Sinais e sistemas em tempo discreto**

Recomenda-se o capítulo 1 e as seções 2.0 a 2.4 do livro [5].

### **3.8 Equações a diferenças**

Recomenda-se a seção 2.5 de [5] e as seções 2.1 e 2.2 de [6].

### **3.9 Transformada z**

Inicialmente deve-se estudar a transformada de Fourier de sinais discretos nas seções 2.6 e 2.7 do livro [5]. Então passa-se à transformada z e suas propriedades que são bem apresentadas nas seções 3.0, 3.1, 3.3, 3.4 e 3.5 [5].

### **3.10 Amostragem de sinais do tempo contínuo**

Recomenda-se as seções 4.0 a 4.3 do livro [5]. O fenômeno de *aliasing* e os filtros *antialiasing* são bem descritos na seção 7.4 do livro [7].

### **3.11 Função de transferência de sistemas em tempo discreto**

Recomenda-se as seções 2.3 a 2.3.4 do livro [6].

### **3.12 Critério de estabilidade de Jury**

Recomenda-se a seção 2.3.5 do livro [6].

### **3.13 Sistemas do tempo contínuo com sinais amostrados e equação de estado**

Recomenda-se as seções 2.4 a 2.4.4 do livro [6].

### **3.14 Resposta dinâmica a análise de sinais do tempo discreto**

Recomenda-se a seção 2.5 do livro [6].

### **3.15 Noções básicas sobre filtros digitais**

O estudo de filtragem digital de sinais não está no escopo desta disciplina. No entanto, alguns aspectos sobre filtros digitais são abordados em tópicos anteriores a este. Recomenda-se que o aluno interessado nessa área utilize o livro [5].

### **3.16 Conversão de controladores do tempo contínuo para o tempo discreto**

Recomenda-se as seções 4.1 a 4.4.1 e 4.5 do livro [6].

### **3.17 Controladores PID digitais**

A seção 8.5 do livro [7] descreve diversos aspectos de grande interesse para a implementação de controladores PID digitais. Uma apresentação mais breve é feita na seção 5.8 do livro [6].

### **3.18 Diagrama do lugar das raízes**

Recomenda-se as seções 5.1 a 5.4 do livro [6].

### **3.19 Métodos de resposta em frequência para o projeto de controladores digitais**

Recomenda-se as seções 5.5 e 5.6 do livro [6].

### **3.20 Aspectos de implementação de controladores digitais**

Ao longo do curso serão discutidos tópicos selecionados dos capítulos 7 e 10 do livro [6] e de diversos capítulos do livro [15].

## 4 Consultas ao Professor e Outras Informações

As consultas ao professor podem ser feitas em horários a serem divulgados na *homepage* da disciplina. Os alunos também podem consultar o professor através dos e-mails:

`jpaulo@lee.eng.uerj.br` e `jpaulo@uerj.br`

Para obter mais informações (datas das provas, trabalhos, listas de exercícios, etc.), o aluno deverá consultar assiduamente a *homepage* da disciplina.