



**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Centro Tecnológico**  
**Departamento de Engenharia Elétrica**

### **PROGRAMA DE SISTEMAS REALIMENTADOS - 2024/1**

Professores: José Leandro Félix Salles e Celso Jose Munaro  
e-mail: jose.salles@ufes.br , celso.munaro@ufes.br

#### **Ementa:**

Sistemas realimentados contínuos e discretos. Critérios de desempenho e métodos de sintonia de controladores em geral. O método do lugar das raízes para análise e síntese de sistemas realimentados. Análise de sistemas monovariáveis no domínio da frequência: Diagramas de resposta em frequência e análise de estabilidade, critério de Nyquist. Compensação ou projeto de controladores clássicos no domínio da frequência e do tempo, para sistemas contínuos e discretos. Controle por realimentação de estados e observadores de estados para sistemas contínuos e discretos.

**Carga Horária Semanal : 4hs**

#### **Objetivos:**

Projetar controladores PID usando métodos de sintonia e baseados em modelo de referência. Analisar sistemas de controle e projetar controladores PID usando o método do lugar das raízes e da resposta em frequência. Projetar controladores PID com dois graus de liberdade. Projetar controladores usando realimentação de estados para sistemas lineares e multivariáveis. Utilizar o Software Matlab para análise e projeto de controladores.

#### **Metodologia:**

O curso será desenvolvido através de aulas presenciais, com os materiais disponibilizados no google classroom. Este mesmo ambiente será utilizado para a entrega dos trabalhos computacionais.

#### **Recursos**

Quadro negro e giz e retroprojetor para apresentação de slides. O Matlab/simulink será usado para realização dos trabalhos computacionais e para expor tópicos da disciplina.

Aula	Data	Item	Conteúdo	Comentário
		<b>1</b>	<b>Introdução</b>	
1	12/03	1.1	Introdução à disciplina e sua metodologia. Revisão do Matlab e uso de live scripts	
2	14/03	1.2	O problema de controle; configurações de controle	
3	19/03	1.3	Especificações de controle e controlador PID	EP1
		<b>2</b>	<b>Métodos de sintonia de PID</b>	
4	21/03	2.1	Métodos de sintonia: Síntese direta	EP2
5	26/03	2.2	Métodos de sintonia: IMC	EP3
6	28/03	2.3	Métodos de sintonia: Ziegler (métodos 1 e 2)	EP4
7	02/04	2.4	Controle feedforward	EP5
		<b>3</b>	<b>O método do lugar das raízes</b>	
8	04/04	3.1	O método do lugar das raízes	
9	09/04			<b>Prova 1: Introdução e métodos de sintonia</b>
10	11/04	3.1	O método do lugar das raízes	EP6
11	16/04	3.1	O método do lugar das raízes para sistemas discretos	EP7
12	18/04	3.2	Projeto PD via LR	EP8
13	23/04	3.3	Projeto PI via LR	EP9
14	25/04	3.4	Projeto PID via LR	EP10
		<b>4</b>	<b>Resposta em frequência</b>	
15	30/04	4.1	Resposta frequência: gráfico polar	EP11 <b>T1 : projeto PID via LR</b>
16	02/05	4.2	Resposta frequência: Critério de Nyquist	EP12
17	07/05			<b>Prova 2: O Método do LR e projeto de PID via LR</b>
18	09/05	4.2	Resposta frequência: Critério de Nyquist	EP13
19	14/05	4.2	Resposta frequência: Critério de Nyquist	EP14
20	16/05	4.3	Resposta frequência: Estabilidade relativa	EP15
21	21/05	4.4	Resposta frequência: Gráfico de Bode	EP16
22	23/05	4.4	Resposta frequência: Gráfico de Bode	EP17
23	28/05	4.5	Resposta frequência: Estabilidade relativa e sistemas de fase não mínima	EP18
24	04/06	4.6	Projeto PI via Bode	EP19
25	06/06	4.7	Projeto PD via Bode	EP20
26	11/06	4.8	Projeto PID via Bode	EP21
		<b>5</b>	<b>Espaço de estados</b>	
27	13/06	5.1	Revisão espaço de estados	EP22 <b>T2: projeto PID via Bode</b>
28	18/06	5.2	Controlabilidade e realimentação de estados	EP23

29	20/06			<b>Prova 3: Resposta em frequência e projeto do PID via Bode</b>
30	25/06	5.3	Realimentação integral de estados	EP24
	27/07			EP25
	04/07			<b>T3: projeto usando realimentação de estados</b>
	12/07			<b>Prova final</b>

### Avaliação

A avaliação será feita através de 3 trabalhos computacionais (T1 a T3) feitos individualmente, usando o Matlab; 3 provas feitas em sala de aula (P1 a P3); exercícios propostos aos alunos (EP) que serão entregues em datas específicas e deverão ser apresentados em dupla na sala de aula. A média parcial será composta por:

$$\text{Média parcial} = 0,5 \times (P1+P2+P3)/3 + 0,3 \times (T1+T2+T3)/3 + 0,2(\text{Média de EP}).$$

### Observações:

**Trabalhos:** devem ser entregues apenas no google class em formato pdf, e não são aceitos se enviados por email. Trabalhos atrasados são penalizados pela expressão  $P = \exp(-h/48)$ , onde h são as horas de atraso. Exemplo:  $h=24h$   $P=0.60$ , ou seja, 60% da nota.

**Exercícios propostos:** serão sorteados no início das aulas e devem ser entregues em formato pdf no google class até a data especificada, quando serão apresentados na sala de aula (15 min) pelo grupo de 2 participantes. Podem ser feitos usando live scripts do Matlab. Os grupos podem trocar os exercícios (e as datas) havendo comum acordo e comunicando o professor (caso de doença, etc).

### Bibliografia:

#### Principal

Kuo, Benjamin C. , Automatic Control Systems, Prentice-Hall International, 10 th edition, McGraw-Hill (livro texto), (2017).

#### Complementar

- Ogata, K. Engenharia de Controle Moderno, 4ª edição. Prentice Hall, São Paulo, 2003.
- Seborg, Dale E.; Edgar, Thomas F.; Mellicamp, Duncan E ; Doyle III, Francis J. Process Dynamics and Control, John Wiley & Sons, 3ª ed. 2011.
- Astrom, Karl J.; Hagglund, Tore. Advanced PID Control. ISA, 2006.

