



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Mecânica

Rodovia BR 050, KM 78, Bloco 1D, 2º andar - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 2512-6779/6778 - www.mecanica.ufu.br - femec@mecanica.ufu.br



## PLANO DE ENSINO

### 1. IDENTIFICAÇÃO

Componente Curricular:	Controle de Sistemas Lineares						
Unidade Ofertante:	FEMEC						
Código:	FEMEC42060	Período/Série:	6	Turma:	V*		
Carga Horária:				Natureza:			
Teórica:	60	Prática:	15	Total:	75	Obrigatória:	Optativa( )
Professor(A):	Pedro Augusto Queiroz de Assis				Ano/Semestre:	2023/1	
Observações:							

### 2. EMENTA

Conceitos fundamentais: Sistemas lineares, linearização, diagrama de blocos e diferenças entre as estruturas de controle em malha aberta e fechada. Aplicações industriais. Função de transferência. Polos e zeros Estabilidade de sistemas dinâmicos. Método do lugar geométrico das raízes (LGR). Técnicas de projeto de controlador no LGR. Controlador Proporcional-Integral-Derivativo. Resposta em frequência de sistemas lineares. Diagramas de Bode e de Nyquist. Análise e projeto de controladores utilizando a resposta em frequência. Representação de sistemas no espaço de estados. Projeto de controlador e observador no espaço de estados.

### 3. JUSTIFICATIVA

Segundo o Projeto Pedagógico do Curso - PPC (página 33) um dos objetivos do curso é "Fornecer uma formação multidisciplinar contemplando os conceitos básicos das várias áreas afeitas à engenharia mecânica, eletroeletrônica e computação incluindo, microprocessadores, controle de máquinas e processos via computador". Portanto, a presente disciplina é de fundamental importância para que o estudante entenda como é feito o controle de processos, base importante para a futura atuação do engenheiro mecatrônico na área de automação Industrial e de controle.

### 4. OBJETIVO

**Objetivo Geral:** Fornecer ao estudante um conhecimento fundamental da área de controle de sistemas lineares a tempo contínuo envolvendo a teoria de controle clássico e moderno.

**Objetivos Específicos:** Projetar sistemas de controle automático para aplicação em sistemas mecânicos e eletromecânicos utilizando o Lugar Geométrico das Raízes (LGR), a resposta em

frequência e a representação no espaço de estados. Empregar ferramentas computacionais para simular a operação de sistemas em malha fechada. Aplicar estes conhecimentos em sistemas lineares reais de modo a atingir os requisitos de projeto.

## 5. PROGRAMA

### 5.1. PROGRAMA DE ATIVIDADES – AULAS TEÓRICAS

Data	Conteúdo
07/03/23	<p>Introdução sobre sistemas de controle automático: Histórico. Aplicações. Definição do que é um problema de controle e dos elementos envolvidos.</p> <p>Apresentação do plano de curso.</p> <p>Instruções para elaboração do projeto.</p>
10/03/23	<p>Sistemas lineares, não lineares e linearização.</p> <p>Sistemas variantes e invariantes no tempo.</p> <p>Início de revisão sobre Transformada de Laplace.</p>
14/03/23	<p>Transformada Inversa de Laplace. Expansão em frações parciais.</p> <p>Resolução de equações diferenciais.</p>
17/03/23	<p>Definição de função de transferência.</p> <p>Diagramas de blocos.</p> <p>Sistemas de controle automático em malha aberta e fechada.</p> <p>Comparação entre sistemas em malha aberta e fechada.</p>

21/03/23	<p>O conceito de estabilidade.</p> <p>A relação entre a resposta dinâmica e a localização dos polos.</p>
24/03/23	<p>Análise de sistemas lineares no domínio do tempo.</p> <p>Análise da resposta de sistemas de 1ª ordem à entradas degrau e rampa.</p>
28/03/22	<p>Análise da resposta de sistemas de 2ª ordem à entrada degrau.</p> <p>Relação entre a localização polos do sistema no plano complexo e a resposta temporal.</p>
<b>Questionário sobre as aulas anteriores (31/03/23)</b>	
04/04/23	<p>Tipos de sistema. Erro de regime estacionário.</p> <p>Ajuste de ganho para adequação de tal erro.</p>
11/04/23	<p>Método do Lugar Geométrico das Raízes. Posicionamento de polos e zeros. Polos dominantes.</p>
14/04/23	<p>Ajuste de ganho proporcional utilizando o LGR.</p> <p>Projetos de compensadores simples a partir do LGR.</p>
18/04/23	<p>Projeto de compensadores por avanço e/ou atraso de fase no LGR.</p>
<b>Questionário sobre as aulas anteriores (25/05/23)</b>	

28/04/23	Controle PID: composição. Regras de sintonia para controladores PID.
02/05/23	Resposta em frequência de sistemas lineares. Diagrama de Bode.
05/05/23	Margens de estabilidade relativa. Critérios de desempenho do sistema no domínio da frequência. Ajuste de ganho no domínio da frequência.
09/05/23	Diagrama de módulo em dB x ângulo de fase. Carta de Nichols-Black.
12/05/23	Projeto de compensadores por avanço e/ou atraso de fase utilizando a resposta em frequência.
<b>Questionário sobre as aulas anteriores (16/05/23)</b>	
19/05/23	Diagrama polar. Princípio do argumento. Critério de estabilidade de Nyquist – parte 1.
23/05/23	Critério de estabilidade de Nyquist – parte 2.

**Questionário sobre as aulas anteriores (26/05/23)**

30/05/23	Representação de sistemas no espaço de estados. Relação entre o espaço de estados e a função de transferência.
02/06/23	Projeto de controlador por realimentação de estados. Controlabilidade de sistemas lineares.
06/06/23	Observadores de estado e observabilidade. Regras para ajuste de observadores de estado.
09/06/23	Projeto de sistemas reguladores com observadores de estado. Princípio da superposição.
13/06/23	Projeto de sistemas controladores com observadores de estado.

**Questionário sobre as aulas anteriores (16/06/23)****Reposição de provas (20/06/23)****Prova substitutiva (23/06/23)****5.2. PROGRAMA DE ATIVIDADES ASSÍNCRONAS – AULAS PRÁTICAS**

Turmas/Datas				Conteúdo
VF – Mec e Aero	VE - Mec e Aero	VD - Aero	VC – Mec e Aero	

14/03/23	21/03/23	17/03/23	24/03/23	Introdução à programação em Arduino.
28/03/23	04/04/23	31/03/23	14/04/23	Verificação das vantagens da realimentação.
11/04/23	18/04/23	28/04/23	05/05/23	Ensaio com sistemas de primeira e segunda ordem.
25/04/23	02/05/23	<b>09/05/23</b>	12/05/23	Projeto de controle utilizando o LGR para sistemas instáveis.
16/05/23	23/05/23	19/05/23	26/05/23	Controlador PID.
30/05/23	06/06/23	02/06/23	09/06/23	Identificação e projeto de controlador utilizando a resposta em frequência.
20/06/23	27/06/23	16/06/23	23/06/23	Projeto de controlador e de observador utilizando o espaço de estados.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. DESCRIÇÃO DE ATIVIDADES

O curso será composto por aulas teóricas e práticas, e outras tarefas. A Tabela 1 detalha como será ministrado o curso.

Tabela 1 – Descrição de atividades do curso.

<b>Tipo de atividade</b>	<b>Descrição</b>
Aulas teóricas	Aulas síncronas para apresentação do conteúdo e resolução de exemplos
Aulas práticas	Experimentos para ilustração de conceitos com auxílio de roteiro e códigos preenchidos parcialmente. Tais aulas serão realizadas com auxílio de um Arduino

Outras tarefas	Resolução de exercícios e estudos individuais
----------------	---

## 6.2 AVALIAÇÃO E ASSIDUIDADE

Haverá aferimento de presença ao longo das aulas teóricas e práticas.

A avaliação do aproveitamento do curso será composta por realização de questionários e atividades em aulas práticas. A pontuação de cada atividade é detalhada na Seção 7. Haverá uma prova substitutiva, cujo conteúdo está detalhado na próxima seção. **Os questionários serão realizados nas datas apontadas na Seção 5.**

## 6.3 PROVA SUBSTITUTIVA

No horário de aula, na data apontada na Seção 5, será aplicada uma prova substitutiva. A nota de tal prova substituirá **dois questionários de pior nota**. O conteúdo de tal prova será **toda matéria ministrada no curso**.

**Somente poderão fazer a prova substitutiva discentes com nota final menor que 60 pontos. Em caso de aprovação, a nota final será 61 pontos.**

## 7. AVALIAÇÃO

A tabela a seguir mostra a distribuição dos pontos da disciplina.

Tabela 2 – Pontuação no sistema de avaliação

Item de avaliação	Quantidade	Valor unitário	Valor total do item	Obs.
Questionário	5	16,5	82,5	Individual
Atividade de aula prática	7	2,5	17,5	-
<b>TOTAL</b>			<b>100</b>	

\* Não haverá reposição de aulas práticas.

## 8. BIBLIOGRAFIA

### BÁSICA

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson, 2011. 824 p.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 5<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 706 p.

FRANKLIN, G F.; POWELL, J. D.; EMAMI-NAEINI, A. **Sistemas de controle para engenharia**. 6<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 702 p.

### COMPLEMENTAR

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. 8<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 659 p.

DISTEFANO, Joseph J.; STUBBERUD, Allen R.; WILLIAMS, Ivan J. **Feedback and control systems**. McGraw-Hill Education, 2012.

D'AZZO, John Joachim; HOUPIS, Constantine Dino. **Linear control system analysis and design: conventional and modern**. McGraw-Hill Higher Education, 1995.

KUO, Benjamin C.; GOLNARAGHI, Farid. **Automatic control systems**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.

DOYLE, John C.; FRANCIS, Bruce A.; TANNENBAUM, Allen R. **Feedback control theory**. Courier Corporation, 2013.

ASSUNÇÃO, E.; TEIXEIRA, M. **Controle Linear I. Parte A - Sistemas Contínuos no Tempo**. 2013. Acessado em 2020. Link para acesso:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lpc1672/apostila-de-controle-linear-i.pdf>

## 9. APROVAÇÃO

Aprovado em reunião do Colegiado realizada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Coordenação do Curso de Graduação: \_\_\_\_\_



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Augusto Queiroz de Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/01/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?)





[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](#), informando o código verificador **4225991** e o código CRC **393F7DA0**.

---

**Referência:** Processo nº 23117.005106/2023-92

SEI nº 4225991