



PLANO DE ENSINO (Período Letivo Suplementar Excepcional)

Disciplina: Tópicos Especiais Automação e Controle I: Sistemas de Controle Moderno - SCM		
Período: 2021/1	Curso(s): (●) Mestrado (●) Doutorado	Unidade: FEELT
Código: EL010H	Carga Horária: 54 horas-aula	Créditos: 3,0
Professor: Aniel Silva de Moraes		
Ementa:	Teoria básica e aplicações à Engenharia de Controle e Automação de técnicas de Sistemas de Controle Modernos.	
Justificativa:	Sistemas de Controle são disciplinas fundamentais na formação de qualquer Engenheiro. São de natureza multidisciplinar, contemplam cálculo, física, elétrica, mecânica, química, sistemas digitais e eletrônica. A modelagem e eventualmente o projeto de compensadores demanda uma profunda revisão de conceitos fundamentais dos cursos de engenharia.	
Objetivos:	Objetivo Geral: <ol style="list-style-type: none">1. Ao final da disciplina o estudante será capaz de analisar, modelar, projetar e aplicar as teorias de Sistemas de Controle Modernos.2. Utilizar ferramentas computacionais de análise de sistemas de controle.	
Programa:	Dimensão Prática <ol style="list-style-type: none">1. Variáveis de Estado: projeto e análise<ol style="list-style-type: none">1.1. Limitações dos métodos clássicos e vantagens da análise por variáveis de estado,1.2. O conceito de Estado1.3. Modelo de Estados de um sistema linear: Contínuo e Discreto1.4. Representação por diagrama de Estados1.5. Não unicidade da representação por modelo de Estados1.6. Linearização da equação de Estados2. Representação em Espaço de Estados<ol style="list-style-type: none">2.1. Representação por variáveis de Estado utilizando variáveis físicas2.2. Representação por espaço de Estado utilizando variáveis de fase2.3. Representação por espaço de Estado utilizando variáveis canônicas2.4. Modelo de estado por programação em cascata3. Álgebra Linear e Matriz de transferência<ol style="list-style-type: none">3.1. Introdução;3.2. Definição de Matriz;	

- 3.3. Operações elementares com Matrizes;
- 3.4. Inversa de uma Matriz;
- 3.5. Derivação da Matriz de Transferência a partir do modelo de Estados;
- 3.6. Autovalores e Autovetores;
- 3.7. Matriz Modal M;
- 3.8. Diagonalização;
- 3.9. Autovetores generalizados;
4. Solução para a Equação de Estados
 - 4.1. Introdução
 - 4.2. Revisão da solução pelo método clássico
 - 4.3. Solução da Equação não homogênea
 - 4.4. Propriedades da Matriz de transição de Estados
 - 4.5. Solução da equação de Estado pelo método da transformada de Laplace
 - 4.6. Cálculo da matriz de transição de estados
 - 4.7. Método da transformada de Laplace
 - 4.8. Método da transformação de similaridade
 - 4.9. Controlabilidade e Observabilidade
 - 4.10. Controlabilidade
 - 4.10.1. Condição para Controlabilidade de estado nos planos S e Z
 - 4.11. Observabilidade
 - 4.11.1. Condição para Observabilidade de estado nos planos S e Z
 - 4.12. Discretização de equações de Espaço de Estado contínuo
5. Controle desacoplado e descentralizado
 - 5.1. Introdução
 - 5.2. Ganho (Albertos Chap 3)
 - 5.2.1. Ganho estático;
 - 5.2.2. Ganho instantâneo;
 - 5.2.3. Ganho direcional;
 - 5.3. Controle Multi malhas: Pareamento
 - 5.3.1. Metodologia do Relative Gain Array (RGA);
 - 5.4. Desacoplamento
 - 5.4.1. Desacoplamento por Feedforward;
 - 5.4.2. Desacoplamento por Realimentação;
 - 5.4.3. Desacoplamento SVD;
6. O projeto de sistemas realimentados por variáveis de Estado
 - 6.1. Introdução;
 - 6.2. Projeto de controlador por realimentação completa de estados;
 - 6.3. Projeto de Observador de Estados;
 - 6.4. Controle por realimentação completa de estados integrado com observador;
 - 6.5. Entrada de referência;
 - 6.6. Projeto por modelo interno: Controle com estado aumentado, Integrador;
7. Sistemas de Controle Ótimo
 - 7.1. Introdução;
 - 7.2. Função Custo;
 - 7.3. Controlador Ótimo: Regulador Linear Quadrático (LQR);
 - 7.4. Filtro de Kalman: Estimador Linear Quadrático (LQE);
 - 7.5. Controlador Ótimo: Gaussiano Quadrático Linear (LQG);

Dimensão Prática (aulas remotas síncronas)

1. Introdução ao Matlab - Script e Workspace;
2. Simulink;
3. Linearização - Case Study 2.12;
4. Simulação com Espaço de Estados;
5. Análise de Sistemas Lineares;
6. Projeto e Simulação de Controle Desacoplado e Descentralizado;
7. Controle Integral por Realimentação de Estados;
8. Controle Discreto por Realimentação de Estados
9. Controlador Ótimo - Regulador Linear Quadrático (LQR);
10. Linear Quadratic Gaussian (LQG)

Metodologia:

Para a presente componente curricular, a ser ministrada em formato remoto, no âmbito do período letivo suplementar emergencial, serão adotadas aulas em duas modalidades distintas de comunicação: **síncrona** (todos os alunos simultaneamente conectados à internet sob a regência do professor) e **assíncrona** (contemplando atividades remotas *off-line*). Para tal efeito, serão consideradas as seguintes mídias:

- **Modalidade síncrona (on-line):** Aulas expositivas através da plataforma *Microsoft Teams*.
- **Modalidade assíncrona (off-line):** *Youtube* (vídeo aulas), e-mails, *Microsoft Teams* e aplicativos de mensagens.
 - **Canal no Youtube:**
https://www.youtube.com/playlist?list=PLjhxDly7tNQp2CkUHvAKPciOsnuYk_f
 - **Pasta do curso de Sistemas de Controle Moderno (OneDrive):**
https://ufubr-my.sharepoint.com/:f/g/personal/aniel_ufu_br/EpPCCuwAghhluzFtfJDr39QBhWQ0k5AoOdHQ_v9W9pPoPg?e=7G7DDW
 - **Microsoft Teams:** Para ser cadastrado no canal da disciplina no *Microsoft Teams* o estudante deve enviar e-mail para aniel@ufu.br informando seu e-mail institucional.

O atendimento ao aluno será realizado de forma remota, seja durante as aulas na modalidade síncrona, ou através de *e-mail*, *aplicativos de mensagens* ou reuniões individuais através da plataforma *Microsoft Teams*, em horários específicos a serem definidos pelo professor.

- Os *Laboratórios* serão lecionados de forma síncrona utilizando o MATLAB. Na data presente na tabela acontece o encontro síncrono, no qual os estudantes e o professor vão discutir o conteúdo da aula, dúvidas serão sanadas e exemplos serão apresentados.

- As aulas síncronas acontecem nas sextas-feiras das 15h40 às 17h20.

Tabela 1 - Aulas Síncronas com 22 ha (2 ha/semana).

Semana	Conteúdo
01	Aula Síncrona 1 - Introdução e Apresentação do Curso;
02	Aula Síncrona 2 - Lab. 02 - Introdução ao Matlab - Script, Workspace;
03	Aula Síncrona 3 - Lab. 03 – Simulink;
04	Aula Síncrona 4 - Lab. 04 - Linearização

05	Aula Síncrona 5 - Lab. 06 - Simulação em Espaço de Estados;
06	Aula Síncrona 6 - Lab. 07 - Análise de Sistemas Lineares;
07	Aula Síncrona 7 - Lab. 08 - Simulação de Controle Desacoplado e Descentralizado;
08	Tirar dúvidas sobre a Prova 1
09	Aula Síncrona 8 - Lab. 11 - Controle Integral por Realimentação de Estados;
10	Entrega da 1ª Prova de SCM via Microsoft Teams (47,5 pts)
11	Aula Síncrona 9 - Lab. 12 - Controle Discreto por Realimentação de Estados c/ Observador;
12	Aula Síncrona 10 - Lab. 13 – Linear Quadratic Regulator (LQR) + Observador;
13	Aula Síncrona 11 - Lab. 14 - Linear Quadratic Gaussian (LQG) – LQR + KF;
14	Tirar dúvidas sobre a Prova 2 Entrega da 2ª Prova de SCM via Microsoft Teams (32,5 pts)
15	Aula de dúvidas do trabalho 2
16	Entregar e o Apresentar o Trabalho 2 via Microsoft Teams (20 pts)

Tabela 2 – Atividades Assíncronas com 32 ha (2 ha/semana).

Semana	Conteúdo
01	Vídeo Aula 02 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos (Mecânicos e elétricos);
02	Vídeo Aulas 03 e 04 – Revisão de Álgebra Linear;
03	Vídeo Aula 05 - Descrição no Espaço de Estado Contínuo; Vídeo Aula 06 - Matriz de Transferência;
04	Vídeo Aulas 07 e 08 - Representação de Sistemas Dinâmicos em Equações de Estado;
05	Vídeo Aula 09 - Descrições no Espaço de Estados Discreto; Vídeo Aula 10 - Análise de Sistemas Lineares;
06	Vídeo Aula 11 - Controle Desacoplado e Descentralizado;
07	Fazer a Prova 1
08	Vídeo Aula 12 - Controle por Realimentação de Estados; Vídeo Aula 13 – Controle por Realimentação de Estados com Integrador;
09	Vídeo Aula 14 – O Observador de Estados;
10	Vídeo Aula 15 – Controle Discreto por Realimentação de Estados;
11	Vídeo Aula 17 – Controlador Ótimo – Linear Quadratic Regulator (LQR);
12	Vídeo Aula 18 - Linear Quadratic Estimator (LQE): Kalman Filter;
13	Vídeo Aula 19 - Linear Quadratic Gaussian (LQG) e Extended Kalman Filter (EKF);
14	Fazer a Prova 2
15	Fazer o Trabalho 2
16	Apresentar o Trabalho 2

OBS: A validação da assiduidade dos discentes será realizada a partir da anotação em controle específico (planilha Excel) da presença dos mesmos nas aulas

expositivas na modalidade síncrona, assim como pelo atendimento aos prazos de entrega dos itens de avaliação.

Avaliação:	<p>A metodologia de avaliação individual será baseada em duas estratégias:</p> <p>1 – Provas com consulta:</p> <ul style="list-style-type: none">- Serão 2 (duas) provas com consulta valendo 47,5 e 32,5 pontos: Serão cobradas resoluções de problemas e Simulações computacionais. As mesmas devem ser submetidas via Microsoft Teams, não serão aceitas atividades em atraso. <table border="1" data-bbox="411 461 1362 544"><tr><td>30/04</td><td>Entrega da 1ª Prova de SCM via Microsoft Teams (47,5 ptos)</td></tr><tr><td>25/06</td><td>Entrega da 2ª Prova de SC via Microsoft Teams (32,5 ptos)</td></tr></table> <p>2 – Trabalhos:</p> <ul style="list-style-type: none">- Um Trabalho Final utilizando simulação via SIMULINK: Consistirão no projeto e controle de sistemas não lineares SISO e MIMO, valendo 20 pontos. O mesmo deve ser submetido via Microsoft Teams, não serão aceitas atividades em atraso. <table border="1" data-bbox="411 734 1362 779"><tr><td>02/07</td><td>Entregar o Trabalho 2 via Microsoft Teams (20 ptos)</td></tr></table> <p>- Valor total das atividades será de 100 pontos.</p>	30/04	Entrega da 1ª Prova de SCM via Microsoft Teams (47,5 ptos)	25/06	Entrega da 2ª Prova de SC via Microsoft Teams (32,5 ptos)	02/07	Entregar o Trabalho 2 via Microsoft Teams (20 ptos)
30/04	Entrega da 1ª Prova de SCM via Microsoft Teams (47,5 ptos)						
25/06	Entrega da 2ª Prova de SC via Microsoft Teams (32,5 ptos)						
02/07	Entregar o Trabalho 2 via Microsoft Teams (20 ptos)						
Detalhamento de Recursos Didáticos:	<p>Para o pleno acompanhamento das atividades a serem desenvolvidas, o discente necessitará:</p> <ol style="list-style-type: none">1) Acesso à internet;2) Computador, <i>tablet</i> ou celular;3) Matlab; <p>Para a realização das atividades previstas nesta componente curricular, serão utilizados os seguintes recursos:</p> <ol style="list-style-type: none">1) Plataformas de comunicação on-line Microsoft Teams;2) Youtube;3) E-mails;						

Referências:	<ul style="list-style-type: none">▪ As bibliografias abaixo estão disponíveis na pasta do curso. <p>BIBLIOGRAFIA BÁSICA:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Dorf, Richard C.; Bishop, Robert H. Sistemas de Controle Modernos, Rio de Janeiro: LTC, 2009. 8ª edição.2. Albertos Perez, P.; Sala, Antonio. Multivariable Control Systems: An Engineering Approach. Springer, 2004.3. Gene F. Franklin, J. David Powell, Abbas Emami-Naieni. Sistemas de Controle para Engenharia, Porto Alegre: Bookman, 2013.4. OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. Pearson Education do Brasil, 2003. <p>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Skogestad, S.; Postlethwaite, Ian. Multivariable Feedback Control: Analysis and design. Second edition. Wiley, 2001.2. Norman S. Nise. Engenharia de Sistemas de Controle. 3a Edição. Editora LTC, 2002.3. AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.4. Oppeinheim, Alan V.; Willsky, Allan S. Sinais e sistemas, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 2ª Edição.
---------------------	---

	<ol style="list-style-type: none">5. OGATA, K. Discrete-time Control Systems. 2nd edition. Prentice-Hall, 1995.6. CHEN, C. T. Linear System Theory and Design, Oxford University Press, Oxford, England, 1998.
--	---

Plano de Ensino aprovado pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica em **XX/XX/2020**, conforme processo **SEI XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX**.