

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Curso: <b>ENGENHARIA MECÂNICA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                |
| Unidade Curricular: <b>CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                |
| Professor(es): Douglas Ruy Soprani da Silveira Araújo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                |
| Período Letivo: 7º                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Carga Horária: <b>60 horas</b> |
| <b>OBJETIVOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                |
| <p><b>Geral:</b></p> <p>Fornecer aos estudantes de engenharia os conceitos básicos da teoria de controle.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer métodos de abordagem de um problema de controle e ferramentas matemáticas para análise do sistema e projeto de controladores lineares;</li> <li>• Compreender o funcionamento de sistemas de controle discretos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |
| <b>EMENTA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                |
| Introdução aos sistemas de controle automático. Representação de sistemas dinâmicos lineares no tempo e na frequência. Funções de transferência. Análise e projeto de sistemas de controle: Lugar das raízes. Sintonia de controladores PID. Respostas transientes para sistemas de controle em malha fechada. Critério de estabilidade. Utilização do “software” SCILAB para projetos de controle.                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                |
| <b>PRÉ-REQUISITO (SE HOVER)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                |
| Cálculo III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                |
| <b>CONTEÚDOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>CARGA HORÁRIA</b>           |
| <b>1 – INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE CONTROLE AUTOMÁTICO.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2h                             |
| <b>2 – TRANSFORMADA DE LAPLACE:</b><br><br>2.1 – Aplicação de Transformada de Laplace para resolução das equações diferenciais.<br>2.2 – Uso de tabelas de Transformada de Laplace Direta e Inversa.<br><br>2.3 – Teorema do valor Inicial e do valor Final.<br><br>2.4 – Expansão em Frações Parciais.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 4h                             |
| <b>3 – MODELAGEM MATEMÁTICA DE SISTEMAS DINÂMICOS LINEARES:</b><br><br>3.1 – Tipos de respostas: resposta em regime estacionário e resposta em regime transiente (transitório).<br>3.2 – Estabilidade: resposta natural e resposta forçada.<br>3.3 – Definição de instabilidade.<br>3.4 – Função de Transferência: definição de polo e zero, aplicação em circuitos elétricos, aplicação em sistemas mecânicos de translação e rotação, aplicação em sistemas térmicos;<br>3.5 – Resposta da saída da função de transferência em função dos polos: polos reais e negativos, polos reais e positivos, polos complexos conjugados com parte real negativa, polos imaginários | 6h                             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p>puros e polos complexos conjugados com parte real positiva.</p> <p><b>3.6</b> – Plotar gráficos por meio de “softwares”.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
| <p><b>4 – POLOS E ZEROS EM LAPLACE E NO TEMPO:</b></p> <p><b>4.1</b> – Contribuição dos polos e zeros na resposta do sistema em Laplace e no domínio do tempo.</p> <p><b>4.2</b> – Escrever a saída do sistema em termos gerais em Laplace e no tempo: identificar a resposta forçada e natural.</p> <p><b>4.3</b> – Comportamento dos sistemas de primeira ordem sem zero com entrada degrau: identificar a frequência exponencial, constante de tempo, tempo de subida e tempo de acomodação.</p>                                                                                                 | 2h |
| <p><b>5 – COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM SEM ZERO COM ENTRADA DEGRAU:</b></p> <p><b>5.1</b> – Definição geral dos sistemas por meio dos polos e gráficos da saída do sistema: criticamente amortecido, superamortecido, subamortecido e não amortecido.</p> <p><b>5.2</b> – Sistemas de segunda ordem geral: frequência natural, fração de amortecimento.</p> <p><b>5.3</b> – Sistemas subamortecidos: tempo de pico (sobressinal), ultrapassagem percentual, tempo de acomodação, tempo de subida, relação de polos para determinação dos tempos de subida e tempo de acomodação.</p> | 2h |
| <p><b>6 – REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS:</b></p> <p><b>6.1</b> – Diagramas de simulação, diagramas de blocos: somador, ponto de ramificação, redução do diagrama de blocos (série, paralelo, realimentação, movimentação de um ponto de soma para frente, movimentação de um ponto de soma para trás, movimentação de uma derivação para frente, movimentação de uma derivação para trás).</p> <p><b>6.2</b> – Diagramas de blocos com múltiplas entradas. Mostrar os diagramas de blocos por meio de “softwares” com as entradas e respectivas saídas.</p>                                             | 2h |
| <p><b>7 – REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS POR MEIO DE DIAGRAMAS DE FLUXO DE SINAL:</b></p> <p><b>7.1</b> – Converter diagrama de blocos em fluxo de sinal.</p> <p><b>7.2</b> – Regra de Mason.</p> <p><b>7.3</b> – Diagramas de fluxo de sinal de sistema de equações diferenciais.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2h |
| <p><b>8 – ESTABILIDADE:</b></p> <p><b>8.1</b> – Funções de transferências com polos no semiplano esquerdo do plano complexo, funções de transferências com polos no semiplano direito do plano complexo, funções de transferências com polos no eixo imaginário.</p> <p><b>8.2</b> – Definição de estabilidade conforme a resposta natural e com relação a resposta forçada.</p> <p><b>8.3</b> – Definição de estabilidade e instabilidade pela entrada limitada e saída limitada (BIBO).</p>                                                                                                       | 2h |
| <p><b>9 – ESTABILIDADE PELO CRITÉRIO ROUTH-HURWITZ:</b></p> <p><b>9.1</b> – Construção e interpretação da tabela de Routh, zero apenas na primeira coluna, uma linha inteira de zeros e determinação da estabilidade por meio de uma faixa de valores do ganho do sistema.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4h |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p><b>1 – ERRO EM REGIME PERMANENTE:</b></p> <p><b>10.1</b> – Definição para as entradas degrau, rampa e parábola.</p> <p><b>10.2</b> – Erros em termo da função de transferência: malha fechada e planta do processo (função de transferência do caminho à frente) em termos das entradas degrau, rampa e parábola.</p> <p><b>10.3</b> – Constante de erro estático e tipo do sistema.</p> <p><b>10.4</b> – Erros devidos às perturbações.</p> <p><b>10.5</b> – Erros com realimentação não unitária e com distúrbio.</p> <p><b>10.6</b> – Sensibilidade e erro em regime permanente.</p>                                                                                                                                                                                                                                          | 4h |
| <p><b>11 – MÉTODO DO LUGAR DAS RAÍZES:</b></p> <p><b>11.1</b> – Representação vetorial de números complexos, magnitude e fase da função de transferência.</p> <p><b>11.2</b> – Definição do lugar geométrico das raízes.</p> <p><b>11.3</b> – Propriedades do lugar geométrico das raízes.</p> <p><b>11.4</b> – Representação do lugar geométrico das raízes (número de ramos, simetria, segmento sobre o eixo real, ponto de início e término, comportamento no infinito).</p> <p><b>11.5</b> – Ponto de saída e entrada por meio de derivação e pelo método de transição.</p> <p><b>11.6</b> – Interseção com o eixo imaginário por meio do método de Routh-Hurwitz.</p> <p><b>11.7</b> – Ângulo de partida e chegada.</p> <p><b>11.8</b> – Sensibilidade.</p> <p><b>11.9</b> – Desenhar os gráficos por meio de “softwares”.</p> | 6h |
| <p><b>12 – PROJETO POR MEIO DE LUGAR GEOMÉTRICO DAS RAÍZES:</b></p> <p><b>12.1</b> – Compensadores ideais (integração pura e derivador puro).</p> <p><b>12.2</b> – Melhorando a resposta em regime permanente: compensador integral ideal (PI) e compensador atraso de fase.</p> <p><b>12.3</b> – Estrutura de um PI.</p> <p><b>12.4</b> – Melhorando a resposta transitória (transiente): compensação derivativo ideal e compensador avanço de fase. Estrutura de PD.</p> <p><b>12.5</b> – Melhorando a resposta em regime permanente e transitória: compensação proporcional, integrador e derivativo (PID) e avanço-atraso de fase.</p>                                                                                                                                                                                          | 6h |
| <p><b>13 – REALIZAÇÃO FÍSICA DA COMPENSAÇÃO:</b></p> <p><b>13.1</b> – Circuito ativo e passivo (estruturas PD, PI, PID, avanço de fase, atraso de fase e atraso-avanço de fase).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2h |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                      |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>14 – ATRASO DE TRANSPORTE:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                      |           |
| 14.1 – Tempo morto, função de transferência de primeira ordem e segunda ordem com tempo morto e aproximação de Padé.                                                                                                                                                                                |                                                                      | 2h        |
| 14.2 – Comparação de sistemas com atraso, com aproximação de Padé e sem atraso.                                                                                                                                                                                                                     |                                                                      |           |
| 14.3 – Influência na estabilidade do sistema.                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                      |           |
| 14.4 – Obter comparações com e sem atraso por meio de “softwares”.                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                      |           |
| <b>15 – ESPAÇO DE ESTADO:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                      |           |
| 15.1 – Definição e diferença entre transformada de Laplace e espaço de estado.                                                                                                                                                                                                                      |                                                                      | 5h        |
| 15.2 – Modelagem no espaço de estado de circuitos elétricos e mecânicos.                                                                                                                                                                                                                            |                                                                      |           |
| 15.3 – Conversão do espaço de estado para a função de transferência e da função de transferência para espaço de estado.                                                                                                                                                                             |                                                                      |           |
| 15.4 – Estabilidade no espaço de estado pelo critério de Routh-Hurwitz.                                                                                                                                                                                                                             |                                                                      |           |
| 15.5 – Solução no domínio do tempo (matriz de transição de estado).                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                      |           |
| 15.6 – Erro em estado permanente no espaço de estado.                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |           |
| 15.7 – Representação alternativa no espaço de estados: forma em cascata e diagrama de fluxo de sinal, forma paralela e diagrama de fluxo de sinal, forma canônica controlável e diagrama de fluxo de sinal, forma canônica observável e diagrama de fluxo de sinal.                                 |                                                                      |           |
| <b>16 – PROJETO NO ESPAÇO DE ESTADO:</b>                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                      |           |
| 16.1 – Projeto de controlador, controlabilidade, abordagens alternativas para o projeto do controlador (correspondência de coeficientes e através de transformação), projeto de observador (forma canônica observável), observabilidade (observabilidade por inspeção e matriz de observabilidade). |                                                                      | 9h        |
| 16.2 – Abordagens alternativas para projeto observador (via transformação e igualando coeficientes).                                                                                                                                                                                                |                                                                      |           |
| 16.3 – Projeto de erro em regime permanente via controle integral (projeto de controle integral).                                                                                                                                                                                                   |                                                                      |           |
| <b>Total</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                      | <b>60</b> |
| <b>METODOLOGIA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                      |           |
| Aulas Expositivas Interativas; Estudo em grupo com apoio de bibliografias; Aplicação de lista de exercícios; Atendimento individualizado                                                                                                                                                            |                                                                      |           |
| <b>RECURSOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                      |           |
| Quadro branco, retroprojeto e projetor de multimídia.                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |           |
| <b>AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM</b>                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                      |           |
| <b>Critérios</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Instrumentos</b>                                                  |           |
| Observação do desempenho individual verificando se o aluno identificou, sugeriu e assimilou as atividades solicitadas de acordo com as técnicas de aprendizagem previstas.                                                                                                                          | Provas, listas de exercícios e trabalhos envolvendo estudos de caso. |           |

### **BIBLIOGRAFIA BÁSICA**

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, c2011.

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de controle modernos**. 11. ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos, 2009.

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

### **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

HEMERLY, Elder Moreira. **Controle por computador de sistemas dinâmicos**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2000.

GEROMEL, José C. **Controle linear de sistemas dinâmicos: teoria, ensaios práticos e exercícios**. São Paulo: Blücher, 2011.

ASTRÖM, Karl J.; MURRAY, Richard M. **Feedback systems: an introduction for scientists and engineers**. New Jersey USA: Princeton University Press, 2008.

DISTEFANO, Joseph J. III. **Sistemas de controle**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GOLNARAGHI, M. F.; KUO, Benjamin C. **Automatic control systems**. 9. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, c2010.