



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE ELETROELETRÔNICA

CURSO: Controle Digital (EE414A)

PROFESSOR : Ginalber Luiz de Oliveira Serra

EMENTA DO CURSO

TEMA 1		REVISÃO SOBRE SISTEMAS DE CONTROLE	
	1.0	Revisão sobre sistemas de controle	
	1.1	<i>Introdução</i>	
	1.1.1	Componentes básicos de um sistema de controle	
	1.1.2	Exemplos de aplicações de sistemas de controle	
	1.1.3	Sistemas de controle em malha aberta	
	1.1.4	Sistemas de controle em malha fechada (realimentado)	
	1.2	<i>Realimentação e seus efeitos</i>	
	1.2.1	Efeito da realimentação no ganho global	
	1.2.2	Efeito da realimentação na estabilidade	
	1.2.3	Efeito da realimentação na sensibilidade	
	1.2.4	Efeito da realimentação nas perturbações externas ou ruído	
	1.3	<i>Tipos de sistemas de controle realimentados</i>	
	1.3.1	Sistemas de controle lineares vs não-lineares	
	1.3.2	Sistemas invariantes com o tempo vs variantes com o tempo	
	2.0	Fundamentos matemáticos	
	2.1	<i>Introdução</i>	
	2.2	<i>Conceitos sobre variável complexa</i>	
	2.2.1	Variável complexa	
	2.2.2	Funções de uma variável complexa	
	2.2.3	Função analítica	
	2.2.4	Singularidades e pólos de uma função	
	2.2.5	Zeros de uma função	
	2.3	<i>Equações diferenciais</i>	
	2.3.1	Equações diferenciais ordinárias lineares	
	2.3.2	Equações diferenciais ordinárias não-lineares	
	2.3.3	Equações diferenciais de primeira ordem: equações de estado	
	2.4	<i>Transformada de Laplace</i>	
	2.4.1	Definição da transformada de Laplace	
	2.4.2	Transformada inversa de Laplace	
	2.4.3	Teoremas importantes da transformada de Laplace	
	2.5	<i>Transformada inversa de Laplace mediante expansão em frações parciais</i>	

	2.6	<i>Aplicação da transformada de Laplace à solução de equações diferenciais ordinárias lineares</i>	
	2.7	<i>Teoria de matrizes</i>	
	2.7.1	Igualdade de matrizes	
	2.7.2	Soma e diferença de matrizes	
	2.7.3	Lei associativa de matrizes (soma e diferença)	
	2.7.4	Lei comutativa de matrizes (soma e diferença)	
	2.7.5	Multiplicação de matrizes	
	2.7.6	Regras de multiplicação de matrizes	
	2.7.7	Multiplicação por um escalar k	
	2.7.8	Inversa de uma matriz	
	2.7.9	Condicionamento de matrizes	
	2.8	<i>Forma matricial das equações de estado</i>	
TEMA 2		INTRODUÇÃO AO CONTROLE DIGITAL	
	3.0	Introdução ao controle digital	
	3.1	<i>Idéia básica de sistema de controle digital</i>	
	3.2	<i>Computador como elemento de controle</i>	
	3.3	<i>Sistema de controle digital de única malha</i>	
	3.4	<i>Controle digital vs controle analógico</i>	
	3.5	<i>Conversores de dados</i>	
	3.5.1	Chave de estado sólido	
	3.5.2	Conversor digital-analógico (D/A)	
	3.5.3	Conversor analógico-digital (A/D)	
	3.5.4	Circuito amostrador-segurador	
	3.5.5	Conversor A/D de aproximações sucessivas	
	3.5.6	Conversor A/D por rastreamento	
	3.5.7	Conversor A/D <i>flash</i>	
	3.6	<i>Tecnologia de microprocessadores</i>	
	3.6.1	Microcontrolador	
	3.6.2	Processador digital de sinais (DSP)	
	3.6.3	Controle de processos baseado em microprocessadores	
TEMA 3		REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS NO TEMPO DISCRETO	
	4.0	Equações a diferenças lineares e transformada-z	
	4.1	<i>Introdução</i>	
	4.2	<i>Equação a diferenças escalar</i>	
	4.3	<i>Transformada-z</i>	
	4.3.1	Definição da transformada-z	
	4.3.2	Relação entre a transformada de Laplace e a transformada-z	
	4.3.3	Teoremas associados à transformada-z	
	4.3.4	Transformada-z inversa	
	4.3.5	Método da expansão em frações parciais	
	4.4	<i>Solução de equações a diferenças via transformada-z</i>	
	4.5	<i>Função de transferência no domínio z e resposta ao impulso</i>	

	4.6	<i>Relação entre pólos no plano-z e a resposta temporal</i>	
	4.7	<i>Resposta em frequência de sistemas no tempo discreto</i>	
	4.8	<i>Relação entre pólos no plano s e z de funções amostradas</i>	
	4.9	<i>Teorema da convolução no tempo discreto</i>	
TEMA 4		PROJETO DE SISTEMAS DE CONTROLE DIGITAL	
	5.0	Projeto de sistemas de controle digital	
	5.1	<i>Introdução</i>	
	5.2	<i>Conversores A/D e D/A</i>	
	5.3	<i>Plantas no tempo contínuo monitoradas por um segurador de ordem zero com saída amostrada</i>	
	5.3.1	Sistemas com atraso de transporte	
	5.4	<i>Implementação de estratégias de controle digital</i>	
	5.5	<i>Equação característica de malha-fechada</i>	
	5.6	<i>Técnicas de projeto de controle digital clássico</i>	
	5.7	<i>Especificações de projeto de sistemas de controle digital clássico</i>	
	5.7.1	Especificações no domínio do tempo	
	5.7.2	Especificações de resposta em frequência em malha-aberta	
	5.7.3	Especificações de resposta em frequência em malha-fechada	
	5.7.4	Resposta ao degrau de sistemas de segunda ordem	
	5.7.5	Resposta em frequência de sistemas de segunda ordem	
	5.8	<i>Considerações de projeto de controle no tempo discreto</i>	
	5.9	<i>Efeitos de perturbação sobre o sistema em malha-fechada</i>	
	5.10	<i>Conceito de controlador dinâmico ou compensador</i>	
	5.11	<i>Estabilidade de sistemas de controle no tempo discreto</i>	
	5.11.1	Teste de Jury	
	5.11.2	Método do lugar das raízes	
	5.11.3	Critério de Nyquist	
	5.11.4	Critério de Routh-Hurwitz	
TEMA 5		TÉCNICAS DE CONTROLE DIGITAL AVANÇADO	
	6.0	Projeto de controle digital avançado	
	6.1	<i>Introdução</i>	
	6.2	<i>Algoritmo de controle PID digital</i>	
	6.3	<i>Método de Ziegler-Nichols para projeto de controle PID</i>	
	6.4	<i>Método de Ragazzini para projeto de controle PID</i>	
	6.4.1	Causalidade	
	6.4.2	Estabilidade	
	6.4.3	Precisão em regime permanente	
	6.4.4	Sistemas para tempo de acomodação finito	
	6.4.5	Sistemas com estrutura mínima	
	6.4.6	Projeto para oscilação livre	
	6.6	<i>Projeto de controle digital por alocação de pólos via realimentação de estados</i>	

TEMA 6		FILTRAGEM DIGITAL E PROJETO DE COMPENSADORES DIGITAIS	
	7.0	Filtragem digital e projeto de compensadores digitais	
	7.1	<i>Introdução</i>	
	7.2	<i>Técnicas clássicas para projeto de compensadores digitais</i>	
	7.3	<i>Técnicas de integração numérica aproximada</i>	
	7.3.1	Integração retangular em avanço	
	7.3.2	Integração retangular em atraso	
	7.3.3	Integração trapezoidal	
	7.4	<i>Transformação bilinear</i>	
	7.5	<i>Transformação bilinear modificada</i>	
	7.6	<i>Técnica de casamento entre pólos e zeros</i>	
	7.7	<i>Aproximação por segurador de ordem zero</i>	
	7.8	<i>Método invariante ao impulso</i>	
	7.9	<i>Estruturas de projeto de filtros digitais</i>	
	7.10	<i>Projeto no plano z de compensadores digitais</i>	
	7.10.1	Compensador atraso de fase	
	7.10.2	Compensador avanço de fase	
TEMA 7		REPRESENTAÇÃO ESPAÇO DE ESTADOS EM SISTEMAS DE CONTROLE DIGITAL	
	8.0	Representação espaço de estados em sistemas de controle digital	
	8.1	<i>Introdução</i>	
	8.2	<i>Problema de variáveis de estados no tempo contínuo</i>	
	8.3	<i>Solução de equações de estado</i>	
	8.4	<i>Método de série exponencial de matrizes</i>	
	8.5	<i>Solução das equações de estado no tempo discreto</i>	
	8.6	<i>Funções de transferência a partir de descrições por variáveis de estado</i>	
	8.7	<i>Controlabilidade</i>	
	8.8	<i>Observabilidade</i>	
	8.9	<i>Representação de sistemas SISO no tempo discreto</i>	
	8.9.1	Realização paralela (Método de frações parciais)	
	8.9.2	Realização em cascata (Programação iterativa)	
	8.9.3	Forma canônica controlável	
	8.9.4	Forma canônica observável	
	8.10	<i>Representação por variáveis de estados de sistemas de controle híbridos</i>	
TEMA 8		QUANTIZAÇÃO E EFEITOS DE ERROS	
	9.0	Quantização e efeitos de erros	
	9.1	<i>Introdução</i>	
	9.2	<i>Erros de quantização (Erros do tipo 1)</i>	
	9.3	<i>Resposta de funções de transferência no tempo discreto a</i>	

		<i>erros de quantização</i>	
	9.4	<i>Limite sobre o módulo de saída (Limite de Bertram)</i>	
	9.5	<i>Erros de multiplicação (Erros do tipo 2)</i>	
	9.6	<i>Representação finita dos coeficientes de filtros digitais (Erros do tipo 3)</i>	
	9.7	<i>Análise de sensibilidade</i>	
TEMA 9		PROJETO DE SISTEMAS DE CONTROLE DIGITAL NO ESPAÇO DE ESTADOS	
	10.0	<i>Projeto de sistemas de controle digital no espaço de estados</i>	
	10.1	<i>Introdução</i>	
	10.2	<i>Realimentação no espaço de estados e projeto de sistemas</i>	
	10.3	<i>Controle por realimentação com informação de estados incompleta</i>	
	10.4	<i>Estimador ou observador de malha - aberta</i>	
	10.5	<i>Estimador ou observador de predição assintótica</i>	
	10.6	<i>Estimador ou observador atual</i>	
	10.7	<i>Estimador ou observador de ordem reduzida</i>	
	10.8	<i>Algoritmo para cálculo de ganho para sistemas SISO</i>	
	10.9	<i>Regulação com entradas de referência não-nulas</i>	
	10.10	<i>Entradas de referência para sistemas com observadores de predição</i>	
TEMA 10		CONTROLE ÓTIMO NO TEMPO DISCRETO	
	11.0	<i>Controle ótimo no tempo discreto</i>	
	11.1	<i>Introdução</i>	
	11.2	<i>Problema do regulador linear discreto</i>	
	11.3	<i>Custo de controle</i>	
	11.4	<i>Autovalores recíprocos e lugar das raízes recíproco</i>	
	11.5	<i>Problema do regulador em regime permanente por decomposição em autovetor</i>	
	11.6	<i>Controle ótimo com referência nula</i>	
	11.7	<i>Controle sub-ótimo empregando realimentação de estados estimados</i>	
TEMA 11		ESTIMAÇÃO DE ESTADOS NA PRESENÇA DE RUÍDOS	
	12.0	<i>Estimação de estados na presença de ruído</i>	
	12.1	<i>Introdução</i>	
	12.2	<i>Dedução do filtro de Kalman no tempo discreto</i>	
	12.3	<i>Ganhos do filtro de Kalman em regime permanente via decomposição de autovetor</i>	
TEMA 12		INTRODUÇÃO À IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS	
	13.0	<i>Introdução à identificação de sistemas</i>	
	13.1	<i>Introdução</i>	

	13.2	<i>Técnica de mínimos quadrados</i>	
	13.3	<i>Estimação da função de transferência usando mínimos quadrados</i>	
	13.4	<i>Mínimos quadrados ponderados</i>	
	13.5	<i>Mínimos quadrados recursivo</i>	
	13.6	<i>Efeitos de ruído</i>	