

Modelagem, identificação e controle de processos na indústria do petróleo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - Modelagem de Sistemas	1
1.1 Introdução	1
1.2 Representações Lineares	1
1.2.1 Modelos lineares contínuos	2
1.2.2 Modelos lineares discretos	12
1.3 Representações Não Lineares	23
1.3.1 Modelos contínuos	23
1.3.2 Modelos Discretos	24
1.4 Estudo de caso: Separador Trifásico Água-Óleo-Gás (SAOG)	26
1.5 Conclusões	27
CAPÍTULO 2 - Modelagem Fenomenológica	29
2.1 Introdução	29
2.2 Modelagem de sistemas de fluido	30
2.2.1 Pressão e Vazão	30
2.2.2 Elementos ideais de sistemas de fluido	31
2.2.3 Transformador fluídico	38
2.3 Modelagem de sistemas térmicos	39
2.3.1 Temperatura e fluxo de calor	39
2.3.2 Elementos ideais de sistemas térmicos	40
2.4 Modelagem de componentes não lineares em sistemas	44
2.4.1 Saturação	44
2.4.2 Zona morta	45
2.4.3 Folga	46
2.4.4 Análise de um sistema com uma não linearidade	47
2.5 Exemplo: Modelagem fenomenológica de um vaso separador	48
2.5.1 Modelagem Matemática	50
2.6 Conclusões	53
CAPÍTULO 3 - Modelagem Experimental de Sistemas Lineares	55
3.1 Introdução	55
3.2 Funções de Transferência (FT)	56
3.2.1 Modelos de 1a Ordem com atraso de transporte	56
3.2.2 Modelos de 2a Ordem com atraso de transporte	60
3.3 Modelos Polinomiais Discretos	61
3.3.1 Modelo polinomial Resposta Finita ao Impulso (Finite Impulse Response - FIR)	62
3.3.2 Modelo polinomial Autorregressivo com Entradas Exógenas (AutoRegressive with eXogenous inputs - ARX)	62

3.3.3 Modelo polinomial Autorregressivo Média Móvel com Entradas Exógenas (AutoRegressive Moving Average with eXogenous inputs - ARMAX)	63
3.3.4 Modelo polinomial Erro na Saída (Output Error - OE)	64
3.3.5 Modelo polinomial Box-Jenkins (Box-Jenkins - BJ)	65
3.3.6 Outra forma de obter um estimador de saída	66
3.4 Estimador de Mínimos Quadrados (offline)	67
3.4.1 Polarização na Estimação dos Parâmetros usando o MMQ	69
3.5 Estimadores Não Polarizados	73
3.5.1 Estimador dos Mínimos Quadrados Estendido (MQE)	74
3.5.2 Estimador dos Mínimos Quadrados Generalizado (MQG)	75
3.6 Estimadores Recursivos (online)	75
3.6.1 Método dos Mínimos Quadrados Recursivo (MQR)	75
3.6.2 Estimação com Parâmetros Crescentes	76
3.7 Controle Linear com Parâmetros Ajustáveis	78
3.8 Estudo de caso: Separador Trifásico de Água-Óleo-Gás (SAOG)	78
3.9 Conclusões	79
CAPÍTULO 4 - Modelagem Experimental de Sistemas Não Lineares	82
4.1 Introdução	82
4.2 Mínimos Quadrados Ortogonais (MQO)	83
4.2.1 Método Clássico de Gran-Schmidt (GS)	83
4.2.2 Método Modificado de Gran-Schmidt (MGS)	84
4.3 Rede Neural Artificial (RNA)	84
4.3.1 Rede Neural Multicamadas (RNM)	86
4.3.2 Rede de Função de Base Radial (RFBR)	92
4.4 Estudo de caso: Controle de Processos usando um Identificador Neural	93
4.5 Conclusões	96
CAPÍTULO 5 - Simulação de Sistemas Dinâmicos	97
5.1 Introdução	97
5.2 Métodos numéricos para a solução de equações diferenciais	97
5.2.1 Método de Euler	98
5.2.2 Métodos de Runge-Kutta	98
5.2.3 Aplicação dos métodos numéricos para sistemas de equações	101
5.3 Uso do MATLAB/SIMULINK para a simulação de sistemas dinâmicos	103
5.4 Exemplo de aplicação: simulação de um vaso separador	105
5.5 Conclusões	108
CAPÍTULO 6 - Controle Robusto de Sistemas Lineares	109
6.1 Introdução – Sistemas Incertos	109
6.2 Descrição de Incertezas Paramétricas	109
6.3 Estabilidade de Sistemas Dinâmicos Incertos	114
6.3.1 Estabilidade por Lyapunov	114
6.3.2 Função de Lyapunov Quadrática	118

6.4	Formulação por Desigualdades Matriciais Lineares - LMIs	120
6.4.1	Definição Formal de uma LMI	120
6.4.2	Complemento de Schur	121
6.4.3	Lema de Finsler	122
6.4.4	S-Procedure	122
6.4.5	Desigualdade Matricial com Restrição em Norma	123
6.5	CrITÉrios de Desempenho	124
6.5.1	D-Estabilidade	124
6.5.2	Norma H-Infinito	127
6.5.3	Controle Custo Garantido	129
6.6	Sistemas Lineares a Parâmetros Variantes	132
6.7	Exemplo de Aplicação: Controle Proporcional-Integral Robusto de Nível	134
6.8	Extensão para Sistemas Não Lineares	143
6.8.1	Exemplo Ilustrativo	145
CAPÍTULO 7	Controle Preditivo	149
7.1	Introdução	149
7.2	Conceito Básicos	150
7.2.1	O Horizonte Móvel	150
7.2.2	Controle Ótimo	151
7.2.3	Ideia Básica do Controle Preditivo	152
7.2.4	Elementos Básicos do Controle Preditivo	153
7.2.5	Modelos	153
7.2.6	Função Objetivo	155
7.2.7	Restrições	155
7.2.8	Cálculo da ação de controle	156
7.3	O Controlador GPC	156
7.3.1	Introdução	156
7.3.2	Modelo CARIMA/ARIMAX	156
7.3.3	Predição	157
7.3.4	Função Objetivo	160
7.3.5	Cálculo da ação de controle ótima	161
7.3.6	GPC com Restrições	161
7.3.7	Exemplo Numérico	163
7.4	Controle Preditivo Usando Modelos de Estado	166
7.4.1	Introdução	166
7.4.2	Modelos	166
7.4.3	Predição	167
7.4.4	Função custo	169
7.4.5	Problema sem restrições	170
7.4.6	Exemplo Numérico	170
7.4.7	Problema com restrições	172
7.5	Conclusões	179

CAPÍTULO 8 - Controle Avançado	182
8.1 Introdução	182
8.2 Etapas do Projeto de um Sistema de Controle Avançado	183
8.3 Avaliação de Malhas de Controle Regulatório	183
8.3.1 Métodos Baseados em Variância Mínima	184
8.3.2 Método de Detecção de Oscilações	187
8.4 Ressintonia do Controle Regulatório	188
8.4.1 Métodos de Ziegler-Nichols	188
8.4.2 Método do Relé	190
8.4.3 Método de Cohen e Coon	191
8.4.4 Método de CHR	192
8.4.5 Método do IMC	194
8.4.6 Exemplo de Aplicação	195
8.5 Controle Preditivo Multivariável com Restrições	198
8.5.1 Matriz de Interação	199
8.5.2 Formulação do Controlador GPC Multivariável	200
8.5.3 Tratamento de Restrições	204
8.5.4 Exemplo de Aplicação do GPC	205
8.6 Conclusões	207
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	209
ÍNDICE REMISSIVO	215