

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	
1.1	Regelungstechnik	1
	<i>Dirk Abel</i>	
1.1.1	Rapid Control Prototyping (RCP)	2
1.1.2	HW/SW-in-the-Loop-Simulation	5
1.2	Leittechnik	7
	<i>Ulrich Epple</i>	
1.2.1	Entwicklungsebenen der Leittechnik	7
1.2.2	Entwicklungstendenzen Basissystemeebene	9
1.2.3	Entwicklungstendenzen Anwendungsebene	10
1.2.4	Zusatzfunktionen	12
1.2.5	Entwicklungstendenzen im Bereich der leittechnischen Systemdienste	14
1.2.6	Gesicherte Funktionsebenen	14
1.2.7	Wächterfunktionalität für die Auslegungsebene	17
1.3	Leitsysteme	19
	<i>Gerd-Ulrich Spohr</i>	
1.3.1	APC-Anwendungen in Prozessleitsystemen	19
1.3.1.1	Historische Entwicklung der Prozessleitsysteme	19
1.3.1.2	Technische Realisierung von APC-Anwendungen	21
1.3.1.3	APC-Anwendungstypen	23
2	Methoden der Regelungstechnik	
2.1	Regelungsstrukturen	27
	<i>Manfred Enning</i>	
2.1.1	Vorbemerkungen	27
2.1.2	Erweiterte einschleifige Regelungsstrukturen	31
2.1.2.1	Vorregelung	32
2.1.2.2	Störgrößenaufschaltung	32
2.1.2.3	Hilfsstellgröße	33
2.1.2.4	Hilfsregelgröße	35
2.1.2.5	Kaskadenregelung	36
2.1.2.6	Vorsteuerung und Führungsgrößenfilter	37

2.2	Mehrgrößenregelung	39
	<i>Manfred Enning</i>	
2.2.1	Kopplung von Regelkreisen	39
2.2.2	Entkopplungsregler	42
2.3	Zustandsraumverfahren	44
	<i>Manfred Enning</i>	
2.3.1	Zustandsraumbeschreibung	44
2.3.2	Zustandsregelung	49
2.3.3	Zustandsbeobachter	51
2.3.4	Zustandsregelungen auf Leitsystemen	53
2.4	Softsensoren	54
	<i>Manfred Enning</i>	
2.5	Model Predictive Control (MPC)	56
	<i>Bernd-Markus Pfeiffer</i>	
2.5.1	Eigenschaften und Vorteile von Prädiktivreglern	57
2.5.2	Funktionsprinzip	63
2.5.3	Internal Model Control (IMC) als Regelsystemstruktur	64
2.5.4	Klassifikation von Prädiktivreglern	66
2.5.4.1	Verwendete Modelltypen	67
2.5.4.2	Schlanke und große Prädiktivregler (ohne/mit Online-Optimierung)	68
2.5.5	Algorithmus am Beispiel des Dynamic Matrix Control (DMC)	69
2.5.5.1	Eingrößenfall	69
2.5.5.2	Mehrgrößenfall	72
2.5.6	Warum eignet sich TIAC als Plattform für MPC?	77
2.6	Flachheitsbasierte Regelung und Steuerung	78
	<i>Thomas Paulus</i>	
2.6.1	Systemdarstellung und Entwurfsaufgabe	80
2.6.2	Flachheitsbegriff und Eigenschaften flacher Systeme	81
2.6.2.1	Nicht-Eindeutigkeit des flachen Ausgangs	82
2.6.2.2	Bestimmung von Ruhelagen	83
2.6.2.3	Entkopplung	83
2.6.2.4	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit flacher Systeme	84
2.6.2.5	Defekt nicht flacher Systeme	85
2.6.2.6	Bestimmung eines flachen Ausgangs und Nachweis der Flachheit	86
2.6.3	Flachheitsbasierte Lösung der Entwurfsaufgabe	87
2.6.3.1	Vorsteuerungsentwurf und dynamische Systeminversion	90
2.6.3.2	Regelung durch Zustandsrückführung	93
2.6.3.3	Regelung durch Gain-Scheduling	96
2.6.4	Realisierung des Trajektoriengenerators	102
2.6.4.1	Trajektorienplanung durch Lösung eines Gleichungssystems	104
2.6.4.2	Trajektorienplanung durch einen Polynomansatz	105
2.6.4.3	Trajektorienplanung in Echtzeit	106
2.6.5	Zusammenfassung	108

2.7	Rapid Control Prototyping	109
	<i>Philipp Orth</i>	
2.7.1	Begriffe	111
2.7.1.1	System	111
2.7.1.2	Modell	112
2.7.2	Vorgehensweise	112
2.7.2.1	Konventionelle Entwicklungsprozesse	113
2.7.2.2	V-Modell	114
2.7.2.3	Entwicklungsprozess RCP	116
2.7.3	Simulationskonfigurationen	118
2.7.3.1	Systemsimulation	119
2.7.3.2	Software-in-the-Loop	120
2.7.3.3	Hardware-in-the-Loop	121
2.7.4	Entwurfsumgebung	121
2.7.4.1	Codegenerierung	122
2.7.4.2	Echtzeitprogrammierung	124
2.7.4.3	Software-Werkzeuge	125
2.7.4.4	Toolketten	128
2.7.5	Toolintegration am Beispiel einer Petrinetz-Anwendung	130
2.7.5.1	Rapid Prototyping diskreter Systeme	131
2.7.5.2	Hybrides Modell	131
2.7.5.3	Netlab	132
2.7.5.4	Netlab-Toolbox für MATLAB/Simulink	133
2.7.5.5	Beispiel	135
2.7.5.6	Vergleich der Netlab-Toolbox für MATLAB/Simulink mit Stateflow	136
2.7.6	Zusammenfassung	137
3	Aufbau und Struktur der Leitsysteme	
	<i>Gerd-Ulrich Spohr</i>	
3.1	Übersicht	143
3.2	Komponenten und Aufbautechnik	146
3.2.1	Prozessnahe Komponenten	147
3.2.2	Prozessferne Komponenten	150
3.2.3	Kommunikation und Bussystem	156
3.3	Redundanzstrukturen	160
3.4	Projektierung / Parametrierung der leittechnischen Funktionen	162
3.4.1	Funktionsbausteine	162
3.4.2	Graphischer Editor	165
3.4.3	Bausteinbearbeitung und Ablaufsystem	166
3.4.4	Ablaufsteuerungen	169
4	Prozessführung als Systemfunktion	
	<i>Ulrich Eppe</i>	
4.1	Begriffe, Modelle	173

4.1.1	Allgemeines Prinzip	173
4.1.2	Steuerndes System	174
4.1.3	Gesteuertes System	176
4.2	Strukturierung der Führungsaufgabe	178
4.2.1	Aufbau von Aktoreinheiten mit Nachführ-Führungsfunktionen	178
4.2.2	Gliederung der Strecke und Prozessführungsaufgabe mit Aktoreinheiten	179
4.2.3	Ablauf-Führungsfunktionen und offene Reststrecke	183
4.2.4	Gliederung von Ablauf-Führungsfunktionen	184
4.3	Führungseinheiten als Standardkomponenten	186
4.3.1	Der Führungseingang	186
4.3.2	Standardisierte Zustände	188
4.3.3	Verriegelung	190
4.3.4	Auftragsvergabe an unterlagerte Auftragnehmer	191
4.3.5	Autarke Funktionalität	191
4.3.6	Wahl der Führungsmethode	192
4.3.6.1	Führungsfunktionen ohne Verwendung von Messinformation	193
4.3.6.2	Führungsfunktionen mit Verwendung von Messinformationen an diskreten Zeitpunkten	193
4.3.6.3	Kontinuierliche Regelung	195
4.4	Synthese der Führungsarchitektur	196
4.4.1	Anlagenzugeordnete Führungseinheiten	196
4.4.2	Prozesszugeordnete Führungseinheiten	198

5 Der Grundgedanke des TIAC-Konzeptes

Reiner Jorewitz

5.1	Einführung	201
5.1.1	Das Zustandssteuerwerk der Einzelfahrweisen	204
5.1.2	Das Zusammenspiel der Fahrweisen	205
5.1.3	Die Schnittstelle	206
5.1.4	Regelungstechnische Komponenten	206
5.2	Die Komponenten der Regelung im Detail	207
5.2.1	Regeln als Prozessführungsaufgabe	207
5.2.2	Reglermethode	208
5.2.3	Fahrweisenwahl	209
5.2.4	Betriebszustand (OPST)	212
5.2.4.1	Arbeitsphasenzustand (WOST)	214
5.2.4.2	Initialisierungszustand (INITST)	215
5.2.4.3	Synchronisationszustand (SYNCST)	217
5.2.4.4	Bereitschaftszustand (STANDBYST)	217
5.2.4.5	Prozessführungszustand (ACTIVEST)	218
5.2.4.6	Zustandssteuerwerk	218
5.2.4.7	Regelungstechnische Komponenten: Selbstüberwachung und Situationsbewertung	219
5.3	Zusammenfassung	221

6	Entwurf und Realisierung eines PID+-Reglerbausteins	
	<i>Ansgar Münnemann und Philipp Orth</i>	
6.1	Warum ein PID+-Regler?	225
	<i>Ansgar Münnemann</i>	
6.2	Der Siemens PID-Regler	227
	<i>Ansgar Münnemann</i>	
6.3	Die Erweiterung zum PID+-Regler	229
	<i>Ansgar Münnemann</i>	
6.3.1	Die Schnittstellenkomponente	230
6.3.1.1	Die Betriebsschnittstelle	231
6.3.1.2	Die Prozessschnittstelle	234
6.3.1.3	Die Parameterschnittstelle	234
6.3.2	Das Zustandssteuerwerk des Reglerrahmens	236
6.3.3	Stationaritätserkennung	236
6.3.4	Die WatchDog-Komponente	238
6.3.5	Die Parameterüberwachung AC_PCHK	239
6.3.6	Die Stellwertbeaufschlagung AC_DMVA	239
6.3.7	Die Konvergenzüberprüfung AC_ECHK	240
6.3.8	Die Stellwertüberwachung AC_MVCHK	241
6.3.9	Die Komponentenstruktur des PID+-Funktionsbausteins	242
6.3.10	Das WinCC-BuB-Faceplate des PID+	245
6.3.10.1	Das AC-Parameter-Fenster	246
6.3.10.2	Das AC-Identifikation-Fenster	247
6.4	Die TIAC-Box	247
	<i>Ansgar Münnemann</i>	
6.4.1	Das ACPLT-Kernmodell	248
6.4.2	Das Kommunikationssystem ACPLT/KS	250
6.4.2.1	Informationsbaukasten	251
6.4.2.2	Generisches Dienstmodell	253
6.4.2.3	Kommunikationsmechanismen	255
6.4.3	Die Objektverwaltung ACPLT/OV	256
6.4.4	Das Funktionsbausteinsystem ACPLT/FB	259
6.4.5	Die Profibus-Ankopplung	261
6.4.6	Die AC-Methoden-Ankopplung	262
6.4.7	Die Projektierung der TIAC-Box in PCS7	262
6.5	Entwurf von produktionsstauglichen Advanced-Control-Funktionen mit MATLAB/Simulink	264
	<i>Philipp Orth</i>	
6.5.1	Toolbox für Simulink	264
6.5.1.1	Das PID+-Template	265
6.5.1.2	Generisches Zustandssteuerwerk	266
6.5.1.3	Parameterkonfiguration	269
6.5.1.4	Lebendigkeitssignal	270
6.5.1.5	Einfaches Einsatzbeispiel	270
6.5.1.6	Datenaufzeichnung manueller Identifikationsversuche	270

6.5.1.7	Advanced-Control unter Nutzung der MPC-Toolbox	271
6.5.2	Toolkette	273

7 Beispielapplikation Neutralisationsprozess

Thomas Paulus und Philipp Orth

7.1	Modellbildung	278
	<i>Thomas Paulus</i>	
7.1.1	Chemische Grundlagen und Begriffe	278
7.1.1.1	Lösungen	278
7.1.1.2	Chemische Reaktionen	279
7.1.1.3	Das Massenwirkungsgesetz	281
7.1.1.4	Die elektrolytische Dissoziation	282
7.1.1.5	Die Dissoziation von Wasser	283
7.1.1.6	Definition des pH-Werts	284
7.1.1.7	Säure-Base-Reaktionen	284
7.1.1.8	Titrationen	285
7.1.2	Modellierung des Rührkesselreaktors	289
7.1.3	Stell- und Messglied	289
7.1.4	Rohrleitungen	290
7.1.5	Modellreduktion und Gesamtmodell	290
7.2	Flachheitsbasierte Prozessregelung	292
	<i>Thomas Paulus</i>	
7.2.1	Vorsteuerung	293
7.2.2	Quasi-statische Zustandsregelung	295
7.2.3	Gain-Scheduling-Regelung	296
7.3	Erprobung der TIAC-Umgebung und des Regelungskonzepts	299
	<i>Philipp Orth und Thomas Paulus</i>	
7.3.1	Umsetzung der Regelung im TIAC-Rahmen	299
7.3.1.1	FBGS-Regelung	299
7.3.1.2	Parametrierung der Rückfallstrategie	305
7.3.2	Untersuchungen an einem Neutralisationsprozess im Labormaßstab	305
7.3.2.1	Simulationsergebnisse	305
7.3.2.2	Versuchsergebnisse am realen Prozess	313
7.4	Zusammenfassung	316
	<i>Philipp Orth und Thomas Paulus</i>	

Index	321
-------	-----