

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Anwendungsbeispiele	xvii
Hinweise zum Gebrauch des Buches	xxv

Teil 1: Einführung

1 Ziele und Aufgaben der Automatisierungstechnik	1
1.1 Ziele der Automatisierungstechnik	1
1.2 Anwendungsbeispiele	4
1.2.1 Prozessautomatisierung	4
1.2.2 Fertigungsautomatisierung	9
1.2.3 Gebäudeautomatisierung	10
1.2.4 Überwachung und Steuerung von Energiesystemen	11
1.2.5 Automatisierungstechnik in Fahrzeugen	12
1.2.6 Überwachung und Steuerung des Flugverkehrs	14
1.2.7 Automatisierungsaufgaben in der Informations- und Kommunikationstechnik	15
1.2.8 Zusammenfassung: Notwendigkeit der Automatisierung technischer Systeme	16
1.3 Grundstruktur automatisierter Systeme	18
1.3.1 Beziehungen zwischen der Automatisierungseinrichtung und dem zu automatisierenden Prozess	18
1.3.2 Das Rückkopplungsprinzip	19
1.3.3 Die Rolle des Menschen in automatisierten Systemen	20
1.3.4 Spezielle Klassen automatisierter Systeme	21
1.4 Automatisierungsaufgaben	23
1.4.1 Modellbildung dynamischer Systeme	23
1.4.2 Vorhersage des Systemverhaltens	26
1.4.3 Planung von Steuereingriffen	27
1.4.4 Zustandsbeobachtung	28
1.4.5 Prozessdiagnose	28
1.4.6 Regelung und Steuerung	29
1.4.7 Kombination von Automatisierungsfunktionen	32

1.4.8	Automatisierungshierarchie	34
1.5	Realisierung von Automatisierungseinrichtungen	37
1.5.1	Methoden und Geräte	37
1.5.2	Lösungsweg für Automatisierungsaufgaben	39
1.5.3	Beziehungen zwischen der Automatisierungstechnik und angrenzenden Fachdisziplinen	40
	Literaturhinweise	41
2	Grundlegende Eigenschaften dynamischer Systeme	43
2.1	Grundbegriffe der Systemtheorie	43
2.1.1	Signal, Prozess, System	43
2.1.2	Kontinuierliche und diskrete Signale und Systeme	45
2.1.3	Statische und dynamische Systeme	48
2.1.4	Autonome und gesteuerte Systeme	50
2.1.5	Gemeinsamkeiten und Unterschiede kontinuierlicher und diskreter Systeme	50
2.2	Blockschaltbild und Signalflussgraf	52
2.2.1	Struktur dynamischer Systeme	52
2.2.2	Blockschaltbild	53
2.2.3	Signalflussgraf	60
2.3	Dekomposition und Aggregation von Systemen	61
2.4	Kopplungsanalyse	63
2.5	Steuerungen in der offenen Wirkungskette und im geschlossenen Kreis	69
	Literaturhinweise	77

Teil 2: Automatisierung kontinuierlicher Systeme

3	Beschreibung kontinuierlicher Systeme	79
3.1	Modellbildungsaufgabe	79
3.2	Systembeschreibung durch lineare Differenzialgleichungen	80
3.3	Zustandsraummodell linearer Systeme	85
3.3.1	Zustandsgleichung und Ausgabegleichung	85
3.3.2	Zustandsbegriff	88
3.3.3	Normierung der Signale und Parameter	90
3.3.4	Blockschaltbild und Signalflussgraf des Zustandsraummodells	93
3.3.5	Zustandsraumdarstellung von Mehrgrößensystemen	94
3.3.6	Gleichgewichtszustand linearer Systeme	95
3.4	Zustandsraummodell nichtlinearer Systeme	97
3.5	Linearisierung	108
3.6	Kompositionale Modellbildung kontinuierlicher Systeme	112
	Literaturhinweise	117

4 Verhalten kontinuierlicher Systeme	119
4.1 Vorhersage des Systemverhaltens	119
4.2 Verhalten linearer Systeme	120
4.2.1 Lösung der Zustandsgleichung	120
4.2.2 Berechnung der Ausgangsgröße	123
4.2.3 Anmerkungen zum Zustandsbegriff	128
4.2.4 Bewegungsgleichung in kanonischer Form	132
4.2.5 Übergangsfunktion	137
4.2.6 Berechnung der Matrixexponentiafunktion	139
4.3 Verhalten nichtlinearer Systeme	140
4.3.1 Lösung der nichtlinearen Modellgleichungen	140
4.3.2 Rechnergestützte Analyse nichtlinearer Systeme	142
4.4 Kennwertermittlung	146
Literaturhinweise	149
5 Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	151
5.1 Definition der Steuerbarkeit und der Beobachtbarkeit	151
5.2 Steuerbarkeit linearer Systeme	153
5.2.1 Steuerbarkeitskriterium	153
5.2.2 Eigenschaften vollständig steuerbarer Systeme	154
5.3 Beobachtbarkeit linearer Systeme	159
5.3.1 Beobachtbarkeitskriterium	159
5.3.2 Berechnung des Anfangszustands aus n Messwerten	161
5.3.3 Bestimmung des Anfangszustands mit Hilfe der gramschen Beobachtbarkeitsmatrix	162
5.4 Strukturelle Steuerbarkeit und strukturelle Beobachtbarkeit	165
5.4.1 Strukturgraf	165
5.4.2 Definition und Kriterien für die strukturelle Steuerbarkeit und strukturelle Beobachtbarkeit	166
5.4.3 Strukturelle Analyse nichtlinearer Systeme	171
5.5 Systemzerlegung entsprechend den Steuerbarkeits- und Beobachtbarkeitseigenschaften	172
Literaturhinweise	176
6 Stabilität	177
6.1 Stabilitätsdefinition	177
6.2 Stabilitätsanalyse linearer Systeme	180
6.2.1 Stabilitätsanalyse anhand der Eigenwerte der Systemmatrix	180
6.2.2 Hurwitzkriterium	183
6.3 Stabilitätsanalyse nichtlinearer Systeme	186
6.3.1 Lösungswege	186
6.3.2 Stabilitätsprüfung mit dem linearisierten Modell	188
6.3.3 Direkte Methode von Ljapunow	191
6.3.4 Anwendung der Direkten Methode auf lineare Systeme	196
6.4 Stabilität von Regelkreisen	199

6.4.1	Stabilität der Regelstrecke und des Regelkreises	199
6.4.2	Robuste Stabilität	202
6.5	Ausblick: Weitere Verfahren für die Stabilitätsprüfung.....	204
	Literaturhinweise.....	205
7	Einschleifige Regelkreise	207
7.1	Regelungsaufgabe für kontinuierliche Systeme	207
7.2	Modell des Standardregelkreises	210
7.2.1	Linearer Regelkreis	210
7.2.2	Nichtlinearer Regelkreis	213
7.3	Wichtige Eigenschaften von Regelkreisen	215
7.3.1	Störkompensation und Sollwertfolge	215
7.3.2	Erreichbare Regelgüte	223
7.3.3	Robustheit	226
7.4	Reglertypen	230
7.4.1	PID-Regler	230
7.4.2	Weitere Reglerkomponenten	233
	Literaturhinweise	235
8	Einstellregeln für PID-Regler	237
8.1	Entwurfsschritte	237
8.2	Einstellregeln für PID-Regler	239
8.3	Robuste PI-Regelung	246
8.3.1	Gegenkopplungsbedingung für I-Regler	246
8.3.2	Reglereinstellung	249
8.3.3	Erweiterung auf PI-Regler	251
8.4	Ausblick: Verfahren für den Reglerentwurf	256
	Literaturhinweise	257
9	Zustandsbeobachtung kontinuierlicher Systeme	259
9.1	Beobachtungsaufgabe	259
9.2	Luenbergerbeobachter	261
9.2.1	Grundidee	261
9.2.2	Beobachterstruktur	263
9.2.3	Wahl der Beobachterrückführung	264
9.2.4	Verhalten des Beobachters bei Störungen und Modellunsicherheiten ..	270
9.3	Beobachter für nichtlineare Systeme	277
9.4	Anwendungen der Zustandsbeobachtung	278
9.4.1	Beobachtung eines Teilsystems	278
9.4.2	Online-Vorhersage des Systemverhaltens	279
9.4.3	Regelung unter Verwendung einer beobachteten Regelgröße	281
	Literaturhinweise	283

10 Diagnose kontinuierlicher Systeme	285
10.1 Diagnoseaufgabe und Lösungswege	285
10.1.1 Diagnoseaufgabe	285
10.1.2 Diagnoseschritte	287
10.1.3 Signalbasierte und modellbasierte Diagnose	288
10.1.4 Modelle des fehlerfreien und des fehlerhaften Systems	290
10.1.5 Diagnose mit statischen und dynamischen Modellen	292
10.1.6 Prinzip der konsistenzbasierten Diagnose	293
10.2 Fehlererkennung mit einem Zustandsbeobachter	295
10.3 Sensorüberwachung	303
10.3.1 Aufgabenstellung	303
10.3.2 Fehlerlokalisierung mit dedizierten Beobachtern	304
10.3.3 Erweiterung	313
10.4 Fehleridentifikation	313
10.4.1 Fehleridentifikation mit einer Beobachterbank	313
10.4.2 Fehleridentifikation unter Verwendung von Fehlermodellen	315
10.4.3 Entwurf beobachtergestützter Diagnosesysteme	317
10.5 Ausblick: Diagnose und fehlertolerante Steuerung	325
Literaturhinweise	326

Teil 3: Automatisierung ereignisdiskreter Systeme

11 Beschreibung diskreter Systeme	329
11.1 Modellbildungsaufgabe	329
11.1.1 Diskrete Signale und Ereignisse	329
11.1.2 Modellbildungsziel und Modellbildungsschritte	336
11.2 Deterministische Automaten	339
11.2.1 Autonome deterministische Automaten	339
11.2.2 Deterministische Automaten mit Eingang und Ausgang	345
11.3 Nichtdeterministische Automaten	351
11.3.1 Deterministische und nichtdeterministische Systeme	351
11.3.2 Autonome nichtdeterministische Automaten	353
11.3.3 Nichtdeterministische Automaten mit Eingang und Ausgang	363
11.4 Stochastische Automaten	368
11.4.1 Stochastische Prozesse	368
11.4.2 Autonome stochastische Automaten	372
11.4.3 Stochastische Automaten mit Eingang und Ausgang	378
11.4.4 Markoveigenschaft dynamischer Systeme	381
11.5 Petrinetze	384
11.5.1 Autonome Petrinetze	384
11.5.2 Petrinetze mit Eingang und Ausgang	397
11.5.3 Beziehungen zwischen Petrinetzen und Automaten	400

11.6 Kompositionale Modellbildung diskreter Systeme	403
11.6.1 Modellbildungsaufgabe	403
11.6.2 Synchronisation von Automaten	404
11.6.3 Reihenschaltung	408
11.6.4 Rückführautomat	411
Literaturhinweise	420
12 Verhalten diskreter Systeme	423
12.1 Vorhersage des Systemverhaltens	423
12.2 Verhalten deterministischer Automaten	424
12.2.1 Berechnung der Zustands- und Ausgabefolge	424
12.2.2 Erreichbarkeitsanalyse des Automatengrafen	425
12.2.3 Strukturelle Analyse deterministischer Automaten	427
12.2.4 Steuerbarkeit deterministischer Automaten	429
12.3 Verhalten nichtdeterministischer Automaten	430
12.3.1 Berechnung der Zustands- und Ausgabefolgen	430
12.3.2 Strukturelle Analyse nichtdeterministischer Automaten	433
12.3.3 Steuerbarkeit nichtdeterministischer Automaten	434
12.4 Verhalten stochastischer Automaten	437
12.4.1 Berechnung der Zustandsfolgen autonomer stochastischer Automaten	437
12.4.2 Strukturelle Analyse stochastischer Automaten	440
12.4.3 Erweiterung auf Automaten mit Eingang und Ausgang	440
12.5 Verhalten von Petrinetzen	442
12.5.1 Berechnung der Markierungsfolgen	442
12.5.2 Strukturelle Analyse von Petrinetzen	443
12.5.3 Invarianten	444
Literaturhinweise	451
13 Steuerung diskreter Systeme	453
13.1 Steuerungsaufgaben für diskrete Systeme	453
13.2 Verknüpfungssteuerungen	456
13.3 Ablaufsteuerungen	458
13.3.1 Reglergesetz	458
13.3.2 Zeitplansteuerungen	461
13.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen	468
Literaturhinweise	470
14 Entwurf diskreter Steuerungen	471
14.1 Entwurfsschritte	471
14.1.1 Systematischer Steuerungsentwurf	472
14.1.2 Heuristische Festlegung des Steuerungsgesetzes	473
14.2 Reglerentwurf für Automaten	476
14.2.1 Entwurfsproblem	476
14.2.2 Reglerentwurf für deterministische Automaten	476
14.2.3 Erweiterungen	479

14.2.4	Reglerentwurf für nichtdeterministische Automaten	483
14.3	Steuerungsentwurf für Petrinetze	484
14.3.1	Entwurf mit Hilfe des Erreichbarkeitsgrafen	484
14.3.2	Steuerungsentwurf unter Nutzung von S-Invarianten	486
14.4	Verifikation diskreter Steuerungen	493
	Literaturhinweise	495
15	Zustandsbeobachtung diskreter Systeme	497
15.1	Beobachtungsaufgabe	497
15.2	Beobachtung deterministischer und nichtdeterministischer Automaten	498
15.2.1	Beobachtungsalgorithmus für nichtdeterministische Automaten	498
15.2.2	Darstellung des Beobachtungsalgorithmus als Automat	504
15.2.3	Anwendung des Beobachtungsalgorithmus auf deterministische Automaten	506
15.2.4	Konsistenz von E/A-Paaren mit nichtdeterministischen Automaten	508
15.3	Beobachtung stochastischer Automaten	511
	Literaturhinweise	519
16	Diagnose diskreter Systeme	521
16.1	Diagnoseaufgabe	521
16.2	Diagnose nichtdeterministischer Automaten	522
16.2.1	Modellierung fehlerbehafteter Systeme	522
16.2.2	Detektion konstanter Fehler	524
16.2.3	Identifikation konstanter Fehler	525
16.2.4	Identifikation zeitabhängiger Fehler	532
16.3	Diagnose stochastischer Automaten	533
16.3.1	Beschreibung fehlerbehafteter Systeme durch stochastische Automaten	533
16.3.2	Grundidee der Diagnose stochastischer Systeme	534
16.3.3	Diagnosealgorithmus	540
	Literaturhinweise	548
17	Ausblick: Überwachung und Steuerung hybrider dynamischer Systeme	549
17.1	Automatisierung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme	549
17.2	Hybride dynamische Systeme	551
	Literaturhinweise	556
	Literaturverzeichnis	557

Anhänge

Anhang 1: Lösung der Übungsaufgaben	561
Anhang 2: Fachwörter deutsch – englisch	657
Sachwortverzeichnis	661