

Inhaltsverzeichnis

1	Lineare Regelung	1
1.1	Grundstrukturen	1
1.2	Konvergenz des Laplace-Integrals	6
1.3	Frequenzgang	7
1.4	Zeitbereich	10
1.5	Beispiel mit Grundaufgaben	11
1.6	Zusammenhang zwischen Phasenrand und Überschwingweite	14
1.7	Weitere Kenngrößen und Zusammenhänge	16
1.8	Zustandsraum	17
1.9	Deskriptordarstellung	20
1.10	Stabilität in Zustandsraumdarstellung	20
1.11	Stabilitätsgrenze direkt	20
1.12	Nyquist-Stabilitätskriterium	21
1.13	Cremer-Leonhard-Michailow-Kriterium	22
1.14	Wurzelorte	23
1.15	Hurwitz-Stabilitätskriterium	25
1.16	Stabilitätskriterium nach Routh	26
1.17	Parameterbedingungen an der Stabilitätsgrenze	27
1.18	Value-Set-Kriterium	29
1.19	Kharitonov-Theorem	30
1.20	Kantensatz	30
1.21	Robuste Eingrößenregelung bei unstrukturierter Unsicherheit	31
1.22	Robuste Stabilität von Mehrgrößenregelungen	33
1.22.1	Struktur einer additiven Unsicherheit	33
1.22.2	Robuste Stabilität	34
1.23	Zusammenfassung	35
1.24	Literatur	36
2	Nichtlineare Regelung	37
2.1	Lineare Approximation (Kleinsignal-Linearisierung)	37
2.2	Schaltende Regelungen 2.Ordnung in der Zustandsebene	38
2.3	Isoklinen in der Zustandsebene	43
2.4	Trajektorien der Zustandsebene als Vektorfeld	43
2.5	Beschreibungsfunktion und Spektrum eines nichtlinearen Fuzzy-Reglers	44
2.6	Multimodell	47

2.7	Exakte Linearisierung mit Zustandsrückführung	48
2.7.1	Definitionen	48
2.7.2	Nichtlineare Regelstrecke	49
2.8	Bedingungen für die exakte Zustandslinearisierung	54
2.9	Neuronales Netz mit Backpropagation-Learning	56
2.10	Hinreichendes Stabilitätskriterium nach Lyapunov	56
2.11	Zusammenfassung	58
2.12	Literatur	58
3	Digitale Regelung	59
3.1	Rechnerische Beschreibung eines Tasters	59
3.2	Periodisches Spektrum	61
3.3	Impuls-Tastung	62
3.4	Tastung mit Rechteck-Halteglied	62
3.5	Rechenoperationen des Digitalreglers	64
3.6	Apparativer Aufbau eines Digitalreglers	65
3.7	z -Transformation	66
3.8	z -Rücktransformation	68
3.9	Konvergenz der z -Summe	69
3.10	Lösung einer Differenzgleichung im Zeit- und Bildbereich	70
3.11	Wahl der Abtastzeit	73
3.12	Shannon-Theorem und Alias-Effekt	73
3.13	Regelkreis	73
3.14	BIBO-Stabilität	74
3.15	Nyquist-Stabilitätskriterium	76
3.16	w -Ebene	77
3.17	Stabilität unter Vereinfachungen	78
3.17.1	Stabilität für 2.Ordnung	78
3.17.2	Notwendige Stabilitätsbedingungen	78
3.17.3	Hinreichende Stabilitätsbedingungen	79
3.18	Windup-Effekt	80
3.19	Zeitdiskontinuierlicher Zustandsraum	80
3.19.1	Kürzeste (endliche) Ausregelzeit und Nachschwingfreiheit	83
3.20	Beispiel eines Regelkreises ohne und mit Halteglied	83
3.21	Zusammenfassung	89
3.22	Literatur	89
4	Mehrgrößenregelung	91
4.1	Wesen der Mehrgrößenregelung	91
4.2	Beschreibung und theoretische Grundlagen von Mehrgrößensystemen	93
4.2.1	Zustandsbeschreibung	93
4.2.2	Übertragungsfunktionsmatrix	94
4.2.3	Gewinnung von $G(s)$ aus dem Zustandsmodell	95
4.2.4	Mehrgrößenstrecken in V -kanonischer Struktur	96
4.2.5	Pole und Nullstellen von Mehrgrößensystemen	98
4.2.6	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	101

4.2.7	Stabilität.....	102
4.3	Strukturen der Mehrgrößenregelungen.....	102
4.3.1	Standard-Mehrgrößenregelkreis.....	102
4.3.2	Strukturierte Mehrgrößenregler.....	106
4.3.3	Zustandsrückführung.....	109
4.3.4	Zustandsregelungen mit Beobachter.....	112
4.3.5	Konstante Ausgangsrückführung.....	113
4.3.6	Dynamischer Kompensator.....	115
4.4	Stabilität linearer Mehrgrößenregelkreise.....	116
4.4.1	Stabilität anhand des Zustandsmodells des geschlossenen Systems.....	117
4.4.2	Stabilitätsprüfung im Bild- und Frequenzbereich	118
4.5	Literatur.....	122
5	Fuzzy-Regelung.....	123
5.1	Einführung.....	123
5.2	Die Regelbasis – ein linguistisches Modell	123
5.3	Zweiwertige Logik und scharfe Mengen	126
5.3.1	Logische Verknüpfungen.....	126
5.3.2	Logisches Schließen.....	128
5.3.3	Scharfe Mengen	129
5.3.4	Die charakteristische Funktion.....	131
5.4	Fuzzy-Logik und Fuzzy-Mengen.....	133
5.4.1	Fuzzy-Logik.....	134
5.4.2	Fuzzy-Mengen	135
5.5	Fuzzy-Regler nach Mamdani.....	137
5.5.1	Fuzzifizierung	138
5.5.2	Inferenz	139
5.5.3	Defuzzifizierung.....	144
5.5.4	Einordnung des Reglerkonzepts.....	146
5.5.5	Reglerentwurf.....	149
5.5.6	Beispiel: Fuzzy-Regler nach Mamdani	150
5.6	Fuzzy-Regler nach Sugeno und Takagi.....	153
5.7	Literatur.....	155
6	Neuro-Regelung	157
6.1	Künstliche Neuronale Netze.....	157
6.1.1	Einführung	157
6.1.2	Backpropagation	158
6.2	Einstellregeln mit KNN.....	160
6.2.1	Erkennung der Stabilitätsgrenze.....	160
6.2.2	Identifikation mit Backpropagation	162
6.2.3	Identifikation mit Hopfield-Netz.....	166
6.2.4	Prozessmodellfreier Reglerentwurf.....	168
6.3	Regelungsstrukturen mit KNN	170
6.4	Regelungstechnische Neuronen.....	174
6.5	Literatur.....	176

7	Praktische Einstellregeln für lineare Regelkreise	177
7.1	Einteilung von Einstellverfahren	177
7.2	Einstellen nach Fachwissen	180
7.2.1	Einstellen von Hand	180
7.2.2	Einstellen durch Simulation	181
7.3	Empirische Einstellregeln	183
7.3.1	Einstellung an unbekannter Regelstrecke	183
7.3.2	Einstellung an grob approximierter Regelstrecke	184
7.3.3	Einstellung an fein approximierter Regelstrecke	187
7.3.4	Einstellen von digitalen Reglern	189
7.4	Einstellregeln im Zeitbereich	190
7.5	Einstellregeln im Frequenzbereich	193
7.5.1	Einteilung	193
7.5.2	Betragsoptimum	193
7.5.3	Symmetrisches Optimum	196
7.5.4	Einstellung für vorgegebene Überschwingweite	197
7.5.5	Einstellung für vorgegebene Phasenreserve	199
7.5.6	Reglerentwurf anhand von Frequenzkennlinien	205
7.6	Einstellregeln im Pol-Nullstellen-Bild	208
7.7	Synthese durch Strukturoptimierung	210
7.7.1	Einteilung von Verfahren	210
7.7.2	Störgrößenaufschaltung und -vorregelung	211
7.7.3	Regelung mit Hilfsregelgrößen	212
7.7.4	Regelkreise mit Hilfsstellgrößen	213
7.8	Modelbasierte Reglerentwurfverfahren	214
7.8.1	Einteilung von Verfahren	214
7.8.2	Kompensationsregler	214
7.8.3	Smith-Prädiktor	215
7.8.4	Dead-Beat-Regler	216
7.9	Zusammenfassung	217
7.10	Literatur	218
8	Regelungen in der elektrischen Antriebstechnik	219
8.1	Trend zum drehzahlvariablen Drehstromantrieb	219
8.2	Grundfunktionen drehzahlveränderbarer Antriebe	220
8.3	Gleichstromantriebe	221
8.3.1	Netzgeführter Stromrichter	221
8.3.2	Gleichstromsteller	222
8.3.3	Regelung des Gleichstromantriebs	223
8.4	Drehstromantriebe	227
8.4.1	Der Leistungsteil und seine Steuerung	227
8.4.2	Drehzahlsteuerung	230
8.4.3	Die Drehzahlregelung mit unterlagerter Drehmomentsteuerung	231
8.4.4	Aktuelle Produkte	237
8.5	Ausblick auf zukünftige Entwicklungen	238

8.6	Literatur.....	239
9	Systemtechnik.....	241
9.1	Einführung.....	241
9.2	Vorhandenes System verstehen	242
9.2.1	Übersicht.....	242
9.2.2	Klassifizierung	242
9.2.3	Ausschnitt	245
9.2.4	Abschnitt.....	248
9.2.5	Genähertes Verfahren	250
9.3	System erstellen.....	262
9.3.1	Übersicht.....	262
9.3.2	Projektphasen.....	262
9.3.3	Erster Durchlauf: Mussziele.....	264
9.3.4	Zweiter Durchlauf: Sollziele	265
9.3.5	Dritter Durchlauf: Kannziele.....	265
9.3.6	Funktionalität erhöhen	266
9.4	Schlusswort	266
9.5	Literatur.....	267
10	Mechatronik	269
10.1	Einführung.....	269
10.2	Teilsysteme mechatronischer Systeme	270
10.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	270
10.2.2	Sensoren.....	272
10.2.3	Aktoren	273
10.2.4	Die Informationsverarbeitung	274
10.2.5	Das mechanische System	276
10.3	Modellbildung des mechanischen Systems.....	277
10.3.1	Mehrkörpersysteme.....	277
10.3.2	Die Kinematik von Mehrkörpersystemen.....	279
10.3.3	Die Kinetik von Mehrkörpersystemen	285
10.4	Steuerung und Regelung mechatronischer Systeme	286
10.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	286
10.4.2	Die entkoppelte Einzelachsregelung	288
10.4.3	Regelkreissynthese.....	290
10.4.4	Kompensation des Bahnfehlers.....	294
10.4.5	Die Führungsgrößenzeugung	294
10.5	Beispiele mechatronischer Systeme.....	300
10.5.1	Werkzeugmaschinen	300
10.5.2	Lackieranlagen in der Automobilindustrie	301
10.5.3	Schlauchbeutelmaschine für die Verpackungstechnik	303
10.6	Literatur.....	306

11 Steuerungstechnik.....	307
11.1 Einführung.....	307
11.2 Arten der Steuerung.....	309
11.2.1 Aufbau einer Steuerung	309
11.2.2 VPS und SPS	310
11.2.3 SPS-Projektierung.....	311
11.3 SPS-Programmiersysteme	312
11.3.1 Norm IEC-1131-3	312
11.3.2 Marktübersicht	313
11.3.3 Beispiel eines Programmiersystems.....	315
11.4 SPS-Programmiersprachen.....	317
11.4.1 Sprachelemente.....	317
11.4.2 Darstellung von Variablen	318
11.4.3 Datentypen.....	319
11.5 Die IEC-Sprachen (Dialekte)	320
11.5.1 Anweisungsliste (Instruction List)	320
11.5.2 Strukturierte Text ST (Structured Text).....	321
11.5.3 Kontaktplan (Ladder Diagram).....	322
11.5.4 Funktionsbausteinsprache (Function Block Diagram)	325
11.5.5 Ablaufsprache (Sequential Function Chart).....	327
11.5.6 Übersetzbarkeit von IEC-Sprachen.....	329
11.5.7 Derived (abgeleitete) Funktionsbausteine	330
11.6 Simulation. Grafische Aufzeichnung.....	331
11.7 Aspekte der praktischen Realisierung	333
11.7.1 Auswahlkriterien für klassische SPS.....	333
11.7.2 PC-basierte Steuerungen.....	335
11.7.3 Aktuelle Marktsituation	337
11.8 Zusammenfassung	338
11.9 Literatur.....	338
12 Bussysteme der Automatisierungstechnik	339
12.1 Einführung.....	339
12.2 Serielle Bussysteme der Automatisierungstechnik	341
12.2.1 Klassifizierung heutiger Bussysteme	341
12.2.2 Die Punkt-zu-Punkt-Verbindung.....	346
12.3 Das ISO/OSI-Referenzmodell	347
12.4 Realisierungsmerkmale der Bussysteme der Automatisierungstechnik.....	348
12.4.1 Topologie.....	348
12.4.2 Physikalisches Medium der Bussysteme.....	349
12.4.3 Verbindungsschicht 2a, der Buszugriff.....	351
12.4.4 Verbindungsschicht 2b, die logische Ankopplung an das Bussystem... ..	354
12.4.5 Schichten 3 bis 6 des ISO/OSI-Referenzmodells.....	357
12.5 Schnittstelle zu Anwenderprogrammen.....	358
12.5.1 Definition der Anwenderschnittstelle.....	358
12.5.2 Die Anwendungsschicht.....	359

12.5.3	Merkmale von FMS	360
12.5.4	ALI/API-Schnittstelle	361
12.5.5	Profile (User Layer)	362
12.6	Merkmale einiger Bussysteme der Automatisierungstechnik	363
12.6.1	Industrial-Ethernet	363
12.6.2	Profibus	365
12.6.3	Interbus-S	368
12.6.4	WorldFIP	370
12.6.5	CAN – Bus	371
12.6.6	ASI – Interface	373
12.7	Zusammenfassung und Ausblick	374
12.8	Literatur	376
13	Prozessleittechnik	377
13.1	Einführung und Übersicht	377
13.1.1	Ziele und Inhalte der Prozessleittechnik	377
13.1.2	Prozessleittechnik im Ebenenmodell	378
13.1.3	Technische Realisierung und methodische Grundlagen	381
13.2	Technik der Feldebene	382
13.2.1	Sensorsysteme	382
13.2.2	Aktorsysteme	385
13.2.3	Informationsfluss	386
13.3	Kommunikationstechnik	389
13.3.1	Analoge Kommunikation	389
13.3.2	Digitale Kommunikation	390
13.3.3	Hybride Kommunikation	392
13.4	Technik der Prozessleitebene	392
13.4.1	Historie	392
13.4.2	Prozessleitsysteme	393
13.4.3	CAE-Systeme	396
13.4.4	Open Control Systems	398
13.5	Modellierungsansätze und Methoden	400
13.5.1	Prozessmodellierung	400
13.5.2	Modellierung der leittechnischen Systeme	402
13.5.3	Modellierung der Systemzuverlässigkeit	403
13.6	Literatur	405
14	Prozessvisualisierung	407
14.1	Einführung	407
14.2	PC-basierte Automation	408
14.2.1	Prozessvisualisierung – Versuch einer Definition	408
14.2.2	Grundanforderungen an Prozessvisualisierungssysteme	410
14.3	Betriebssystemseitige Betrachtungen	411
14.4	Treiberseitige Betrachtungen	412
14.4.1	OPC – Austauschbar und Wiederverwendbar	413

14.4.2 OPC – Bestandteile und Umfang	413
14.4.3 Wo steht OPC heute?	414
14.5 Die Bediensysteme der Zukunft	414
14.6 Übersicht: SCADA-Systeme	415
14.7 Beispiel: Lookout	416
14.7.1 Konzeption	416
14.7.2 Leistungsfähigkeit	417
14.7.3 Offenheit	418
14.7.4 Konsequente Vernetzung	419
14.7.5 Visualisierungsmöglichkeiten	420
14.8 Beispiel: BridgeView	421
14.8.1 Einführung	421
14.8.2 Architektur	421
14.8.3 Erstellung einer BridgeVIEW-Applikation	423
14.8.4 Zukunftsweisende Technologien	425
14.8.5 OPC-Server und –Client Fähigkeiten	426
14.8.6 Toolboxes	426
14.9 Schlussfolgerungen	427
14.10 Literatur	428
15 Sicherheitsgerichtete Automatisierungstechnik	429
15.1 Einführung	429
15.2 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien	430
15.3 Grundbegriffe der Sicherheitstechnik	433
15.3.1 Allgemeines	433
15.3.2 Schaden	433
15.3.3 Risiko	434
15.3.4 Grenzzisiko	434
15.3.5 Gefahr und Sicherheit	435
15.3.6 Schutz	435
15.4 Automatisierungs- und Schutzeinrichtungen	436
15.5 Ermittlung von Risiko und Schutzmaßnahme	439
15.5.1 Prinzipielles Vorgehen	439
15.5.2 Ermittlung der Größe des Risikos	440
15.5.3 Technische Ausführung der Schutzmaßnahme	442
15.6 Verfügbarkeit einer Schutzeinrichtung	444
15.6.1 Stationäre Verfügbarkeit	444
15.6.2 Sicherheits- und betriebsbezogene Verfügbarkeit	445
15.7 Erhöhung der sicherheitstechnischen Verfügbarkeit	447
15.7.1 Allgemeine Maßnahmen	447
15.7.2 Homogene und diversitäre Redundanz	448
15.8 Programmierbare Systeme in der Sicherheitstechnik	452
15.9 Literatur	453

16 Computer Aided Engineering in der Automatisierungstechnik.....	455
16.1 Einleitung	455
16.1.1 Ziele und Inhalte des Engineerings	455
16.1.2 Computer Aided Engineering (CAE)	457
16.2 CAE-Plattform.....	458
16.2.1 Hard- und Software-Plattform.....	458
16.2.2 Software-Architektur.....	460
16.2.3 Änderungs- und Revisions-Verwaltung	462
16.3 CAE -Datenverarbeitung	462
16.3.1 Engineering-Module	462
16.3.2 Massendatenbearbeitung.....	464
16.3.3 Bibliotheken.....	466
16.3.4 Datenschnittstellen.....	466
16.4 Werkzeuge der Anlagen-CAE	468
16.4.1 Konfiguration nach Prozessstypen.....	468
16.4.2 Strukturierung	469
16.4.3 Navigation.....	473
16.4.4 Layout-Planung.....	474
16.4.5 PLT-Stellenblatt.....	474
16.4.6 Geräte-Datenblätter.....	476
16.5 Werkzeuge der elektrischen CAD	476
16.5.1 Funktionen	476
16.5.2 PLT-Stellenpläne	477
16.5.3 Stromlaufpläne	477
16.5.4 Verbindungsplanung.....	478
16.5.5 Kabelplanung	479
16.6 Einbindung von Regelung und Steuerung	479
16.6.1 Automatisierungsfunktionen	479
16.6.2 Software-Planung.....	480
16.6.3 Hardware-Planung	481
16.6.4 MMI-Konfiguration	483
16.7 Ausblick	485
16.8 Literatur.....	486
Formelzeichen und Abkürzungen.....	487
Sachwortverzeichnis	493