

Inhalt

1	Stand und Trends der Regelungstechnik	11
1.1	Klassische Regelung und Steuerung	11
1.2	Historischer Überblick	12
1.3	Dualität eines Regelkreises	16
1.4	Klassische DGL-basierte Regelungstechnik.....	18
1.4.1	Beschreibung mittels Differentialgleichungen	18
1.4.2	Zeit-, Frequenz- und Bildbereich	20
1.4.3	Von linearen zu nichtlinearen Regelstrecken	20
1.4.4	Von stetigen zu unstetigen Systemen	21
1.4.5	Von einschleifigen zu vermaschten Regelkreisen	22
1.4.6	Von vermaschter Regelung zur Mehrgrößenregelung.....	23
1.4.7	Von analoger zu digitaler Technik.....	24
1.4.8	Diskretisierung von Regelungsalgorithmen	24
1.5	PC-basierte Regelungstechnik	26
1.5.1	Simulation und Regelung.....	26
1.5.2	Modellbasierte Verfahren	26
1.5.3	Intelligente Feldgeräte	28
1.6	Prozessinformatik	29
1.6.1	Integration von Regelung und Steuerung	29
1.6.2	Integration von PC und SPS-Welt	31
1.6.3	IEC-Programmierung oder UML?	32
1.6.4	Objektorientierte Programmierung	34
1.6.5	Objektbasierte Kommunikation: CORBA	36
1.6.6	Prozess-Feldgerät-Kommunikation	36
1.6.7	Client/Server-Verbindung.....	40
1.6.8	Remote-Systems.....	42
1.6.9	SOAP	43
1.6.10	HMI.....	44
1.6.11	SCADA	45
1.6.12	Prozessvisualisierungssysteme	47
1.6.13	Vertikale Integration	48
1.6.14	Probleme der Informationsverarbeitung	48
1.7	Von Informations- zur Wissensverarbeitung.....	50

2	Wissensbasierte Verfahren	51
2.1	Künstliche neuronale Netze	51
2.1.1	Lernfähigkeit.....	51
2.1.2	Neuronen.....	52
2.1.3	Anwendungsbeispiel: Stabilitätsgrenze	56
2.1.4	Anpassung des Lernalgorithmus an digitale Regelkreise.....	58
2.1.5	Neuronale Netze.....	62
2.1.6	Beispiel: Backpropagation-Netz	64
2.1.7	Vorteile und Nachteile von KNN	65
2.2	Fuzzy-Regelung	66
2.2.1	Fuzzy-Logik.....	66
2.2.2	Linguistische Variablen	67
2.2.3	Zugehörigkeitsfunktion.....	67
2.2.4	Logische Operationen mit scharfen Mengen	68
2.2.5	Unscharfe Mengen	69
2.2.6	Logische Operationen mit unscharfen Mengen	70
2.2.7	Fuzzifizierung	70
2.2.8	Regelbasis	71
2.2.9	Erfüllungsgrad einer Regel	71
2.2.10	Inferenz	72
2.2.11	Defuzzifizierung	73
2.3	Fuzzy-Regler.....	74
2.3.1	Bausteine eines Fuzzy-Reglers nach Mamdani	75
2.3.2	Übungsaufgabe: Geschwindigkeitsregelung	76
2.3.3	Marktprodukte.....	79
2.4	Mehrgrößen-Fuzzy-Regler mit PLS	79
2.4.1	MIMO-Regelstrecke	79
2.4.2	Systemkonfiguration	81
2.4.3	Aufbau des Mehrgrößen-Fuzzy-Reglers	82
2.4.4	Versuche mit dem Mehrgrößen-Fuzzy-Regler	86
3	Duale Regelungssysteme	89
3.1	Dualitätsprinzip.....	89
3.1.1	Allgemeine Definition	89
3.1.2	Symmetrie und Antisymmetrie als duale Operationen.....	90
3.1.3	Dualität in der Mathematik	93
3.1.4	Dualität in der Elektrotechnik.....	99
3.1.5	Dualität in der Systemtheorie	100

3.2	Konzept der dualen Regelung	107
3.2.1	Behandlung von dualen Regelkreisen.....	108
3.2.2	Lernmechanismen	110
3.2.3	Nichtiteratives Lernen.....	112
3.3	Beispiele dualer Regelung	116
3.3.1	Kooperative Behandlung	116
3.3.2	Hybride Behandlung	118
3.4	Trial-Elemente	129
3.4.1	Fuzzy-Regler ohne Fuzzy-Logik	130
3.4.2	Fuzzy-Trial-Elemente mit MATLAB	132
3.4.3	Fuzzy-Trial-Elemente mit IEC-Sprachen	134
3.4.4	KNN ohne Backpropagation.....	135
3.5	Abschlussbemerkung	136
4	Duale Grundglieder	137
4.1	Regelungstechnische Grundglieder	137
4.1.1	Blöcke des Wirkungsplanes.....	137
4.1.2	Konventionelle DGL-basierte lineare Übertragungsglieder.....	140
4.1.3	Lineare zeitinvariante Glieder (LZI).....	140
4.1.4	Zusammengesetzte LZI-Glieder	143
4.1.5	Lineare Glieder mit zeitabhängigen Parametern (LZV).....	145
4.2	Wissensbasierte Grundglieder	147
4.2.1	Fuzzy-Glieder	147
4.2.2	Neuro-Elemente	149
4.3	Duale regelungstechnische Glieder	150
4.3.1	Klassifikation und Zusammenstellung.....	150
4.3.2	Beispiele.....	152
5	Klassische Mehrgrößenregelung	155
5.1	MIMO-Regelstrecke	155
5.1.1	Struktur	155
5.1.2	Beispiel: Strecke in P-Struktur	156
5.1.3	Statischer und dynamischer Koppelfaktor.....	158
5.2	Diagonalregler.....	159
5.2.1	Wirkungsplan.....	159
5.2.2	Ersatzregelstrecke	160
5.2.3	Stabilität eines Regelkreises mit Diagonalregler	164

5.2.4	Beispiel: Stabilitätsuntersuchung.....	165
5.2.5	Entwurf eines Diagonalreglers.....	168
5.3	Entkopplungsregler.....	173
5.3.1	Matrizen-Darstellung.....	173
5.3.2	Autonome Regelung.....	174
5.3.3	Zerlegung der Übertragungsmatrix.....	174
5.3.4	Entkoppelte Regelung einer Regelstrecke in P-Struktur.....	175
5.3.5	Beispiel: Entwurf einer entkoppelten Regelung.....	176
5.3.6	Entkoppelte Regelung einer Regelstrecke in V-Struktur.....	180
5.3.7	Beispiel: Entkopplung mit Abgriffsorten an Regeldifferenzen.....	181
6	Duale Mehrgrößenregelung.....	183
6.1	Einführung.....	183
6.2	Projektbeispiel: Molekularfilter.....	184
6.2.1	Aufgabenstellung.....	184
6.2.2	Verfahrenstechnische Anlage.....	184
6.2.3	Identifikation der Regelstrecke.....	185
6.3	Regelung mit konventionellem Mehrgrößenregler.....	191
6.3.1	Entwurf des Diagonalreglers.....	191
6.3.2	Entwurf des Entkopplungsreglers.....	192
6.3.3	Simulation von konventionellen Reglern.....	193
6.4	Konzept der dualen Mehrgrößenregelung.....	196
6.4.1	Diagonaler Fuzzy-Regler.....	199
6.4.2	Entkoppelter dualer Mehrgrößenregler.....	200
6.5	Realisierung eines dualen Mehrgrößenreglers.....	206
6.5.1	MATLAB-Realisierung.....	206
6.5.2	PLS-Realisierung.....	211
7	Formelsammlung: Lineare Regelungstechnik.....	215
7.1	Grundlagen.....	215
7.1.1	Test-Eingangssignale.....	215
7.1.2	Lösung der Differentialgleichung.....	215
7.1.3	Mathematische Beschreibung von Regelkreisen.....	216
7.1.4	Statisches Verhalten.....	217
7.1.5	Wirkungsplan.....	218
7.1.6	Übertragungsfunktionen.....	219
7.1.7	Grenzwertsätze.....	219

7.1.8	Komplexer Regelfaktor.....	219
7.1.9	Regelungstechnische Grundglieder	220
7.1.10	Systeme 2. Ordnung.....	221
7.1.11	Regelbarkeit	222
7.1.12	Reglertypen	223
7.1.13	Simulation eines PID-Reglers mit MATLAB/Simulink.....	228
7.2	Regelkreisverhalten im Zeitbereich	229
7.2.1	P-Regler mit P-T ₁ -Strecke	230
7.2.2	I-Regler mit P-T ₁ -Strecke	231
7.2.3	I-Regler mit I-Strecke	232
7.2.4	PI-Regler mit P-T ₁ -Strecke	233
7.2.5	PI-Regler mit I-Strecke	234
7.2.6	PD-Regler mit P-T ₂ -Strecke	235
7.2.7	PID-Regler mit P-T ₂ -Strecke.....	236
7.3	Regelkreisverhalten im Frequenzbereich.....	237
7.3.1	Bode-Diagramm.....	237
7.3.2	Bode-Diagramme einzelner Grundglieder.....	238
7.3.3	Bode-Diagramm des aufgeschnittenen Kreises	241
7.3.4	Beispiel: Konstruktion von Asymptoten eines offenen Kreises.....	245
7.4	Stabilitätsuntersuchung.....	248
7.4.1	Definition	248
7.4.2	Notwendige und hinreichende Stabilitätsbedingung	249
7.4.3	Stabilitätskriterium nach Hurwitz.....	251
7.4.4	Vereinfachtes Stabilitätskriterium nach Nyquist.....	253
7.4.5	Nyquist-Kriterium im Bode-Diagramm.....	256
7.4.6	Betrags- und Phasereserve	257
7.4.7	Vollständiges Nyquist-Kriterium.....	258
7.4.8	Vollständiges Nyquist-Kriterium im Bode-Diagramm	259
7.4.9	Vollständiges Nyquist-Kriterium mit inversen Ortskurven.....	261
7.5	Reglereinstellung	262
7.5.1	Ziegler-Nichols-Verfahren.....	262
7.5.2	Integralkriterien.....	262
7.5.3	Kompensationsbeispiele	263
7.5.4	Betragsoptimum	263
7.5.5	Symmetrisches Optimum.....	264
7.5.6	Frequenzkennlinien-Verfahren (FKL).....	264
7.5.7	Dead-Beat-Regler.....	265
7.5.8	Kaskadenregelung.....	266
7.5.9	Störgrößenaufschaltung	266
7.5.10	Zweigrößenregelung	267

7.6	Digitale Regelung	270
7.6.1	Digitalisierung von Regelalgorithmen.....	270
7.6.2	z -Transformation.....	270
7.6.3	z -Übertragungsfunktionen von Standard-Reglern	271
7.6.4	z -Übertragungsfunktionen einer Strecke mit dem Halteglied	271
7.6.5	z -Übertragungsfunktion des aufgeschnittenen Kreises.....	272
	Literatur	273
	Sachwortverzeichnis	275

7.6.6