

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	5
1 Einführung in die Regelungstechnik . . . . .	13
1.1 Grundbegriffe der Regelungstechnik . . . . .	13
1.2 Definition von Steuerung und Regelung . . . . .	14
1.2.1 Steuerung . . . . .	14
1.2.2 Regelung . . . . .	16
1.2.3 Merkmale von Regelungen und Steuerungen . . . . .	19
2 Signale . . . . .	21
3 Systemeigenschaften . . . . .	25
3.1 Dynamisches und statisches Verhalten von Systemen . . . . .	25
3.2 Lineare und nichtlineare Systeme . . . . .	26
3.3 Linearisierung nichtlinearer Systeme . . . . .	28
3.3.1 Linearisieren des statischen Verhaltens . . . . .	28
3.3.1.1 Grafische Linearisierung . . . . .	28
3.3.1.2 Analytisches Linearisieren . . . . .	29
3.4 Zeitvariante und zeitinvariante Systeme . . . . .	30
3.5 Beschreibung von Regelkreisgliedern durch Differentialgleichungen . . . . .	31
3.5.1 Aufstellen von Differentialgleichungen . . . . .	31
3.5.2 Lösung der Differentialgleichungen durch einen geeigneten Ansatz . . . . .	34
3.5.3 Spezielle Eingangssignale in der Regelungstechnik . . . . .	37
3.5.4 Übergangsfunktion (Sprungantwort) . . . . .	38
4 Modellbildung . . . . .	41
4.1 Allgemeines System . . . . .	43
4.2 Mechanisch-translatorisches System . . . . .	44
4.3 Mechanisch-rotatorisches System . . . . .	45
4.4 Elektrisches System . . . . .	46
4.5 Fluidisches System . . . . .	47
4.6 Thermodynamisches System . . . . .	47
4.7 Systemanalogien . . . . .	48

5	Darstellung von Regelkreisgliedern durch Übertragungsfunktion und Frequenzgang .....	51
5.1	LAPLACE-Transformation .....	51
5.1.1	Haupteigenschaften der LAPLACE-Transformation .....	53
5.1.2	Grenzwertsätze .....	54
5.1.3	Übertragungsfunktion .....	55
5.1.4	Frequenzgang .....	56
5.1.5	Grafische Darstellung des Frequenzgangs .....	58
5.1.6	Ortskurve .....	60
5.1.7	BODE-Diagramm .....	61
6	Regelstrecken .....	65
6.1	Proportionale Regelstrecken .....	67
6.1.1	Proportionale Strecken ohne Verzögerung (P-Glied) .....	67
6.1.2	Proportionale Strecken mit Verzögerung 1. Ordnung (PT <sub>1</sub> -Glied) .....	68
6.1.3	Schwingungsfähige Proportionalstrecken (PT <sub>2</sub> -Glied) .....	71
6.2	Integrierende Regelstrecken .....	79
6.2.1	Integrierende Strecken ohne Verzögerung (I-Glied) .....	79
6.2.2	Integrierende Strecken mit Verzögerungen (IT <sub>n</sub> -Glied) .....	82
6.2.3	Differenzierende Regelstrecken .....	86
6.2.3.1	Idealer Differenzierer .....	86
6.2.3.2	Strecken mit differenzierendem und verzögerndem Verhalten (DT <sub>n</sub> -Element) .....	89
6.2.3.3	Proportionale Strecken mit differenzierendem und verzögerndem Verhalten (PDT <sub>n</sub> -Element) .....	93
6.2.4	Strecken mit Totzeit (T <sub>t</sub> -Element) .....	96
7	Darstellung des Frequenzganges im BODE-Diagramm .....	101
7.1	Konstruktion eines BODE-Diagramms .....	103
8	Signalflusspläne .....	107
8.1	Übertragungsblöcke .....	107
8.2	Verknüpfungselemente .....	108
8.3	Verknüpfungs- und Vereinfachungsregeln .....	109
8.3.1	Kettenstruktur .....	110
8.3.2	Parallelstruktur .....	110
8.4	Umformung von Signalflussplänen .....	110
8.5	Anwendungen .....	113

<b>9</b>	<b>Regelkreis</b>	<b>119</b>
9.1	Verhalten des Regelkreises bei einer Eingangsgröße	121
9.1.1	Führungsverhalten	121
9.1.2	Störungsübertragungsverhalten von Versorgungsstörgrößen	122
9.1.3	Störungsübertragungsverhalten von Laststörgrößen	122
9.2	Untersuchung von Regelkreisstrukturen	123
9.2.1	Regler für proportionale Strecken	123
9.2.1.1	Verzögerungsstrecke 1. Ordnung ( $PT_1$ -Strecke)	123
9.2.1.1.1	P-Regler	124
9.2.1.1.2	PI-Regler	127
9.2.1.1.3	Verzögerungsstrecke 2. Ordnung ( $PT_2$ -Strecke)	131
9.2.2	Integrierende Strecke mit einer Verzögerung 1. Ordnung ( $PIT_1$ -Strecke)	134
<b>10</b>	<b>Regler</b>	<b>139</b>
10.1	PID-Regler	139
10.1.1	Analytische Parameterermittlung	141
10.1.1.1	$PT_3$ -Strecke	141
10.1.1.2	$PT_{2s}$ -Strecke	143
10.1.2	Empirische Einstellregeln für PID-Regler	143
10.1.2.1	Einstellregeln nach ZIEGLER-NICHOLS	144
10.1.2.2	Einstellregeln nach CHIEN, HRONES und RESWICK	145
10.1.3	Vergleich der unterschiedlichen Auslegungen	146
10.1.4	T-Summen-Regel	146
10.1.5	Begrenzung der Stellgröße	147
10.2	Analytische Regler	148
10.2.1	Vorgabe des Verhaltens des geschlossenen Regelkreises	149
10.2.2	Verfahren nach TRUXAL-GUILLEMIN	152
10.3	Kaskadenregelung	157
10.4	Schaltende Regler	162
10.4.1	2-Punkt-Regler	162
<b>11</b>	<b>Identifikation von Strecken</b>	<b>167</b>
11.1	Experimentelle Analyse mit sprungförmiger Anregung	167
11.1.1	$PT_1$ -Element	168
11.1.2	Schwingungsfähiges $PT_2$ -Element	169
11.1.3	Nicht-schwingungsfähige PTn-Elemente	170
11.1.3.1	Prinzip des Wendepunktverfahrens für $PT_2$ -Elemente	171

11.1.3.2	Wendetangentenverfahren für Übertragungselemente mit 2 unterschiedlichen Zeitkonstanten . . . . .	171
11.1.3.3	Wendetangentenverfahren für $n$ Übertragungselemente mit gleichen Zeitkonstanten . . . . .	173
11.1.3.4	Wendetangentenverfahren für Übertragungselemente mit mehreren unterschiedlichen Zeitkonstanten . . . . .	175
11.2	Identifikation von Intergral-Elementen mit Verzögerungen (PIT <sub>n</sub> ) . . . . .	178
11.3	Identifikation von Proportional-Differential-Elementen mit Verzögerung 1. Ordnung (PDT <sub>1</sub> ) . . . . .	180
12	Stabilität von Regelkreisen . . . . .	183
12.1	Definition der Stabilität . . . . .	183
12.2	Stabilitätskriterium nach HURWITZ . . . . .	186
12.2.1	Beispiele zur Regler-Auslegung nach dem HURWITZ-Kriterium . . . . .	187
12.3	NYQUIST-Kriterium . . . . .	190
13	Optimierung von Regelkreisen . . . . .	197
13.1	Begriff der Regelfläche . . . . .	197
13.1.1	Integralkriterium der linearen Regelfläche . . . . .	197
13.1.2	Integralkriterien der Betragsregelfläche . . . . .	200
13.1.3	Integralkriterium der Quadratischen Regelfläche . . . . .	201
14	Regelungstechnische Lösungen . . . . .	205
14.1	Kontinuierlicher Proportional-Regler . . . . .	205
14.2	Kontinuierlicher Integralregler . . . . .	205
14.3	2-Punkt-Regler (mechanisch) . . . . .	206
14.4	Prozessregler . . . . .	207
14.5	Spezialregler . . . . .	209
14.6	Mechatronische Systeme . . . . .	211
14.7	Automatisierungssysteme . . . . .	213
15	Lösungen zu den Aufgaben . . . . .	215
15.1	Aufgaben zu Kapitel 3 . . . . .	215
15.2	Aufgaben zu Kapitel 4 . . . . .	217
15.3	Aufgaben zu Kapitel 5 . . . . .	218
15.4	Aufgabe zu Kapitel 6 . . . . .	224
15.5	Aufgaben zu Kapitel 7 . . . . .	226

15.6 Aufgaben zu Kapitel 8 .....	230
15.7 Aufgaben zu Kapitel 9 .....	235
15.8 Aufgaben zu Kapitel 10 .....	238
15.9 Aufgaben zu Kapitel 11 .....	241
15.10 Aufgabe zu Kapitel 12 .....	245
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>249</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>251</b>