

# 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 ( $PT_1$ -Glied)	68
6.1.3	Schwingungsfähige Proportionalstrecken ( $PT_2$ -Glied)	71
6.2	Integrierende Regelstrecken	79
6.2.1	Integrierende Strecken ohne Verzögerung (I-Glied)	79
6.2.2	Integrierende Strecken mit Verzögerungen ( $IT_n$ -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 ( $DT_n$ -Element)	89
	6.2.3.3 Proportionale Strecken mit differenzierendem und verzögerndem Verhalten ( $PDT_n$ -Element)	93
6.2.4	Strecken mit Totzeit ( $T_t$ -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>	119
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>	139
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>	167
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 $PT_n$ -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 Integral-Elementen mit Verzögerungen ( $PIT_n$ )	178
11.3	Identifikation von Proportional-Differential-Elementen mit Verzögerung 1. Ordnung ( $PDT_1$ )	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>