

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	11
1.1	Aufgaben der Regelungstechnik	11
1.2	Steuern oder Regeln?	12
1.3	Regelkreise im Wirkungsplan	15
1.4	Festwert- und Folgeregelung	16
1.4.1	Festwertregelung	17
1.4.2	Folgeregelung	17
1.5	Elemente und Größen des Regelkreises	18
2	Die Regelstrecke	21
2.1	Regelstrecken mit und ohne Ausgleich	21
2.2	Statisches Verhalten der Regelstrecke	22
2.3	Dynamisches Verhalten der Regelstrecke	26
2.3.1	P-Glied	29
2.3.2	P-T ₁ -Glied (Verzögerungsglied 1. Ordnung)	33
2.3.3	P-T ₂ -Glied (Verzögerungsglied 2. Ordnung)	39
2.3.4	P-T ₂ S-Glied	42
2.3.5	P-T _n -Glied (Verzögerungsglied n-ter Ordnung)	48
2.3.6	Totzeitglied (P-T _i -Glied)	50
2.3.7	Integrier-Glied (I-Glied)	52
2.3.8	I-T ₁ -Glied	54
2.3.9	Weitere Übertragungsglieder ohne Ausgleich	55
2.4	Experimentelle Ermittlung von Strecken-Kenngrößen aus der Sprungantwort	58
2.4.1	Verfahren nach <i>Küpfmüller</i>	58
2.4.2	Verfahren nach <i>Strejc</i>	59
2.4.3	Verfahren nach <i>Naslin</i>	62
2.4.4	Verfahren nach <i>Ormanns</i>	66
2.4.5	Wendetangentenverfahren	68
2.4.6	Verfahren der Zeitprozentkennwerte	71
2.4.7	Verfahren nach <i>Thal-Larsen</i>	73
2.4.8	Identifikation von Regelstrecken ohne Ausgleich	77
3	Regelungen mit PID-Reglern	79
3.1	Typen von Reglern	79
3.2	Der Proportional-Regler (P-Regler)	79
3.3	Der Integral-Regler (I-Regler)	87
3.4	Der Proportional-Integral-Regler (PI-Regler)	90

3.5	Der Proportional-Integral-Differential-Regler (PID-Regler).....	94
3.6	Der Proportional-Differential-Regler (PD-Regler).....	96
3.7	PID- T_1 - und PD- T_1 -Regler	98
4	Entwurf von PID-Reglern.....	101
4.1	Anforderungen an den Regelkreis.....	101
4.1.1	Führungs- und Störverhalten.....	101
4.1.2	Generelle Anforderungen an eine Regelung	102
4.1.3	Gütekriterien für das Führungsverhalten.....	103
4.1.4	Gütekriterien für das Störverhalten.....	104
4.1.5	Problem der bleibenden Regeldifferenz	105
4.2	Geeignete Regler-Strecken-Kombinationen.....	105
4.3	PID-Entwurf nach <i>Ziegler/Nichols</i>	106
4.3.1	Verfahren des Stabilitätsrands (Schwingversuch)	106
4.3.2	Verfahren der Sprungantwort-Analyse	108
4.4	Einstellregeln nach <i>Chien, Hrones</i> und <i>Reswick</i>	109
4.4.1	Einstellregeln für Strecken mit Ausgleich.....	110
4.4.2	Einstellregeln für Strecken ohne Ausgleich.....	113
4.5	Einstellregeln nach <i>Oppelt</i>	116
4.6	PID-Entwurf nach der T-Summen-Regel.....	118
4.7	PID-Entwurf nach dem Betragsoptimum.....	120
5	Regelungen mit unstetigen Reglern	125
5.1	Unstetige Regler ohne Rückführung.....	125
5.1.1	Zweipunkt-Regler ohne Hysterese	125
5.1.2	Zweipunkt-Regler mit Hysterese.....	126
5.1.3	Dreipunkt-Regler	137
5.2	Unstetige Regler mit Rückführung	140
5.2.1	Zweipunkt-Regler mit verzögerter Rückführung	141
5.2.2	Zweipunkt-Regler mit verzögert nachgebender Rückführung	143
5.2.3	Dreipunkt-Regler mit verzögerter Rückführung (Schrittregler)	146
6	Vermaschte Regelkreise	149
6.1	Störgrößenaufschaltung	149
6.2	Hilfsgrößenaufschaltung	152
6.3	Unterlagerte Regelung (Kaskadenregelung).....	153
7	Digitale Regelung	157
7.1	Prinzip der digitalen Regelung	157
7.2	Der digitale PID-Regler	159
7.3	Einstellregeln für digitale PID-Regler	162
8	Reglerentwurf im Frequenzbereich	167
8.1	Frequenzgang linearer Systeme.....	167
8.2	Grafische Darstellung des Frequenzgangs	171

8.3	Frequenzgang regelungstechnischer Grundglieder	174
8.3.1	P-Glied	174
8.3.2	P-T ₁ -Glied	175
8.3.3	P-T ₂ S-Glied	178
8.3.4	Totzeitglied	181
8.3.5	I-Glied	183
8.3.6	D-Glied.....	185
8.4	Frequenzgang von Reihenschaltungen.....	187
8.5	Frequenzgang des PID-Reglers.....	191
8.6	Stabilität von Regelkreisen.....	197
8.7	Reglerentwurf	203
8.7.1	Phasen- und Amplitudenreserve	203
8.7.2	PI-Regler	208
8.7.3	PID-Regler	210
8.7.4	PD-Regler.....	212
9	Unschärfe Regelung (Fuzzy Control)	215
9.1	Der Mensch als Regler.....	215
9.2	Grundlagen der Fuzzy-Logik.....	217
9.2.1	Fuzzy-Mengen	217
9.2.2	Linguistische Variablen und Terme.....	219
9.2.3	Fuzzy-Inferenz	220
9.2.4	Defuzzifizierung.....	223
9.2.5	Fuzzy-Inferenz bei mehreren Eingangsgrößen	225
9.3	Fuzzy Controller.....	227
9.4	Hybride und adaptive Fuzzy-Regelungssysteme	232
9.4.1	Nichtadaptive Systeme mit konventionellem Regler	233
9.4.2	Umschaltregelungen mit Fuzzy-Komponente	237
9.4.3	Adaptive Konzepte	237
10	Begleit-Software zum Buch	243
10.1	Installation der Software	243
10.2	Programmmodule von WINFACT 7.....	244
10.3	Das blockorientierte Simulationssystem BORIS.....	245
10.3.1	Übersicht	245
10.3.2	Komponenten des BORIS-Hauptfensters	245
10.3.3	Aufbau der Simulationsstruktur	247
10.3.4	Steuerung der Simulation	248
10.3.5	Ermittlung von Frequenzgängen	249
10.4	Ermittlung von Frequenzgängen mit LISA	251
10.4.1	Übersicht	251
10.4.2	Einlesen der Daten	251
10.4.3	Darstellungsform und Speichern von Ergebnissen	252
10.5	Reglerentwurf im Frequenzbereich mit RESY	254
10.5.1	Übersicht	254

10.5.2	Bildschirmaufbau	256
10.5.3	Konfigurierung des Regelkreises	257
10.6	Entwurf und Analyse von Fuzzy-Systemen mit FLOP	257
10.6.1	Übersicht.....	257
10.6.2	Linguistische Variablen.....	258
10.6.3	Regelbasis.....	259
10.6.4	Systemanalyse im Debug-Modus	260
11	Anwendungsbeispiel: Drehzahlregelung eines Gleichstromantriebs.....	263
11.1	Vorstellung der Regelstrecke.....	263
11.1.1	Modellierung des Motors.....	264
11.1.2	Modellierung des Stromrichters	265
11.1.3	Modellierung des Tachogenerators	266
11.1.4	Gesamtstruktur der Regelstrecke.....	266
11.1.5	Sprungantwort und Frequenzgang der Regelstrecke.....	268
11.2	Reglerentwurf im Zeitbereich.....	270
11.2.1	Schwingversuch nach Ziegler/Nichols	270
11.2.2	Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick	272
11.2.3	Reglerentwurf nach der T-Summen-Regel	275
11.2.4	Reglerentwurf nach dem Betragsoptimum	276
11.2.5	Zweipunkt-Regelung der Gleichstrommaschine	277
11.3	Reglerentwurf im Frequenzbereich.....	278
11.3.1	Stabilitätsanalyse	278
11.3.2	Entwurf eines PI-Kompensationsreglers.....	280
11.4	Vergleich der Entwurfsergebnisse.....	282
	Literatur	285
	Stichwortverzeichnis	287