

Inhaltsverzeichnis

Zum Geleit	11
Vorwort zur achten Auflage	13
Vorwort zur zwölften Auflage	15
Vorwort zur vierzehnten Auflage	16
1 Einführung in die Regelungstechnik	17
1.1 Aufgabe der Regelungstechnik	17
1.2 Begriffe und Benennungen	18
1.2.1 Steuerung	18
1.2.2 Regelung	20
1.2.3 Signalfußplan	23
1.3 Bauglieder in Regelkreisen und Steuerketten	26
1.3.1 Fühler	26
1.3.1.1 Fühler für Druck	26
1.3.1.2 Fühler für Durchfluß	28
1.3.1.3 Fühler für Füllstand	31
1.3.1.4 Fühler für Temperatur	32
1.3.1.5 Fühler für Kraft	34
1.3.1.6 Fühler für Drehzahl	35
1.3.2 Meßumformer	36
1.3.3 Sollwerteinsteller	39
1.3.4 Summierglied, Vergleicher	40
1.3.5 Zeitglieder	40
1.3.6 Regler	43
1.3.7 Stellgerät	46
1.4 Steuer- und Regelaufgaben	50
1.4.1 Steuerung	50
1.4.2 Festwertregelung	54

1.4.3	Folgeregelung	56
1.4.3.1	Nachlaufregelung	56
1.4.3.2	Verhältnisregelung	57
1.5	Steuer- und Regelschaltungen	58
1.5.1	Festwertregelschaltungen	58
1.5.1.1	Einfachregelkreis	58
1.5.1.2	Einfachregelkreis mit Aufschaltungen . . .	60
1.5.1.3	Kaskadenregelkreis	62
1.5.2	Folgeregelschaltungen	65
2	Beschreibung des Übertragungsverhaltens	69
2.1	Beschreibung mit Hilfe von Differentialgleichungen	69
2.1.1	Arten von Differentialgleichungen zur Beschreibung von Regelkreisgliedern	69
2.1.2	Eigenschaften linearer zeitinvarianter Übertragungsglieder	73
2.1.2.1	Homogenität	73
2.1.2.2	Superposition	73
2.1.2.3	Zeitinvarianz	74
2.1.3	Linearisierung	74
2.1.3.1	Statischer Zusammenhang gemäß einer stetigen Kennlinie	75
2.1.3.2	Dynamischer Zusammenhang gemäß einer nichtlinearen Differentialgleichung	76
2.1.4	Lösung von gewöhnlichen linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten	77
2.1.4.1	Lösung mit Hilfe von Lösungsansätzen . . .	77
2.1.4.2	Lösung mit Hilfe der Laplace-Transformation	82
2.2	Beschreibung mit Hilfe der Übertragungsfunktion	88
2.3	Beschreibung mit Hilfe von Antwortfunktionen	89
2.3.1	Impulsfunktion, Impulsantwort	90
2.3.2	Sprungfunktion, Sprungantwort	91
2.3.3	Anstiegsfunktion, Anstiegsantwort	92
2.3.4	Cosinusfunktion, Schwingungsantwort	93
3	Lineare Übertragungsglieder	95
3.1	Analogien	95

3.1.1	Verallgemeinerte Größen	96
3.1.2	Analoge Bauglieder	97
3.1.2.1	Energiequellen	97
3.1.2.2	Energieverbraucher	98
3.1.2.3	Energiespeicher	99
3.1.3	Entwurf eines mathematischen Modells	102
3.2	Elementare Übertragungsglieder	106
3.2.1	Regelstrecken	107
3.2.1.1	Regelstrecken mit proportionalem Verhalten	107
3.2.1.2	Regelstrecken mit integrierendem Verhalten	120
3.2.2	Regler	120
3.2.2.1	Proportional wirkender Regler	120
3.2.2.2	Integrierend wirkender Regler	123
3.2.2.3	Differenzierend wirkender Regler	125
3.2.2.4	Proportional und integrierend wirkender Regler	127
3.2.2.5	Proportional und differenzierend wirkender Regler	130
3.2.2.6	Proportional, integrierend und differenzierend wirkender Regler	134
4	Simulation des Zeitverhaltens	140
4.1	Simulatoren	140
4.1.1	Analogrechner	140
4.1.2	Digitalrechner	141
4.2	Simulation am Analogrechner	143
4.2.1	Rechenelemente	143
4.2.1.1	Koeffizientenpotentiometer	143
4.2.1.2	Summierer	145
4.2.1.3	Offener Verstärker	146
4.2.1.4	Integrierer	147
4.2.1.5	Multiplizierer	147
4.2.1.6	Funktionsgeber	148
4.2.2	Rechenschaltungen	148
4.2.3	Skalierung	152
4.2.4	Simulationsablauf	153
4.3	Simulation am Digitalrechner	154

4.3.1	Integrationsverfahren	155
4.3.2	Simulationssprachen	157
4.3.2.1	Sprachelemente	157
4.3.2.2	Anweisungen	157
4.3.2.3	Funktionsblöcke	159
4.3.3	Simulationsprogramm	164
4.3.4	Simulationsablauf	167
5	Graphische Darstellung der Übertragungsfunktion	168
5.1	Pol-Nullstellen-Verteilung	168
5.2	Frequenzgang	175
5.2.1	Ortskurve	177
5.2.1.1	Ortskurven elementarer Übertragungsglieder	178
5.2.1.2	Ortskurven von Übertragungssystemen	180
5.2.2	Frequenzkennlinien	181
5.2.2.1	Frequenzkennlinien elementarer Übertragungsglieder	182
5.2.2.2	Konstruktionshilfsmittel für Frequenzkennlinien	189
5.2.2.3	Frequenzkennlinien von Übertragungssystemen	191
6	Entwurf von Regelkreisen	195
6.1	Stabilität, Regelgüte und Empfindlichkeit	195
6.1.1	Übertragungsfunktionen des Regelkreises	195
6.1.2	Stabilität	198
6.1.3	Regelgüte	201
6.1.3.1	Regelgüte im Beharrungszustand	201
6.1.3.2	Regelgüte während des Einschwingvorganges	206
6.1.4	Stabilitätskriterien	207
6.1.4.1	Hurwitz-Kriterium	207
6.1.4.2	Nyquist-Kriterium	210
6.1.5	Empfindlichkeit	216
6.2	Entwurf von Regelkreisen mit stetigen Reglern im Zeitbereich	218
6.2.1	Auswahl geeigneter Regler	219
6.2.2	Vergleich der Wirkung verschiedener Regler	221

6.2.2.1	Regelkreis mit P-T ₃ -Regelstrecke	221
6.2.2.2	Regelkreis mit I-T ₂ -Regelstrecke	233
6.2.3	Günstige Einstellung der Reglerkennwerte	237
6.2.3.1	Einstellregeln nach Ziegler und Nichols	238
6.2.3.2	Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick	241
6.2.3.3	Einstellregeln nach Kessler	244
6.2.3.4	Einstellregeln nach Naslin	247
6.3	Entwurf von Regelkreisen mit stetigen Reglern im Frequenzbereich	251
6.3.1	Wurzelortsverfahren	251
6.3.1.1	Definition der Wurzelortskurve	252
6.3.1.2	Phasenbeziehung und Betragsbeziehung	253
6.3.1.3	Konstruktionsregeln für Wurzelortskurven	254
6.3.1.4	Reglerentwurf	260
6.3.2	Frequenzkennlinienverfahren	265
6.3.2.1	Spezifikationen	265
6.3.2.2	Reglerentwurf	273
6.4	Entwurf von Regelkreisen mit schaltenden Reglern im Zeitbereich	282
6.4.1	Zweipunktregler ohne Hysterese an einer P-T ₁ -T _t -Regelstrecke	285
6.4.1.1	Führungsverhalten	285
6.4.1.2	Kenngößen der Arbeitsbewegung	287
6.4.2	Zweipunktregler ohne Hysterese an einer I-T _t -Regelstrecke	292
6.4.2.1	Führungsverhalten	292
6.4.2.2	Kenngößen der Arbeitsbewegung	294
6.4.3	Zweipunktregler mit Hysterese an einer P-T ₁ -Regelstrecke	294
6.4.3.1	Führungsverhalten	295
6.4.3.2	Kenngößen der Arbeitsbewegung	296
6.4.4	Zweipunktregler mit Hysterese an einer P-T _n -Regelstrecke	297
6.4.5	Zweipunktregler mit Hysterese und P-T ₁ -Rückführung	297
6.4.5.1	Übergangsverhalten des Reglers	299
6.4.5.2	Arbeitsweise im Regelkreis und Einstellung der Reglerkennwerte	300

6.4.6	Dreipunktregler mit P-T ₁ -Rückführung und I-Stellglied	302
6.4.6.1	Übergangsverhalten des Reglers	303
6.4.6.2	Arbeitsweise im Regelkreis	306
6.5	Auslegung von Regelschaltungen	308
6.5.1	Einfachregelkreis mit Störgrößenaufschaltung	308
6.5.1.1	Aufschaltung auf den Reglerausgang	309
6.5.1.2	Aufschaltung auf den Reglereingang	310
6.5.2	Einfachregelkreis mit Hilfsgrößenaufschaltung	311
6.5.3	Kaskadenregelkreis	312
7	Abtastsysteme	316
7.1	Beschreibung von Abtastvorgängen	316
7.2	Einführung in die z-Transformation	324
7.2.1	Definition	324
7.2.2	Korrespondenzen	325
7.2.3	Rechenregeln	328
7.2.4	z-Übertragungsfunktion	333
7.3	Digitale Regelungen	335
7.3.1	Aufbau des Regelkreises	336
7.3.2	Stabilität	338
7.3.3	Quasikontinuierlicher Abtastregler	341
7.3.4	Kompensationsregler	345
7.3.5	Regler für endliche Einstellzeit	346
7.4	Prozeßleitsysteme	350
7.4.1	Leitebenen	350
7.4.2	Funktionskomponenten	352
7.4.3	Prozeßleitsystem Teleperm M	353
	Literaturverzeichnis	358
	Stichwortverzeichnis	361