

Inhaltsverzeichnis

Zum Geleit	XI
Vorwort zur achten Auflage	XII
Vorwort zur fünfzehnten Auflage	XIII
1 Einführung in die Regelungstechnik	1
1.1 Aufgabe der Regelungstechnik	1
1.2 Begriffe und Benennungen	2
1.2.1 Steuerung	2
1.2.2 Regelung	4
1.2.3 Signalflussplan	7
1.3 Bauglieder in Regelkreisen und Steuerketten	10
1.3.1 Fühler	10
1.3.1.1 Fühler für Druck	10
1.3.1.2 Fühler für Durchfluss	12
1.3.1.3 Fühler für Füllstand	15
1.3.1.4 Fühler für Temperatur	16
1.3.1.5 Fühler für Kraft	18
1.3.1.6 Fühler für Drehzahl	19
1.3.2 Messumformer	20
1.3.3 Sollwerteinsteller	23
1.3.4 Summierglied, Vergleicher	24
1.3.5 Zeitglieder	24
1.3.6 Regler	26
1.3.7 Stellgerät	29
1.4 Steuer- und Regelaufgaben	34
1.4.1 Steuerung	34

1.4.2	Festwertregelung	38
1.4.3	Folgeregelung	40
1.4.3.1	Nachlaufregelung	40
1.4.3.2	Verhältnisregelung	41
1.5	Steuer- und Regelschaltungen	42
1.5.1	Festwertregelschaltungen	42
1.5.1.1	Einfachregelkreis	42
1.5.1.2	Einfachregelkreis mit Aufschaltungen	44
1.5.1.3	Kaskadenregelkreis	46
1.5.2	Folgeregelschaltungen	49
2	Beschreibung des Übertragungsverhaltens	53
2.1	Beschreibung mit Hilfe von Differenzialgleichungen	53
2.1.1	Arten von Differenzialgleichungen zur Beschreibung von Regelkreisgliedern	53
2.1.2	Eigenschaften linearer zeitinvarianter Übertragungsglieder . .	57
2.1.2.1	Homogenität	57
2.1.2.2	Superposition	57
2.1.2.3	Zeitinvarianz	58
2.1.3	Linearisierung	58
2.1.3.1	Statischer Zusammenhang gemäß einer stetigen Kennlinie	59
2.1.3.2	Dynamischer Zusammenhang gemäß einer nichtlinearen Differenzialgleichung	60
2.1.4	Lösung von gewöhnlichen linearen Differenzialgleichungen mit konstanten Koeffizienten	61
2.1.4.1	Lösung mit Hilfe von Lösungsansätzen	61
2.1.4.2	Lösung mit Hilfe der Laplace-Transformation . . .	67
2.2	Beschreibung mit Hilfe der Übertragungsfunktion	73
2.3	Beschreibung mit Hilfe von Antwortfunktionen	74
2.3.1	Impulsfunktion, Impulsantwort	75
2.3.2	Sprungfunktion, Sprungantwort	76
2.3.3	Anstiegsfunktion, Anstiegsantwort	77
2.3.4	Cosinusfunktion, Schwingungsantwort	77

3	Lineare Übertragungsglieder	81
3.1	Analogien	81
3.1.1	Verallgemeinerte Größen	82
3.1.2	Analoge Bauglieder	83
3.1.2.1	Energiequellen	83
3.1.2.2	Energieverbraucher	84
3.1.2.3	Energiespeicher	88
3.1.3	Entwurf eines mathematischen Modells	89
3.2	Elementare Übertragungsglieder	93
3.2.1	Regelstrecken	98
3.2.1.1	Regelstrecken mit proportionalem Verhalten	98
3.2.1.2	Regelstrecken mit integrierendem Verhalten	106
3.2.2	Regler	106
3.2.2.1	Proportional wirkender Regler	106
3.2.2.2	Integrierend wirkender Regler	110
3.2.2.3	Differenzierend wirkender Regler	112
3.2.2.4	Proportional und integrierend wirkender Regler	114
3.2.2.5	Proportional und differenzierend wirkender Regler	118
3.2.2.6	Proportional, integrierend und differenzierend wirkender Regler	121
4	Simulation des Zeitverhaltens	127
4.1	Simulatoren	127
4.1.1	Analogrechner	127
4.1.2	Digitalrechner	128
4.2	Simulation am Digitalrechner	131
4.2.1	Integrationsverfahren	131
4.2.2	Simulationssoftware	133
4.2.3	Simulation mit MATLAB/Simulink	134
4.2.3.1	Einführung	134
4.2.3.2	Simulationsumgebung	136
4.2.3.3	Simulationsbeispiel	141
4.2.4	Simulationsablauf	145

5	Grafische Darstellung der Übertragungsfunktion	147
5.1	Pol-Nullstellen-Verteilung	147
5.2	Frequenzgang	154
5.2.1	Ortskurve	157
5.2.1.1	Ortskurven elementarer Übertragungsglieder	157
5.2.1.2	Ortskurven von Übertragungssystemen	160
5.2.2	Frequenzkennlinien	162
5.2.2.1	Frequenzkennlinien elementarer Übertragungsglieder	162
5.2.2.2	Konstruktionshilfsmittel für Frequenzkennlinien . .	170
5.2.2.3	Frequenzkennlinien von Übertragungssystemen . .	172
6	Entwurf von Regelkreisen	177
6.1	Stabilität, Regelgüte und Empfindlichkeit	177
6.1.1	Übertragungsfunktionen des Regelkreises	177
6.1.2	Stabilität	180
6.1.3	Regelgüte	182
6.1.3.1	Regelgüte im Beharrungszustand	184
6.1.3.2	Regelgüte während des Einschwingvorganges . . .	188
6.1.4	Stabilitätskriterien	190
6.1.4.1	Hurwitz-Kriterium	190
6.1.4.2	Nyquist-Kriterium	193
6.1.5	Empfindlichkeit	199
6.2	Entwurf von Regelkreisen im Zeitbereich	201
6.2.1	Auswahl geeigneter Regler	202
6.2.2	Vergleich der Wirkung verschiedener Regler	204
6.2.2.1	Regelkreis mit P-T ₃ -Regelstrecke	204
6.2.2.2	Regelkreis mit I-T ₂ -Regelstrecke	217
6.2.3	Günstige Einstellung der Reglerkennwerte	220
6.2.3.1	Einstellregeln nach Ziegler und Nichols	220
6.2.3.2	Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick . .	224
6.2.3.3	Einstellregeln nach Kessler	227
6.2.3.4	Einstellregeln nach Naslin	231
6.3	Entwurf von Regelkreisen im Frequenzbereich	234
6.3.1	Wurzelortsverfahren	235

6.3.1.1	Definition der Wurzelortskurve	235
6.3.1.2	Phasenbeziehung und Betragsbeziehung	236
6.3.1.3	Konstruktionsregeln für Wurzelortskurven	238
6.3.1.4	Reglerentwurf	245
6.3.2	Frequenzkennlinienverfahren	250
6.3.2.1	Spezifikationen	250
6.3.2.2	Reglerentwurf	258
6.4	Auslegung von Regelschaltungen	267
6.4.1	Einfachregelkreis mit Störgrößenaufschaltung	267
6.4.1.1	Aufschaltung auf den Reglerausgang	267
6.4.1.2	Aufschaltung auf den Reglereingang	269
6.4.2	Einfachregelkreis mit Hilfsgrößenaufschaltung	270
6.4.3	Kaskadenregelkreis	271
7	Abtastsysteme	275
7.1	Beschreibung von Abtastvorgängen	275
7.2	Einführung in die z-Transformation	283
7.2.1	Definition	283
7.2.2	Korrespondenzen	284
7.2.3	Rechenregeln	287
7.2.4	z-Übertragungsfunktion	293
7.3	Digitale Regelungen	296
7.3.1	Aufbau des Regelkreises	296
7.3.2	Stabilität	299
7.3.3	Quasikontinuierlicher Abtastregler	301
7.3.4	Kompensationsregler	305
7.3.5	Regler für endliche Einstellzeit	306
7.4	Realisierung digitaler Regelungen	310
	Literaturverzeichnis	315
	Sachverzeichnis	319