

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung in die Regelungstechnik</b> .....	<b>11</b>
1.1	Grundbegriffe der Regelungstechnik .....	12
1.1.1	Steuern oder Regeln? .....	12
1.1.2	Die Größen des Regelkreises .....	14
1.1.3	Die Regelkreisglieder .....	16
1.2	Darstellung von Regelkreisen .....	19
1.2.1	Das Übertragungsglied .....	19
1.2.2	Der elementare Regelkreis .....	24
1.2.3	Darstellung in Fließbildern .....	30
1.3	Der Operationsverstärker als Bauelement in der Regelungstechnik .....	32
1.3.1	Der invertierende Verstärker .....	35
1.3.2	Der nicht invertierende Verstärker .....	35
1.3.3	Der Impedanzwandler .....	36
1.3.4	Der Summierer .....	37
1.3.5	Der Differenzverstärker .....	37
1.3.6	Der Integrierer .....	39
1.3.7	Der Differenzierer .....	39
1.3.8	Der Tiefpass .....	40
1.4	Übungen .....	41
<b>2</b>	<b>Das stationäre Verhalten von Regelkreisen</b> .....	<b>43</b>
2.1	Die Kreisverstärkung .....	44
2.2	Das Führungsverhalten .....	46
2.3	Der stationäre Regelfehler .....	49
2.4	Das Störverhalten .....	51
2.4.1	Störgrößen im Vorwärtszweig .....	52
2.4.2	Störgrößen in der Rückführung .....	56
2.5	Übungen .....	59
<b>3</b>	<b>Untersuchung von Übertragungsgliedern</b> .....	<b>61</b>
3.1	Das Bode-Diagramm .....	63
3.2	Reihenschaltung von Frequenzgängen .....	69

---

3.3	Übertragungsfunktion .....	74
3.4	Ortskurve .....	74
3.5	Untersuchung im Zeitbereich .....	78
3.6	Die Laplace-Transformation .....	80
3.7	Modellbildung und Simulation .....	84
3.8	Übungen .....	87
<b>4</b>	<b>Regelstrecken .....</b>	<b>88</b>
4.1	Regelstrecken mit Ausgleich .....	88
4.1.1	Regelstrecken mit Ausgleich ohne Verzögerung .....	89
4.1.2	Verzögerungsglieder erster Ordnung .....	92
4.1.3	Verzögerungsglieder höherer Ordnung .....	99
4.1.4	Verzögerungsglieder zweiter Ordnung .....	108
4.1.5	Regelstrecken mit Totzeitverhalten .....	113
4.2	Regelstrecken ohne Ausgleich .....	117
4.2.1	Regelstrecken ohne Ausgleich und ohne Verzögerung .....	117
4.2.2	Regelstrecken ohne Ausgleich mit Verzögerung .....	124
4.3	Zusammengesetzte Regelstrecken .....	128
4.4	Übungen .....	131
<b>5</b>	<b>Regleinrichtungen .....</b>	<b>134</b>
5.1	Regler mit Proportionalverhalten .....	135
5.2	Regler mit integralem Verhalten .....	138
5.3	Regler mit PI-Verhalten .....	141
5.4	Regler mit PD-Verhalten .....	146
5.5	Der PID-Regler .....	151
5.6	Übungen .....	158
<b>6</b>	<b>Anforderungen an einen Regelkreis .....</b>	<b>160</b>
6.1	Stabilität von Regelkreisen .....	160
6.2	Übungen .....	169
<b>7</b>	<b>Bestimmung von Reglern .....</b>	<b>171</b>
7.1	Integrale Gütekriterien .....	172
7.2	Praktische Entwurfsverfahren .....	174
7.2.1	Frequenzkennlinienverfahren .....	175
7.2.2	Kompensationsverfahren .....	179
7.2.2.1	Entwurf mit einem PI-Regler .....	180
7.2.2.2	Entwurf mit einem PID-Regler .....	183

7.2.3	Betragsoptimum .....	186
7.2.3.1	Ansatz des Betragsoptimums nach Typ 1.....	187
7.2.3.2	Ansatz des Betragsoptimums nach Typ 2.....	193
7.2.4	Allgemeine Optimierung nach dem Dämpfungsgrad .....	195
7.2.5	Reglerentwurf nach dem Betragsoptimum für Prozessstrecken.....	199
7.2.6	Symmetrisches Optimum .....	201
7.2.7	Einstellregeln nach Ziegler und Nichols .....	206
7.2.7.1	Reglerbestimmung an der Stabilitätsgrenze .....	206
7.2.7.2	Reglerbestimmung mittels Sprungantwort nach Ziegler und Nichols .....	209
7.2.8	Reglerbestimmung mittels Sprungantwort nach Chien, Hrones und Reswick (CHR) .....	211
7.3	Vermaschte Regelkreise.....	213
7.3.1	Störgrößenaufschaltung.....	213
7.3.2	Vorregelung .....	215
7.3.3	Regelung mit Hilfsstellgröße.....	216
7.3.4	Kaskadenregelung.....	217
7.4	Übungen.....	220

**8 Unstetige Regler..... 222**

8.1	Zweipunktregler .....	223
8.2	Zweipunktregler mit P-T <sub>1</sub> - und Totzeitglied .....	229
8.3	Zweipunktregler mit Regelstrecken höherer Ordnung .....	233
8.4	Optimierung von Zweipunktreglern .....	235
8.4.1	Zweipunktregler mit Rückführung.....	235
8.4.2	Zweipunktregler mit verzögert-nachgebender Rückführung .....	236
8.5	Dreipunktregler .....	238
8.6	Übungen.....	244

**9 Digitale Regler..... 246**

9.1	Realisierung eines idealen PID-Reglers .....	249
9.1.1	P-Anteil .....	249
9.1.2	I-Anteil .....	250
9.1.3	D-Anteil.....	251
9.1.4	PID-Algorithmus .....	252
9.2	Der Bildbereich für Abtastsysteme .....	254
9.3	Der reale PID-Algorithmus .....	257
9.4	Wahl der Abtastperiode.....	259
9.5	Einstellregeln.....	259
9.6	Übungen.....	260

<b>10</b>	<b>Lösungen zu den Übungen .....</b>	<b>261</b>
	10.1 Einführung in die Regelungstechnik .....	261
	10.2 Das stationäre Verhalten von Regelkreisen .....	261
	10.3 Untersuchung von Übertragungsgliedern .....	263
	10.4 Regelstrecken .....	266
	10.5 Regeleinrichtungen .....	267
	10.6 Anforderungen an einen Regelkreis .....	270
	10.7 Bestimmung von Reglern .....	272
	10.8 Unstetige Regler .....	276
	10.9 Digitale Regler .....	278
	<b>Verwendete Formelzeichen .....</b>	<b>280</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>283</b>
	<b>Index .....</b>	<b>285</b>