

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>13</b>
1.1	Das Prinzip der Steuerung .....	14
1.2	Das Prinzip der Regelung .....	14
1.3	Signale und Komponenten des Regelkreises .....	15
1.4	Klassifikation von Regelungen .....	16
1.5	Regelungsstrategien .....	17
1.6	„Günstige“ Einstellung eines Reglers .....	19
1.7	Vereinfachtes Vorgehensmodell Reglerentwurf .....	22
<b>2</b>	<b>Mathematische Modelle .....</b>	<b>27</b>
2.1	Der Wirkungsplan .....	27
2.2	Elementare Übertragungsglieder .....	28
2.2.1	Proportionalglied (P-Glied) .....	29
2.2.2	Integrierendes Glied (I-Glied) .....	30
2.2.3	Differenzierendes Glied (D-Glied) .....	32
2.2.4	Totzeitglied (T <sub>1</sub> -Glied) .....	33
2.3	Wirkungsplan – Elemente der Elektrotechnik .....	35
2.4	Statisches Übertragungsverhalten .....	38
2.4.1	Statische Kennlinien linearer und nicht linearer Übertragungsglieder .....	42
2.4.2	Statisches Verhalten von Regelkreisen .....	44
2.5	Dynamisches Verhalten linearer Übertragungsglieder .....	45
2.5.1	Beschreibung des dynamischen Verhaltens durch Differenzialgleichungen .....	49
2.5.1.1	Lösung der Differenzialgleichung mit Hilfe eines Simulators .....	49
2.5.1.2	Analytische Lösung einer DGL bei sprunghafter Änderung des Eingangs .....	50
2.5.1.3	Lösung der Differenzialgleichung mit Hilfe der Laplace-Transformation .....	52
2.5.2	Regeln für das Rechnen mit Übertragungsfunktionen .....	56
2.5.3	Anfangswert- und Endwertsätze .....	58
2.5.4	Frequenzgang .....	62
2.5.4.1	Berechnung und Messung des Frequenzgangs .....	62
2.5.4.2	Darstellung des Frequenzgangs in der Ortskurve .....	65
2.5.4.3	Darstellung des Frequenzgangs im Bode-Diagramm ...	67
2.6	Mathematische Signalmodelle .....	69

---

2.7	Klassifikation von Regelstrecken .....	70
2.7.1	Verzögerungsglied 1. Ordnung (P-T <sub>1</sub> -Glied) .....	71
2.7.2	Verzögerungsglied n-ter Ordnung (P-T <sub>n</sub> -Glied) .....	72
2.7.3	Verzögerungsglied 2. Ordnung (P-T <sub>2</sub> -Glied) .....	76
2.7.4	Das allgemeine rationale Übertragungsglied .....	82
2.7.5	Totzeit-Strecke mit Verzögerung .....	84
2.7.6	Integrale Strecke mit Verzögerung (I-T <sub>1</sub> -Glied) .....	85
2.7.7	Strecke ohne Ausgleich: Beispiel Fahrzeuglenkung .....	86
2.7.8	Strecke mit Ausgleich: Beispiel DC-Motor .....	91
2.7.9	Nicht lineare Strecke mit Ausgleich: Beispiel Fahrzeug .....	97
2.7.10	Nicht lineare Strecke mit Ausgleich: Beispiel Tiefsetzsteller .....	100
2.8	Zustandsraumbeschreibung .....	103
2.8.1	Einführung Zustandsraum .....	103
2.8.2	Ähnlichkeitstransformation .....	110
<b>3</b>	<b>PID-Regler .....</b>	<b>115</b>
3.1	PI-Regler .....	115
3.2	PD-Regler .....	118
3.3	PD-T <sub>1</sub> -Regler .....	120
3.4	PID-Regler .....	122
3.5	PID-T <sub>1</sub> -Regler .....	123
3.6	Industrielle PID-Regler .....	125
3.6.1	Kompaktregler .....	125
3.6.2	Regler-Software-Baustein .....	128
<b>4</b>	<b>Reglerentwurf .....</b>	<b>133</b>
4.1	Stationäres Regelkreisverhalten .....	134
4.2	Dynamisches Regelkreisverhalten .....	140
4.3	Stabilität .....	142
4.4	Frequenzkennlinienverfahren .....	150
4.5	Kompensationsreglerentwurf .....	153
4.6	Entwurfsverfahren für PID-Regler .....	154
4.6.1	PID-Kompensationsregler .....	154
4.6.2	Das Betragsoptimum .....	157
4.6.3	Einstellregel nach Ziegler und Nichols .....	160
4.6.4	T-Summen-Einstellregel .....	161
4.6.5	Einstellregel von Chien, Hrones und Reswick .....	163
<b>5</b>	<b>Besondere Strukturen der Regelungstechnik .....</b>	<b>167</b>
5.1	Störgrößenaufschaltung .....	167
5.1.1	Statische Störgrößenkompenstation .....	168
5.1.2	Dynamische Störgrößenkompenstation .....	169
5.2	Kaskadenregler .....	170
5.3	Regelkreis mit Vorfilter und Vorsteuerung .....	173

---

5.4	Regler in der Rückführung .....	176
5.5	Entkopplung von Mehrgrößensystemen .....	177
5.6	Schaltende Regler .....	180
5.7	Zustandsregler .....	185
5.7.1	Struktur eines Zustandsreglers .....	185
5.7.2	Entwurf Zustandsregler .....	187
5.8	Beobachter .....	194
<b>6</b>	<b>Digitale Regelungen .....</b>	<b>199</b>
6.1	Analog-Digital-Wandlung .....	203
6.2	Signale des digitalen Regelkreises .....	206
6.3	Mathematische Beschreibung des Abtastvorgangs .....	207
6.3.1	Abtasttheorem von Shannon .....	207
6.3.2	Wahl der Abtastzeit .....	208
6.3.3	Abtast-Halteglied .....	209
6.4	Diskretisierung linearer Systeme .....	212
6.4.1	Diskretisierung P-T <sub>1</sub> -Glied .....	213
6.4.2	Diskretisierung I-Glied .....	214
6.5	Diskretisierte Grundregler .....	215
6.5.1	Diskretisierter P-Regler .....	217
6.5.2	Diskretisierter I-Regler .....	217
6.5.3	Diskretisierter PI-Regler .....	218
6.5.4	Diskretisierter D-T <sub>1</sub> -Regler .....	218
6.6	Regleralgorithmen .....	219
6.7	Z-Transformation .....	222
6.8	Z-Übertragungsfunktion .....	225
6.9	Stabilität zeitdiskreter Systeme .....	231
6.10	Bilineare Transformation .....	233
6.11	Entwurf digitaler Regler .....	236
<b>?</b>	<b>Projektierung automatisierungstechnischer Systeme .....</b>	<b>243</b>
7.1	Projektphasen bei der Abwicklung von PLT-Projekten .....	244
7.2	Verfahrensfließschema .....	246
7.3	EMSR-Stellen-Kreis .....	248
7.4	Wirkkette .....	252
7.5	Vorgehensmodell Reglerrealisierung .....	253
<b>?</b>	<b>Aufgaben und Beispiele .....</b>	<b>257</b>
8.1	Aufgaben .....	257
8.1.1	Rechnen mit Wirkungsplänen und Übertragungsfunktionen ....	257
8.1.2	Elektrische Netzwerke .....	258
8.1.3	Bestimmung von Kenngrößen .....	259
8.1.4	Berechnung der Sprungantwort .....	259
8.1.5	Verhalten von PID-Reglern .....	259

8.1.6	Berechnung von Regelkreisen .....	260
8.1.7	Reglerentwurf .....	260
8.1.8	Diskretisierung von Systemen .....	261
8.2	Beispiele .....	261
8.2.1	Temperaturregelstrecke .....	261
8.2.2	Drehzahlregelung Elektromotor .....	269
8.2.3	Pendel .....	274
8.3	Lösungen der Übungsaufgaben .....	278
<b>A</b>	<b>Anhang A .....</b>	<b>283</b>
A.1	Laplace-Korrespondenztabelle .....	283
A.2	Berechnung der Sprungantwort eines P-T <sub>2</sub> -Gliedes .....	284
A.3	Bestimmung der Überschwingweite eines P-T <sub>2</sub> -Gliedes .....	287
A.4	Reglerentwurf gemäß Betragsoptimum .....	289
A.5	Fuzzy-Logik .....	290
A.6	Formelzeichen .....	291
A.7	Abkürzungen .....	295
A.8	Checkliste .....	296
	<b>Literatur .....</b>	<b>299</b>
	<b>Index .....</b>	<b>301</b>