

Wolfgang Schneider

Regelungstechnik für Maschinenbauer

2., verbesserte Auflage

Mit 350 Bildern, 47 Beispielen und 20 Aufgaben



Inhaltsverzeichnis

I Einleitung	1
1 Grundbegriffe der Automatisierung	2
1.1 Der Systembegriff	4
1.2 Grundfunktionen der Automatisierung	8
1.2.1 Steuerung	9
1.2.2 Regelung	10
1.2.3 Beispiele für Regelungen und Steuerungen	12
1.3 Der Arbeitspunkt	17
1.4 Einteilung und Kennzeichnung von Regelkreisgliedern	20
1.5 Zusammenstellung einiger regelungstechnischer Begriffe	26
2 Modellbildung	27
2.1 Ablauf der Modellbildung	28
2.2 Modellarten	29
2.3 Beispiele für Prozeßmodelle	31
2.4 Klassifizierung von Modellen	37
2.5 Systemaufgaben	38
2.5.1 Analyse	38
2.5.2 Entwurf	40
II Darstellungsmethoden von Systemen	42
3 Beschreibungsformen des Zeitverhaltens	42
3.1 Beschreibungsformen von Signalen	45
3.2 Zeitbereich	47
3.3 Frequenzbereich	48
3.4 Digitale Signale	49
3.5 Stochastische Signale	50
4 Beschreibungsformen von Prozessen im Zeitbereich	51
4.1 Differentialgleichung	51
4.2 Proportionales Zeitverhalten	52
4.3 Integrierendes Zeitverhalten	57
4.4 Differenzierendes Zeitverhalten	63
5 Antwortfunktionen	72
5.1 Sprungantwort	72
5.2 Impulsantwort	75

5.3	Anstiegsantwort	76
5.4	Antwortfunktionen für elementare Zeitverhalten	77
5.4.1	P-Verhalten	77
5.4.2	I-Verhalten	78
5.4.3	D-Verhalten	79
6	Strukturen von Systemen	82
6.1	Elemente des Wirkschaltplans	84
6.1.1	Block	84
6.1.2	Wirkungslinie	87
6.1.3	Zusammenfassungsstelle	88
6.1.4	Verzweigungsstelle	88
6.1.5	Multiplikationsstelle	89
6.1.6	Linearisierung	90
6.2	Zusammengesetzte Zeitverhalten	92
6.2.1	Kreisschaltung	93
6.2.2	Reihenschaltung	95
6.2.3	Parallelschaltung	97
6.2.4	Schwingungsfähiges System	99
7	Graphische Beschreibung von Prozessen	106
7.1	Planung von Meß-, Steuerungs- und Regelungsanlagen	106
7.2	Gerätefließbilder	108
7.3	Wirkschaltpläne	116
III	Meßtechnische Ermittlung von Kennwerten	123
8	Übersicht über Regelstrecken	124
8.1	Statisches Verhalten von Regelstrecken	126
8.2	Kennlinien von verzögerungsarmen Regelstrecken	127
9	Stelltechnik	134
9.1	Stellantrieb	137
9.2	Ventilkennlinie	138
9.3	Öffnungskennlinie	140
9.4	k_V -Kennlinie	142
9.5	Betriebskennlinie	151
10	Dynamisches Verhalten von P-T₁-Strecken	162
10.1	Regelstrecken mit Totzeit	162
10.2	Kennwerte der P-T ₁ -Strecke	166
10.2.1	Ermittlung des Proportionalbeiwertes K_{PSE}	166
10.2.2	Ermittlung der Zeitkonstanten	168
10.3	P-T ₁ -Strecken mit Totzeit	177

11 Ersatz-Kennwerte für proportionale Strecken höherer Ordnung	186
11.1 Zeitkonstantensumme	187
11.2 Wendetangenten-Verfahren	191
11.3 Modelle mit ungleichen Zeitkonstanten	195
11.4 Zeitprozentkennwert-Methode	200
11.4.1 Modell 2. Ordnung	200
11.4.2 Numerische Modellbildung für Strecken höherer Ordnung	205
12 Kennwerte für P-Strecken mit schwingungsfähigen Gliedern	211
12.1 Modell als reines Schwingungsglied	212
12.2 Modell mit Schwingungsglied und Verzögerungsglied	221
13 Dynamisches Verhalten von Strecken ohne Ausgleich	228
13.1 Verzögerungsarme Strecken	228
13.2 Regelstrecken ohne Ausgleich mit Verzögerung	231
14 Kennwertermittlung im Frequenzbereich	237
14.1 Einführung des Frequenzgangs	239
14.1.1 Komplexe Zahlenebene	239
14.1.2 Komplexe Darstellung einer zeitveränderlichen Größe	240
14.2 Graphische Darstellung von Frequenzgängen	241
14.2.1 Meßtechnische Ermittlung des Frequenzgangs	242
14.2.2 Darstellung des Frequenzgangs im Bode-Diagramm	243
14.3 Struktur- und Kennwertermittlung aus dem Bode-Diagramm	247
14.3.1 Grundzeitverhalten im Bode-Diagramm	247
14.3.2 P-T ₁ -Verhalten im Bode-Diagramm	249
14.4 Reihenschaltung im Bode-Diagramm	254
14.5 Parallelschaltung	256
14.6 Kreisschaltung	257
14.7 Schwingungsverhalten	258
IV Auswahl und Anpassung von Regeleinrichtungen	261
15 Analoge Regeleinrichtungen	262
15.1 Stetige Regler mit Grundverhalten	264
15.1.1 P-Regler	265
15.1.2 I-Regler	270
15.2 Stetige Regler mit zusammengesetzten Zeitverhalten	271
15.2.1 PI-Regler	271
15.2.2 PD-Regler	273
15.2.3 PID-Regler	277
16 Digitale Algorithmen	278
16.1 Kopplung der Regelstrecke mit dem digitalen Regler	279
16.2 Abtastung	280

16.3	Analog-Digital-Umsetzer (ADU)	281
16.4	Kennlinienanpassung, Skalierung	281
16.5	Regelalgorithmus	284
16.5.1	P-Algorithmus	284
16.5.2	I-Algorithmus	286
16.5.3	D-Algorithmus	287
16.5.4	Stellungsalgorithmus	288
16.5.5	Geschwindigkeitsalgorithmus	289
17	Zeitverhalten von einschleifigen Regelkreisen	291
17.1	Aufstellen und Auswerten der Regelkreisgleichung	292
17.1.1	Schema zur Aufstellung der Differentialgleichung	292
17.1.2	Auswertung der Differentialgleichung	294
17.1.3	Der Regelfaktor	298
17.2	P-Strecke mit P-Regler	299
17.3	P-T ₁ -Strecke mit P-Regler	306
17.4	P-T ₁ -Strecke mit PI-Regler	313
17.5	I-Strecke mit I-Regler	320
17.6	I-T ₁ -Strecke mit P-Regler	325
18	Zeitverhalten des geschlossenen Regelkreises mit Hilfe der Laplace-Transformation	330
18.1	Zusammensetzungsregeln	333
18.2	Rücktransformation	335
18.3	Lösung für eine P-T ₁ -Strecke	336
18.3.1	Sprungantwort einer P-T ₁ -Strecke	337
18.3.2	Anstiegsantwort einer P-T ₁ -Strecke	338
18.4	Sprungantwort einer P-T ₂ -Strecke	340
18.5	Sprungantworten des Regelkreises	342
18.5.1	Zeitverhalten der Regelgröße, Störverhalten	343
18.5.2	Zeitverhalten der Regelgröße, Führungsverhalten	345
19	Entwurf von Regelkreisen nach empirischen Einstellregeln	351
19.1	Stabilität	352
19.2	Dauerschwingungsversuch	354
19.3	Einstellwerte aus der Sprungantwort	355
19.4	Gütemaß	357
19.4.1	Toleranzband	357
19.4.2	Gütemaß im Zeitbereich	358
19.4.3	Integralkriterien	360
20	Einstellregeln im Bode-Diagramm	361
20.1	Stabilitätsrand	363
20.2	Einstellregeln	364

20.3	Beispiele für einfache Systeme im Bode-Diagramm	366
20.3.1	P-T ₁ -Strecke mit P-Regler	367
20.3.2	P-T ₁ -Strecke mit PI-Regler	368
20.3.3	P-T ₁ -Strecke mit PD-Regler	370
20.3.4	P-T ₃ -Strecke mit P-Regler	371
20.3.5	P-T _{2S} -Strecke mit PI-Regler	373
20.3.6	I-T ₂ -Strecke mit PD-Regler	375
V	Anhang	378
21	Literaturverzeichnis	378
	Sachwortverzeichnis	379