

Wolfgang Schneider

Praktische Regelungstechnik

Ein Lehr- und Übungsbuch für Nicht-Elektrotechniker

3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 429 Abbildungen, 72 Tabellen
und 54 Übungsaufgaben'

STUDIUM



VIEWEG+
TEUBNER

Einleitung	1
1 Einführung in die Automation	3
1.1 Automationsebenen.....	4
1.2 Automationsaufgaben.....	5
1.3 Automation mit Rechnern.....	5
2 Grundbegriffe der Regelungstechnik	7
2.1 Steuerung.....	7
2.2 Regelung.....	9
2.3 Benennung von Regelkreisgliedern.....	15
2.4 Normierung.....	20
2.5 Arbeitspunkt.....	21
2.6 Linearisierung.....	22
3 Grafische Beschreibung von Prozessen	26
3.1 Planung von Mess-, Steuerungs- und Regelungsanlagen.....	26
3.2 Gerätefließbilder.....	27
3.3 Kennbuchstaben.....	29
4 Beschreibungsformen von Signalen	36
4.1 Signalverläufe.....	37
4.2 Mathematische Beschreibung im Zeitbereich.....	39
4.2.1 Fundamentalgleichung der Regelungstechnik.....	40
4.2.2 Lösung der Differentialgleichung.....	41
4.3 Frequenzbereich.....	45
4.4 Digitale Signale.....	48
4.5 Stochastische Signale.....	49
I Darstellungsmethoden	51
5 Wirkungsplan	52
5.1 Elemente des Wirkungsplans.....	54
5.1.1 Block.....	54
5.1.2 Wirkungsklinie.....	56
5.1.3 Zusammenfassungsverknüpfung.....	57
5.1.4 Verzweigungsstelle.....	57
5.1.5 Multiplikationsstelle.....	58
5.2 Zusammengesetzte Zeitverhalten.....	60
5.2.1 Kreisschaltung.....	60
5.2.2 Reihenschaltung.....	63
5.2.3 Parallelschaltung.....	65
5.2.4 Schwingungsfähiges System.....	67

5.3	Grafische Programmierung.....	72
5.3.1	Benutzeroberfläche.....	73
5.3.2	Vorgehen.....	73
6	Modellbildung.....	75
6.1	Modellarten.....	76
6.2	Ablauf der Modellbildung.....	77
6.3	Prozessmodelle.....	78
6.4	Beispiel für Prozessmodelle.....	81
6.4.1	Thermische Modelle.....	81
6.4.2	Mechanisch-translatorische Modelle.....	84
6.4.3	Pneumatisches Modell.....	91
7	Testfunktionen.....	95
7.1	Sprungantwort.....	96
7.2	Impulsantwort.....	98
7.3	Anstiegsantwort.....	100
7.4	Antwortfunktionen für elementare Zeitverhalten.....	101
7.4.1	P-Verhalten.....	101
7.4.2	I-Verhalten.....	101
7.4.3	D-Verhalten.....	103
8	Zustandsdarstellung.....	106
8.1	Zustandsmatrix.....	107
8.2	Zustandsmodelle.....	107
8.2.1	Zustandsmodell 1. Ordnung.....	108
8.2.2	Zustandsmodell 2. Ordnung.....	109
II	Ermittlung von Kennwerten.....	115
9	Übersicht über Regelstrecken.....	117
9.1	Analyse des Verhaltens von Regelstrecken.....	117
9.2	Komponenten der Regelstrecke.....	118
9.3	Klassen von Regelstrecken.....	119
9.4	Strecken mit oder ohne Rückwirkung.....	120
10	Statisches Verhalten von Regelstrecken.....	122
10.1	Kennlinien von Regelstreckenkomponenten.....	126
11	Stelltechnik.....	134
11.1	Stellantrieb.....	137
11.2	Ventilkennlinie.....	138
11.3	Öffnungskennlinie.....	140
11.4	ξ_V -Kennlinie.....	142
11.4.1	Lineares Ventil: $K_P = \text{konstant}$	143
11.4.2	Gleichprozentiges Ventil: $K_P = f(H)$	144
11.4.3	Ventilkennzeichnung.....	144
11.5	Betriebskennlinie.....	152

il2	Zeitkennwerte	162
12.1	Totzeitverhalten.....	162
12.2	Zeitverhalten der P-T [!] -Strecke.....	166
12.2.1	Ermittlung des Beharrungswertes.....	167
12.2.2	Ermittlung der Zeitkonstanten T	169
12.2.3	Ermittlung der Halbwertzeit.....	173
12.2.4	P-Ti-Funktion in halblogarithmischer Darstellung.....	174
12.3	P-T [^] Strecken mit Totzeit.....	181
	Nachbildung von P-Strecken höherer Ordnung	190
•13.1	Zeitkonstantensummen-Verfahren.....	192
13.2	Wendetangenten-Verfahren.....	197
13.3	Sondermodell für P-T ₃ -Strecken.....	204
Ei 13.4	Sondermodell für Regelstrecken mit ungleichen Zeitkonstanten.....	208
	Zeitprozentkennwert-Verfahren für P-T ₂ -Strecken.....	212
£13.6	Zeitprozentkennwert-Verfahren für P-T _n -Strecken.....	217
Hlp	Kennwerte für schwingungsfähige P-Strecken	223
$t^{\%A}$	P-T _{2S} -Modell als reines Schwingungsglied.....	224
14.1.1	Abklingkonstantenverfahren.....	225
14.1.2	Logarithmisches Dekrement.....	226
14.1.3	Anschwingverhalten.....	228
Pi:4.2	Modell mit Schwingungsglied und Verzögerungsgliedern.....	234
EJU	Integrierbeiwerte	240
	Verzögerungsarme Strecken.....	241
fcj:5,2	Regelstrecken ohne Ausgleich mit Verzögerung.....	245
Ipü	aloger stetiger Regelkreis	254
	eglerkennwerte	255
fei	Grundzeitverhalten des Reglers.....	257
1162	P-Regler.....	258
16.2.1	Bleibende Regelabweichung.....	259
16.2.2	Kennlinie des P-Reglers.....	261
	PI-Regler.....	273
16.3.1	I-Teil des Reglers.....	274
16.3.2	Nachstellzeit T_p	277
16.3.3	PI-Regler in Parallelschaltung.....	279
Ü.4	PD-Regler.....	282
16.4.1	Der Verschwindeimpuls.....	282
16.4.2	PD-Regler.....	284
16.4.3	Vorhalt $7V$	285
	PID-Regler.....	288
	yse von einschleifigen Regelkreisen	293
	Methodik der Analyse.....	294
	Ablauf der Regelkreisanalyse.....	296

17.2.1	Ansatz der Differenzialgleichung	296
17.2.2	Auswertung der Differenzialgleichung	298
17.3	Regelkreis mit bleibender Regeldifferenz	300
17.4	Regelkreis ohne bleibende Regeldifferenz	315
17.5	Regelkreise mit schwingendem Verhalten	323
18	Empirische Einstellregeln	333
18.1	Stabilität	334
18.1.1	Stabilitätsrand	336
18.1.2	Einstellregeln nach dem kritischen Zustand	337
18.2	Einstellwerte aus der Sprungantwort	337
18.2.1	Einstellregeln für schnelle Regelkreise	338
18.2.2	Einstellregeln für langsame Regelkreise	339
18.2.3	Umwandlung von kritischen Werten	339
18.3	Regelgüte	340
18.3.1	Toleranzband	341
18.3.2	Gütemaß im Zeitbereich	341
18.3.3	Integralkriterien	343
18.4	Regleroptimierung	345
IV	Besondere Regelkreise	347
19	Unstetige Regler	348
19.1	Arten von unstetigen Reglern	348
19.1.1	Abtastregler	348
19.1.2	Schrittregler	348
19.1.3	Dreipunktregler	350
19.1.4	Zweipunktregler	350
19.1.5	Zweipunktregler mit Rückführung	351
19.2	Erzeugendes Stellverhaltens eines Zweipunktreglers	352
19.3	Zeitverhalten von Regelkreisen mit Zweipunktreglern	353
19.3.1	P-TpStrecke mit Zweipunktregler und Hysterese	353
19.3.2	Zeitverhalten eines Zweipunktreglers ohne Hysterese an einer P-T _n -Strecke	356
19.4	Verbesserung des Regelverhaltens	358
20	Digitale Algorithmen	359
20.1	Kopplung der Regelstrecke mit dem digitalen Regler	359
20.1.1	Abtastung	360
20.1.2	Auflösung	362
20.1.3	Skalierung	364
20.2	Digitales Modell der Regelstrecke	367
20.2.1	Differenzengleichung	367
20.2.2	z-Transformation	369
20.3	Regelalgorithmen	370
20.3.1	P-Algorithmus	371
20.3.2	I-Algorithmus	372

20.3.3	D-Algorithmus.....	374
20.3.4	Stellungsalgorithmus.....	375
20.3.5	Geschwindigkeitsalgorithmus.....	375
21	FuzzyControl.....	377
21.1	Aufbau des Fuzzy Reglers.....	378
21.2	Zugehörigkeitsfunktion.....	379
21.3	Unscharfe Mengen.....	382
21.4	Fuzzy-Operationen.....	385
21.5	Denazifizierung.....	387
22	Regelschaltungen.....	388
22.1	Einschleifiger Regelkreis.....	389
22.1.1	Temperaturregelung eines dampfbeheizten Behälters.....	390
22.1.2	Temperaturregelung eines Lufterhitzers.....	391
22.1.3	Raumtemperaturregelung.....	391
22.2	Grob-Fein-Regelung.....	393
22.2.1	Dampfdruck-Temperaturregelung.....	394
22.3	Störgrößenaufschaltung.....	394
22.3.1	Kompensationsregler.....	395
22.3.2	Störgrößenaufschaltung auf den Reglereingang.....	396
22.3.3	Regelung mit Hilfsregelgröße.....	397
22.4	Führungsgrößenaufschaltung.....	399
22.4.1	Zeitplanregelung.....	399
22.4.2	Heizkurve.....	400
22.4.3	Anfahrvorgang.....	401
22.5	Verhältnisregelung.....	401
22.5.1	X-Regelung.....	402
22.5.2	Mengenverhältnis-Regelung.....	402
22.5.3	Regelung mit Hilfsstellgröße.....	403
22.5.4	Dreikomponentenregelung.....	404
22.6	Kaskadenregelung.....	405
22.6.1	Kaskadenregelung für einen dampfbeheizten Behälter.....	406
22.6.2	Kaskadenregelung eines Klimasystems.....	407
22.6.3	Drehzahlregelung.....	408
22.6.3	Positionierregelung.....	409
22.7	Bereichsaufschaltung.....	410
22.8	Zustandsregler.....	411
22.9	Adaptiver Regler.....	411
22.10	Komplexe Regelkreissysteme.....	413
ii	Literaturverzeichnis.....	414
S	Sachwortverzeichnis.....	415