

Inhalt

Vorwort	XI
1 Einleitung	1
1.1 Grundbegriffe	1
1.2 Wirkungsplan	2
1.3 Steuern vs. Regeln	4
1.3.1 Steuerungsschema	4
1.3.2 Regelungsschema	7
1.3.3 Allgemeiner Charakter der Regelung	11
2 Mathematische Grundlagen der Regelungstechnik	13
2.1 Arbeiten mit Wirkungsplänen	13
2.2 Anwendung der Vereinfachungsregeln auf den Regelkreis	20
2.2.1 Beseitigung der Messeinrichtung	20
2.2.2 Führungsgrößenregelung	22
2.2.3 Versorgungsstörgrößenregelung	23
2.2.4 Laststörgrößenregelung	25
2.2.5 Regelung mit mehreren Eingängen	26
2.2.6 Wirkungspläne von zeitabhängigen Systemen	27
2.3 Übertragungsfunktion	33
2.3.1 Aufstellen der Übertragungsfunktion mithilfe komplexer Widerstände	33
2.3.2 Aufstellen der Übertragungsfunktion über die Differentialgleichung	36

2.3.3	Allgemeine Übertragungsfunktion	43
2.3.4	Reglernormalform	44
2.4	Testfunktionen	49
2.5	Standardelemente	53
2.5.1	Lineare Standardelemente	54
2.5.2	Sonderfall: PT_2 -Glied	56
2.6	Bestimmung der Zeitverläufe mithilfe der Laplace-Transformation	62
2.6.1	Reaktion eines rückgekoppelten Tiefpasses auf eine Rampe	66
2.6.2	Weg-Reaktion eines Feder-Masse-Dämpfungssystems auf einen Kraftimpuls	67
2.6.3	Spannungsverlauf der Kondensatorspannung eines RSK bei einem Eingangssprung	70
2.7	Totzeitelement	73
3	Grafische Darstellung von Übertragungsfunktionen	75
3.1	Vorbetrachtung zu den grafischen Darstellungen	75
3.2	Nyquist-Ortskurven	79
3.3	Bode-Diagramme	83
3.3.1	Bode-Diagramm des PT_1 -Gliedes	83
3.3.2	Bode-Diagramm des PD-Gliedes	88
3.3.3	Bode-Diagramm des I-Gliedes	89
3.3.4	Bode-Diagramm des D-Gliedes	90
3.3.5	Zeichnen des Bode-Diagramms von komplexen Systemen	91
3.3.6	Bode-Diagramm von schwingenden PT_2 -Strecken	92
3.3.7	Bode-Diagramm des T_{tot} -Gliedes	96
3.3.7.1	Erstellen des Bode-Diagramms von totzeitbehafteten Systemen mit SimulationX	97
3.3.7.2	Padé-Approximation	98
4	Streckenidentifikation	101
4.1	Vorbetrachtung zur Streckenidentifikation	101
4.2	Streckenidentifikation von Systemen mit Ausgleich	102
4.3	Streckenidentifikation von Systemen ohne Ausgleich	108

5	Statikbetrachtung von Regelkreisen	113
5.1	Vorbetrachtung	113
5.2	Berechnung der bleibenden Regelabweichung	115
5.2.1	Berechnung der bleibenden Regelabweichung bei einer Führungsgrößenregelung	116
5.2.2	Berechnung der bleibenden Regelabweichung bei einer Störgrößenregelung	117
5.2.3	Berechnung der Regelabweichung bei Regelkreisen mit integralem Anteil	119
6	Regler	127
6.1	P-Regler	127
6.2	PD-Regler	128
6.3	I-Regler	130
6.4	PI-Regler	131
6.4.1	Klassischer PI-Regler	131
6.4.2	PI-Regler ohne Integration	134
6.5	PID-Regler	135
6.5.1	PID-Regler in additiver Form	135
6.5.2	PID-Regler in multiplikativer Form	137
6.5.3	Umrechnung der Parameter eines PID-Reglers von der additiven in die multiplikative Form und umgekehrt	138
7	Reglereinstellungen	141
7.1	Online-Faustformelverfahren zur Reglereinstellung	142
7.1.1	Schwingungsverfahren nach Ziegler und Nichols	142
7.1.2	Einstellregeln von Åström und Hägglund nach der Relay-Feedback-Methode	144
7.1.3	Setpoint-Overshoot-Methode	146
7.2	Offline-Faustformelverfahren zur Reglereinstellung	149
7.2.1	Offline-Verfahren nach Ziegler und Nichols	149
7.2.2	Verfahren nach Chien, Hrones und Reswick (CHR)	151
7.2.3	Verfahren nach Kuhn (T-Summen-Regel)	157
7.2.3.1	Streckennäherung	158
7.2.3.2	Reglerbemessung	159
7.2.3.3	Identifikation von K_s und T_Σ	162

- 7.3 Reglereinstellungsverfahren bei guter Streckenkenntnis 164
 - 7.3.1 Reglereinstellung nach Reinisch (Betragsoptimum Typ 1) 164
 - 7.3.2 Verfahren nach dem symmetrischen Optimum 172
- 8 Stabilitätsbetrachtung von Regelkreisen 179**
 - 8.1 Vorbetrachtung 179
 - 8.2 Mathematische Stabilitätsdefinition 181
 - 8.3 Pol-Nullstellen-Plan 183
 - 8.4 Stabilitätsbestimmung des Regelkreises über den offenen Kreis 185
 - 8.4.1 Grundlage des Bode- bzw. Nyquist-Stabilitätskriteriums 185
 - 8.4.2 Stabilitätsbetrachtungen in Nyquist-Ortskurven 189
 - 8.4.2.1 Einfaches Nyquist-Stabilitätskriterium 189
 - 8.4.2.2 Erweiterte Dynamikbetrachtung mithilfe der Nyquist-Ortskurve 192
 - 8.4.3 Stabilitätsbetrachtungen im Bode-Diagramm 194
 - 8.4.3.1 Einfaches Bode-Stabilitätskriterium 194
 - 8.4.3.2 Erweiterte Dynamikbetrachtung mithilfe des Bode-Diagramms 196
 - 8.5 Nutzung des Bode-Stabilitätskriteriums zur P-Regler-Einstellung 198
 - 8.6 Kompensationsverfahren 202
- 9 Regelkreismodifikationen 209**
 - 9.1 Sanftanlauf 209
 - 9.2 PID-Regler in I-PD-Struktur 212
 - 9.3 ReDuS-Regler 214
 - 9.4 Aufschaltungen 218
 - 9.4.1 Berechnung des stationären Regelfehlers 219
 - 9.4.2 Führungsgrößenaufschaltung (Vorsteuerung) 223
 - 9.4.3 Laststörgrößenaufschaltung 227
 - 9.4.4 Versorgungsstörgrößenaufschaltung 228
 - 9.5 Kaskadenregelung 231
 - 9.5.1 Beispiel: Regelung einer nichtschwingenden PT_2 -Strecke 232
 - 9.5.2 Beispiel: Drehzahlregelung 235

10	Regelungen mit einem Zweipunktregler	245
10.1	Statische Kennlinie	245
10.2	Schaltende Elemente als Zweipunktregler	246
10.3	Berechnung von Regelkreisen mit Zweipunktreglern	249
10.4	Zweipunktreglerparametrierung	252
10.4.1	Einstellung der Schalthysterese	252
10.4.2	Einstellung von Grund- und Hauptlast	252
10.4.3	Leistungsüberschuss	259
11	Lösungen der Übungen	261
11.1	Übung 1 (Abschnitt 1.3.1)	261
11.2	Übung 2 (Abschnitt 1.3.2)	262
11.3	Übung 3 (Abschnitt 2.1)	263
11.4	Übung 4 (Abschnitt 2.2.5)	264
11.5	Übung 5 (Abschnitt 2.2.6)	265
11.6	Übung 6 (Abschnitt 2.3.2)	268
11.7	Übung 7 (Abschnitt 2.3.4)	270
11.8	Übung 8 (Abschnitt 2.5.2)	273
11.9	Übung 9 (Abschnitt 2.6.3)	276
11.10	Übung 10 (Abschnitt 3.3.1)	279
11.11	Übung 11 (Abschnitt 3.3.6)	280
11.12	Übung 12 (Abschnitt 3.3.7.2)	281
11.13	Übung 13 (Abschnitt 4.3)	286
11.14	Übung 14 (Abschnitt 5.2.3)	294
11.15	Übung 15 (Abschnitt 6.4.1)	295
11.16	Übung 16 (Abschnitt 6.4.2)	297
11.17	Übung 17 (Abschnitt 6.5.3)	298
11.18	Übung 18 (Abschnitt 7.1.2)	300
11.19	Übung 19 (Abschnitt 7.1.3)	302
11.20	Übung 20 (Abschnitt 7.2.2)	310
11.21	Übung 21 (Abschnitt 7.2.3.3)	313
11.22	Übung 22 (Abschnitt 7.3.1)	315
11.23	Übung 23 (Abschnitt 7.3.2)	316
11.24	Übung 24 (Abschnitt 8.3)	318
11.25	Übung 25 (Abschnitt 8.4.2.1)	319

11.26 Übung 26 (Abschnitt 8.4.3.1) 321

11.27 Übung 27 (Abschnitt 8.4.3.2) 323

11.28 Übung 28 (Abschnitt 8.6) 324

11.29 Übung 29 (Abschnitt 9.3) 328

11.30 Übung 30 (Abschnitt 9.4.1) 331

11.31 Übung 31 (Abschnitt 9.5.2) 333

11.32 Übung 32 (Abschnitt 10.4.3) 336

Literaturverzeichnis 339

Index 341