

Inhalt

1	Einführung	13
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
2	Mathematische Modelle	27
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_t -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 ($P-T_1$ -Glieder)	71
2.7.2	Verzögerungsglied n-ter Ordnung ($P-T_n$ -Glieder)	72
2.7.3	Verzögerungsglied 2. Ordnung ($P-T_2$ -Glieder)	76
2.7.4	Das allgemeine rationale Übertragungsglied	82
2.7.5	Totzeit-Strecke mit Verzögerung	84
2.7.6	Integrale Strecke mit Verzögerung ($I-T_1$ -Glieder)	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

3 PID-Regler 115

3.1	PI-Regler	115
3.2	PD-Regler	118
3.3	PD- T_1 -Regler	120
3.4	PID-Regler	122
3.5	PID- T_1 -Regler	123
3.6	Industrielle PID-Regler	125
3.6.1	Kompaktregler	125
3.6.2	Regler-Software-Baustein	128

4 Reglerentwurf 133

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

5 Besondere Strukturen der Regelungstechnik 167

5.1	Störgrößenaufschaltung	167
5.1.1	Statische Störgrößenkompensation	168
5.1.2	Dynamische Störgrößenkompensation	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

6 Digitale Regelungen 199

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 ₁ -Glieder	213
6.4.2	Diskretisierung I-Glieder	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 ₁ -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

? Projektierung automatisierungstechnischer Systeme 243

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

? Aufgaben und Beispiele 257

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

A

Anhang A	283
A.1 Laplace-Korrespondenztabelle	283
A.2 Berechnung der Sprungantwort eines $P-T_2$ -Gliedes	284
A.3 Bestimmung der Überschwingweite eines $P-T_2$ -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

Literatur	299
------------------------	------------

Index	301
--------------------	------------