

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Teil I. Grundlagen der Regelungstechnik	1
1 Grundbegriffe	3
1.1 Einleitung.....	3
1.2 Benennungen und Begriffe	4
1.3 Aufgabe der Regelung	4
1.4 Die Regelstrecke.....	6
1.5 Das Stellglied und der Stellantrieb.....	8
1.6 Der Regler.....	14
1.7 Die Messeinrichtung	15
1.8 Der Regelkreis	16
1.9 Das Verhalten der Regelgröße bei Störung und Führung	17
1.9.1 Das Störverhalten.....	17
1.9.2 Führungsverhalten	19
1.10 Anwendungsschwerpunkte der Regelungstechnik.....	20
1.11 Aufgabe des Regelungstechnikers	20
1.12 Regelungstechnische Begriffe zu Abschnitt 1	23
2 Die Regelstrecke	25
2.1 Das Verhalten von Regelstrecken im Beharrungszustand	25
2.1.1 Das Kennlinienfeld der Regelstrecke.....	26
2.1.2 Die Abweichung vom Arbeitspunkt	27
2.1.3 Die Übertragungsbeiwerte der Regelstrecke.....	28
2.1.4 Der Stellbereich	29
2.1.5 Regelstrecken ohne Beharrungszustand.....	30
2.2 Stell- und Stör-Sprungantworten der Regelstrecke.....	30
2.3 Regelstrecken mit Ausgleich	32
2.3.1 Verzögerungsarme Regelstrecken.....	34
2.3.2 Regelstrecken mit einer Verzögerung (1. Ordnung).....	36
2.3.3 Regelstrecken mit zwei Verzögerungen (2. Ordnung).....	40

2.3.4	Regelstrecken mit schwingendem Verhalten.....	41
2.3.5	Regelstrecken nur mit Totzeit.....	42
2.3.6	Regelstrecken mit vielen Verzögerungen (Regelstrecken höherer Ordnung).....	43
2.4	Regelstrecken ohne Ausgleich.....	45
2.5	Kennwerte von Regelstrecken	48
2.6	Aufnahme der Sprungantwort.....	49
2.7	Atlas von Sprungantworten idealer Regelstrecken	51
2.8	Grenzen in der Anwendung der Sprungantworten.....	52
2.9	Regelstrecken mit mehreren in Reihe geschalteten, verzögerungsbehafteten Gliedern	54
2.10	Formelzeichen und regelungstechnische Begriffe zu Kapitel 2.....	57
3	Stetige Regler (P- und I-Regler)	59
3.1	Einteilung der Regler	59
3.1.1	Hilfsenergie	61
3.1.2	Allgemeines zu den verschiedenen Reglerbauarten.....	62
3.2	Der P-Regler (Proportionaler Regler).....	62
3.2.1	Der klassische Drehzahlregler als Beispiel eines stetigen Reglers	62
3.2.2	Der Proportionalbereich (P-Bereich).....	65
3.2.3	Kennlinie des P-Reglers	66
3.2.4	Gleichung des P-Reglers	67
3.2.5	Die bleibende Regeldifferenz	69
3.2.6	Sprungantwort des P-Reglers	70
3.3	Der I-Regler (Integraler Regler)	71
3.3.1	Regler mit Steuerkolben als Beispiel eines I-Reglers mit Hilfsenergie	71
3.3.2	Kennlinie des I-Reglers	73
3.3.3	Sprungantwort des I-Reglers	74
3.3.4	Gleichung des I-Reglers	75
3.3.5	Gegenüberstellung von P- und I-Regler.....	77
3.4	Regelungstechnische Begriffe zu Kapitel 3.....	78
4	Stetige Regler (PI-, PD- und PID-Regler)	79
4.1	Der PI-Regler.....	79
4.1.1	Sprungantwort des PI-Reglers	79
4.1.2	Gleichung des PI-Reglers	79
4.1.3	Erzeugen des PI-Verhaltens.....	81
4.1.4	Starre Rückführung.....	82
4.1.5	Nachgebende Rückführung	84
4.1.6	PI- und PID-Regler mit sehr großen Proportionalbereichen.....	87
4.2	Der PD- und PID-Regler	88
4.2.1	Anstiegsantwort des PD- und PID-Reglers	89

4.2.2	Erzeugen des D-Verhaltens.....	91
4.2.3	Vorhaltverstärkung, Vorhaltüberhöhung	93
4.2.4	Gegenüberstellung von P-, I-, PI- und PID-Regler	98
5	Regelkreise mit stetigen Reglern	99
5.1	Allgemeines zur Arbeitsweise von Regelkreisen mit stetigen Reglern.....	99
5.1.1	Das Anfahren des Regelkreises	100
5.1.2	Stabiles und instabiles Verhalten des Regelkreises.....	100
5.1.3	Das Störverhalten des Regelkreises	103
5.1.4	Das Führungsverhalten des Regelkreises.....	103
5.2	Das rechnerische Einschleusen der Störgrößen in den Regelkreis.....	104
5.2.1	Der Angriffspunkt der Störgrößen	104
5.2.2	Umrechnen der Störgrößen auf die Stellgröße.....	106
5.3	Das statische Verhalten des Regelkreises	106
5.3.1	Ermittlung des statischen Verhaltens mit Hilfe der Kennlinien.....	106
5.3.2	I-, PI- oder PID-Regler bei Regelstrecken mit Ausgleich.....	107
5.3.3	Berechnung der bleibenden Regeldifferenz (P- oder PD-Regler).....	108
5.4	Das dynamische Verhalten des Regelkreises.....	110
5.4.1	Das dynamische Verhalten bei P-Reglern.....	111
5.4.2	Das dynamische Verhalten bei I-Reglern	120
5.4.3	Das dynamische Verhalten bei PI- und PID-Reglern.....	124
5.4.4	Welcher Regler passt zu welcher Regelstrecke?.....	125
5.5	Optimale Reglereinstellung	126
5.5.1	Die Regler-Parameter	126
5.5.2	Die Stabilitätsgrenze als Grenze der Regeleinstellung	126
5.5.3	Gibt es eine allgemeingültige, optimale Reglereinstellung?	129
5.5.4	Maßstäbe für die Regelgüte bei einer sprungweisen Störung bzw. Führungsgrößenänderung	130
5.5.5	Die verschiedenartigen Anforderungen an die Regelgüte.....	131
5.5.6	Die wichtigsten Methoden für die optimale Reglereinstellung bei einer sprungweisen Störung	132
5.5.7	Gründe, warum in der Praxis die optimale Reglereinstellung oft ziemlich unscharf ist	135
5.6	Regelungstechnische Begriffe zu Abschnitt 5	136
6	Unstetige Regler ohne Rückführung	137
6.1	Vergleich zwischen stetigen und unstetigen Reglern.....	137
6.2	Zweipunktregler ohne Hilfsenergie	137
6.2.1	Sprungschaltung, Schaltdifferenz	138
6.2.2	Kennlinie des Zweipunktreglers	139
6.3	Dreipunktregler ohne Hilfsenergie.....	140
6.3.1	Kennlinie des Dreipunktreglers	141
6.4	Zwei- und Dreipunktregler mit Hilfsenergie.....	142

7	Regelkreise mit unstetigen Reglern ohne Rückführung	143
7.1	Verlauf der Regelgröße nach Schließen des Regelkreises.....	143
7.1.1	Regelstrecken mit einer Verzögerung (1. Ordnung).....	143
7.1.2	Regelstrecken mit vielen Verzögerungen (höherer Ordnung).....	147
7.1.3	Der Einfluss des Stellbereiches	150
7.1.4	Regelstrecken ohne Ausgleich.....	154
7.2	Maßnahmen zum Verkleinern der Schwankungsbreite	156
7.2.1	Verringern der Schaltdifferenz	156
7.2.2	Verkleinern der Verzugszeit und Totzeit.....	156
7.2.3	Vergrößern der Ausgleichszeit	156
7.2.4	Herabsetzen des Leistungsüberschusses.....	157
7.2.5	Grundlast	157
7.2.6	Dreipunktregler.....	158
7.2.7	Rückführung	159
7.3	Das Stör- und Führungsverhalten des Regelkreises.....	159
7.3.1	Störverhalten.....	160
7.3.2	Führungsverhalten	163
8	Regelkreise mit unstetigen Reglern mit Rückführung (Quasistetiges Verhalten)	165
8.1	Vor- und Nachteile des Zweipunktreglers ohne Rückführung	165
8.2	Die schubweise Energiezufuhr als Ursache der Schwankungsbreite.....	166
8.3	Zweipunktregler mit verzögerter, einseitiger Rückführung (PD-Verhalten).....	167
8.4	Zweipunktregler mit verzögerter, doppelseitiger Rückführung (PD-Verhalten)	170
8.5	Zweipunktregler mit verzögerter, nachgebender Rückführung (PID-Verhalten).....	171
9	Dreipunktregler mit quasistetigem Verhalten	175
9.1	Gründe, warum Elektromotoren als Stellantriebe an vielen Stellen bevorzugt werden	175
9.2	Grenzwerteinheit	175
9.3	Grenzwertregler (I-Verhalten).....	177
9.4	Schrittregler (PI-Verhalten).....	178
10	Mehrschleifige Regelkreise zum Verbessern der Regelgüte	183
10.1	Arbeitsweise und Blockschemata der wichtigsten mehrschleifigen Regelkreise.....	183
10.1.1	Störgrößenaufschaltung	183
10.1.2	Aufschaltung von Hilfsregelgrößen.....	184

10.1.3	Hilfsstellgrößen.....	185
10.1.4	Grob/Fein-Regelung	185
10.2	Beispiele von mehrschleifigen Regelkreisen	185
Teil II. Digitale Regelungstechnik		187
11	Einführung	189
11.1	Vorbemerkungen	189
11.2	Unterschiedliche Arten digitaler Regelsysteme	189
11.3	Der digitale Regelkreis	190
11.4	Vor- und Nachteile digitaler Regelungen	191
12	Analoge und digitale Signale	193
12.1	Analoge Signale.....	193
12.2	Digitale Signale.....	195
13	Digitale Regelung	199
13.1	Abtastvorgang.....	199
13.1.1	Zusätzliche Totzeiten	199
13.1.2	Analoge Filter (Anti-Aliasing-Filter).....	200
13.2	Regelalgorithmus	203
13.2.1	P-Regler	203
13.2.2	PD-Regler	204
13.2.3	I-Regler	205
13.2.4	PI-Regler.....	205
13.2.5	PID-Regler	205
13.3	Geschlossener digitaler Regelkreis	206
13.4	Einfluss der Quantisierung.....	209
14	Zusammenfassung	211
14.1	Schlussbemerkung	211
Sachverzeichnis		213