

	Seite
<b>Vorwort</b> .....	3
<b>1 Grundlagen</b> .....	7
1.1 Steuern und Regeln im Alltag .....	7
1.2 Steuern und Regeln in der Normung .....	9
1.2.1 Steuern, Steuerung (nach DIN IEC 60050-351) .....	9
1.2.2 Regeln, Regelung (nach DIN IEC 60050-351) .....	9
1.3 Steuerungs- und Regelungsarten .....	13
1.4 Der Wirkungsplan .....	14
1.5 Der Wirkungsplan der Steuerung und Regelung (nach DIN IEC 60050-351) .....	17
1.6 Grafische Symbole und Kennbuchstaben in der Prozessleittechnik .....	21
<b>2 Glieder des Regelkreises</b> .....	26
2.1 Der Regelkreis im Wirkungsplan .....	26
2.2 Das Verhalten von Regelkreisgliedern .....	29
2.2.1 Das dynamische Verhalten (Zeitverhalten) .....	32
2.2.2 Das statische Verhalten (Beharrungsverhalten) .....	48
<b>3 Der Regelkreis</b> .....	55
3.1 Normsignale und PLT-Stellenplan .....	55
3.1.1 Normsignale .....	55
3.1.2 PLT-Stellenplan (Loop-Diagramm) .....	58
3.2 Regelungen mit unstetigen Reglern .....	60
3.2.1 Zweipunkt-Regler und Zweipunkt-Regelung .....	60
3.2.1.1 Der Regler mit Zweipunktverhalten (Zweipunkt-Regler) .....	60
3.2.1.2 Die Regelung mit einem Zweipunkt-Regler .....	61
3.2.1.3 Der Zweipunkt-Regler mit Rückführung .....	65
3.2.2 Der Dreipunkt-Regler .....	67
3.2.3 Der Dreipunkt-Schrittregler .....	68
3.2.4 Eigenschaften industrieller (Schalt-)Regler .....	69
3.3 Regelungen mit stetigen Reglern .....	74
3.3.1 P-Regler und P-Regelung .....	75
3.3.1.1 Der Regler mit Proportionalverhalten (P-Regler) .....	75
3.3.1.2 Die Regelung mit einem P-Regler .....	79
3.3.2 Bewertung von Regelungen .....	85
3.3.3 I-Regler und I-Regelung .....	87
3.3.3.1 Der Regler mit Integrationsverhalten (I-Regler) .....	87
3.3.3.2 Die Regelung mit einem I-Regler .....	90
3.3.4 D-Glied .....	94
3.3.5 PI-Regler und PI-Regelung .....	96
3.3.5.1 Der PI-Regler .....	96
3.3.5.2 Die Regelung mit einem PI-Regler .....	98
3.3.6 Stabilität der Regelung .....	102
3.3.7 Reglereinstellung .....	104
3.3.8 PD-Regler und PD-Regelung .....	108
3.3.8.1 Der PD-Regler .....	108
3.3.8.2 Die Regelung mit einem PD-Regler .....	112
3.3.9 PID-Regler und PID-Regelung .....	116
3.3.9.1 Der PID-Regler .....	116
3.3.9.2 Die Regelung mit einem PID-Regler .....	119
3.3.10 Konzeption einer Regelung .....	123
3.3.11 Stabilität und Optimierung von Regelungen .....	125
3.4 Praxisaspekte .....	135
3.4.1 Empirische Reglerparametrierung .....	135
3.4.2 Reglerparameter stetiger Regler .....	139
3.4.3 Anfahren und Umschaltung von Reglern .....	140
3.4.4 Anti Windup .....	141
3.4.5 Wirkungssinn des Reglers .....	142
3.5 Regelungskonzepte .....	143
<b>4 Reglerausführungen</b> .....	155
4.1 Analogregler .....	156
4.2 Digitalregler .....	157
4.3 SPS-Regler .....	162
<b>5 Mess- und Stelltechnik</b> .....	164
5.1 Messwertaufzeichnung .....	166
5.2 Temperaturmesstechnik .....	168
5.2.1 Berührungslose Temperaturmessung .....	169
5.2.2 Berührende Temperaturmessung .....	170
5.2.2.1 Mechanische Berührungsthermometer .....	170
5.2.2.2 Elektrische Berührungsthermometer .....	170
5.3 Füllstandsmesstechnik .....	188
5.4 Stelleinrichtung .....	194
5.4.1 Stellglied .....	196
5.4.2 Stellantrieb, Steller .....	198
<b>6 Projektaufgaben</b> .....	203
6.1 Füllstand- oder Standregelung .....	203
6.1.1 Aufgabenstellung .....	203
6.1.2 Vorüberlegungen zum Verhalten der Füllstandstrecke .....	205
6.1.3 Entwicklung des Simulationsmodells der Füllstandstrecke .....	205
6.1.4 Beispielhafte Regelungen des Füllstandes .....	213

6.2	Zweipunktregelung (Simulation) mit einem Arduino-Board.....	218
6.2.1	Das ARDUINO-UNO-Board .....	218
6.2.2	Aufgabenstellung .....	219
6.2.3	Hardware und Programmierung .....	219
6.3	PI-Regelung mit SIMATIC S7-1200, SIMATIC Step7 (TIA-Portal V13) und KTP900....	220
6.3.1	Aufgabenstellung .....	220
6.3.2	Stromlaufplan (Ausschnitt) .....	221
6.3.3	Programmierung der PI-Regelung .....	222
<b>7</b>	<b>Regeln im Frequenzbereich</b> .....	228
7.1	Testfunktionen.....	228
7.1.1	Sprungantwortverfahren .....	228
7.1.2	Sinusantwortverfahren (Frequenzgang- verfahren).....	229
7.2	Umrechnung komplexer Größen.....	231
7.3	Grundstrukturen der Übertragungsglieder im Regelkreis .....	233
7.3.1	Reihen- oder Kettenstruktur.....	234
7.3.2	Parallelstruktur .....	234
7.3.3	Kreisstruktur .....	235
7.3.4	Frequenzgang des Regelkreises.....	235
7.4	Das BODE-Diagramm.....	236
7.5	Stabilität von Regelungen.....	242
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	250
8.1	Tabellen .....	250
8.1.1	Reglerauswahl (Strukturierung).....	250
8.1.2	Reglereinstellung (Parametrierung).....	251
8.1.3	Identifikation von Regelstrecken .....	253
8.2	Kennbuchstaben und Symbole für die EMSR- Technik (P&IDs) DIN EN 62424.....	256
8.3	Normwerte für Widerstandsfühler (RTD) und Thermoelemente (TC) .....	258
8.3.1	Grundwerte für Pt 100 .....	258
8.3.2	Grundwerte für Ni 100 .....	259
8.3.3	Bezeichnung und Kennzeichnung von Thermoelementen.....	260
8.3.4	Auswahlkriterien für Thermoelemente.....	260
8.3.5	Eisen-Konstantan (Fe-CuNi) Typ J.....	260
8.3.6	Nickel/Chrom-Nickel (NiCr-Ni) Typ K .....	261
8.4	Frequenzverhalten .....	262
8.4.1	Regelungstechnische Übertragungsglieder.....	262
8.4.2	Vorlage: BODE-Diagramm und Phasenlineal.....	265
	Stichwortverzeichnis .....	266
	Formelzeichen und Bezeichnungen.....	268
	Dictionary .....	270
	Literatur .....	273
	Bildquellenverzeichnis .....	274