

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Aufgaben und Anwendungen der Regelungstechnik .....</b>	<b>3</b>
1.1 Allgemeines zur Regelungstechnik .....	3
1.2 Aufgaben eines Regelungstechnikers .....	3
1.3 Anwendungen für Regelungen.....	4
<b>2 Begriffe der Regelungstechnik.....</b>	<b>7</b>
2.1 Grundprinzipien von Steuerung und Regelung .....	7
2.1.1 Steuerung.....	7
2.1.2 Regelung .....	8
2.2 Komponenten des Regelkreises .....	9
2.3 Benennungen und Abkürzungen regelungstechnischer Größen .....	9
<b>3 Symbole der Regelungstechnik .....</b>	<b>15</b>
3.1 Das Blockschaltbild (Wirkungsplan) .....	15
3.1.1 Elemente von Blockschaltbildern.....	15
3.1.1.1 Wirkungslinie .....	16
3.1.1.2 Linearer Verarbeitungsblock .....	16
3.1.1.3 Additionsstelle .....	19
3.1.1.4 Verzweigungsstelle.....	20
3.1.1.5 Nichtlinearer Block .....	20
3.1.2 Umformen von Blockschaltbildern .....	22
3.2 Grafische Symbole für lösungsbezogene Darstellungen .....	24
<b>4 Regelungsverfahren und -strukturen .....</b>	<b>27</b>
4.1 Arten von Regelungen.....	27
4.2 Auslegung auf Führungs- oder Störungsverhalten.....	30
4.3 Festwertregelung .....	31
4.4 Folgeregelung.....	31
4.5 Regelung mit Hilfsregelgrößen-Aufschaltung.....	31
4.6 Kaskadenregelung .....	32
4.7 Verhältnisregelung.....	36
4.8 Störgrößenaufschaltung.....	37
4.8.1 Konstanthalten der Störgröße.....	38
4.8.2 Additive Störgrößenaufschaltung .....	38
4.8.3 Multiplikative Störgrößenaufschaltung .....	39
4.9 Grob-/Feinregelung.....	40
4.10 Mehrkomponentenregelung.....	41
4.11 Regelung mit Hilfsstellgröße .....	41
4.12 Regelung mit Vorsteuerung (Vorwärtssteuerung) .....	42
4.13 Adaptive Regelung .....	43

4.14	Stetige und unstetige Regelung.....	44
4.15	Analoge und digitale Regelung.....	45
4.16	Fuzzy-Regler .....	46
<b>5</b>	<b>Regelstrecken.....</b>	<b>49</b>
5.1	Allgemeines zu Regelstrecken.....	49
5.1.1	Theoretische Prozessanalyse .....	50
5.1.2	Experimentelle Prozessanalyse .....	51
5.2	Einteilung von Regelstrecken.....	53
5.2.1	Ordnung eines Systems.....	53
5.2.2	Regelstrecken mit Ausgleich.....	55
5.2.3	Regelstrecken ohne Ausgleich .....	55
5.2.4	Regelstrecken mit Totzeit.....	56
5.3	Kennlinien von Regelstrecken mit Ausgleich.....	57
5.3.1	Ermittlung der statischen (stationären) Kennlinie.....	57
5.3.2	Ermittlung der dynamischen Kennlinie .....	59
5.4	Arten von Regelstrecken.....	60
5.4.1	P-Strecke ohne Zeitverzögerung .....	60
5.4.2	P-Strecke mit Totzeit ( $T_i$ -Strecke).....	61
5.4.3	$PT_1$ -Strecke (Verzögerungsglied erster Ordnung).....	63
5.4.4	$PT_2$ -Strecke (Verzögerungsglied zweiter Ordnung).....	65
5.4.5	$pT_n$ -Strecke (Verzögerungsglied n-ter Ordnung) .....	67
5.4.6	Nachbildung einer $PT_n$ -Strecke.....	67
5.4.6.1	Wendetangenten-Methode .....	68
5.4.6.2	Zeitprozentkennwert-Methode.....	69
5.4.7	Regelbarkeit von Strecken höherer Ordnung .....	72
5.4.8	I-Strecke (Integrierglied) .....	73
5.4.9	$IT_1$ -Strecke (Integrierglied mit Verzögerung 1. Ordnung) .....	74
<b>6</b>	<b>Regler.....</b>	<b>75</b>
6.1	Aufgabe des Reglers, Reglereingriff.....	75
6.2	Arten von Reglern .....	77
6.2.1	Regler mit und ohne Hilfsenergie.....	78
6.2.2	Stetige Regler.....	78
6.2.3	Unstetige Regler.....	78
6.2.4	Unterscheidung nach mechanischem Aufbau.....	80
6.2.5	Analoge und digitale Regler.....	80
6.3	Sollwertvorgabe .....	87
6.4	Erfassen des Istwertes.....	88
6.5	Stellglieder.....	88
6.6	P-Regler .....	90
6.6.1	Proportionalbeiwert.....	90
6.6.2	Proportionalbereich.....	92
6.6.3	Bleibende Regelabweichung .....	97
6.6.4	Einstellung des Arbeitspunktes .....	98
6.6.5	Zusammenfassung P-Regler .....	101

<b>6.6.6</b>	<b>Regler mit Dynamik .....</b>	<b>101</b>
<b>6.7</b>	<b>I-Regler.....</b>	<b>102</b>
<b>6.7.1</b>	<b>Eigenschaften.....</b>	<b>102</b>
<b>6.7.2</b>	<b>Nachstellzeit .....</b>	<b>104</b>
<b>6.7.3</b>	<b>Zusammenfassung I-Regler.....</b>	<b>106</b>
<b>6.8</b>	<b>D-Regler .....</b>	<b>106</b>
<b>6.8.1</b>	<b>Eigenschaften.....</b>	<b>106</b>
<b>6.8.2</b>	<b>Vorhaltzeit.....</b>	<b>109</b>
<b>6.8.3</b>	<b>Zusammenfassung D-Regler .....</b>	<b>111</b>
<b>6.9</b>	<b>PI-Regler.....</b>	<b>111</b>
<b>6.9.1</b>	<b>Eigenschaften.....</b>	<b>111</b>
<b>6.9.2</b>	<b>Zusammenfassung PI-Regler .....</b>	<b>115</b>
<b>6.10</b>	<b>PD-Regler.....</b>	<b>116</b>
<b>6.10.1</b>	<b>Eigenschaften.....</b>	<b>116</b>
<b>6.10.2</b>	<b>Zusammenfassung PD-Regler.....</b>	<b>122</b>
<b>6.11</b>	<b>PID-Regler .....</b>	<b>123</b>
<b>6.11.1</b>	<b>Eigenschaften.....</b>	<b>123</b>
<b>6.11.2</b>	<b>Zusammenfassung PID-Regler.....</b>	<b>127</b>
<b>6.12</b>	<b>Symbole für stetige Regler.....</b>	<b>128</b>
<b>6.13</b>	<b>Arbeitsweise von Regelkreisen mit stetigen Reglern .....</b>	<b>128</b>
<b>6.13.1</b>	<b>Stabilität .....</b>	<b>128</b>
<b>6.13.2</b>	<b>Führungsverhalten des Regelkreises.....</b>	<b>131</b>
<b>6.13.3</b>	<b>Störverhalten des Regelkreises .....</b>	<b>131</b>
<b>6.14</b>	<b>Unstetige Regler.....</b>	<b>132</b>
<b>6.14.1</b>	<b>Zweipunktregler.....</b>	<b>133</b>
<b>6.14.2</b>	<b>Dreipunktregler.....</b>	<b>139</b>
<b>6.14.3</b>	<b>Dreipunktschrittregler .....</b>	<b>139</b>
<b>6.15</b>	<b>Auswahl eines stetigen Reglers .....</b>	<b>140</b>
<b>7</b>	<b>Einstellung der Regelparameter .....</b>	<b>145</b>
<b>7.1</b>	<b>Allgemeines zu Optimierung und Einstellregeln .....</b>	<b>145</b>
<b>7.2</b>	<b>Schwingungsmethode nach Ziegler und Nichols.....</b>	<b>146</b>
<b>7.3</b>	<b>Auswertung der Sprungantwort nach Ziegler und Nichols.....</b>	<b>148</b>
<b>7.4</b>	<b>Auswertung der Sprungantwort nach Strejc .....</b>	<b>150</b>
<b>7.5</b>	<b>Einstellregeln nach Oppelt .....</b>	<b>152</b>
<b>7.6</b>	<b>Einstellregeln nach Rosenberg .....</b>	<b>152</b>
<b>7.7</b>	<b>Auswertung der Sprungantwort nach Chien, Hrones, Reswick.....</b>	<b>153</b>
<b>7.7.1</b>	<b>PT<sub>n</sub>-Strecken .....</b>	<b>153</b>
<b>7.7.2</b>	<b>PT<sub>1</sub>-Strecken .....</b>	<b>154</b>
<b>7.7.3</b>	<b>IT<sub>1</sub>-Strecken.....</b>	<b>155</b>
<b>7.8</b>	<b>Einstellregeln nach dem T-Summen-Verfahren .....</b>	<b>156</b>
<b>7.9</b>	<b>Reglerauslegung nach dem Betragsoptimum .....</b>	<b>159</b>
<b>7.10</b>	<b>Empirisches Anpassen der Reglerparameter .....</b>	<b>162</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>167</b>
<b>9</b>	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>169</b>