

Inhalt

1 Grundbegriffe der Regelungstechnik (Frank Dörrscheidt)

1.1 Einordnung und Aufgabenstellung der Regelungstechnik	1
1.2 Beispiele für Regelungen	4
1.2.1 Biologische Regelungen	5
1.2.2 Soziologische Regelungen	6
1.2.3 Ökonomische Regelungen	6
1.2.4 Technische Regelungen	7
1.2.4.1 Regelung der Raumtemperatur. 1.2.4.2 Abstandsregelung im Straßenverkehr. 1.2.4.3 Der Mensch im Regelkreis	
1.2.5 Gemeinsamkeiten technischer und nichttechnischer Regelungen	12
1.3 Komponenten und Verhaltensweisen technischer Regelungen . . .	13
1.3.1 Struktur und Komponenten des einschleifigen Regelkreises .	13
1.3.1.1 Prozeß. 1.3.1.2 Meßwertgeber. 1.3.1.3 Führungsgrößengeber. 1.3.1.4 Vergleicher. 1.3.1.5 Regelglied. 1.3.1.6 Steller. 1.3.1.7 Struktur des Regelkreises	
1.3.2 Dynamisches Verhalten des einschleifigen Regelkreises . . .	17
1.3.2.1 Führungsverhalten. 1.3.2.2 Störverhalten. 1.3.2.3 Stabilitätsverhalten. 1.3.2.4 Verhalten bei Parameteränderungen	
1.3.3 Forderungen an die Regelung	20
1.4 Entwurf technischer Regelungen	21
1.4.1 Abwicklung regelungstechnischer Projekte	21
1.4.2 Entwicklung regelungstechnischer Konzepte	23

2 Lineare kontinuierliche Prozesse (Frank Dörrscheidt)

2.1 Grundbegriffe	26
2.1.1 Übertragungsverhalten und Übertragungsglied	27

2.1.2	Darstellung von Übertragungsgliedern und ihrer Wirkungsbeziehungen	30
2.1.2.1	Elemente des Wirkungsplans. 2.1.2.2 Elementare Übertragungsglieder	
2.1.3	Grundlegende Eigenschaften von Übertragungsgliedern . . .	35
2.1.3.1	Linearität. 2.1.3.2 Zeitvarianz. 2.1.3.3 Klassifizierung	
2.1.4	Informationsaustausch zwischen Übertragungsgliedern . . .	43
2.1.4.1	Signal und Informationsparameter. 2.1.4.2 Signalklassifizierung	
2.1.5	Reaktion von Übertragungsgliedern auf Testsignale	45
2.1.5.1	Testsignale der Regelungstechnik. 2.1.5.2 Systemreaktionen auf Testsignale	
2.2	Mathematische Beschreibung linearer Prozesse	51
2.2.1	Eingangs-Ausgangs-Beschreibung im Zeitbereich	52
2.2.1.1	Aufstellen der Differentialgleichung. 2.2.1.2 Formelmäßige Lösung. 2.2.1.3 Numerische Lösung	
2.2.2	Eingangs-Ausgangs-Beschreibung im Bildbereich	64
2.2.2.1	Definition der Laplace-Transformation. 2.2.2.2 Eigenschaften der Laplace-Transformation. 2.2.2.3 Anwendung auf lineare Übertragungsglieder. 2.2.2.4 Rücktransformation in den Zeitbereich	
2.2.3	Eingangs-Ausgangs-Beschreibung im Frequenzbereich	84
2.2.3.1	Definition, Eigenschaften und Rechenregeln der Fourier-Transformation. 2.2.3.2 Anwendung der Fourier-Transformation auf lineare Übertragungsglieder. 2.2.3.3 Berechnung und Messung des Frequenzgangs. 2.2.3.4 Graphische Darstellung des Frequenzgangs	
2.2.4	Zustandsbeschreibung linearer Übertragungsglieder	95
2.2.4.1	Systembeschreibung durch Zustandsvariable. 2.2.4.2 Lösung der Vektordifferentialgleichung. 2.2.4.3 Eigenschaften der Transitionsmatrix. 2.2.4.4 Berechnung der Transitionsmatrix. 2.2.4.5 Übertragungsfunktion und Zustandsdarstellung. 2.2.4.6 Digitale Simulation	
2.3	Lineare Übertragungsglieder der Regelungstechnik	118
2.3.1	Elementare Übertragungsglieder	118
2.3.1.1	Rationale Übertragungsglieder. 2.3.1.2 Nichtrationale Übertragungsglieder	
2.3.2	Zusammenschalten von Übertragungsgliedern	123
2.3.2.1	Parallelstruktur. 2.3.2.2 Kettenstruktur. 2.3.2.3 Kreisstruktur. 2.3.2.4 Umformen von Wirkungsplänen	

2.3.3	Nichtelementare rationale Übertragungsglieder	133
2.3.3.1	Rationale Übertragungsglieder erster Ordnung. 2.3.3.2	
	Rationale Übertragungsglieder zweiter Ordnung	
2.3.4	Approximation linearer Übertragungsglieder	154
2.3.4.1	Approximation im Zeitbereich. 2.3.4.2 Approximation	
	im Bildbereich	
2.3.5	Stabilität linearer Übertragungsglieder	165
2.3.5.1	Stabilitätsdefinitionen. 2.3.5.2 Stabilitätsprüfung mit-	
	tels der Übertragungsfunktion. 2.3.5.3 Algebraische Stabili-	
	tätskriterien	
2.3.6	Parameterempfindlichkeit linearer Übertragungsglieder . . .	173

3 Lineare kontinuierliche Regelkreise (Frank Dörrscheidt)

3.1	Struktur und Eigenschaften des einschleifigen Regelkreises	179
3.1.1	Struktur und Übertragungsverhalten	179
3.1.2	Stabilität	183
3.1.2.1	Stabilitätskriterien. 3.1.2.2 Algebraische Stabilitätsprü-	
	fung. 3.1.2.3 Stabilitätsprüfung mittels der Ortskurve des Fre-	
	quenzgangs. 3.1.2.4 Stabilitätsprüfung im Bode-Diagramm	
3.1.3	Stationäre Genauigkeit	200
3.1.4	Transientes Verhalten	204
3.1.4.1	Kenngrößen der Übergangsfunktion. 3.1.4.2 Kenngrö-	
	ßen der Übergangsfunktion des Verzögerungsgliedes 2. Ord-	
	nung	
3.1.5	Parameterempfindlichkeit	211
3.2	Entwurf einschleifiger Regelkreise	214
3.2.1	Grundlagen des Reglerentwurfs	215
3.2.1.1	Allgemeine Aspekte des Reglerentwurfs. 3.2.1.2 Ent-	
	wurfsforderungen. 3.2.1.3 Entwurfsverfahren	
3.2.2	Reglerentwurf bei vorgegebenem Übertragungsverhalten des	
	Regelkreises	219
3.2.2.1	Entwurfsspezifikationen. 3.2.2.2 Entwurf auf vorgege-	
	benes Führungsverhalten. 3.2.2.3 Entwurf auf vorgegebenes	
	Führungs- und Störverhalten	
3.2.3	Reglerentwurf mit der Übertragungsfunktion des offenen Re-	
	gelkreises	236
3.2.3.1	Entwurfsspezifikationen. 3.2.3.2 Entwurf von Kompen-	
	sationsreglern	

3.2.4	Reglerentwurf durch Parameteroptimierung	253
3.2.4.1	Optimierungskriterien. 3.2.4.2 Minimierung der quadratischen Regelfläche. 3.2.4.3 Numerische Berechnung der optimalen Reglerparameter	
3.2.5	Realisierung linearer Regler mit Operationsverstärkern . . .	263
3.2.5.1	Eigenschaften des Operationsverstärkers. 3.2.5.2 Beschaltung des Operationsverstärkers. 3.2.5.3 Realisierung bilinearer Reglerschaltungen. 3.2.5.4 Kanonische Realisierung rationaler Übertragungsfunktionen	
3.3	Entwurf einschleifiger Regelkreise mit erweiterter Struktur	275
3.3.1	Regelung mit Störgrößenaufschaltung	275
3.3.2	Regelung mit Hilfsstellgröße	282
3.4	Entwurf mehrschleifiger Regelkreise	287
3.4.1	Regelung mit Hilfsregelgröße (Kaskadenregelung)	288
3.4.1.1	Struktur und Übertragungsverhalten der Kaskadenregelung. 3.4.1.2 Auslegung der Kaskadenregelung	
3.4.2	Zustandsregelung	296
3.4.2.1	Struktur der Zustandsregelung. 3.4.2.2 Berechnung des Zustandsreglers nach dem Verfahren der Polvorgabe. 3.4.2.3 Schätzung des Systemzustands	
4	Abtastregelungen (Wolfgang Latzel)	
4.1	Mathematische Beschreibung von Abtastvorgängen	306
4.1.1	Abtastvorgänge in technischen Systemen	306
4.1.2	Mathematische Beschreibung von Abtaster und Halteglied .	310
4.2	Die z -Transformation zur Beschreibung von Abtastsystemen	314
4.2.1	Definition der z -Transformation	314
4.2.2	Beispiele für die Ermittlung von z -Transformierten	315
4.2.3	Rechenregeln der z -Transformation	318
4.2.3.1	Regeln zur Differenzbildung. 4.2.3.2 Summationsregel. 4.2.3.3 Faltungsregel	
4.2.4	z -Übertragungsfunktionen zusammengesetzter Abtastsysteme	327
4.2.5	Anwendung der z -Transformation auf Abtastregelungen . . .	331
4.2.6	Stabilitätsprüfung von Abtastsystemen im z -Bereich	338
4.2.6.1	Pol-Nullstellen-Verteilung von z -Transformierten.	
4.2.6.2	Stabilitätsdefinitionen. 4.2.6.3 Algebraische Stabilitätskriterien. 4.2.6.4 Grafische Stabilitätsprüfung mit dem Wurzelortkurvenverfahren. 4.2.6.5 Übergangsverhalten von Abtastregelkreisen	

4.3 Entwurf von Abtastregelungen im Frequenzbereich	351
4.3.1 Frequenzkennliniendarstellung von Abtastsystemen	352
4.3.1.1 Einführung der w -Ebene. 4.3.1.2 w -Übertragungsfunktion und Abtast-Frequenzgang. 4.3.1.3 Veranschaulichung des Abtast-Frequenzganges	
4.3.2 w -Übertragungsfunktionen von Abtastsystemen mit Halteglied	360
4.3.2.1 w -Übertragungsfunktionen von P- T_2 -Gliedern. 4.3.2.2 w -Übertragungsfunktionen proportionaler Abtastsysteme. 4.3.2.3 w -Übertragungsfunktionen integrierender Abtastsysteme. 4.3.2.4 w -Übertragungsfunktionen von Totzeitgliedern	
4.3.3 w -Übertragungsfunktionen von Abtastreglern	371
4.3.3.1 Regelalgorithmen 1. Ordnung. 4.3.3.2 Übergangsfunktion und Abtast-Frequenzgang beim PD-Regelalgorithmus. 4.3.3.3 Veranschaulichung des Abtast-Frequenzganges beim PD-Regelalgorithmus. 4.3.3.4 PI-Regelalgorithmus. 4.3.3.5 Regelalgorithmen 2. Ordnung	
4.3.4 Anpassungsbedingungen für Abtastregelungen	383
4.3.4.1 Stabilitätsprüfung mit dem Nyquist-Kriterium. 4.3.4.2 Anpassungsbedingungen aus Referenzsystem. 4.3.4.3 Anwendung der Methode der Anpassungsbedingungen. 4.3.4.4 Vergleichende Ergebnisse mit der Methode der Anpassungsbedingungen	
4.4 Digitale Regelungen	404
4.4.1 Struktur und Aufbau digitaler Regelungen	404
4.4.1.1 Aufbau und Wirkungsweise von Prozeßrechnern. 4.4.1.2 Analog-Digital-Umsetzer als Eingabegeräte für den Prozeßrechner. 4.4.1.3 Digital-Analog-Umsetzer als Ausgabegeräte für den Prozeßrechner	
4.4.2 Quasikontinuierliche Regelalgorithmen nach der Rechteckregel	412
4.4.2.1 Stellungs- und Geschwindigkeits-Algorithmus mit der Rechteck-Regel. 4.4.2.2 Ergebnisse mit der Rechteck-Regel	
4.4.3 Quasikontinuierliche Regelalgorithmen mit der Trapezregel und Berücksichtigung des Abtast-Haltegliedes	418
4.4.3.1 Frequenzgang von Abtaster und Halteglied. 4.4.3.2 Regelalgorithmen 1. Ordnung. 4.4.3.3 Regelalgorithmen 2. Ordnung. 4.4.3.4 PI- und PID-Regelalgorithmen in Summenform. 4.4.3.5 Dimensionierung quasikontinuierlicher Abtastregler. 4.4.3.6 Wahl der Abtastzeit. 4.4.3.7 Zusammenfassung und Vergleich	

Anhang

Literaturverzeichnis	447
DIN-Normblätter (Auswahl)	450
Formelzeichenliste (Größen, Koeffizienten und Kennwerte)	451
Schreibweise der zeit- bzw. frequenzabhängigen Größen	452
Schreibweise der Übertragungsfunktionen und Frequenzgänge	452
Indizes	453
Glossar	453
 Sachverzeichnis	 460