

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe der Regelungstechnik	1	2.4.6	Abtastsysteme	55
1.1	Notwendigkeit der Regelung	1	2.4.7	Lineare Differentialgleichungsglieder mit zeitabhängigen Parametern	56
1.2	Aufbau und Wirkungsweise einer Regelung	2	2.4.8	Einteilung der linearen Übertragungsglieder in zeitinvariante und zeitvariante (LZI- und LZV-Glieder)	57
1.3	Beispiele von Regelungen	4	2.4.9	Übersichtsschema für die Übertragungsglieder	60
1.4	Regelung und Steuerung	7	2.5	Eigenschaften der linearen zeitinvarianten Übertragungsglieder (LZI-Glieder)	60
1.5	Forderungen an die Regelung und Bearbeitung einer Regelungsaufgabe	10	2.5.1	Kenngrößen der LZI-Glieder	60
1.6	Erweiterung des Regelungsbegriffs und Charakterisierung der Regelungstechnik	14	2.5.2	Sprungantwort von rationalen Übertragungsgliedern (R-Gliedern)	62
	Schrifttum zu Kapitel 1	19	2.5.3	Sprungantwort von Totzeitsystemen (TZ-Systemen)	64
2	Das Strukturbild (Signalflußplan, Wirkplan) als anschauliches Modell dynamischer Systeme	21	2.5.4	Sprungantwort von Differenzengleichungsgliedern	66
2.1	Einführung des Strukturbildes	21	2.6	Bestimmung des stationären Zustands aus dem Strukturbild	66
2.2	Aufstellen des Strukturbildes an Beispielen	25	2.7	Linearisierung um den Arbeitspunkt	70
2.2.1	Drehzahlregelung eines Gleichstromantriebs	25	2.8	Umformung des Strukturbildes	72
2.2.2	Schüttgutregelung	29	2.9	Experimentelle Bestimmung der Systemparameter	77
2.2.3	Abflußregelung	30	2.9.1	Aufgabenstellung und Verfahrensübersicht	77
2.3	Die Blöcke des Strukturbildes	33	2.9.2	Bestimmung der Parameter von rationalen Übertragungsgliedern 1. Ordnung	78
2.3.1	Der Block als Übertragungsglied	33	2.9.3	Bestimmung der Parameter des aperiodischen Verzögerungsgliedes 2. Ordnung	79
2.3.2	Proportionalglied (P-Glied)	34	2.9.4	Approximation von Verzögerungsgliedern höherer Ordnung	80
2.3.3	Integrierglied (I-Glied)	35		Schrifttum zu Kapitel 2	83
2.3.4	Differenzierglied (D-Glied)	36	3	Aufstellen der Systemgleichungen	84
2.3.5	Totzeitglied (T_t -Glied, TZ-Glied)	37	3.1	Gesamtsystem, Teilsysteme und Elementarfunktionen	84
2.3.6	Summierglied (S-Glied)	37	3.2	Mathematische Beschreibung einiger Bauelemente	92
2.3.7	Kennlinienglied (KL-Glied)	37	3.2.1	Bauelemente mechanischer Systeme	92
2.3.8	Multiplizierglied (M-Glied)	38	3.2.2	Die Gleichstrommaschine	97
2.3.9	Elementare und zusammengesetzte Übertragungsglieder	39	3.2.3	Die Synchronmaschine	103
2.3.10	Verzögerungsglied 1. Ordnung ($P-T_1$ -Glied, VZ_1 -Glied)	39	3.2.4	Hydraulischer Stellantrieb	116
2.3.11	Verzögerungsglied 2. Ordnung ($P-T_2$ -Glied, VZ_2 -Glied)	41	3.2.5	Pneumatische Leitung	124
2.3.12	Kennlinienglied mit mehreren Eingangsgrößen	45	3.2.6	Praktische Modelle	128
2.3.13	Zusammenfassung	46		Schrifttum zu Kapitel 3	133
2.4	Klassifikation der Übertragungsglieder	46			
2.4.1	Allgemeiner Begriff des Übertragungsgliedes	46			
2.4.2	Lineare Übertragungsglieder	48			
2.4.3	Rationale Übertragungsglieder (R-Glieder)	50			
2.4.4	Totzeitsysteme (TZ-Systeme)	53			
2.4.5	Differenzengleichungsglieder	54			

11.6	Allgemeine Form der Zustandsgleichungen eines linearen Systems	403	13.3	Reglerentwurf durch Polvorgabe (Eigenwertvorgabe)	468
11.7	Linearisierung nichtlinearer Systeme um einen stationären Zustand	405	13.3.1	Grundgedanke	468
11.8	Ortsdiskretisierung partieller Differentialgleichungen	407	13.3.2	Polvorgabe bei Eingrößensystemen: Formel von J. Ackermann	470
11.9	Berücksichtigung von Totzeit	411	13.3.3	Eine praktikable Methode zur Polvorgabe bei Mehrgrößensystemen: Modale Regelung	474
	Schrifttum zu Kapitel 11	414	13.4	Reglerentwurf durch Minimieren eines quadratischen Gütemaßes: Riccati-Regler	479
12	Analyse linearer und zeitinvarianter Systeme im Zustandsraum	416	13.4.1	Grundgedanke	479
12.1	Transformation auf Normalform	416	13.4.2	Quadratisches Gütemaß und Ljapunow-Gleichung	480
12.1.1	Transformation auf Jordansche Normalform	416	13.4.3	Berechnung des optimalen Reglers	481
12.1.2	Transformation auf Regelungsnormalform	419	13.4.4	Beispiele und Bewertung des Verfahrens ..	484
12.1.3	Transformation auf Beobachtungsnormalform	422	13.4.5	Numerische Lösung der Ljapunow- und Riccati-Gleichung	486
12.2	Lösung der Zustandsgleichungen	423	13.5	Ein Entwurf auf Führungsverhalten: Entkopplung nach Falb- Wolovich	489
12.2.1	Matrizen-e-Funktion	424	13.5.1	Begriff der Differenzordnung	489
12.2.2	Lösung der Zustandsgleichungen mittels der Transitionsmatrix	425	13.5.2	Durchführung der Entkopplung	491
12.2.3	Lösung der homogenen Zustandsdifferentialgleichung mittels Eigenwerten und Eigenvektoren	430	13.5.3	Anwendung des Verfahrens	493
12.2.4	Anwendung der Laplace-Transformation ..	433	13.6	Allgemeine Zustandsreglerformel von G. Roppenecker und die Methode der Vollständigen Modalen Synthese	496
12.2.5	Numerische Lösung der Zustandsgleichungen	437	13.7	Zustandsbeobachter	501
12.3	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	442	13.7.1	Struktur des Luenberger-Beobachters	501
12.3.1	Definitionen	442	13.7.2	Bestimmung der Beobachterparameter ...	502
12.3.2	Kalmansches Kriterium der Steuerbarkeit ..	445	13.7.3	Beobachterentwurf mittels komplexer Übertragungsfunktionen	505
12.3.3	Steuerbarkeitskriterium nach Gilbert	447	13.7.4	Beobachter reduzierter Ordnung (reduzierter Beobachter)	508
12.3.4	Steuerbarkeitskriterium nach Hautus	449	13.7.5	Querverbindung zum Kalman-Filter	511
12.3.5	Kriterien der Beobachtbarkeit	450	13.7.6	Der Beobachter im Regelkreis	513
12.3.6	Anschauliche Deutung der Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	451	13.8	Berücksichtigung von Störgrößen	517
12.4	Stabilität	452	13.8.1	Störgrößenaufschaltung und Störmodell ...	518
12.5	Dominanzmaß von Eigenwerten	455	13.8.2	PI-Zustandsregler	521
12.6	Numerische Berechnung von Frequenzkennlinien aus der Zustandsdarstellung ..	460		Schrifttum zu Kapitel 13	525
	Schrifttum zu Kapitel 12	462	14	Entwurf von Ausgangsrückführungen	527
13	Entwurf vollständiger Zustandsrückführungen	464	14.1	Problemstellung	527
13.1	Struktur einer Zustandsregelung und Problematik	464	14.2	Ausgangsrückführung mit Vorsteuerung ..	529
13.2	Wahl des Vorfilters	467	14.3	Konstante und dynamische Ausgangsrückführung	530
			14.4	Entwurf von Ausgangsrückführungen durch Approximation des Steuervektors einer vollständigen Zustandsrückführung ..	533

14.4.1	Mathematische Vorbemerkung: Lösung eines Extremalproblems mit Nebenbedingungen	533	16.2.1	Konstruktion des reduzierten Modells	585
14.4.2	Durchführung des Entwurfs	535	16.2.2	Näherungsweise Rekonstruktion der nicht-dominanten Modalkoordinaten	587
14.4.3	Anwendungsbeispiel: Hinterachsprüfstand für Lastkraftwagen	537	16.2.3	Anwendungsbeispiel: Hinterachsprüfstand für Lastkraftwagen	588
14.5	Entwurf von Ausgangsrückführungen mittels der Vollständigen Modalen Synthese ..	539	16.3	Ordnungsreduktion durch Minimieren eines Gleichungsfehlers nach E. Eitelberg	590
14.5.1	Grundgedanke	539	16.3.1	Grundgedanke	590
14.5.2	Gradientenformeln	541	16.3.2	Durchführung der Methode	590
14.5.3	Anwendungsbeispiel: Dampferzeuger	542	16.3.3	Anwendungsbeispiel: Dreistoff-Destillationskolonne	592
14.5.4	Erste Erweiterung des Verfahrens: Vorgabe von Eigenwertbereichen statt fester Eigenwertpositionen	545	16.4	Verwendung der Ordnungsreduktion	594
14.5.5	Zweite Erweiterung des Verfahrens: Hinzunahme zusätzlicher Gütemaße	547		Schrifttum zu Kapitel 16	595
14.6	Entwurf von Ausgangsrückführungen nach Riccati-Art	550	17	Mathematischer Anhang	597
14.7	Direkte Methode zum Entwurf von Ausgangsrückführungen durch Polvorgabe	551	17.1	Elemente der Laplace-Transformation	597
14.7.1	Prinzip der Methode	551	17.1.1	Das Laplace-Integral	597
14.7.2	Stützstellenvorgabe statt Polvorgabe	553	17.1.2	Die Laplace-Transformation	597
14.7.3	Spezialfall des Eingrößensystems	555	17.1.3	Rechnen mit δ -Funktionen	598
14.7.4	Kombination der Direkten Methode zur Polvorgabe mit der Festlegung von Parametervektoren	557	17.1.4	Rechenregeln der Laplace-Transformation	600
14.7.5	Anwendungsbeispiel: Kraftfahrzeugmotor .	559	17.1.5	Lösung von Differentialgleichungen	602
	Schrifttum zu Kapitel 14	563	17.1.6	Fourier-Integral und Parseval-Theorem ..	604
15	Entwurf robuster Regelungen	565	17.2	Residuum und Residuensatz bei rationalen Funktionen	604
15.1	Robustheit von Regelungen	565	17.3	Matrizenrechnung	605
15.2	Robustheitsentwurf mittels Straffunktionen	568	17.3.1	Lineare Abhängigkeit und Unabhängigkeit von Vektoren	605
15.2.1	Beschreibung der Methode	568	17.3.2	Grundregeln der Matrizenrechnung	605
15.2.2	Gradientenformeln mittels der Polempfindlichkeit	570	17.3.3	Inverse Matrix	608
15.2.3	Beispiel: Verladebrücke	572	17.3.4	Rang einer Matrix	608
15.3	Robustheitsentwurf mittels der Vollständigen Modalen Synthese	575	17.3.5	Determinanten	609
15.3.1	Beschreibung des Verfahrens	575	17.3.6	Lineare Gleichungen	610
15.3.2	Anwendungsbeispiel: Spurgeführter Omnibus	577	17.3.7	Eigenwerte und Eigenvektoren	612
	Schrifttum zu Kapitel 15	583	17.3.8	Symmetrische Matrizen	613
16	Vereinfachung großer Systemmodelle durch Ordnungsreduktion	584	17.3.9	Spur einer Matrix	614
16.1	Problemstellung	584	17.3.10	Die Moore-Penrosesche Pseudo-Inverse ...	615
16.2	Modale Ordnungsreduktion nach L. Litz ..	585	17.3.11	Matrix-Analysis	617
			17.4	Gütevektoroptimierung	619
			17.4.1	Problemstellung der Mehrzielloptimierung	619
			17.4.2	Verfahren der Gütevektoroptimierung nach G. Kreisselmeier und R. Steinhauser	621
			17.4.3	Analytische Approximation der Maximumfunktion $\alpha(\tau)$	622
				Schrifttum zu Kapitel 17	623
				Sachwortverzeichnis	625