

Inhaltsverzeichnis

1	Regelungstechnische Grundbegriffe und Grundregeln	1
1.1	Gegenüberstellung von Steuerung und Regelung	1
1.2	Beschreibung des dynamischen Verhaltens durch Signalflußpläne	6
1.3	Frequenzgang	10
1.3.1	Ortskurvendarstellung in rechtwinkligen Koordinaten	13
1.3.2	Frequenzkennlinien, Bode–Diagramm	15
1.4	Rechenregeln, Umwandlungsregeln, Signalflußplan	22
1.5	Führungs- und Störungsübertragungsfunktion	26
2	Stabilisierung und Optimierung von Regelkreisen	28
2.1	Stabilität	29
2.1.1	Nyquist–Kriterium	31
2.1.2	Frequenzkennlinien	34
2.2	Stabilitätsprüfung anhand der Übertragungsfunktion	36
2.3	Optimierung bei offenem Kreis (Bode–Diagramm)	41
3	Standard–Optimierungsverfahren	46
3.1	Betragsoptimum (BO)	46
3.1.1	Herleitung für Strecken ohne I–Anteil	47
3.1.2	Verallgemeinerung und Anwendung des Betragsoptimums	50
3.1.3	Mathematische Herleitung des Betragsoptimums	56
3.2	Symmetrisches Optimum (SO)	60
3.2.1	Herleitung für Strecken mit I–Anteil	60
3.2.2	Verallgemeinerung und Anwendung des Symmetrischen Optimums	65
3.2.3	Mathematische Herleitung des Symmetrischen Optimums	72
3.3	Auswahl des Reglers und Bestimmung der Optimierung	73
3.4	Optimierungstabelle	80
3.5	Führungsverhalten bei rampenförmiger Anregung	82
4	Verallgemeinerte Optimierungsverfahren	84
4.1	Dämpfungsoptimum (DO)	84

4.1.1	Herleitung der Doppelverhältnisse	85
4.1.2	Standardfunktionen des Dämpfungsoptimums	86
4.1.3	Reglerauslegung nach dem Dämpfungsoptimum	88
4.2	Beispiele zum Dämpfungsoptimum	92
4.3	Zählerpolynom und äquivalente Sollwertglättung	97
4.4	Erweitertes Dämpfungsoptimum	99
4.4.1	Kompensation des Zählerpolynoms	99
4.4.2	Divisionsmethode	99
4.4.3	Allgemeine Methode für Strecken mit Zählerpolynomen	100
4.5	Reglerentwurf durch Gütefunktionale	104
4.6	Reglerauslegung mit MATLAB	109
5	Regelkreisstrukturen	112
5.1	Allgemein vermaschter Regelkreis	112
5.1.1	Begrenzungsregelung	112
5.1.2	Störgrößenaufschaltung	113
5.1.3	Hilfsstellgrößen	114
5.2	Kaskadenregelung	115
5.3	Modellbasierte Regelungen	119
5.3.1	Conditional Feedback	119
5.3.2	Internal Model Control (IMC)	120
5.3.3	Smith-Prädiktor	122
5.4	Vorsteuerung	123
5.4.1	Übertragungsfunktionen	124
5.4.2	Auslegung der Vorsteuerübertragungsfunktion $A(s)$	124
5.4.3	Beispiel: Nachlaufregelung mit IT_1 -Strecke	125
5.4.4	Beispiel: Nachlaufregelung mit zwei PT_1 -Strecken und PI-Regler	127
5.5	Zustandsregelung	128
5.5.1	Zustandsdarstellung	128
5.5.2	Normalformen	130
5.5.3	Lösung der Zustandsdifferentialgleichung im Zeitbereich	134
5.5.4	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	134
5.5.5	Entwurf einer Zustandsregelung	136
5.5.6	Zustandsbeobachter	139
5.5.6.1	Beobachtung mit Differentiation und Parallelmodell	140
5.5.6.2	Luenberger-Beobachter	141
5.5.6.3	Zustandsregelung mit Beobachter	143
5.5.6.4	Kalman-Filter	145
5.5.7	Zusammenfassung	146
5.6	Stellbegrenzungen in Regelkreisen	147
	Dr. P. Hippe, Dr. C. Wurmthaler	
5.6.1	Allgemeine Vorbemerkungen	147
5.6.2	Regler-Windup bei PI- und PID-Reglern	148
5.6.2.1	Beschreibung des Phänomens	148

5.6.2.2	Maßnahmen zur Vermeidung des Regler–Windup bei PI– und PID–Reglern	149
5.6.3	Systematisches Vorgehen zur Beseitigung von Regler– und Strecken–Windup	152
6	Abtastsysteme	160
6.1	Grundlagen der z –Transformation	160
6.1.1	Abtastvorgang	161
6.1.2	z –Transformation	162
6.1.3	Gesetze und Rechenmethoden der z –Transformation	164
6.1.4	Transformationstabelle	172
6.2	Übertragungsfunktionen von Abtastsystemen	176
6.2.1	Stabilität und Pollagen	176
6.2.2	Übertragungsverhalten von zeitdiskreten Systemen	181
6.2.3	Frequenzkennlinien–Darstellung von Abtastsystemen	182
6.2.4	Systeme mit mehreren nichtsynchrone Abtastern	187
6.3	Einschleifige Abtastregelkreise	188
6.3.1	Aufbau von digitalen Abtastregelkreisen	188
6.3.2	Elementare zeitdiskrete Regler	191
6.3.3	Quasikontinuierlicher Reglerentwurf	193
6.4	Optimierung des Reglers bei Abtastregelkreisen	196
6.4.1	Realisierungsverfahren von Abtastreglern	196
6.4.2	Parameteroptimierung des Reglers nach einem Gütekriterium	197
6.4.3	Entwurf als Kompensationsregler	198
6.5	Entwurf zeitdiskreter Regelkreise auf endliche Einstellzeit	200
6.5.1	Reglerentwurf ohne Stellgrößenvorgabe	202
6.5.2	Reglerentwurf mit Stellgrößenvorgabe	206
6.5.3	Wahl der Abtastzeit bei Dead–Beat–Reglern	208
6.5.4	Beispiel zum Dead–Beat–Regler	209
7	Regelung der Gleichstrommaschine	212
7.1	Geregelte Gleichstromnebenschlußmaschine im Ankerstellbereich	213
7.1.1	Stromregelkreis	213
7.1.1.1	EMK–Kompensation	214
7.1.1.2	EMK–Bestimmung	215
7.1.1.3	Ausführung der EMK–Aufschaltung	217
7.1.1.4	Optimierung des Stromregelkreises	218
7.1.1.5	Optimierung des Stromregelkreises mit Meßwertglättung	223
7.1.2	Drehzahlregelkreis	226
7.1.2.1	Optimierung des Drehzahlregelkreises mit Meßwertglättung	229
7.1.2.2	Regelkreise mit Stromsollwertbegrenzung	230
7.1.2.3	Direkte Drehzahlregelung	234
7.1.2.4	Strombegrenzungsregelung	236

7.1.3	Lageregelung	237
7.2	Geregelte Gleichstromnebenschlusmaschine im Feldschwächbereich	241
7.2.1	Erregerstromregelung	245
7.2.2	Schaltungsvarianten	247
7.2.3	Sammelschienenantrieb	249
7.2.4	Contiflux-Regelung	251
7.2.5	Spannungsabhängige Feldschwächung	253
8	Fehlereinflüsse und Genauigkeit bei geregelten Systemen	264
8.1	Ausregelbare Fehler	264
8.2	Nicht ausregelbare Fehler	268
8.3	Abschätzung der Auswirkung der Fehler	274
8.3.1	Statische Fehler	274
8.3.1.1	Fehler des Operationsverstärkers	275
8.3.1.2	Laständerungen	277
8.3.1.3	Sollwertgeber	278
8.3.1.4	Tachogenerator	279
8.3.1.5	Istwertteiler	280
8.4	Erreichbare Genauigkeit analog drehzahl geregelter Antriebe . .	280
8.5	Fehler in Systemen mit digitaler Erfassung von Position und Drehzahl	282
8.5.1	Digitale Positionsmessung	282
8.5.2	Digitale Drehzahlerfassung	283
8.6	Geber	285
8.6.1	Strommessung	285
8.6.2	Spannungsmessung	288
8.6.3	Gegenüberstellung von Drehzahl- und Positionsgebern	289
	Prof. Dr. R. Kennel	
8.6.3.1	Drehzahlregelung	289
8.6.3.2	Positionsregelung	291
8.7	EMV, störsichere Signalübertragung und Störschutzmaßnahmen	301
8.7.1	Oberschwingungen, EMV und Normen	301
8.7.2	Störsichere analoge Signalübertragung	303
8.7.3	Störschutzmaßnahmen	305
9	Netzgeführte Stromrichter	307
9.1	Prinzipielle Funktion netzgeführter Stellglieder	307
9.2	Vereinfachte Approximation	311
9.3	Untersuchung des dynamischen Verhaltens netzgeführter Stromrichterstellglieder	316
9.3.1	Analyse des Stromrichterstellglieds bei einer Zündwinkelverstellung in Richtung abnehmendem Steuerwinkel	317

9.3.2	Analyse des Stromrichterstellglieds bei einer Zündwinkelverstellung in Richtung zunehmendem Steuerwinkel	322
9.4	Diskussion der Ergebnisse	325
9.5	Laufzeitnäherung für das Großsignalverhalten, Symmetrierung .	330
9.6	Großsignal-Approximationen für netzgeführte Stromrichterstellglieder	335
9.7	Zusammenfassung	340
10	Untersuchung von Regelkreisen mit Stromrichtern mit der Abtasttheorie	342
10.1	Untersuchung des Steuergerätes ohne dynamische Symmetrierung	344
10.2	Untersuchung des Stromrichters	346
10.3	Stromrichterstellglied bei lückendem Strom	351
10.4	Adaptive Stromregelung	356
10.4.1	Allgemeine Betrachtung	356
10.4.2	Praktische Realisierung	360
10.4.3	Prädiktive Stromführung	370
10.5	Zusammenfassung	372
11	Beschreibungsfunktion des Stromrichters mit natürlicher Kommutierung	373
11.1	Allgemeine Einführung	373
11.2	Diskussion der Ergebnisse	376
11.3	Untersuchung von Regelkreisen mit der Beschreibungsfunktion .	383
11.4	Grenzen des Verfahrens	388
12	Vergleich verschiedener Approximationen für netzgeführte Stromrichter	389
12.1	Ermittlung von $G_l(z, m)$, Sprungfähigkeit	390
12.2	Berechnung der ersten Ableitung der Steuersatzeingangsspannung	393
12.3	Überprüfung der Stromrichterstellglied-Approximationen	397
12.4	Synthese von Regelkreisen mit Stromrichter-Stellgliedern	404
13	Asynchronmaschine	409
13.1	Grundlagen	409
13.1.1	Funktionsprinzip der Drehfeld-Asynchronmaschine	410
13.1.2	Raumzeigerdarstellung	411
13.1.2.1	Definition eines Raumzeigers	411
13.1.2.2	Rücktransformation auf Momentanwerte	415
13.1.2.3	Koordinatensysteme	415
13.1.2.4	Differentiation im umlaufenden Koordinatensystem	418
13.1.2.5	Bestimmung der Raumzeiger aus Motordaten	419

13.2	Signalflußpläne der Asynchronmaschine	420
13.2.1	Beschreibendes Gleichungssystem	420
13.2.2	Verallgemeinerter Signalflußplan der spannungsgesteuerten Asyn- chronmaschine	434
13.2.3	Signalflußplan der stromgesteuerten Asynchronmaschine	437
13.2.4	Stationärer Betrieb der Asynchronmaschine	439
13.2.5	Umrechnung für Stern- und Dreieckschaltung	441
13.3	Steuerverfahren der Asynchronmaschine	444
13.3.1	Signalflußplan bei Statorflußorientierung	445
13.3.2	Signalflußplan bei Rotorflußorientierung	447
13.3.3	Signalflußplan bei Luftspaltflußorientierung	453
13.4	Regelungsverfahren der Asynchronmaschine	459
13.4.1	Entkopplungsregelung der Asynchronmaschine	459
13.4.2	Entkopplung bei Umrichtern mit eingepprägter Spannung	461
13.4.3	Entkopplung bei Umrichtern mit eingepprägtem Strom	470
13.4.4	Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine	477
13.5	Modellbildung der Asynchronmaschine	485
13.5.1	I_1 -Modell (Strommodell)	485
13.5.2	$I_1\beta_L$ -Modelle und $I_1\Omega_L$ -Modelle	491
13.5.3	U_1I_1 -Modell	496
13.5.4	$U_1I_1\Omega_L$ -Modell	499
13.5.5	$U_1\Omega_L$ -Modell	504
13.5.6	Zusammenfassung der Modelle	507
13.6	Modellnachführung	509
13.6.1	Ansätze zur Parameternachführung	509
13.6.2	Parameteradaption	511
13.7	Asynchronmaschine in normierter Darstellung	517
13.8	Feldschwächbetrieb der Asynchronmaschine	522
13.9	Einschränkungen bei der Realisierung der Regelung von Dreh- feldantrieben	524
13.9.1	Abtastender Regler	524
13.9.2	Sättigungseffekte	526
13.9.3	Realisierbare Entkopplungsstruktur	527
13.9.4	Zusammenfassung	529
14	Regelung von Drehfeldmaschinen ohne Drehzahlsensor	530
14.1	Einführung	530
14.1.1	Prinzipielle Grundgleichungen	536
14.2	Grundlegendes nichtadaptives Verfahren	539
14.3	Nichtadaptive Verfahren: Statorspannungsgleichungen	543
14.4	Nichtadaptive Verfahren: Flußgleichungen	547
14.5	Nichtadaptive Verfahren: Sollgrößenansatz	549
14.6	Direkte Schätzung der Rotordrehzahl	551
14.7	Adaptive Verfahren	556

14.7.1	MRAS–Verfahren	561
14.7.2	Problematik bei tiefen Frequenzen	563
14.7.3	MRAS–Verfahren: EMK–Berechnung	567
14.7.4	MRAS–Verfahren: Flußberechnung	567
14.7.5	MRAS–Verfahren, basierend auf Blindleistungsberechnung	569
14.7.6	Verfahren mittels Zustandsschätzung	571
14.7.6.1	Verfahren auf Basis eines Luenberger–Beobachters	571
14.7.6.2	Verfahren auf Basis eines Kalman–Filters	581
14.8	Schätzverfahren mit neuronalen Netzen	584
14.9	Auswertung von Harmonischen	587
14.10	Auswertung von hochfrequenten Zusatzsignalen	589
14.11	Bewertende Zusammenfassung	600
15	Stromregelverfahren für Drehfeldmaschinen	603
15.1	Regelstrecke und Stellglied der Statorstromregelung	603
15.2	Indirekte Verfahren der Statorstromregelung	608
15.3	Modulationsverfahren	610
15.3.1	Grundfrequenztaktung	610
15.3.2	Nicht synchronisierte Pulsweitenmodulation	612
15.3.3	Synchronisierte Pulsverfahren	615
15.3.4	Wahl der Pulszahlen, erzielbare Ausgangsfrequenzen	626
15.4	Optimierte Pulsverfahren	628
15.4.1	Spannungsraumzeigermodulation	628
15.4.2	On–line optimierte Pulsmustererzeugung	631
15.4.3	Raumzeiger–Hystereseverfahren	637
15.4.4	Prädiktive Stromregelung mit Schalttabelle	647
15.4.5	Dead–Beat–Pulsmustererzeugung	654
15.5	Direkte Regelungen	661
	Prof. Dr. A. Steimel	
15.5.1	Direkte Selbstregelung	661
15.5.2	Indirekte Statorgrößen–Regelung	673
15.5.3	Direct Torque Control	677
16	Synchronmaschine	680
16.1	Synchron–Schenkelpolmaschine ohne Dämpferwicklung	681
16.1.1	Beschreibendes Gleichungssystem	681
16.1.2	Synchron–Schenkelpolmaschine in normierter Darstellung	686
16.1.3	Signalflußplan bei Spannungseinprägung	689
16.1.4	Signalflußplan bei Stromeinprägung	694
16.1.5	Ersatzschaltbild der Synchron–Schenkelpolmaschine	696
16.2	Synchron–Schenkelpolmaschine mit Dämpferwicklung	698
16.2.1	Beschreibendes Gleichungssystem und Signalflußplan	698
16.2.2	Ersatzschaltbild der Schenkelpolmaschine mit Dämpferwicklung	701

16.3	Synchron-Vollpolmaschine	704
16.3.1	Beschreibendes Gleichungssystem und Signalflußpläne	704
16.3.2	Ersatzschaltbild der Synchron-Vollpolmaschine	709
16.3.3	Feldorientierte Darstellung der Synchron-Vollpolmaschine mit Dämpferwicklung	713
16.3.4	Steuerbedingungen der Vollpolmaschine ohne Dämpferwicklung	721
16.4	Regelung der Synchronmaschine durch Entkopplung	723
16.5	Regelung der Synchronmaschine durch Feldorientierung	733
	Dr. F. Bauer	
16.5.1	Modelle zur Flußermittlung	734
16.5.2	Spannungsmodell ($U_1 I_1$ -Modell)	734
16.5.2.1	Spannungsmodell als Wechselgrößenmodell	735
16.5.2.2	Polares Spannungsmodell	736
16.5.2.3	Spannungsmodell als Gleichgrößenmodell	738
16.5.2.4	Strommodell der Schenkelpolmaschine	740
16.5.3	Regelung der Synchronmaschine	742
16.5.3.1	Berechnung des Erregerstroms mit dem Strommodell	743
16.5.4	Ablösung verschiedener Modelle	750
16.5.5	Flußregelung	756
16.5.6	Flußführung im Feldschwächbereich	756
16.5.7	Steuerung des $\cos \varphi$ der fremderregten Synchronmaschine	758
16.6	Permanentmagneterregte Synchronmaschine (PM-Maschine)	762
16.6.1	Signalflußplan der PM-Maschine	762
16.6.2	Regelung der PM-Maschine ohne Reluktanzeinflüsse	768
16.6.3	Rechteckförmige Stromeinprägung ohne Reluktanzeinflüsse	771
16.6.4	Vergleich der sinus- und rechteckförmig gespeisten PM-Maschine	775
16.6.5	Feldschwächbereich der PM-Maschine	780
16.6.6	PM-Maschine mit Reluktanzeinflüssen	787
16.7	Steuerverfahren für Ankerstell- und Feldschwächbetrieb	789
17	Geschaltete Reluktanzmaschine	793
17.1	Überlappende Bestromung von Statorwicklungen	797
17.2	Leistungselektronische Stellglieder	798
17.3	Drehmoment-Welligkeit	800
17.4	Geberloser Betrieb	801
18	Drehzahlregelung bei elastischer Verbindung zur Arbeits- maschine	802
18.1	Regelung der Arbeitsmaschinendrehzahl	804
18.1.1	Streckenübertragungsfunktion $G_{S1}(s)$	804
18.1.2	Analyse der Übertragungsfunktion $G_{S1}(s)$	806
18.1.3	Einfluß der elastischen Kopplung auf den Drehzahlregelkreis	807
18.2	Regelung der Antriebsmaschinendrehzahl	810

18.2.1	Streckenübertragungsfunktion $G_{S_2}(s)$	810
18.2.2	Analyse der Übertragungsfunktion $G_{S_2}(s)$	810
18.2.3	Einfluß der elastischen Kopplung auf den Drehzahlregelkreis . .	812
18.2.4	Simulative Untersuchung der Arbeitsmaschinendrehzahl	815
18.2.5	Bewertung der konventionellen Kaskadenregelung	819
18.3	Zustandsregelung des Zweimassensystems	820
18.3.1	Zustandsdarstellung	820
18.3.2	Zustandsregelung ohne I-Anteil	822
18.3.3	Auslegung einer Zustandsregelung nach dem Dämpfungsoptimum	825
18.3.4	Zustandsregelung mit I-Anteil	828
18.4	Verallgemeinerung: Mehrmassensysteme	832
19	Schwingungsdämpfung	839
19.1	Allgemeine Problemstellung	839
19.2	Local Absorption of Vibrations	846
	Dr. D. Filipović	
19.2.1	Introduction	846
19.2.2	Resonant Absorbers: Linear Active Resonator (LAR)	847
19.2.2.1	Design of the LAR	848
19.2.2.2	Single-mass Multi-frequency Resonator	854
19.2.2.3	Comments	858
19.2.3	Absorbers with Local Feedback in Multi-mass Systems	860
19.2.3.1	Analysis of the Primary System	862
19.2.3.2	Combined System with the Absorber	865
19.2.3.3	Related Problems	871
19.2.3.4	Verification of Results	872
19.2.3.5	Comments	878
19.2.4	Bandpass Absorber (BPA)	880
19.2.4.1	Concept of the BPA	880
19.2.4.2	A Case Study: Paper Mill Vibrations	885
19.2.4.3	Simulation Results of the Paper Mill Model	888
19.2.4.4	Comments	889
19.2.5	Conclusion	892
20	Objektorientierte Modellierung von Antriebssystemen	894
	Dr. M. Otter	
20.1	Modulare Signalfußpläne	895
20.2	Objektdiagramme	902
20.3	Vollständiges Beispiel	906
20.4	Modelica — Kontinuierliche Systeme	911
20.5	Komponenten-Schnittstellen	922
20.6	Transformationsalgorithmen	929
20.7	Lineare Deskriptorsysteme	939
20.7.1	Manuelle Transformation in die Zustandsform	941

20.7.2	Direkte Behandlung als Deskriptorsystem	942
20.7.3	Numerische Transformation in die Zustandsform	949
20.7.4	Sonderfälle bei der Transformation in die Zustandsform	956
20.8	Singuläre Deskriptorsysteme	958
20.8.1	Index einer DAE	961
20.8.2	Einführendes Beispiel	962
20.8.3	Strukturell inkonsistente Deskriptorsysteme	965
20.8.4	Pantelides–Algorithmus	967
20.8.5	Dummy–Derivative–Methode	970
20.9	Modelica — Hybride Systeme	973
20.10	Strukturvariable Systeme	987
20.10.1	Ideale elektrische Schaltelemente	987
20.10.2	Coulomb–Reibung	994
20.10.3	Reibungsbehaftete Komponenten	1004
21	Regelung kontinuierlicher Fertigungsanlagen	1010
	Dr. W. Wolfermann	
21.1	Einführung	1010
21.2	Modellierung des Systems	1011
21.2.1	Technologisches System	1011
21.2.1.1	Stoffbahn	1012
21.2.1.2	Linearisierung	1017
21.2.1.3	Verhalten der Mechanik	1019
21.2.2	Elektrische Antriebe	1020
21.2.3	Linearer Signalflußplan des Gesamtsystems	1020
21.3	Systemanalyse	1021
21.3.1	Regelbarkeit der Bahnkräfte	1022
21.3.2	Stillstand der Maschine	1023
21.3.3	Dynamik des ungeredelten Teilsystems	1023
21.4	Drehzahlregelung mit PI–Reglern in Kaskadenstruktur	1026
21.4.1	Nicht schwingfähiges ungeredeltes System	1027
21.4.2	Schwingfähiges ungeredeltes System	1028
21.4.2.1	Regelung ohne Entkopplung	1028
21.4.2.2	Regelung mit Entkopplung	1029
21.5	Bahnkraftregelung mit PI–Reglern	1031
21.6	Registerfehler bei Rotationsdruckmaschinen	1034
21.6.1	Einführung	1034
21.6.2	Ableitung des Registerfehlers	1035
21.6.3	Linearisierung des Registerfehlers	1037
21.6.4	Zusammenhang der Registerfehler aufeinanderfolgender Druckwerke	1038
21.6.5	Linearisierter Signalflußplan	1038
21.6.6	Dynamisches Verhalten des Registerfehlers	1038
21.6.6.1	Druckmaschine mit Drehzahlregelung	1039

21.6.6.2	Druckmaschine mit Winkelregelung	1042
21.6.6.3	Druckmaschine mit Registerfehlerregelung	1042
21.7	Zustandsregelung des Gesamtsystems	1043
21.8	Dezentrale Regelung	1045
21.8.1	Regelung des isolierten Teilsystems	1045
21.8.2	Dezentrale Entkopplung	1049
21.8.2.1	Grundlagen des Verfahrens	1049
21.8.2.2	Mathematische Beschreibung	1050
21.8.2.3	Modaltransformation des Teilsystems	1051
21.8.2.4	Berechnung der Rückführkoeffizienten	1051
21.8.2.5	Algorithmus	1052
21.8.2.6	Beispiel	1053
21.9	Beobachter	1055
21.9.1	Zentrale Beobachter	1055
21.9.2	Dezentrale Beobachter	1055
21.9.2.1	Allgemeines	1055
21.9.2.2	Approximation durch Störmodelle	1058
21.9.2.3	Beispiel: Dezentraler Beobachter für zwei Teilsysteme	1060
21.9.2.4	Parameteränderungen	1061
21.9.2.5	Informationsaustausch zwischen den Teilbeobachtern	1064
21.9.2.6	Zustandsregelung mit dezentralen Beobachtern	1065
21.9.2.7	Beinflussung von dezentralen Reglern und Beobachtern	1067
21.10	Zusammenfassung	1067

Variablenübersicht

1069

Literaturverzeichnis

1086

Grundlagen	1086
Stellbegrenzungen in Regelkreisen	1089
z -Transformation	1089
Antriebstechnik und benachbarte Gebiete	1090
Leistungshalbleiter	1092
Leistungselektronik: Ansteuerung, Beschaltung, Kühlung	1095
Leistungselektronik: Simulation, CAE	1096
Gleichstromsteller, DC–DC–Wandler	1099
Netzgeführte Stromrichter: Schaltungstechnik, Auslegung	1100
Netzgeführte Stromrichter: Regelung	1101
Direktumrichter	1105
Untersynchrone Kaskade (USK)	1107
Stromrichtermotor	1108
Stromzwischenkreis–Umrichter (I–Umrichter)	1110
Spannungszwischenkreis–Umrichter (U–Umrichter)	1112
Regelung von Asynchron– und Synchronmaschine	1114

Direkte Selbstregelung von Drehfeldmaschinen	1121
Geberlose Asynchronmaschinen–Regelung	1122
Reluktanzmaschine	1135
Geschaltete Reluktanzmaschine: Auslegung und Regelung	1138
Geschaltete Reluktanzmaschine: Optimierter Betrieb	1141
Geschaltete Reluktanzmaschine: Geberloser Betrieb	1142
Geschaltete Reluktanzmaschine: Synchron–Reluktanzmotor	1145
Systemintegration elektrischer Antriebe	1148
Schwingungsdämpfung	1149
Objektorientierte Modellierung, Deskriptorsysteme	1151
Kontinuierliche Fertigungsanlagen	1156
Stichwortverzeichnis	1159