

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichenverzeichnis	11
0. Einführung	17
0.1. Charakterisierung zeitdiskreter Systeme	17
0.2. Beispiele für Diskontinuitäten in kybernetischen Systemen	18
0.3. Problemstellung	20
1. Mathematische Beschreibung zeitdiskreter Signale	21
1.1. Beschreibung zeitdiskreter Signale im Zeitbereich	21
1.2. Beschreibung zeitdiskreter Signale durch diskrete Laplace-Transformation	23
1.3. Beschreibung zeitdiskreter Signale durch z-Transformation	24
1.3.1. Definition und Eigenschaften	25
1.3.2. Grundregeln der z-Transformation	26
1.3.3. Beispiele für die z-Transformation von Originalfolgen und die Anwendung der Grundregeln	30
1.3.4. Umkehrung der z-Transformation	35
1.3.4.1. Rücktransformation unter Verwendung von Korrespondenztabelle	35
1.3.4.2. Rücktransformation mittels Residuenrechnung	37
1.3.4.3. Rücktransformation durch Reihenentwicklung	37
1.4. Übungsaufgaben zum Abschnitt 1.	39
2. Mathematische Beschreibung von Signalübertragung und Zustandsverhalten in linearisierten zeitdiskreten Systemen	41
2.1. Beschreibung der Signalübertragung mit diskreter Gewichtsfunktion (Gewichtsfolge)	41
2.2. Beschreibung der Signalübertragung mit Differenzgleichungen	44
2.3. Beschreibung der Signalübertragung mit diskreten Übertragungsfunktionen	51
2.3.1. Diskrete Übertragungsfunktionen von linearen zeitdiskreten Grundgliedern	53
2.3.1.1. \mathfrak{z} -Transformation gebrochen-rationaler Übertragungsfunktionen	53
2.3.1.2. \mathfrak{z} -Transformation von Übertragungsfunktionen mit „Formierungscharakter“	57
2.3.2. Diskrete Übertragungsfunktionen von Verknüpfungen linearer zeitdiskreter Grundglieder	59
2.3.3. Diskrete Übertragungsmatrix von Mehrgrößensystemen	62
2.4. Beschreibung des Systemverhaltens durch Zustandsgrößen	62
2.4.1. Systemgleichungen für zeitdiskrete Ein- und Mehrgrößensysteme	63
2.4.2. Bewegungsgleichungen für zeitdiskrete Ein- und Mehrgrößensysteme	68
2.4.3. System- und Bewegungsgleichungen für kontinuierliche Ein- und Mehrgrößensysteme mit gestuften Eingangssignalen	71
2.4.4. Beziehungen zwischen zeitdiskreten Zustands- und Übertragungsmodellen	75
2.4.5. Systemgleichungen für Verknüpfungen zeitdiskreter Eingrößensysteme	78

2.5. Beschreibung des Systemverhaltens zwischen den Abtastzeitpunkten	84
2.6. Beschreibung zeitdiskreter Totzeitsysteme	89
2.7. Übungsaufgaben zum Abschnitt 2.	93
3. Analyse zeitdiskreter Steuerungssysteme	96
3.1. Steuer- und Beobachtbarkeit	96
3.1.1. Steuerbarkeit	97
3.1.2. Beobachtbarkeit	98
3.2. Stabilitätsanalyse	99
3.2.1. Zustandsstabilität	99
3.2.2. Ausgangsstabilität	102
3.2.3. Algebraische Stabilitätskriterien	104
3.2.3.1. Stabilitätsprüfung anhand des charakteristischen Polynoms in der z -Ebene... ..	104
3.2.3.2. Stabilitätsprüfung anhand des charakteristischen Polynoms in der w -Ebene.. ..	109
3.2.3.3. Stabilitätsbedingungen für einfache zeitdiskrete Systeme	112
3.2.4. Grafische Stabilitätskriterien	113
3.2.4.1. Pol-Nullstellen-Bild (Wurzelort)	114
3.2.4.2. Frequenzgang in Ortskurven- und Frequenzkennliniendarstellung	117
3.3. Analyse des Übertragungs- und Zustandsverhaltens zeitdiskreter Systeme	120
3.3.1. Abschätzung des Übergangsvorgangs aus der Lage der Eigenwerte in der z -Ebene	121
3.3.2. Abschätzung des Systemverhaltens aus der Lage des dominierenden Polpaars in der z -Ebene	125
3.3.3. Abschätzung des Systemverhaltens aus dem Pol-Nullstellen-Bild in der z -Ebene	130
3.3.4. Abschätzung des Systemverhaltens aus dem diskreten Frequenzgang	130
3.4. Übungsaufgaben zum Abschnitt 3.	134
4. Synthese zeitdiskreter Steuerungssysteme	136
4.1. Zeitdiskrete Steuerungssysteme ohne Rückführung	136
4.1.1. Zeitdiskrete strukturoptimierte Steuerungen in offener Wirkungskette	138
4.1.1.1. Kompensationsvorwärtssteuerung	138
4.1.1.2. Minimal-Varianz-Vorwärtssteuerung	141
4.1.2. Zeitdiskrete parameteroptimierte Steuerungen in offener Wirkungskette	143
4.1.3. Einschätzungen zum Entwurf zeitdiskreter Vorwärtssteuerungen	145
4.2. Zeitdiskrete Steuerungssysteme mit Ausgangsrückführung	145
4.2.1. Überblick	145
4.2.2. Zeitdiskrete parameteroptimierte Regler für Eingrößensysteme	146
4.2.2.1. Mathematische Beschreibung des Eingrößensystems	146
4.2.2.2. Festlegung von Reglerparametern durch Anforderungen an das stationäre Verhalten	148
4.2.2.3. Bestimmung der Reglerparameter unter Verwendung von Regelgütekriterien	149
4.2.2.4. Bestimmung der Reglerparameter in quasikontinuierlichen Regleralgorithmen	157
4.2.2.5. Bestimmung der Reglerparameter durch Einstellregeln	164
4.2.2.6. Bestimmung der Reglerparameter durch Polvorgabe für den geschlossenen Regelkreis	167
4.2.2.7. Einschätzungen zum Entwurf zeitdiskreter parameteroptimierter Regler	169
4.2.3. Zeitdiskrete Kompensationsregler für Eingrößensysteme	170
4.2.3.1. Entwurfsprinzip	170
4.2.3.2. Reglerentwurf	171

4.2.3.3. Einschätzung des Entwurfsverfahrens	174
4.2.4. Dead-beat-Regler für Eingrößensysteme	175
4.2.4.1. Entwurfsprinzip	175
4.2.4.2. Reglerentwurf für Führung	175
4.2.4.3. Reglerentwurf für Störung	179
4.2.4.4. Einschätzung des Entwurfsverfahrens	182
4.2.5. Zeitdiskrete Minimal-Varianz-Regler für Eingrößensysteme	183
4.2.5.1. Entwurfsprinzip	183
4.2.5.2. Reglerentwurf	184
4.2.5.3. Einschätzung des Entwurfsverfahrens	185
4.2.6. Zeitdiskrete Regler für Eingrößensysteme mit Totzeit	188
4.2.7. Zeitdiskrete Regler für kombiniertes Führungs- und Störverhalten von Eingrößensystemen	191
4.2.8. Zeitdiskrete Regler und Steuereinrichtungen in mehrschleifigen Eingrößensystemen	192
4.2.9. Zeitdiskrete Regler in Mehrgrößensystemen	197
4.2.9.1. Mathematische Beschreibung des Mehrgrößensystems	197
4.2.9.2. Reglerentwurf	200
4.3. Zeitdiskrete Steuerungssysteme mit Zustandsrückführung	202
4.3.1. Zustandsregler für vollständig meßbaren Zustandsvektor	203
4.3.1.1. Mathematische Beschreibung von Zustandsregelungen	203
4.3.1.2. Zustandsregler mit Eigenwertvorgabe	204
4.3.1.3. Zustandsregler für endliche Einstellzeit	207
4.3.1.4. Optimale Zustandsregelung	209
4.3.2. Zustandsregler für unvollständig meßbaren Zustandsvektor und zeitdiskreter Zustandsbeobachter	210
4.4. Übungsaufgaben zum Abschnitt 4.	213
5. Realisierungsbedingte Probleme beim Entwurf zeitdiskreter Steuerungen, vornehmlich digitaler Regelungen	216
5.1. Digitale Steuerung und Regelung als Aufgabenkomplex moderner Automatisierungstechnik	216
5.2. Prozeßgrößenerfassung und Prozeßdatenprimärverarbeitung	218
5.2.1. Prozeßdatenprimärverarbeitung	219
5.2.2. Digitale Filterung	220
5.3. Realisierung/Implementierung zeitdiskreter Steueralgorithmen	226
5.4. Steuerwertverarbeitung und -ausgabe	229
5.5. Amplitudenquantisierungseffekte in digitalen Steuerungssystemen	231
5.5.1. Charakterisierung von Quantisierungsvorgängen	231
5.5.2. Auswirkungen der Amplitudenquantisierung auf das Systemverhalten	234
5.6. Einfluß des Abtastregimes auf das Verhalten zeitdiskreter Steuerungssysteme	238
5.6.1. Zeitdiskrete Steuerungssysteme mit endlicher Abtastzeit	239
5.6.2. Zeitdiskrete Steuerungssysteme mit ungleichmäßig periodischem Tastvorgang	242
5.6.3. Zeitdiskrete Steuerungssysteme mit Tastvorgängen unterschiedlicher Frequenz	244
5.6.4. Zeitdiskrete Steuerungssysteme mit nichtsynchrone Abtastung	245
6. Rechnergestützter Entwurf zeitdiskreter Steuer- und Regelalgorithmen	253
6.1. Untersuchung des Einflusses der Steuergrößenwichtung auf die Parameteroptimierung zeitdiskreter Regler	256

6.2. Untersuchung des Einflusses der Amplitudenquantisierung durch A/D- und D/A-Wandler	258
6.3. Untersuchung des Einflusses von Steuerwertbeschränkungen auf Dead-beat-Verhalten	259
6.4. Untersuchung des Einflusses von Reglertotzeit	261
6.5. Untersuchungen zum Einfluß stochastischer Störsignale auf das Regelverhalten	262
Lösungen der Übungsaufgaben	264
Literaturverzeichnis	295
Sachwörterverzeichnis	298