

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort .....</b>	<b>V</b>
<b>Hinweise zum Gebrauch des Buches .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einführungsbeispiele und grundlegende Begriffe .....</b>	<b>1</b>
1.1 Fallbeispiele aus der Praxis .....	1
1.2 Der Signalbegriff .....	16
1.3 Der Systembegriff .....	23
1.3.1 Lineare Systeme .....	25
1.3.2 Nichtlineare Systeme .....	27
1.4 Übungsaufgaben .....	31
<b>2 Analoge Signale und Systeme .....</b>	<b>33</b>
2.1 Einführungsbeispiele .....	33
2.2 Grundlegende Systemeigenschaften .....	37
2.2.1 Übungsaufgaben .....	43
2.3 Signale und LTI-Systeme im Zeitbereich .....	45
2.3.1 Darstellung mit Differentialgleichungen .....	45
2.3.2 Zustandsraumdarstellung .....	49
2.3.3 Darstellung mit Signalflussdiagrammen .....	60
2.3.4 Darstellung mittels Impuls- und Sprungantwort .....	62
2.3.5 Übungsaufgaben .....	88
2.4 Signale und LTI-Systeme im Bildbereich .....	96
2.4.1 Laplace-Transformation und Bildbereich .....	98
2.4.2 Beschreibung von LTI-Systemen im Bildbereich .....	107
2.4.3 Transformation von Differentialgleichungen .....	122
2.4.4 BIBO-Stabilität .....	125
2.4.5 Zustandsraumdarstellung im Bildbereich .....	127
2.4.6 Signalflussdiagramme und Simulink-Simulationen ..	134
2.4.7 Übungsaufgaben .....	135
2.5 Signale und LTI-Systeme im Frequenzbereich .....	140
2.5.1 Die zeitkontinuierliche Fouriertransformation .....	143
2.5.2 Zeitfensterung und Bandbegrenzung .....	162
2.5.3 LTI-Systeme im Frequenzbereich .....	168
2.5.4 Fourierreihenentwicklung periodischer Signale .....	171
2.5.5 Der Zusammenhang zwischen zeitkontinuierlichen Fouriertransformation und Fourierreihenentwicklung ..	176

2.5.6	Übungsaufgaben .....	179
2.6	Übertragungseigenschaften analoger LTI-Systeme und Filterentwurf .....	186
2.6.1	Filterklassen .....	187
2.6.2	Filterkennwerte .....	190
2.6.3	Entwurf realisierbarer Tiefpässe .....	193
2.6.4	Entwurf von Butterworth-Tiefpassfiltern .....	196
2.6.5	Filterentwurf mit MATLAB .....	204
2.6.6	Übungsaufgaben .....	209
3	<b>Abtastung und Digitalisierung .....</b>	213
3.1	Der Abtastvorgang .....	213
3.1.1	Anordnung zur Digitalen Signalverarbeitung .....	214
3.1.2	Systemtheoretische Beschreibung des Abtastvorgangs .....	215
3.1.3	Das Spektrum eines abgetasteten Signals .....	216
3.1.4	Rekonstruktion im Zeitbereich .....	223
3.2	Das Abtasttheorem .....	226
3.2.1	Übungsaufgaben .....	232
4	<b>Digitale Signale und Systeme .....</b>	237
4.1	Einführungsbeispiele .....	237
4.1.1	Übungsaufgaben .....	245
4.2	Grundlegende Systemeigenschaften .....	245
4.2.1	Übungsaufgaben .....	250
4.3	Signale und LTI-Systeme im Zeitbereich .....	251
4.3.1	Darstellung mit Differenzengleichungen .....	251
4.3.2	Zustandsraumdarstellung .....	252
4.3.3	Darstellung mit Signalflussdiagrammen .....	255
4.3.4	Darstellung mittels Impuls- und Sprungantwort .....	256
4.3.5	Übungsaufgaben .....	267
4.4	Signale und LTI-Systeme im Bildbereich .....	269
4.4.1	Z-Transformation und Bildbereich .....	270
4.4.2	Beschreibung von digitalen LTI-Systemen im Bildbereich .....	280
4.4.3	Transformation von Differenzengleichungen .....	291
4.4.4	BIBO-Stabilität .....	293
4.4.5	Zustandsraumdarstellung im Bildbereich .....	297
4.4.6	Signalflussdiagramme und Simulink-Simulationen ..	302
4.4.7	Übungsaufgaben .....	302
4.5	Digitale Signale und LTI-Systeme im Frequenzbereich .....	308

4.5.1	Die zeitdiskrete Fouriertransformation (DTFT) . . . . .	311
4.5.2	Der Zusammenhang zwischen DTFT und FT . . . . .	318
4.5.3	Die diskrete Fouriertransformation (DFT) . . . . .	320
4.5.4	Die schnelle Fouriertransformation (FFT) . . . . .	337
4.5.5	Fourierspektren und DFT-Spektren . . . . .	341
4.5.6	Spezielle DFT/FFT-Techniken . . . . .	358
4.5.7	Digitale LTI-Systeme im Frequenzbereich . . . . .	364
4.5.8	Übungsaufgaben . . . . .	369
4.6	Übertragungseigenschaften digitaler LTI-Systeme und Filterentwurf . . . . .	374
4.6.1	Filterklassen und Filterkennwerte . . . . .	374
4.6.2	Entwurf von digitalen Tiefpassen . . . . .	375
4.6.3	Filterentwurf mit MATLAB . . . . .	389
4.6.4	Übungsaufgaben . . . . .	393
5	LTI-Systeme und Stochastische Signale . . . . .	399
5.1	Stochastische Signale . . . . .	400
5.1.1	Der Begriff des stochastischen Prozesses . . . . .	400
5.1.2	Stationäre stochastische Prozesse . . . . .	404
5.1.3	Ergodische stochastische Prozesse . . . . .	409
5.1.4	Berechnung von Prozesskennwerten mit MATLAB . . . . .	412
5.1.5	Übungsaufgaben . . . . .	423
5.2	Das Leistungsdichtespektrum . . . . .	427
5.2.1	Korrelation und Leistungsdichte . . . . .	427
5.2.2	Beispiele für Leistungsdichtespektren . . . . .	432
5.2.3	Überlagerung stochastischer und deterministischer Signale . . . . .	447
5.2.4	Übungsaufgaben . . . . .	451
5.3	LTI-Systeme bei stochastischer Erregung . . . . .	453
5.3.1	Das Wiener-Lee-Theorem . . . . .	453
5.3.2	Systemidentifikation . . . . .	457
5.3.3	Formfilter . . . . .	460
5.3.4	Übungsaufgaben . . . . .	465
5.4	Berechnung des Leistungsdichtespektrums . . . . .	466
5.4.1	Das Wiener-Khintchine-Theorem . . . . .	466
5.4.2	DFT/FFT-gestützte Schätzung des Leistungsdichtespektrums . . . . .	467
5.4.3	Schätzung des Leistungsdichtespektrums mit MATLAB . . . . .	472
5.4.4	Übungsaufgaben . . . . .	475

5.5 Experimente, Beispiele, exemplarische praktische Anwendungen .....	477
5.5.1 Spektralanalyse eines Wasserstrahl-Geräusches .....	478
5.5.2 Bestimmung eines Signal-Rausch-Abstandes .....	482
5.5.3 Quantisierungsrauschen eines ADU .....	490
5.5.4 Experimentelle Bestimmung der effektiven Auflösung eines ADU .....	493
5.5.5 Laufzeitmessung mittels Korrelation .....	498
5.5.6 Berührungsreie Messung der Rotationsgeschwindigkeit einer rotierenden Scheibe mittels Korrelation optischer Sensorsignale ...	501
5.5.7 Entfernungsmessung mittels Korrelation akustischer Laufzeitsignale .....	509
5.5.8 Untersuchung eines Ventilators mittels Spektralanalyse des Rotorgeräusches .....	513
5.5.9 Systemidentifikation eines realen RC-Tiefpasses .....	519
5.5.10 Akustische Füllstandsmessung mit dem Helmholtz-Resonator auf Basis einer Spektralanalyse .....	524
5.5.11 Fahrbahnunebenheits-Simulation mittels Formfilterung ..	531
5.5.12 Übungsaufgaben .....	539
<b>A Mathematische Grundlagen .....</b>	<b>543</b>
A.1 Lineare Differentialgleichungen 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten .....	543
A.2 <i>Systeme</i> linearer Differentialgleichungen 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten .....	543
A.3 Jordan'sche Normalform .....	545
A.4 Berechnung der Transitionsmatrix .....	546
A.5 Distributionen .....	548
A.6 Lineare Differenzengleichungen 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten .....	553
A.7 Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung .....	553
A.8 Energiedichtespektrum .....	560
<b>B Symbole und Formelzeichen .....</b>	<b>563</b>
<b>C Tabellen .....</b>	<b>565</b>
C.1 Tabelle der Laplace-und Z-Transformationen .....	565
C.2 Filterentwurfs(kurz)tabellen analoger und digitaler Filter ....	567
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>569</b>

<b>Begleitsoftwareverzeichnis des Lehrbuchs .....</b>	572
<b>Begleitsoftwareverzeichnis des Lösungsbandes.....</b>	574
<b>Verzeichnis der verwendeten MATLAB-Funktionen .....</b>	576
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	577