

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Signale und Systeme	1
1.1 Einführung	1
1.2 Signale und ihre Klassifizierung	1
1.2.1 Zeitkontinuierliche und zeitdiskrete Signale	1
1.2.2 Analoge und digitale Signale	3
1.2.3 Reellwertige und komplexwertige Signale	4
1.2.4 Deterministische Signale und Zufallssignale	5
1.2.5 Gerade und ungerade Signale	7
1.2.6 Periodische und aperiodische Signale	9
1.2.7 Energie- und Leistungssignale	12
1.3 Grundlegende zeitkontinuierliche Signale	14
1.3.1 Der Einheitsprung	14
1.3.2 Die Einheitsimpulsfunktion	15
1.3.3 Komplexwertige harmonische Schwingung	21
1.3.4 Reellwertige harmonische Schwingung	22
1.4 Grundlegende zeitdiskrete Signale	24
1.4.1 Einheitsprungsequenz	24
1.4.2 Einheitsimpulssequenz	24
1.4.3 Komplexe Exponentialsequenz	26
1.4.4 Gleichmäßige Abtastung als Ursache der Mehrdeutigkeit	30
1.4.5 Beispiel: Ton-Aliasing	32
1.5 Systeme und deren Klassifizierung	36
2 Lineare zeitinvariante Systeme	39
2.1 Einführung	39
2.2 Berechnung der Antwort der LTI-Systeme mit dem Faltungsintegral	39
2.2.1 Praktische Erläuterung des Faltungsintegrals	41
2.2.2 Eigenschaften des Faltungsintegrals	47
2.2.3 Sprungantwort der LTI-Systeme	47
2.2.4 Kausale LTI-Systeme	49
2.3 Zeitkontinuierliche Systeme beschrieben durch Differentialgleichungen	50
2.3.1 Homogene und partikuläre Lösung	52
2.3.2 Linearität und alternative Zerlegung der Lösung	55
2.3.3 Beispiel: Lösung der Differentialgleichung für das Feder-Masse-System	55
2.3.4 Beispiel: Simulation des Feder-Masse-Systems mit dem Euler-Verfahren	60

2.4	Zustandsmodelle für zeitkontinuierliche Systeme	63
2.4.1	Antwort kontinuierlicher LTI-Systeme ausgehend vom Zustandsmodell	67
2.4.2	Beispiel: Zustandsmodell eines Gleichstrommotors	69
2.4.3	Beispiel: Zustandsmodell eines Tiefpassfilters vierter Ordnung	72
2.4.4	Beispiel: Zustandsmodell eines Feder-Masse-Systems mit Zwischenvariable	77
2.5	Die Laplace-Transformation	80
2.5.1	Definition der Laplace-Transformation	80
2.5.2	Laplace-Transformation der ordentlichen Differentialgleichungen .	83
2.5.3	Eigenschaften der Laplace-Transformation	84
2.5.4	Inverse Laplace-Transformation über Partialbruchzerlegung	85
2.5.5	Zusammenfassung von Übertragungsfunktionen	88
2.5.6	Beispiel: Erschütterung eines Hochhauses	91
2.5.7	Beispiel: Modell eines Ofens	99
2.5.8	Beispiel: Simulink-Modell eines Regelungssystems	100
2.5.9	Beispiel: Wärmediffusion entlang eines Stabes	103
2.6	Antwort zeitdiskreter LTI-Systeme über die Faltungssumme	108
2.7	Zeitdiskrete Systeme beschrieben durch Differenzgleichungen	110
2.7.1	Lineare Differenzgleichung mit konstanten Koeffizienten	111
2.7.2	Homogene Lösung der Differenzgleichung	114
2.8	Zustandsmodelle für zeitdiskrete Systeme	118
2.9	Beispiele von Systemen beschrieben durch Differenzgleichungen	119
2.9.1	Untersuchung eines zeitdiskreten IIR-Filters	119
2.9.2	Untersuchung eines FIR-Filters	122
3	Zeitkontinuierliche Signale und Systeme im Frequenzbereich	127
3.1	Einführung	127
3.2	Darstellung der periodischen Signale mit Hilfe der Fourier-Reihe	127
3.3	Amplituden- und Phasenspektrum	130
3.3.1	Leistung eines periodischen Signals	134
3.4	Annäherung der Fourier-Reihe mit Hilfe der DFT	135
3.4.1	Der Leckeffekt (<i>Leakage</i>) beim Einsatz der DFT	143
3.4.2	Beispiel: DFT-Spektrum eines Signals mit mehreren Schwingungen	151
3.4.3	Beispiel: Spektrum eines künstlich erzeugten EKG-Signals	157
3.4.4	Beispiel: DFT-Untersuchung eines rechteckigen Signals	160
3.4.5	Beispiel: Bestimmung des analytischen Ausdrucks eines Signals über die Fourier-Reihe	167

3.5	Die Fourier-Transformation zeitkontinuierlicher Signale	170
3.5.1	Fourier-Spektrum	171
3.5.2	Konvergenz der Fourier-Transformation	173
3.6	DFT-Annäherung der Fourier-Transformation zeitkontinuierlicher Signale.....	174
3.6.1	Beispiel: Annäherung der Fourier-Transformation eines Pulses	178
3.6.2	Beispiel: Annäherung der Fourier-Transformation eines dreieckigen Pulses	180
3.6.3	Der Effekt der Nullerweiterung	183
3.6.4	Beispiel: Spektrum eines Ausschnittes einer Cosinusfunktion und die DFT-Annäherung	187
3.6.5	Beispiel: Spektrum des Gaußpulses und seine DFT-Annäherung ..	194
3.7	Frequenzgang zeitkontinuierlicher LTI-Systeme	199
3.8	Frequenzgang der LTI-Systeme ausgehend von ihren Differentialgleichungen	203
3.8.1	Beispiel: Frequenzgang eines Feder-Masse-Systems	210
3.8.2	Beispiel: Feder-Masse-System mit Bewegungsanregung	217
3.8.3	Beispiel: Piezo-Beschleunigungssensor	221
3.8.4	Beispiel: Modalanalyse eines Hochhauses	225
3.8.5	Beispiel: Mehrfach besetzte Welle	231
3.8.6	Beispiel: Feder-Masse-System mit Tilger	239
3.8.7	Beispiel: Synchronisation von Schwingungssystemen	245
3.9	Filterfunktionen	252
3.9.1	Bandbreite der realen Filter	255
3.9.2	Verzerrungen der Analogfilter	260
3.9.3	Übertragungsfunktionen elektrischer Schaltungen.....	265
4	Zeitdiskrete Signale und Systeme im Frequenzbereich	269
4.1	Einführung	269
4.1.1	Abtastung als Produkt mit periodischen Delta-Impulsen	269
4.1.2	Spektrum eines abgetasteten Signals	270
4.1.3	Beispiel: Frequenzspektrum der Pulsamplitudenmodulation.....	277
4.1.4	Beispiel: Spektrum des Signals am Ausgang eines D/A-Wandlers	281
4.2	Eigenschaften der DTFT	286
4.2.1	Beispiel für eine DTFT	288
4.2.2	Konvergenzbedingungen	290
4.2.3	Beispiel: Entwurf eines zeitdiskreten TP-Filters	291
4.2.4	Typische DTFT-Transformationspaare	296
4.2.5	Beispiel: Zeitskalierung	300
4.2.6	Beispiele: Frequenzverschiebungen.....	303
4.3	Frequenzgang der zeitdiskreten LTI-Systeme	310
4.3.1	Die z-Transformation der Differenzgleichungen.....	312
4.3.2	Frequenzgang für LTI-Systeme beschrieben durch Differenzgleichungen.....	313
4.3.3	Zeitdiskrete Simulation zeitkontinuierlicher LTI-Systeme	319
4.3.4	Verschaltung von zeitdiskreten LTI-Systemen	323

4.3.5	Kanonische Strukturen von zeitdiskreten LTI-Systemen	325
4.4	Digitale Filter	328
4.4.1	FIR-Filter	328
4.4.2	IIR-Filter	333
4.5	Die Verbindung zwischen der DTFT und der DFT	340
4.5.1	Aliasing im Zeitbereich wegen der Abtastung der DTFT	348
4.5.2	Faltung über die DFT	353
4.5.3	Beispiel: Identifikation einer Einheitspulsantwort über die DFT des Eingangs und des Ausgangs	356
5	Zufallsprozesse	359
5.1	Definition eines Zufallsprozesses	359
5.2	Statistik der Zufallsprozesse	362
5.2.1	Wahrscheinlichkeitsfunktionen	362
5.2.2	Statistische Mittelwerte	364
5.3	Stationäre Zufallsprozesse	366
5.3.1	Stationär im strengen Sinn	367
5.3.2	Stationär im weiteren Sinn	367
5.3.3	Ergodische Prozesse	368
5.3.4	Beispiel: Stationärer und ergodischer Prozess	369
5.3.5	Beispiele: Nichtstationäre Zufallsprozesse	373
5.3.6	Beispiel: Gauß-Zufallsprozess	376
5.4	Zufallsprozesse im Frequenzbereich	379
5.4.1	Autokorrelationsfunktion	379
5.4.2	Spektrale Leistungsdichte	383
5.4.3	Spektrale Kreuzleistungsdichte	389
5.4.4	Weißes Rauschen	394
5.4.5	Schmalbandiger Zufallsprozess	398
5.5	Zufallssignale in LTI-Systemen	400
5.5.1	Beispiel: Feder-Masse-System mit zufälliger Anregung	405
5.6	Direkte Schätzung der spektralen Leistungsdichte	411
5.6.1	Beispiel: Ermittlung der spektralen Leistungsdichte über Bandpassfilter	414
5.6.2	Beispiel: Spektrale Leistungsdichten über die Autokorrelation ermitteln	421
5.6.3	Beispiel: Spektrale Leistungsdichten direkt über die DFT ermittelt	427
5.6.4	Die Welch-Methode zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte	428
5.6.5	Beispiel: Untersuchung der spektralen Leistungsdichte mit <i>Spectrum Scope</i>	432
5.6.6	Beispiel: Identifikation eines Systems über die spektrale Kreuzleistungsdichte	438
5.6.7	Beispiel: Identifikation eines Feder-Masse-Systems über die spektrale Kreuzleistungsdichte	441

5.7	Parametrische Methoden zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte	448
5.7.1	Das Autokorrelationsverfahren zur Schätzung der AR-Modelle ...	450
5.7.2	Beispiel: Identifikation von AR-Modellen aus den Signalen eines zeitkontinuierlichen Systems	452
5.7.3	Beispiel: Identifikation von AR-Modellen mit der MATLAB-Funktion <code>levinson</code>	455
5.7.4	Beispiel: Spektrale Leistungsdichte sinusförmiger Signale in weißem Rauschen	460
5.7.5	Beispiel: Spektrale Leistungsdichte des Quantisierungsfehlers eines A/D-Wandlers	465
5.7.6	Beispiel: Widerstandsrauschen in einer RC-Schaltung	472
	Literaturverzeichnis	477
	Index	481