

Inhaltsverzeichnis

I	Einführung	1
1	Einleitung	3
1.1	Signale	4
1.2	Systeme	4
1.3	Signalverarbeitung	6
1.4	Struktur des Buches	9
2	Mathematische Grundlagen	11
2.1	Räume	11
2.1.1	Metrische und lineare Räume	13
2.2	Integraltransformationen	27
2.2.1	Integrationskerne	27
2.2.2	Zweidimensionale Transformationen	30
2.3	Operatoren	31
2.3.1	Lineare Operatoren	31
2.3.2	Typen von linearen Operatoren	36
2.3.3	Darstellungsmatrix	37
2.3.4	Verschiebungsoperator	40
2.4	Holomorphe Funktionen	40
2.4.1	Cauchysche Integralformel	41
2.4.2	Laurent-Reihe	43
2.4.3	Residuensatz	47
II	Zeitkontinuum	51
3	Zeitkontinuierliche Signale	53
3.1	Funktionenräume	53
3.1.1	Signalklassen	55
3.1.2	Norm und Innenprodukt von Signalen	56
3.1.3	Norm und Innenprodukt mit Belegung	58

3.2	Stochastische Signale	59
3.2.1	Wahrscheinlichkeitsverteilung	60
3.2.2	Stochastische Prozesse	63
3.3	Deterministische Signale	78
3.3.1	Orthogonale Funktionensysteme	78
3.3.2	Biorthogonale Funktionensysteme	82
3.4	Fourier-Reihe	83
3.5	Fourier-Transformation	89
3.5.1	Definition der Fourier-Transformation	91
3.5.2	Eigenschaften der Fourier-Transformation	94
3.5.3	Energie- und Leistungsdichte	98
3.5.4	Cosinus- und Sinus-Transformation	99
3.6	Testsignale	101
3.6.1	Dirac-Impuls	101
3.6.2	Konstantes Signal	103
3.6.3	Vorzeichenfunktion	103
3.6.4	Einheitssprung	104
3.6.5	Komplexe Schwingung	104
3.6.6	Rechteckfunktion	105
3.6.7	Exponentialimpuls	105
3.6.8	Doppelseitige Exponentialfunktion	106
3.6.9	Exponentialsignal	107
3.6.10	Gauß-Impuls	108
3.7	Besonderheiten der Fourier-Transformation	110
3.7.1	Leckeffekt	110
3.7.2	Gibbssches Phänomen	113
3.8	Allgemeine Signaleigenschaften	118
3.8.1	Zeitdauer-Bandbreite-Produkt	118
3.8.2	Riemann-Lebesguesches Lemma	121
4	Zeitkontinuierliche Systeme	127
4.1	Eigenschaften	127
4.1.1	Lineare zeitinvariante Systeme, LTI-Systeme	132
4.1.2	Mehrgößensysteme	137
4.2	Beschreibung durch Differenzialgleichungen	137
4.2.1	Zustandsraum	138
4.3	Laplace-Transformation	144
4.3.1	Definition	144
4.3.2	Konvergenz der Laplace-Transformation	147
4.3.3	Inverse Laplace-Transformation	149
4.3.4	Eigenschaften	150
4.3.5	Rücktransformation	155

4.3.6	Anwendung bei der Systembeschreibung	159
4.3.7	Vergleich zwischen Laplace- und Fourier-Transformation	162
4.4	Systemfunktion	162
4.4.1	Pol- und Nullstellen	164
4.4.2	Verknüpfung von Systemfunktionen	168
4.4.3	Frequenzgang	170
4.4.4	Bode-Diagramme für Dämpfung und Phase	175
4.4.5	Minimalphasensystem und Allpass	178
4.4.6	Strukturdarstellung kontinuierlicher LTI-Systeme	182
4.5	Filterung mit Fensterfunktionen	186
4.6	Frequenzselektive Filter	188
4.6.1	Filtertransformation	189
4.6.2	Entwurf normierter Tiefpässe	191
4.6.3	Bestimmung der Übertragungsfunktion	198
4.7	Hilbert-Transformation	200

III Zeitdiskretisierung 209

5	Zeitdiskrete Signale	211
5.1	Grundlagen	211
5.1.1	Zeitdiskretisierung	211
5.1.2	Abtasttheorem	213
5.1.3	Aliasing	217
5.1.4	Rekonstruktion	220
5.2	Diskrete Zufallsvariable	227
5.3	Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	227
5.3.1	Definition der Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	228
5.3.2	Eigenschaften der Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	231
5.3.3	Energie- und Leistungsdichte	232
5.4	Abtastfrequenz	233
5.4.1	Überabtastung	234
5.4.2	Unterabtastung	242
5.5	Spektralanalyse	250
5.5.1	Diskrete Fourier-Transformation, DFT	250
5.5.2	Schnelle Fourier-Transformation, FFT	254
5.5.3	Eigenschaften der DFT	256
5.5.4	Auflösung im Zeit- und Frequenzbereich	258
5.5.5	DFT einer komplexen Schwingung ohne Leckeffekt	260
5.5.6	DFT einer komplexen Schwingung mit Leckeffekt	262
5.5.7	Zeropadding	265
5.5.8	Periodogramm	267

5.6	Weitere diskrete Transformationen	267
5.6.1	Walsh-Transformation	267
5.6.2	Allgemeine diskrete Transformation	271
6	Zeitdiskrete Systeme	273
6.1	Eigenschaften	273
6.1.1	Lineare zeitinvariante Systeme, LTI-Systeme	276
6.1.2	Mehrgrößensysteme	279
6.2	Beschreibung durch Differenzengleichungen	279
6.2.1	Zustandsraum	280
6.3	Die z-Transformation	282
6.3.1	Definition	282
6.3.2	Existenz	285
6.3.3	Inverse z-Transformation	289
6.3.4	Möglichkeiten der Rücktransformation	290
6.3.5	Eigenschaften	297
6.4	Systemfunktion	301
6.4.1	Pol- und Nullstellen	303
6.4.2	Verknüpfung von Systemen	304
6.4.3	Frequenzgang	305
6.4.4	Minimalphasensystem und Allpass	314
6.4.5	Strukturdarstellung zeitdiskreter LTI-Systeme	318
6.5	Linearphasige Systeme	324
6.5.1	Definition und Eigenschaften	325
6.5.2	Linearphasige FIR-Filter	328
6.6	Zeitdiskrete Darstellung kontinuierlicher Systeme	332
6.6.1	Aufbau	333
6.6.2	Umsetzung der Übertragungsfunktion	333
6.6.3	Impulsinvarianz	334
6.6.4	Pol-Nullstellenübertragung	335
6.6.5	Numerische Integration	337
6.7	Filterung mit Fensterfunktionen	340
6.7.1	Definition	342
6.7.2	Rechteckfenster	343
6.7.3	Dreieckfenster	344
6.7.4	Hanning-Fenster	345
6.7.5	Blackman-Fenster	346
6.7.6	Dolph-Tschebyscheff-Fenster	346
6.7.7	Zeitdiskretes Gauß-Fenster	347
6.7.8	Zusammenfassung	348
6.8	Frequenzselektive Filter	350
6.8.1	Kausales FIR-Filter über Impulsinvarianz	350
6.8.2	Akausales FIR-Filter über die DFT	358

6.8.3	IIR-Filter über die zeitdiskrete Übertragungsfunktion	363
6.8.4	FIR-Filter über Transformation des Frequenzganges	367
6.9	Spezielle zeitdiskrete Filter	371
6.9.1	Zeitdiskrete Hilbert-Transformation	371
6.9.2	Zeitdiskreter Differenzierer	377
6.9.3	Korrektur der Gruppenlaufzeit eines Filters	379
A	Fourier-Transformationen	383
B	Laplace-Transformation	391
C	z-Transformation	395
D	Blockbilder	399
E	Herleitung der Spline-Interpolation	401
F	Symbole	403
	Literaturverzeichnis	405
	Index	407