

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	Metrischer Raum	12
2.1.2	Linearer Raum	13
2.1.3	Normierte Räume	15
2.1.4	Innenproduktraum	15
2.1.5	Unitärer Raum	17
2.1.6	Hilbert-Raum	18
2.1.7	Basis	19
2.2	Integraltransformationen	26
2.2.1	Integrationskerne	26
2.2.2	Zweidimensionale Transformationen	30
2.3	Operatoren	31
2.3.1	Lineare Operatoren	31
2.3.2	Typen von linearen Operatoren	35
2.3.3	Darstellungsmatrix	37
2.3.4	Verschiebungsoperator	39
2.4	Holomorphe Funktionen	40
2.4.1	Cauchy'sche Integralformel	40
2.4.2	Laurent-Reihe	42
2.4.3	Residuensatz	46

II	Zeitkontinuum	49
3	Zeitkontinuierliche Signale	51
3.1	Funktionenräume	51
3.1.1	Signalklassen	52
3.1.2	Norm und Innenprodukt von Signalen	54
3.1.3	Norm und Innenprodukt mit Belegung	56
3.2	Stochastische Signale	57
3.2.1	Wahrscheinlichkeit	57
3.2.2	Wahrscheinlichkeitsverteilung	58
3.2.3	Stochastische Prozesse	63
3.3	Deterministische Signale	77
3.3.1	Orthogonale Funktionensysteme	77
3.3.2	Biorthogonale Funktionensysteme	80
3.4	Fourier-Reihe	81
3.5	Fourier-Transformation	88
3.5.1	Definition der Fourier-Transformation	90
3.5.2	Eigenschaften der Fourier-Transformation	93
3.5.3	Energie- und Leistungsdichte	98
3.5.4	Cosinus- und Sinus-Transformation	99
3.6	Testsignale	102
3.6.1	Dirac-Impuls	102
3.6.2	Konstantes Signal	104
3.6.3	Vorzeichenfunktion	104
3.6.4	Einheitssprung	104
3.6.5	Komplexe Schwingung	105
3.6.6	Rechteckfunktion	105
3.6.7	Exponentialimpuls	106
3.6.8	Doppelseitige Exponentialfunktion	107
3.6.9	Exponentialsignal	108
3.6.10	Gauß-Impuls	110
3.7	Besonderheiten der Fourier-Transformation	111
3.7.1	Leckeffekt	111
3.7.2	Gibbs'sches Phänomen	113
3.8	Allgemeine Signaleigenschaften	119
3.8.1	Zeitdauer-Bandbreite-Produkt	119
3.8.2	Riemann-Lebesgue'sches Lemma	122
4	Zeitkontinuierliche Systeme	129
4.1	Eigenschaften	129
4.1.1	Lineare, zeitinvariante Systeme (LTI-Systeme)	134
4.1.2	Mehrgrößensysteme	139

4.2	Beschreibung durch Differentialgleichungen	139
4.2.1	Zustandsraum	140
4.3	Laplace-Transformation	146
4.3.1	Definition	146
4.3.2	Konvergenz der Laplace-Transformation	149
4.3.3	Inverse Laplace-Transformation	151
4.3.4	Eigenschaften	152
4.3.5	Rücktransformation	156
4.3.6	Anwendung bei der Systembeschreibung	160
4.3.7	Vergleich zwischen Laplace- und Fourier-Transformation	163
4.4	Systemfunktion	163
4.4.1	Pol- und Nullstellen	165
4.4.2	Verknüpfung von Systemfunktionen	169
4.4.3	Frequenzgang	171
4.4.4	Bode-Diagramm	176
4.4.5	Minimalphasensystem und Allpass	178
4.4.6	Strukturdarstellung kontinuierlicher LTI-Systeme	183
4.5	Filterung mit Fensterfunktionen	186
4.6	Frequenzselektive Filter	187
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	218
5.1.4	Rekonstruktion	221
5.2	Diskrete Zufallsvariablen	227
5.3	Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	228
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	233
5.4	Abtastfrequenz	234
5.4.1	Überabtastung	235
5.4.2	Unterabtastung	243

5.5	Spektralanalyse	250
5.5.1	Diskrete Fourier-Transformation (DFT)	251
5.5.2	Schnelle Fourier-Transformation (FFT)	256
5.5.3	Eigenschaften der DFT	258
5.5.4	Auflösung im Zeit- und Frequenzbereich	260
5.5.5	DFT einer komplexen Schwingung ohne Leckeffekt	262
5.5.6	DFT einer komplexen Schwingung mit Leckeffekt	263
5.5.7	Zero-Padding	267
5.5.8	Periodogramm	268
5.6	Weitere diskrete Transformationen	269
5.6.1	Walsh-Transformation	269
5.6.2	Allgemeine diskrete Transformation	272
6	Zeitdiskrete Systeme	275
6.1	Eigenschaften	275
6.1.1	Lineare zeitinvariante Systeme (LTI-Systeme)	278
6.1.2	Mehrgrößensysteme	281
6.2	Beschreibung durch Differenzengleichungen	281
6.2.1	Zustandsraum	282
6.3	Die z-Transformation	284
6.3.1	Definition	284
6.3.2	Existenz	287
6.3.3	Inverse z-Transformation	291
6.3.4	Möglichkeiten der Rücktransformation	291
6.3.5	Eigenschaften	298
6.4	Systemfunktion	302
6.4.1	Pol- und Nullstellen	304
6.4.2	Verknüpfung von Systemen	305
6.4.3	Frequenzgang	306
6.4.4	Minimalphasensystem und Allpass	314
6.4.5	Strukturdarstellung zeitdiskreter LTI-Systeme	318
6.5	Linearphasige Systeme	325
6.5.1	Definition und Eigenschaften	325
6.5.2	Linearphasige FIR-Filter	329
6.6	Zeitdiskrete Darstellung kontinuierlicher Systeme	333
6.6.1	Aufbau	333
6.6.2	Umsetzung der Übertragungsfunktion	334
6.6.3	Impulsinvarianz	334
6.6.4	Pol-/Nullstellenübertragung	335
6.6.5	Numerische Integration	337
6.7	Filterung mit Fensterfunktionen	341
6.7.1	Definition	342
6.7.2	Rechteckfenster	343

6.7.3	Dreieckfenster	344
6.7.4	Hann-Fenster	345
6.7.5	Blackman-Fenster	346
6.7.6	Dolph-Tschebyscheff-Fenster	347
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	351
6.8.2	Akausales FIR-Filter über die DFT	357
6.8.3	IIR-Filter über die zeitdiskrete Übertragungsfunktion	362
6.8.4	FIR-Filter über Transformation des Frequenzganges	366
6.9	Spezielle zeitdiskrete Filter	370
6.9.1	Zeitdiskrete Hilbert-Transformation	370
6.9.2	Zeitdiskreter Differenzierer	376
6.9.3	Korrektur der Gruppenlaufzeit eines Filters	378
A	Fourier-Transformationen	383
B	Laplace-Transformation	389
C	z-Transformation	393
D	Blockschaltbilder	397
E	Herleitung der Spline-Interpolation	399
	Literaturverzeichnis	401
	Index	403