

2772-0994

Signale und Systeme

von
Professor Dr.-Ing. Uwe Kiencke
Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

R. Oldenbourg Verlag München Wien 1998

Inhaltsverzeichnis

I	Einführung	1
1	Einleitung	3
1.1	Signale	4
1.2	Systeme	5
1.3	Signalverarbeitung	7
1.4	Struktur des Buches	10
2	Mathematische Grundlagen	11
2.1	Räume	11
2.1.1	Metrische und lineare Räume	13
2.1.1.1	Metrischer Raum	13
2.1.1.2	Linearer Raum	13
2.1.1.3	Normierte Räume	15
2.1.1.4	Innenproduktraum	16
2.1.1.5	Unitärer Raum	17
2.1.1.6	Hilbertraum	18
2.1.1.7	Basis	19
2.2	Operatoren	26
2.2.1	Lineare Operatoren	26
2.2.1.1	Definition und Eigenschaften linearer Operatoren	26
2.2.1.2	Typen von linearen Operatoren	29
2.2.1.3	Darstellungsmatrix	30
2.2.2	Verschiebungsoperator	33
2.3	Holomorphe Funktionen	34
2.3.1	Cauchysche Integralformel	34
2.3.2	Laurent-Reihe	36
2.3.3	Residuensatz	38

II	Zeitkontinuum	43
3	Zeitkontinuierliche Signale	45
3.1	Funktionenräume	46
3.1.1	Energiesignale	46
3.1.2	Leistungssignale	47
3.1.3	Erwartungswerte	47
3.2	Stochastische Signale	48
3.2.1	Wahrscheinlichkeitsverteilung	49
3.2.1.1	Gleichverteilung	49
3.2.1.2	Normalverteilung	50
3.2.1.3	Exponentialverteilung	52
3.2.2	Stochastischer Prozeß	53
3.2.2.1	Wahrscheinlichkeitsdichte	55
3.2.2.2	Momente	57
3.2.2.3	Stationarität	59
3.2.2.4	Ergodizität	62
3.2.2.5	Korrelation	65
3.3	Deterministische Signale	67
3.3.1	Orthogonale Funktionensysteme	67
3.3.2	Biorthogonale Funktionensysteme	70
3.4	Fourierreihe	71
3.5	Fouriertransformation	76
3.5.1	Definition der Fouriertransformation	77
3.5.2	Eigenschaften der Fouriertransformation	80
3.5.2.1	Faltung	81
3.5.2.2	Korrelation	82
3.5.3	Energie- und Leistungsdichte	83
3.5.4	Cosinus- und Sinustransformation	83
3.6	Testsignale	86
3.6.1	Diracimpuls	86
3.6.2	Konstantes Signal	88
3.6.3	Vorzeichenfunktion	88
3.6.4	Einheitssprung	88
3.6.5	Komplexe Schwingung	89
3.6.6	Rechteckfunktion	89
3.6.7	Exponentialimpuls	90
3.6.8	Doppelseitige Exponentialfunktion	90
3.6.9	Exponentialsignal	90
3.7	Leckeffekt	92

3.8	Signaleigenschaften	95
3.8.1	Zeitdauer-Bandbreiten-Produkt	96
3.8.2	Gibbsches Phänomen	99
3.8.3	Riemann-Lebesguesches Lemma	103
4	Zeitkontinuierliche Systeme	109
4.1	Eigenschaften	109
4.1.1	Lineare zeitinvariante Systeme	113
4.1.2	Mehrgrößensysteme	116
4.2	Beschreibung durch Differentialgleichungen	117
4.2.1	Zustandsraum	118
4.3	Laplacetransformation	123
4.3.1	Definition	124
4.3.2	Konvergenz der Laplacetransformation	124
4.3.3	Inverse Laplacetransformation	126
4.3.4	Eigenschaften	127
4.3.4.1	Linearität	127
4.3.4.2	Verschiebung im Zeitbereich	127
4.3.4.3	Verschiebung im Frequenzbereich	128
4.3.4.4	Differentiation im Zeitbereich	129
4.3.4.5	Skalierung	129
4.3.4.6	Faltung	130
4.3.4.7	Grenzwertsätze	130
4.3.5	Beispiele	131
4.3.5.1	Lineares Differentialgleichungssystem	131
4.3.6	Rücktransformation	132
4.3.6.1	Residuensatz	133
4.3.6.2	Partialbruchzerlegung	134
4.3.7	Vergleich zwischen Laplace- und Fouriertransformation	136
4.4	Systemfunktion	137
4.4.1	Pole- und Nullstellen	138
4.4.2	Verknüpfung von Systemfunktionen	139
4.4.3	Frequenzgang	142
4.4.4	Minimalphasensystem und Allpaß	143
4.5	Filterung mit Fensterfunktionen	144
4.6	Frequenzselektive Filter	146
4.6.1	Filtertransformation	148
4.6.2	Entwurf normierter Tiefpässe	149
4.6.2.1	Butterworth-Filter	150
4.6.2.2	Tschebyscheff-Filter	152

4.6.3	Bestimmung der Übertragungsfunktion	154
4.7	Hilberttransformation	155
III	Zeitdiskretisierung	161
5	Zeitdiskrete Signale	163
5.1	Grundlagen	163
5.1.1	Zeitdiskretisierung	163
5.1.2	Abtasttheorem	165
5.1.3	Rekonstruktion	167
5.1.3.1	Cardinal Hold	168
5.1.3.2	Zero-Order Hold	168
5.1.3.3	First-Order Hold	169
5.1.3.4	Linear-Point-Connector	170
5.1.3.5	Rekonstruktionsfilter	171
5.2	Diskrete Zufallsvariable	172
5.3	Zeitdiskrete Fouriertransformation	172
5.3.1	Definition	173
5.3.2	Aliasing	174
5.3.2.1	Anti-Aliasing-Filter	176
5.3.3	Abtastfrequenz	177
5.3.3.1	Überabtastung	178
5.3.3.2	Unterabtastung	184
5.3.4	Energie- und Leistungsdichte	191
5.4	Spektralanalyse	191
5.4.1	Diskrete Fouriertransformation (DFT)	191
5.4.2	Schnelle Fouriertransformation (FFT)	195
5.4.3	Auflösung im Zeit- und Frequenzbereich	197
5.4.4	DFT einer komplexen Schwingung ohne Leckeffekt	198
5.4.5	DFT einer komplexen Schwingung mit Leckeffekt	200
5.4.6	Zeropadding	203
5.4.7	Periodogramm	204
5.5	Walshtransformation	205
5.5.1	Walshfunktionen	205
5.5.2	Allgemeine diskrete Transformation	207
5.5.3	Walshleistungsspektrum	208

6	Zeitdiskrete Systeme	209
6.1	Eigenschaften	209
6.1.1	Lineare zeitinvariante Systeme	211
6.1.2	Mehrgrößensysteme	214
6.2	Beschreibung durch Differenzgleichungen	214
6.2.1	Zustandsraum	216
6.3	z-Transformation	216
6.3.1	Definition	217
6.3.2	Existenz	219
6.3.3	Inverse z-Transformation	222
6.3.4	Möglichkeiten der Rücktransformation	223
6.3.4.1	Rückführung auf geometrische Reihe	223
6.3.4.2	Residuensatz	223
6.3.4.3	Polynomdivision	226
6.3.4.4	Partialbruchzerlegung	226
6.3.4.5	Transformationstabelle	229
6.3.5	Eigenschaften	230
6.3.5.1	Linearität	230
6.3.5.2	Zeitumkehr	230
6.3.5.3	Verschiebung	231
6.3.5.4	Modulation	231
6.3.5.5	Lineare Gewichtung	231
6.3.5.6	Anfangswerttheorem	232
6.3.5.7	Endwerttheorem	232
6.3.5.8	Faltung	233
6.3.5.9	Korrelation	234
6.4	Systemfunktion	234
6.4.1	Pole- und Nullstellen	236
6.4.2	Verknüpfung von Systemen	237
6.4.3	Frequenz- und Phasengang	237
6.4.4	Minimalphasensystem und Allpaß	241
6.4.5	Systemfunktionen von FIR- und IIR-Systemen	243
6.5	Simulation zeitkontinuierlicher Systeme	246
6.5.1	Aufbau	246
6.5.2	Umsetzung der Übertragungsfunktion	247
6.5.3	Impulsinvarianz	247
6.5.4	Pol- und Nullstellenübertragung	249
6.5.5	Numerische Integration	250
6.6	Filterung mit Fensterfunktionen	254
6.6.1	Definition	255

6.6.2	Rechteckfenster	256
6.6.3	Dreieckfenster	257
6.6.4	Hanningfenster	258
6.6.5	Hammingfenster	259
6.6.5.1	Blackmanfenster	260
6.6.6	Dolph-Tschebyschefffenster	260
6.6.7	Zusammenfassung	261
6.7	Frequenzselektive Filter	263
6.7.1	IIR-Filter	263
6.7.2	FIR-Filter	264
A	Fouriertransformationen	267
B	Laplacetransformation	275
C	z-Transformation	279
D	Blockbilder	283
E	Symbole	285
	Literaturverzeichnis	287
	Stichwortverzeichnis	289