

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einführung	1
1.1 Grundlagen	1
1.2 Der Signalprozessor als Digitalrechner	5
1.3 Anwendungsbeispiele	7
1.3.1 Korrelation	8
1.3.2 Diskrete Fourier-Transformation	9
1.3.3 Digitale Filterung	11
1.3.4 Signalerzeugung	12
1.4 Vor- und Nachteile der DSV	14
1.4.1 Vorteile der digitalen Signalverarbeitung	14
1.4.2 Nachteile der digitalen Signalverarbeitung	15
2 Kontinuierliche Signale und Systeme	17
2.1 Charakterisierung von Signalen	17
2.1.1 Elementarsignale	17
2.1.2 Kontinuierliche und diskrete Signale	21
2.1.3 Deterministische und stochastische Signale	21
2.1.4 Periodische, kausale, gerade und ungerade Signale	22
2.1.5 Reelle und komplexe Signale	24
2.1.6 Energie- und Leistungssignale	26
2.1.7 Orthogonale Signale	28
2.2 Fourier-Reihe und Fourier-Transformation	29
2.2.1 Fourier-Reihe	29

2.2.2	Fourier-Transformation	33
2.2.3	Eigenschaften der Fourier-Transformation	40
2.3	Faltung und Korrelation von Signalen	51
2.3.1	Faltung von Signalen	51
2.3.2	Korrelation von Signalen	55
2.4	Die Laplace-Transformation	57
2.4.1	Definition und Beispiele	57
2.4.2	Vergleich der Laplace- mit der Fourier-Transformation . .	60
2.5	Kontinuierliche Systeme	65
2.5.1	Grundlagen	65
2.5.2	Impulsantwort und Faltung	66
2.5.3	Frequenzgang und Übertragungsfunktion	69
2.5.4	Differentialgleichung und Übertragungsfunktion	80
2.5.5	Bandbreite und Zeitspezifikationen	86
	Aufgaben	88
3	Signalabtastung und Rekonstruktion	93
3.1	Abtastung	93
3.2	Signalrekonstruktion	97
3.2.1	Ideale Rekonstruktion und Abtasttheorem	97
3.2.2	Signalrekonstruktion mittels Halteglied	101
3.2.3	Rekonstruktion mittels linearer Interpolation	103
3.3	Antialiasing- und Glättungsfilter	105
3.3.1	Antialiasingfilter	105
3.3.2	Glättungsfilter	107
	Aufgaben	108
4	Zeitdiskrete Signale und Systeme	111
4.1	Zeitdiskrete Signale	111
4.1.1	Grundlagen	111
4.1.2	Zeitdiskrete Elementarsignale	113
4.1.3	Periodische und kausale diskrete Signale	114
4.1.4	Diskrete Energie- und Leistungssignale	115
4.2	Lineare zeitinvariante diskrete Systeme	120

4.2.1	Grundlagen	120
4.2.2	Impulsantwort	121
4.2.3	Diskrete Faltung	122
4.3	Die z-Transformation	125
4.3.1	Von der Fourier- zur z-Transformation	125
4.3.2	Eigenschaften der z-Transformation	128
4.3.3	Frequenzgang und Übertragungsfunktion	130
4.4	Nichtrekursive und rekursive Systeme	135
4.4.1	Differenzengleichung	135
4.4.2	Übertragungsfunktion	140
	Aufgaben	143
5	Zeitdiskrete stochastische Signale	147
5.1	Die Zufallsvariable	147
5.2	Erwartungswerte	151
5.3	Stochastische Signale	156
5.3.1	Mittelwert und Korrelation stochastischer Signale	158
5.3.2	Stationäre und ergodische Signale	159
5.4	Leistungsdichtespektrum und Filterung	164
5.4.1	Leistungsdichtespektrum	164
5.4.2	Filterung stochastischer Signale	166
5.5	Schätzung von Erwartungswerten	169
5.5.1	Eigenschaften von Schätzfunktionen	169
5.5.2	Schätzung des Mittelwerts und der Korrelationsfunktion	171
	Aufgaben	177
6	Diskrete Fourier-Transformation	181
6.1	Einführung	181
6.1.1	Motivation	181
6.1.2	Definition	182
6.2	Interpretationen und Eigenschaften der DFT	183
6.2.1	Matrix-Interpretation der DFT	183
6.2.2	Die DFT-Koeffizienten als Korrelationen	185
6.2.3	Graphische Interpretation	186

6.2.4	Eigenschaften der DFT	187
6.3	Die DFT als Approximation	188
6.3.1	Die DFT als Approximation der Fourier-Transformierten	189
6.3.2	Die DFT als Approximation der Fourier-Reihe	190
6.3.3	Die DFT als Approximation der DTFT	191
6.4	Die Berechnung der DFT mittels der FFT	192
6.5	Der Goertzel-Algorithmus	196
6.5.1	Herleitung	197
6.5.2	Der Goertzel-Algorithmus als dezimierendes Bandpassfilter	199
6.6	Fensterung	202
6.6.1	Die DFT periodischer Signale	202
6.6.2	Mathematische Interpretation der Fensterung	204
6.6.3	Fensterung und spektrale Auflösung	205
6.6.4	Fensterfunktionen	206
6.7	Die praktische Durchführung der DFT	212
6.7.1	Die Wahl der Abtastfrequenz	212
6.7.2	Die Wahl der Anzahl Abtastwerte	213
6.7.3	Beispiele	215
6.7.4	Fazit	222
	Aufgaben	222
7	Digitalfilter	227
7.1	Einführung	227
7.1.1	Echtzeitsystem zur digitalen Filterung	227
7.1.2	Filterfunktionen	228
7.1.3	Das Digitalfilter als LTI-System	231
7.2	Eigenschaften und Strukturen digitaler Filter	234
7.2.1	Eigenschaften und Strukturen von FIR-Filtern	234
7.2.2	Eigenschaften und Strukturen von IIR-Filtern	240
7.3	Entwurf digitaler Filter	247
7.3.1	Einführung	247
7.3.2	Entwurf von FIR-Filtern	250
7.3.3	Entwurf von IIR-Filtern	254

7.4	Nichtideale Effekte bei Digitalfiltern	258
7.4.1	Zahlendarstellungen	258
7.4.2	Quantisierung bei der Analog-Digital-Wandlung	262
7.4.3	Quantisierung der Filterkoeffizienten	266
7.4.4	Überlauf und Quantisierung von Zwischen- ergebnissen	269
7.4.5	Skalierung zur Verhinderung von Überläufen	272
7.4.6	Quantisierungsrauschen	276
7.4.7	Zusammenfassung	281
7.5	Realisierung digitaler Filter	283
7.5.1	Vorgehen zur Realisierung eines Digitalfilters	283
7.5.2	Anwendungsbeispiel	287
	Aufgaben	291
8	Signalgeneratoren	301
8.1	Einfache Signalgeneratoren	301
8.1.1	Sägezahngenerator	302
8.1.2	Rechteckgenerator	304
8.1.3	Dreieckgenerator	306
8.2	Direkte digitale Synthese	308
8.3	Polynomapproximation	310
8.4	Impulsantwort-Generatoren	316
8.4.1	Das stabile Digitalfilter als Signalgenerator	316
8.4.2	Das instabile Digitalfilter als Sinusoszillator	317
8.4.3	Kombinierter Sinus-Cosinus-Oszillator	319
8.5	Rauschgeneratoren	321
8.5.1	Rauschgenerator mit gleichverteilten Abtastwerten	321
8.5.2	Rauschgenerator mit gaussverteilten Abtastwerten	322
8.5.3	Generator für farbiges Rauschen	323
	Aufgaben	324
A	Begleitdateien und Programme zum Buch	327
A.1	Begleitdateien und Installation	327
A.2	Das MATLAB-Programm <code>spfilt</code>	329
A.3	Der MATLAB-Simulator <code>sindsp</code>	333

A.4	Das MATLAB-Programm <code>spgen</code>	335
A.5	Das Programm <code>spsound</code>	338
A.5.1	Realisierung von Digitalfiltern mit <code>spsound</code>	341
	Literaturverzeichnis	345
	Sachwortverzeichnis	349