

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Frequenzanalyse zeitkontinuierlicher Signale</b>	<b>1</b>
1.1	Signale und ihre Modelle . . . . .	1
1.1.1	Signale im Kommunikationsprozeß . . . . .	1
1.1.2	Signalbeschreibung . . . . .	3
1.1.3	Energie- und Leistungssignale . . . . .	6
1.2	Frequenzanalyse periodischer Signale . . . . .	10
1.2.1	Die reelle FOURIER-Reihe . . . . .	10
1.2.2	Die komplexe FOURIER-Reihe . . . . .	11
1.2.3	Berechnung der FOURIER-Koeffizienten . . . . .	12
1.2.4	Betrags- und Phasenspektrum . . . . .	13
1.2.5	PARSEVALSche Gleichung . . . . .	15
1.3	Frequenzanalyse von Energiesignalen . . . . .	16
1.3.1	Die FOURIER-Transformation . . . . .	16
1.3.2	Spektrale Amplitudendichte . . . . .	17
1.3.3	Energiedichtespektrum . . . . .	22
1.4	Frequenzanalyse von Leistungssignalen . . . . .	24
1.4.1	Anwendbarkeitsgrenzen der FOURIER-Transformation . . . . .	24
1.4.2	Erweiterung des Gültigkeitsbereichs der FOURIER-Transformation . . . . .	25
1.4.3	Leistungsdichtespektrum . . . . .	27
1.5	Faltungssatz und Anwendungen . . . . .	30
1.5.1	Faltung als Signaloperation . . . . .	30
1.5.2	Faltungssatz der FOURIER-Transformation . . . . .	30
1.5.3	Lineare zeitinvariante Systeme . . . . .	31
1.5.4	Fensterfunktionen . . . . .	33

<b>2</b>	<b>Frequenzanalyse zeitdiskreter Signale</b>	<b>36</b>
2.1	Abtastung und Rekonstruktion . . . . .	36
2.1.1	Abtastung . . . . .	36
2.1.2	Rekonstruktion . . . . .	37
2.1.3	Rechenregeln für abgetastete Signale . . . . .	41
2.2	Die diskrete FOURIER-Transformation (DFT) . . . . .	42
2.2.1	Transformationsgleichungen . . . . .	42
2.2.2	Weitere Eigenschaften der DFT . . . . .	43
2.2.3	DFT und Samplingreihe . . . . .	47
2.3	Die schnelle FOURIER-Transformation (FFT) . . . . .	49
2.3.1	Ansatz . . . . .	49
2.3.2	Algorithmus . . . . .	50
2.4	Praktische Anwendung der DFT/FFT . . . . .	52
2.4.1	Folgen der endlichen Abtastwertzahl . . . . .	52
2.4.2	Lattenzauneffekt . . . . .	53
2.4.3	Zero padding . . . . .	56
2.4.4	Beispiele . . . . .	56
<b>3</b>	<b>Digitale Filter</b>	<b>63</b>
3.1	Grundlagen . . . . .	63
3.1.1	Aufgabenstellung . . . . .	63
3.1.2	Systemstruktur . . . . .	64
3.1.3	Entwicklungsablauf . . . . .	66
3.2	Beschreibung zeitdiskreter Signale und Systeme . . . . .	68
3.2.1	Beschreibung im Frequenzbereich (DTFT) . . . . .	68
3.2.2	DTFT und Samplingreihe . . . . .	71
3.2.3	$z$ -Transformation . . . . .	72
3.3	Entwurf digitaler Filter . . . . .	74
3.3.1	Definition der Filterparameter . . . . .	74
3.3.2	Berechnung der Übertragungsfunktion des Analogfilters . . . . .	77

3.3.3	Berechnung der Übertragungsfunktion des Digitalfilters . . . . .	78
3.3.4	Beispiel . . . . .	81
3.4	Realisierung digitaler Filter . . . . .	84
3.4.1	Signalflußbilder digitaler Filter . . . . .	84
3.4.2	Spezielle Filterstrukturen . . . . .	89
3.4.3	Realisierung von FIR-Filtern mit Fensterverfahren . . . . .	91
<b>4</b>	<b>Zeit-Frequenz-Analyse</b>	<b>94</b>
4.1	Unschärferelation . . . . .	94
4.1.1	Einführendes Beispiel . . . . .	94
4.1.2	Zeitgesetz der Nachrichtentechnik . . . . .	95
4.1.3	Klassische Form der Unschärferelation . . . . .	97
4.1.4	Unschärferelation der Informationstechnik . . . . .	98
4.2	Kurzzeit-FOURIER-Transformation (STFT) . . . . .	99
4.2.1	Mathematische Analyse der Zeitfensterung . . . . .	99
4.2.2	Kurzzeitspektrum . . . . .	101
4.2.3	Beispiel . . . . .	104
4.2.4	Alternativen zur STFT . . . . .	108
4.3	Wavelet-Analyse . . . . .	112
4.3.1	Die Wavelet-Transformation (WT) . . . . .	112
4.3.2	Interpretation durch Detailsignale . . . . .	115
4.3.3	Digitalfilter-Realisierung . . . . .	117
4.3.4	Erzeugung von Wavelets . . . . .	120
4.3.5	Beispiele . . . . .	123
<b>A</b>	<b>Übersichten</b>	<b>127</b>
A.1	Zusammenfassung der Hin- und Rücktransformationsgleichungen . . . .	127
A.2	Rechenregeln der FOURIER-Reihe . . . . .	128
A.3	Rechenregeln der FOURIER-Transformation . . . . .	129
A.4	Rechenregeln der DFT . . . . .	130
A.5	Rechenregeln der DTFT / z-Transformation . . . . .	131

A.6	Beispiele zur FOURIER-Reihe . . . . .	132
A.7	Beispiele zur FOURIER-Transformation . . . . .	133
A.8	Beispiele zur z-Transformation . . . . .	134
A.9	Fensterfunktionen . . . . .	135
A.10	Mitten- und Grenzfrequenzen von Terz- und Oktavfiltern . . . . .	137
A.11	Kanalaufteilung einer Frequenzgruppen-Filterbank . . . . .	138