

Inhaltsverzeichnis

1. Determinierte Signale in linearen zeitinvarianten Systemen	1
1.1 Elementarsignale	1
1.2 Zum Begriff des Systems	5
1.3 Lineare zeitinvariante Systeme	6
1.4 Das Faltungsintegral	7
1.5 Beispiel zur Berechnung des Faltungsintegrals	10
1.6 Faltungsalgebra	13
1.7 Dirac-Impuls	16
1.7.1 Gewicht und Linearkombination von Dirac-Impulsen	16
1.7.2 Siebeigenschaft des Dirac-Impulses	17
1.7.3 Dirac-Impuls mit Dehnungsfaktor	19
1.7.4 Verschiebung des Dirac-Impulses	19
1.7.5 Integration des Dirac-Impulses	20
1.8 Integration und Differentiation von Signalen	21
1.9 Kausale und stabile Systeme	23
1.10 Zusammenfassung	24
1.11 Aufgaben	24
2. Fourier-Transformation	29
2.1 Eigenfunktionen von LTI-Systemen	29
2.2 Das Fourier-Integral	30
2.3 Beispiel Fourier-Transformation des Exponentialimpulses	33
2.4 Symmetrien im Signal und im Fourier-Spektrum	36
2.5 Theoreme zur Fourier-Transformation	39
2.5.1 Superpositionssatz	39
2.5.2 Ähnlichkeitssatz	41
2.5.3 Verschiebungssatz	42
2.5.4 Differentiation	42
2.5.5 Symmetrie der Fourier-Transformation	43
2.5.6 Faltung und Multiplikation	44
2.6 Beispiele zur Anwendung der Theoreme	44
2.6.1 Die Fourier-Transformierte des rect-Impulses	44
2.6.2 Die Fourier-Transformierte des Dreieckimpulses	46

2.6.3	Berechnung des Faltungsproduktes der si-Funktion mit sich selbst	47
2.7	Transformation singulärer Signalfunktionen	47
2.7.1	Transformation von Dirac-Impulsen	47
2.7.2	Transformation der Dirac-Impulsfolge	49
2.7.3	Transformation der Sprungfunktion	51
2.8	Hilbert-Transformation	54
2.9	Kurzzeit-Fourier-Transformation	56
2.10	Fourier- und Laplace-Transformation	58
2.11	Zusammenfassung	61
2.12	Anhang	62
2.12.1	Tabellen zur Fourier-Transformation	62
2.12.2	Transformation der Dirac-Impulsfolge	64
2.12.3	Mehrfache Faltung des Rechteckimpulses	66
2.13	Aufgaben	67
3.	Diskrete Signale und Systeme	73
3.1	Abtastung im Zeitbereich	74
3.2	Abtastung im Frequenzbereich	79
3.3	Zeitdiskrete Signale und Systeme	84
3.3.1	Diskrete Faltung	84
3.3.2	Zeitdiskrete Elementarsignale	86
3.3.3	Lineare verschiebungsinvariante Systeme	88
3.3.4	Beispiel zur diskreten Faltung	88
3.3.5	Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	90
3.3.6	Beispiel 1: Spektrum des zeitdiskreten Exponentialimpulses	92
3.3.7	Beispiel 2: Übertragungsaufgabe	92
3.3.8	Die diskrete Fourier-Transformation	94
3.3.9	Dezimation und Interpolation	97
3.3.10	z -Transformation	102
3.4	Zusammenfassung	104
3.5	Anhang	106
3.6	Aufgaben	108
4.	Korrelationsfunktionen determinierter Signale	115
4.1	Energie und Leistung von Signalen	115
4.2	Impulskorrelationsfunktion für Energiesignale	116
4.3	Korrelationsprodukt und Faltungsprodukt	118
4.4	Fourier-Transformation der Impulskorrelationsfunktionen	121
4.5	Impulskorrelationsfunktionen und LTI-Systeme	124
4.6	Impulskorrelationsfunktionen zeitdiskreter Signale	126
4.7	Zusammenfassung	128
4.8	Aufgaben	129

5.	Systemtheorie der Tiefpass- und Bandpasssysteme	133
5.1	Das verzerrungsfreie System	133
5.2	Tiefpasssysteme	135
5.2.1	Der ideale Tiefpass	135
5.2.2	Tiefpasssysteme mit nichtidealer Übertragungsfunktion	141
5.3	Zeitdiskrete Tiefpasssysteme	148
5.4	Bandpasssysteme und Bandpasssignale	150
5.4.1	Der ideale Bandpass	150
5.4.2	Bandpasssystem und äquivalentes Tiefpasssystem	150
5.4.3	Komplexe Signaldarstellung	153
5.4.4	Übertragung von Bandpasssignalen über Bandpasssysteme	155
5.4.5	Übertragung des eingeschalteten cos-Signals über den idealen Bandpass	156
5.4.6	Realisierung von Bandpasssystemen durch Tiefpasssysteme	158
5.4.7	Phasen- und Gruppenlaufzeit	164
5.4.8	Zeitdiskrete Bandpass- und Hochpasssysteme	166
5.5	Zusammenfassung	167
5.6	Anhang	168
5.7	Aufgaben	169
6.	Statistische Signalbeschreibung	173
6.1	Beschreibung von Zufallssignalen durch Mittelwerte	173
6.1.1	Der Zufallsprozess	173
6.1.2	Stationarität und Ergodizität	176
6.1.3	Mittelwerte 1. Ordnung	178
6.1.4	Autokorrelationsfunktion stationärer Prozesse	179
6.1.5	Kreuzkorrelationsfunktion stationärer Prozesse	181
6.2	Zufallssignale in LTI-Systemen	182
6.2.1	Linearer Mittelwert	183
6.2.2	Quadratischer Mittelwert und Autokorrelationsfunktion	183
6.2.3	Leistungsdichtespektrum	185
6.2.4	Weißes Rauschen	186
6.2.5	Korrelationsfilter-Empfang gestörter Signale	188
6.3	Verteilungsfunktionen	193
6.3.1	Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeit	193
6.3.2	Verteilungsdichtefunktion	195
6.3.3	Verbundverteilungsfunktion	198
6.3.4	Statistische Unabhängigkeit	200
6.4	Gauß-Verteilungen	202
6.4.1	Verteilungsdichtefunktion der Summe von Zufallsgrößen	202

6.4.2	Gauß-Verteilung	204
6.4.3	Gauß-Prozess und LTI-Systeme	205
6.4.4	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Korrelationsfilter- Empfang gestörter Binärsignale	207
6.5	Zeitdiskrete Zufallssignale	212
6.5.1	Abtastung von Zufallssignalen	212
6.5.2	Der zeitdiskrete Zufallsprozess	212
6.5.3	Zeitmittelwerte	214
6.5.4	Zeitdiskrete Zufallssignale in LSI-Systemen	215
6.5.5	Beispiel: Filterung von zeitdiskretem weißen Rauschen	216
6.6	Zusammenfassung	218
6.7	Anhang	219
6.7.1	Kennlinientransformationen von Amplitudenwerten	219
6.7.2	Gauß-Verbundverteilung	224
6.7.3	Fehlerfunktion	226
6.8	Aufgaben	229
7.	Binärübertragung	235
7.1	Allgemeine und digitale Übertragungssysteme	237
7.2	Binärübertragung mit Tiefpasssignalen	238
7.2.1	Übertragung von Binärsignalfolgen	238
7.2.2	Das 1. Nyquist-Kriterium	242
7.2.3	Bipolare Übertragung	245
7.2.4	Korrelative Codierung	248
7.2.5	Übertragung mit zwei Trägersignalformen	249
7.2.6	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Übertragung mit zwei orthogonalen Signalen	252
7.2.7	Mehrpegelübertragung	256
7.2.8	Adaptive Kanalentzerrung	260
7.3	Binärübertragung mit Bandpasssignalen	261
7.3.1	Übertragungsarten	261
7.3.2	Korrelationsfunktionen von Bandpasssignalen	262
7.3.3	Empfang von Bandpasssignalen im Tiefpassbereich	265
7.3.4	Inkohärenter Empfang von Bandpasssignalen	266
7.3.5	Fehlerwahrscheinlichkeit bei inkohärentem Empfang von Bandpassträgersignalen	269
7.3.6	Bandpassrauschen und Rayleigh-Verteilung	272
7.3.7	Phasenumtastung und Quadraturmodulation	274
7.3.8	Synchronisation	285
7.4	Pulscodemodulation (PCM)	288
7.4.1	Verfahren der Pulscodemodulation	289
7.4.2	Quantisierungsrauschen	291
7.4.3	Übertragungsfehler in PCM-Systemen	293
7.4.4	PCM-Codierung mit Gedächtnis	296

7.5	Zusammenfassung	298
7.6	Anhang: Rice-Verteilung	299
7.7	Aufgaben	300
8.	Modulation, Multiplex und Codierung	305
8.1	Lineare Modulationsverfahren	306
8.1.1	Pulsamplitudenmodulation	306
8.1.2	PAM-Übertragung mit Bandpassträgersignalen	308
8.1.3	Amplitudenmodulation	308
8.1.4	Inkohärenter Empfang in AM-Systemen	311
8.1.5	Einseitenband-Amplitudenmodulation	314
8.1.6	Störverhalten der linearen Modulationsverfahren	316
8.2	Winkelmodulationsverfahren	318
8.2.1	Phasen- und Frequenzmodulation	319
8.2.2	Spektrum eines FM-Signals	321
8.2.3	Empfang von FM-Signalen	324
8.2.4	Störverhalten der FM-Übertragung	325
8.3	Multiplex-Übertragung	329
8.3.1	Multiplex-Übertragung mit Pulsamplitudenmodulation	329
8.3.2	Zeitmultiplex-Übertragung	332
8.3.3	Frequenzmultiplex-Übertragung	333
8.3.4	Codemultiplex-Übertragung	335
8.3.5	Raummultiplex-Verfahren, Diversitätsübertragung und MIMO-Systeme	349
8.3.6	Vielfachträger-Modulationsverfahren und OFDM	354
8.4	Begriffe der Informationstheorie	360
8.4.1	Diskrete Nachrichtenquellen	360
8.4.2	Kontinuierliche Nachrichtenquellen	365
8.4.3	Kanalcodierung	366
8.4.4	Codierte Modulation	370
8.4.5	Kanalkapazität	372
8.4.6	Die Kanalkapazität des Gauß-Kanals	373
8.4.7	Die Shannon-Grenze bei digitaler Übertragung	376
8.4.8	Ideale Übertragungssysteme mit Bandbreitendeckung ..	378
8.5	Zusammenfassung	382
8.6	Anhang	382
8.6.1	Mehrwegeempfang in Mobilfunkkanälen	382
8.6.2	Zur Charakterisierung von MIMO-Kanälen	386
8.7	Aufgaben	388

9. Zusatzübungen	395
9.1 Orthogonalentwicklung	395
9.2 Signalraum	397
9.3 Matched-Filter bei farbigem Rauschen	401
9.4 Frequenzumtastung mit nichtkohärentem Empfang	403
9.5 Deltamodulation und Differenz-Pulsmodulation	405
9.6 Optimaler Quantisierer	406
9.7 Radarempfänger	409
9.8 Störverhalten von AM-Systemen	412
9.9 Digitale Übertragung mit M orthogonalen Trägersignalen und die Shannon-Grenze	414
10. Entwicklung der Nachrichtentechnik	423
Literaturverzeichnis	426
Symbolverzeichnis und Abkürzungen	435
Sachverzeichnis	439