

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 Theoreme zur Fourier-Transformation	38
2.4.1 Superpositionssatz	38
2.4.2 Ähnlichkeitssatz	40
2.4.3 Verschiebungssatz	41
2.4.4 Differentiation	41
2.4.5 Symmetrie der Fourier-Transformation	42
2.4.6 Faltung und Multiplikation	43
2.5 Beispiele zur Anwendung der Theoreme	44
2.5.1 Die Fourier-Transformierte des rect-Impulses	44
2.5.2 Die Fourier-Transformierte des Dreieckimpulses	45
2.5.3 Berechnung des Faltungsproduktes der si-Funktion mit sich selbst	46

2.6	Transformation singulärer Signalfunktionen	46
2.6.1	Transformation von Dirac-Impulsen	46
2.6.2	Transformation der Dirac-Impulsfolge	48
2.6.3	Transformation der Sprungfunktion	50
2.7	Hilbert-Transformation	53
2.8	Kurzzeit-Fourier-Transformation	55
2.9	Fourier- und Laplace-Transformation	57
2.10	Zusammenfassung	59
2.11	Anhang	61
2.11.1	Tabellen zur Fourier-Transformation	61
2.11.2	Transformation der Dirac-Impulsfolge	63
2.11.3	Mehrfache Faltung der Rechteckfunktion	64
2.12	Aufgaben	65
3.	Diskrete Signale und Systeme	71
3.1	Abtastung im Zeitbereich	72
3.2	Abtastung im Frequenzbereich	77
3.3	Zeitdiskrete Signale und Systeme	82
3.3.1	Diskrete Faltung	82
3.3.2	Zeitdiskrete Elementarsignale	84
3.3.3	Lineare verschiebungsinvariante Systeme	85
3.3.4	Beispiel zur diskreten Faltung	86
3.3.5	Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	88
3.3.6	Beispiel 1: Spektrum des zeitdiskreten Exponentialimpulses	90
3.3.7	Beispiel 2: Übertragungsaufgabe	90
3.3.8	Die diskrete Fourier-Transformation	92
3.3.9	Dezimation und Interpolation	95
3.3.10	z -Transformation	100
3.4	Zusammenfassung	102
3.5	Anhang	104
3.6	Aufgaben	106
4.	Korrelationsfunktionen determinierter Signale	113
4.1	Energie und Leistung von Signalen	113
4.2	Impulskorrelationsfunktion für Energiesignale	114
4.3	Korrelationsprodukt und Faltungsprodukt	116
4.4	Fourier-Transformation der Impulskorrelationsfunktionen	119
4.5	Impulskorrelationsfunktionen und LTI-Systeme	122
4.6	Impulskorrelationsfunktionen zeitdiskreter Signale	124
4.7	Zusammenfassung	126
4.8	Aufgaben	127

5. Systemtheorie der Tiefpass- und Bandpasssysteme	131
5.1 Das verzerrungsfreie System	131
5.2 Tiefpasssysteme	133
5.2.1 Der ideale Tiefpass	133
5.2.2 Tiefpasssysteme mit nichtidealer Übertragungsfunktion	139
5.3 Zeitdiskrete Tiefpasssysteme	145
5.4 Bandpasssysteme und Bandpasssignale	147
5.4.1 Der ideale Bandpass	147
5.4.2 Bandpasssystem und äquivalentes Tiefpasssystem	148
5.4.3 Komplexe Signaldarstellung	151
5.4.4 Übertragung von Bandpasssignalen über Bandpass- systeme	152
5.4.5 Übertragung des eingeschalteten cos-Signals über den idealen Bandpass	154
5.4.6 Realisierung von Bandpasssystemen durch Tiefpass- systeme	155
5.4.7 Phasen- und Gruppenlaufzeit	159
5.4.8 Zeitdiskrete Bandpass- und Hochpasssysteme	161
5.5 Zusammenfassung	162
5.6 Anhang	164
5.7 Aufgaben	164
6. Statistische Signalbeschreibung	169
6.1 Beschreibung von Zufallssignalen durch Mittelwerte	169
6.1.1 Der Zufallsprozess	169
6.1.2 Stationarität und Ergodizität	172
6.1.3 Mittelwerte 1. Ordnung	174
6.1.4 Autokorrelationsfunktion stationärer Prozesse	175
6.1.5 Kreuzkorrelationsfunktion stationärer Prozesse	177
6.2 Zufallssignale in LTI-Systemen	179
6.2.1 Linearer Mittelwert	179
6.2.2 Quadratischer Mittelwert und Autokorrelationsfunktion	179
6.2.3 Leistungsdichtespektrum	181
6.2.4 Weißes Rauschen	182
6.2.5 Korrelationsempfang gestörter Signale	184
6.3 Verteilungsfunktionen	188
6.3.1 Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeit	189
6.3.2 Verteilungsdichtefunktion	190
6.3.3 Verbundverteilungsfunktion	193
6.3.4 Statistische Unabhängigkeit	196
6.4 Gauß-Verteilungen	197
6.4.1 Verteilungsdichtefunktion der Summe von Zufallsgrößen	197
6.4.2 Gauß-Verteilung	199
6.4.3 Gauß-Prozess und LTI-Systeme	200

6.4.4	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Korrelationsempfang gestörter Binärsignale	202
6.5	Zeitdiskrete Zufallssignale	206
6.5.1	Abtastung von Zufallssignalen	207
6.5.2	Der zeitdiskrete Zufallsprozess	207
6.5.3	Zeitmittelwerte	208
6.5.4	Zeitdiskrete Zufallssignale in LSI-Systemen	209
6.5.5	Beispiel: Filterung von zeitdiskretem weißen Rauschen	211
6.6	Zusammenfassung	213
6.7	Anhang	213
6.7.1	Kennlinientransformationen von Amplitudenwerten ...	213
6.7.2	Fehlerfunktion	218
6.8	Aufgaben	221
7.	Binärübertragung	227
7.1	Allgemeine und digitale Übertragungssysteme	228
7.2	Binärübertragung mit Tiefpasssignalen	230
7.2.1	Übertragung von Binärsignalfolgen	230
7.2.2	Das 1. Nyquist-Kriterium	233
7.2.3	Bipolare Übertragung	236
7.2.4	Korrelative Codierung	239
7.2.5	Mehrpegelübertragung	240
7.2.6	Übertragung mit zwei Trägersignalformen	242
7.2.7	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Übertragung mit zwei orthogonalen Signalen	245
7.2.8	Adaptive Kanalverzerrung	248
7.3	Binärübertragung mit Bandpasssignalen	249
7.3.1	Übertragungsarten	249
7.3.2	Korrelationsfunktionen von Bandpasssignalen	250
7.3.3	Empfang von Bandpasssignalen im Tiefpassbereich ...	252
7.3.4	Inkohärenter Empfang von Bandpasssignalen	254
7.3.5	Fehlerwahrscheinlichkeit bei inkohärentem Empfang von Bandpassträgersignalen	257
7.3.6	Bandpassrauschen und Rayleigh-Verteilung	260
7.3.7	Phasenumtastung und Quadraturmodulation	262
7.3.8	Synchronisation	267
7.4	Pulscodemodulation (PCM)	270
7.4.1	Verfahren der Pulscodemodulation	271
7.4.2	Quantisierungsrauschen	273
7.4.3	Übertragungsfehler in PCM-Systemen	275
7.4.4	PCM-Codierung mit Gedächtnis	277
7.5	Zusammenfassung	280
7.6	Anhang: Rice-Verteilung	280
7.7	Aufgaben	282

8. Modulation, Multiplex und Codierung	287
8.1 Lineare Modulationsverfahren	288
8.1.1 Pulsamplitudenmodulation	288
8.1.2 PAM-Übertragung mit Bandpassträgersignalen	289
8.1.3 Amplitudenmodulation	290
8.1.4 Inkohärenter Empfang in AM-Systemen	293
8.1.5 Einseitenband-Amplitudenmodulation	295
8.1.6 Störverhalten der linearen Modulationsverfahren	298
8.2 Winkelmodulationsverfahren	299
8.2.1 Phasen- und Frequenzmodulation	300
8.2.2 Spektrum eines FM-Signals	302
8.2.3 Empfang von FM-Signalen	305
8.2.4 Störverhalten der FM-Übertragung	306
8.3 Multiplex-Übertragung	310
8.3.1 Multiplex-Übertragung mit Pulsamplitudenmodulation	311
8.3.2 Zeitmultiplex-Übertragung	313
8.3.3 Frequenzmultiplex-Übertragung	314
8.3.4 Codemultiplex-Übertragung	316
8.3.5 Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) ..	330
8.4 Begriffe der Informationstheorie	334
8.4.1 Diskrete Nachrichtenquellen	335
8.4.2 Kontinuierliche Nachrichtenquellen	339
8.4.3 Kanalkapazität	339
8.4.4 Die Kanalkapazität des Gauß-Kanals	340
8.4.5 Die Shannon-Grenze bei digitaler Übertragung	342
8.4.6 Ideale Übertragungssysteme mit Bandbreitendehnung ..	343
8.4.7 Kanalcodierung	347
8.4.8 Codierte Modulation	350
8.5 Zusammenfassung	352
8.6 Anhang: Mehrwegeempfang in Mobilfunkkanälen	352
8.7 Aufgaben	354
9. Zusatzübungen	361
9.1 Orthogonalentwicklung	361
9.2 Signalraum	363
9.3 Matched-Filter bei farbigem Rauschen	367
9.4 Frequenzumtastung mit nichtkohärentem Empfang	369
9.5 Deltamodulation und Differenz-Pulsmodulation	371
9.6 Optimaler Quantisierer	372
9.7 Radarempfänger	375
9.8 Störverhalten von AM-Systemen	378
9.9 Digitale Übertragung mit M orthogonalen Trägersignalen und die Shannon-Grenze	381
Literaturverzeichnis	389

Symbolverzeichnis	397
Sachverzeichnis	399