

Inhaltsverzeichnis

Teil A: Signale und Systeme	1
1. Determinierte Signale in linearen zeitinvarianten Systemen	3
1.1 Elementarsignale	3
1.2 Analyse eines elektrischen Systems mittels Elementarfunktionen	7
1.3 Zum Begriff des Systems	11
1.4 Lineare zeitinvariante Systeme	12
1.5 Das Faltungsintegral	14
1.6 Beispiel zur Berechnung des Faltungsintegrals	16
1.7 Faltungsalgebra	19
1.8 Dirac-Impuls	21
1.8.1 Gewicht und Linearkombination von Dirac-Impulsen ..	22
1.8.2 Siebeigenschaft des Dirac-Impulses	23
1.8.3 Dirac-Impuls mit Dehnungsfaktor	25
1.8.4 Verschiebung des Dirac-Impulses	25
1.8.5 Integration des Dirac-Impulses	26
1.9 Integration und Differentiation von Signalen	27
1.10 Kausale und stabile Systeme	29
1.11 Zusammenfassung	30
1.12 Aufgaben	30
2. Laplace-Transformation	35
2.1 Eigenfunktionen von LTI-Systemen	35
2.2 Beispiele zur Laplace-Transformation	36
2.3 Pole und Nullstellen in der komplexen p -Ebene	40
2.4 Lösung von Differentialgleichungen mittels \mathcal{L} -Transformation ..	43
2.5 Stabilitätsanalyse von Systemen	48
2.6 Systemanalyse und -synthese mittels \mathcal{L} -Transformation	49
2.7 Zusammenfassung	53
2.8 Anhang: Tabellen zur Laplace-Transformation	54
2.9 Aufgaben	55

3. Fourier-Beschreibung von Signalen und Systemen	57
3.1 Periodische Eigenfunktionen	57
3.2 Fourier-Reihenanalyse	58
3.3 Das Fourier-Integral	66
3.4 Beispiel: Fourier-Transformation des Exponentialimpulses	69
3.5 Symmetrien im Signal und im Fourier-Spektrum	70
3.6 Theoreme zur Fourier-Transformation	73
3.6.1 Superpositionssatz	73
3.6.2 Ähnlichkeitssatz	74
3.6.3 Verschiebungssatz	75
3.6.4 Differentiation	76
3.6.5 Symmetrie der Fourier-Transformation	77
3.6.6 Faltung und Multiplikation	78
3.7 Beispiele zur Anwendung der Theoreme	79
3.7.1 Die Fourier-Transformierte des Rechteckimpulses	79
3.7.2 Die Fourier-Transformierte des Dreieckimpulses	81
3.7.3 Berechnung des Faltungsproduktes der si-Funktion mit sich selbst	81
3.8 Transformation singulärer Signalfunktionen	81
3.8.1 Transformation von Dirac-Impulsen	81
3.8.2 Transformation der Dirac-Impulsfolge	84
3.8.3 Transformation der Sprungfunktion	86
3.9 Hilbert-Transformation	89
3.10 Kurzzeit-Fourier-Transformation	92
3.11 Fourier- und Laplace-Transformation	93
3.12 Zusammenfassung	96
3.13 Anhang	96
3.13.1 Transformation der Dirac-Impulsfolge	96
3.13.2 Mehrfache Faltung des Rechteckimpulses	98
3.13.3 Tabellen zur Fourier-Transformation	100
3.14 Aufgaben	102
4. Diskrete Signale und Systeme	109
4.1 Abtastung im Zeitbereich	110
4.2 Abtastung im Frequenzbereich	116
4.3 Zeitdiskrete Signale und Systeme	119
4.3.1 Diskrete Faltung	119
4.3.2 Zeitdiskrete Elementarsignale	121
4.3.3 Lineare verschiebungsinvariante Systeme	122
4.3.4 Beispiel zur diskreten Faltung	124
4.3.5 Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale	126
4.3.6 Die diskrete Fourier-Transformation	130
4.3.7 Schnelle Fourier-Transformation und schnelle Faltung	132
4.3.8 Dezimation und Interpolation	134
4.3.9 z-Transformation	140

4.4	Zusammenfassung	150
4.5	Anhang: Tabellen zu Transformationen	151
4.6	Aufgaben	154
5.	Systemtheorie der Tiefpass- und Bandpasssysteme	163
5.1	Das verzerrungsfreie System	163
5.2	Tiefpasssysteme	165
5.2.1	Der ideale Tiefpass	165
5.2.2	Tiefpasssysteme mit nichtidealer Übertragungsfunktion	171
5.3	Zeitdiskrete Tiefpasssysteme	176
5.4	Bandpasssysteme und Bandpasssignale	178
5.4.1	Der ideale Bandpass	178
5.4.2	Bandpasssystem und äquivalentes Tiefpasssystem	179
5.4.3	Komplexe Signaldarstellung	182
5.4.4	Übertragung von Bandpasssignalen über Bandpasssysteme	184
5.4.5	Übertragung des eingeschalteten \cos -Signals über den idealen Bandpass	185
5.4.6	Realisierung von Bandpasssystemen durch Tiefpasssysteme	186
5.4.7	Phasen- und Gruppenlaufzeit	192
5.4.8	Zeitdiskrete Bandpass- und Hochpasssysteme	194
5.5	Zusammenfassung	195
5.6	Anhang: Integration von $\text{si}(\pi x)$	197
5.7	Aufgaben	197
6.	Korrelationsfunktionen determinierter Signale	203
6.1	Energie und Leistung von Signalen	203
6.2	Impulskorrelationsfunktion für Energiesignale	204
6.3	Korrelationsprodukt und Faltungsprodukt	206
6.4	Fourier-Transformation der Impulskorrelationsfunktionen	208
6.5	Impulskorrelationsfunktionen und LTI-Systeme	212
6.6	Korrelationsfunktionen von Bandpasssignalen	214
6.7	Impulskorrelationsfunktionen zeitdiskreter Signale	214
6.8	Zusammenfassung	217
6.9	Aufgaben	217
7.	Statistische Signalbeschreibung	223
7.1	Beschreibung von Zufallssignalen durch Mittelwerte	223
7.1.1	Der Zufallsprozess	223
7.1.2	Stationarität und Ergodizität	226
7.1.3	Mittelwerte 1. Ordnung	228
7.1.4	Autokorrelationsfunktion stationärer Prozesse	229
7.1.5	Kreuzkorrelationsfunktion stationärer Prozesse	231

7.2	Zufallssignale in LTI-Systemen	233
7.2.1	Linearer Mittelwert	233
7.2.2	Quadratischer Mittelwert und Autokorrelationsfunktion	233
7.2.3	Leistungsdichtespektrum	235
7.2.4	Weißes Rauschen	236
7.2.5	Korrelationsfilter-Empfang gestörter Signale	238
7.3	Verteilungsfunktionen	243
7.3.1	Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeit	243
7.3.2	Verteilungsdichtefunktion	245
7.3.3	Verbundverteilungsfunktion	248
7.3.4	Statistische Unabhängigkeit	251
7.4	Gauß-Verteilungen	252
7.4.1	Verteilungsdichtefunktion der Summe von Zufallsgrößen	252
7.4.2	Gauß-Verteilung	254
7.4.3	Gauß-Prozess und LTI-Systeme	255
7.4.4	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Korrelationsfilter-Empfang gestörter Binärsignale	257
7.5	Zeitdiskrete Zufallssignale	262
7.5.1	Abtastung von Zufallssignalen	262
7.5.2	Der zeitdiskrete Zufallsprozess	263
7.5.3	Zeitmittelwerte	264
7.5.4	Zeitdiskrete Zufallssignale in LSI-Systemen	265
7.5.5	Beispiel: Filterung von zeitdiskretem weißen Rauschen	266
7.6	Zusammenfassung	269
7.7	Anhang	270
7.7.1	Kennlinientransformationen von Amplitudenwerten	270
7.7.2	Gauß-Verbundverteilung	275
7.7.3	Fehlerfunktion	277
7.8	Aufgaben	280
	Teil B: Informationsübertragung	287
8.	Binärübertragung mit Tiefpasssignalen	289
8.1	Allgemeine und digitale Übertragungssysteme	290
8.2	Übertragung von Binärsignalfolgen	292
8.3	Das 1. Nyquist-Kriterium	296
8.4	Bipolare Übertragung	299
8.5	Korrelative Codierung	302
8.6	Übertragung mit zwei Trägersignalformen	303
8.7	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Übertragung mit zwei orthogonalen Signalen	306
8.8	Mehrpegelübertragung	309

8.9 Adaptive Kanalentzerrung	313
8.10 Zusammenfassung	315
8.11 Aufgaben	315
9. Binärübertragung mit Bandpasssignalen	319
9.1 Übertragungsarten bei der Binärübertragung mit Bandpasssignalen	320
9.2 Empfang von Bandpasssignalen im Tiefpassbereich	321
9.3 Inkohärenter Empfang von Bandpasssignalen	325
9.4 Fehlerwahrscheinlichkeit bei inkohärentem Empfang	327
9.5 Bandpassrauschen und Rayleigh-Verteilung	331
9.6 Phasenumtastung und Quadraturmodulation	333
9.7 Synchronisation	344
9.8 Zusammenfassung	347
9.9 Anhang	347
9.9.1 Rice-Verteilung	347
9.9.2 Mehrwegeempfang in Mobilfunkkanälen	349
9.10 Aufgaben	352
10. Analoge Modulationsverfahren	355
10.1 Lineare Modulationsverfahren	356
10.1.1 Pulsamplitudenmodulation	356
10.1.2 PAM-Übertragung mit Bandpassträgersignalen	357
10.1.3 Amplitudenmodulation	358
10.1.4 Inkohärenter Empfang in AM-Systemen	361
10.1.5 Einseitenband-Amplitudenmodulation	364
10.1.6 Störverhalten der linearen Modulationsverfahren	366
10.2 Winkelmodulationsverfahren	368
10.2.1 Phasen- und Frequenzmodulation	368
10.2.2 Spektrum eines FM-Signals	371
10.2.3 Empfang von FM-Signalen	373
10.2.4 Störverhalten der FM-Übertragung	374
10.3 Zusammenfassung	379
10.4 Aufgaben	379
11. Multiplexverfahren	385
11.1 Lineare Multiplex-Verfahren	385
11.2 Zeitmultiplex-Übertragung	387
11.3 Frequenzmultiplex-Übertragung	389
11.4 Codemultiplex-Übertragung	391
11.4.1 Direct-Sequence-CDMA	392
11.4.2 Walsh-Multiplexsystem	397
11.4.3 Asynchrone Multiplexsysteme	397
11.4.4 Pseudonoise-Folgen	398
11.4.5 Familie der Gold-Folgen	400

11.4.6 Frequenzsprungverfahren	403
11.4.7 Optimierung von DS-CDMA-Empfängern	404
11.5 Vielfachträger-Modulationsverfahren und OFDM	406
11.5.1 OFDM-Grundprinzip	406
11.5.2 Erweiterungen des OFDM-Prinzips	413
11.6 Diversitätsübertragung und MIMO-Systeme	417
11.6.1 Raum-Zeit-Diversität	420
11.6.2 Optimale MIMO-Übertragung	423
11.6.3 Weiteres Entwicklungspotential der MIMO-Übertragung	425
11.7 Zusammenfassung	426
11.8 Aufgaben	426
12. Codierung	429
12.1 Verfahren der Pulscodemodulation (PCM)	429
12.1.1 Quantisierungsrauschen	432
12.1.2 Übertragungsfehler in PCM-Systemen	434
12.2 Quellencodierung	436
12.2.1 Diskrete Nachrichtenquellen	437
12.2.2 Kontinuierliche Nachrichtenquellen	442
12.2.3 Rate-Distortion-Funktion für korrelierte Prozesse	444
12.2.4 Prädiktionscodierung	447
12.2.5 Transformationscodierung	451
12.3 Kanalcodierung	455
12.4 Codierte Modulation	459
12.5 Zusammenfassung	462
12.6 Aufgaben	462
13. Grenzen der Informationsübertragung	465
13.1 Kanalkapazität	465
13.2 Die Kanalkapazität des Gauß-Kanals	466
13.3 Die Shannon-Grenze bei digitaler Übertragung	468
13.4 Ideale Übertragungssysteme mit Bandbreitedehnung	471
13.4.1 Amplitudenmodulationsverfahren	473
13.4.2 Frequenzmodulationsverfahren	473
13.4.3 Pulscodemodulation	473
13.5 Zusammenfassung	475
13.6 Anhang: Übertragungsgrenzen von MIMO-Kanälen	475
13.7 Aufgaben	477
14. Zusatzübungen	479
14.1 Orthogonalentwicklung	479
14.2 Signalraum	481
14.3 Matched-Filter bei farbigem Rauschen	485
14.4 Matched-Filter bei linearer Kanalverzerrung	487
14.5 Frequenzumtastung mit nichtkohärentem Empfang	488

14.6 Deltamodulation und Differenz-Pulscodemodulation	490
14.7 Optimaler Quantisierer	492
14.8 Leitungstheorie	494
14.9 Störverhalten von AM-Systemen	500
14.10 Digitale Übertragung mit M orthogonalen Trägersignalen und die Shannon-Grenze	503
Literaturverzeichnis	511
Symbolverzeichnis und Abkürzungen	519
Sachverzeichnis	523