

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Signale	1
1.2	Systeme	3
1.3	Zusammenfassung und Buchübersicht	6
2	Signale	9
2.1	Elementare Operationen und Eigenschaften	9
2.1.1	Verschiebung, Spiegelung, Skalierung	9
2.1.2	Komplexe Signale	10
2.1.3	Gerade und ungerade Signale	11
2.1.4	Periodische Signale	13
2.1.5	Zeitbegrenzte, kausale und beschränkte Signale	14
2.2	Spezielle Signale	15
2.2.1	Sprungförmige Signale	15
2.2.1.1	Impulsfolge	15
2.2.1.2	Sprungfolge und Sprungfunktion	16
2.2.1.3	Signumfolge und Signumfunktion	18
2.2.1.4	Rechteck- und Dreieckimpuls	19
2.2.2	Exponentialfunktion	21
2.2.3	Schwingungen	22
2.2.3.1	Komplexe Exponentialfunktion	22
2.2.3.2	Sinus- und Kosinusfunktion	24
2.2.3.3	si-Funktion	24
2.3	Weitere Eigenschaften und Verknüpfungen	25
2.3.1	Energie und Leistung	25
2.3.2	Skalarprodukt und Orthogonalität	26
2.3.3	Korrelation deterministischer Signale	27
2.4	Zusammenfassung	30
2.5	Aufgaben	30
3	Diskrete LTI-Systeme	33
3.1	Allgemeine Beschreibungsform und Lösungsansatz	33
3.2	Berechnung der Systemantwort mittels z -Transformation	38
3.3	Lösung im Zeitbereich: Diskrete Faltung	42
3.3.1	Herleitung und Definition	42
3.3.2	Eigenschaften und anschauliche Deutung	44
3.3.3	Darstellung von Mittelungsvorgängen	49
3.3.4	Darstellung periodischer Signale	50

3.3.5	Diskrete periodische Faltung	51
3.3.6	Zusammenhang mit der Korrelation	51
3.4	Darstellungsformen und Eigenschaften	52
3.4.1	Systemfunktion und Impulsantwort	52
3.4.2	Pol-Nullstellen-Diagramm und Stabilität	56
3.4.2.1	Anschauliche Deutung der Systemfunktion	57
3.4.2.2	Einschwingvorgang und stationärer Zustand	59
3.4.2.3	Stabilität	60
3.4.3	Blockdiagramme und Systemstrukturen	61
3.4.3.1	Rekursive (IIR-) Systeme	62
3.4.3.2	Nichtrekursive (FIR-) Systeme	64
3.4.4	Matrizendarstellung von FIR-Systemen	65
3.4.5	Eigenfolgen von Systemen	67
3.5	Zusammenfassung	68
3.6	Aufgaben	69
4	Die z-Transformation	73
4.1	Definition und Konvergenz	73
4.2	Eigenschaften und Rechenregeln	78
4.2.1	Linearität	78
4.2.2	Verschiebung im Zeitbereich	78
4.2.3	Dämpfung / Modulation, Skalierung von z	80
4.2.4	Lineare Gewichtung, Ableitung im Bildbereich	80
4.2.5	Zeitinversion und konjugiert komplexe Folgen	81
4.2.6	Faltungsregel und Korrelationstheorem	82
4.2.7	Multiplikation im Zeitbereich	83
4.2.8	Grenzwertsätze der einseitigen z -Transformation	84
4.2.9	Weitere Eigenschaften	86
4.2.9.1	Diskrete Ableitung und Integration	86
4.2.9.2	Periodisch fortgesetzte Folgen	86
4.2.9.3	Einfügen von Nullen, Upsampling	87
4.2.9.4	Summation über Zeitsignal	87
4.3	Die Rücktransformation	87
4.3.1	Partialbruchzerlegung	88
4.3.2	Komplexes Umkehrintegral	94
4.3.3	Rekursive Lösung	97
4.3.4	Reihenentwicklung	98
4.4	Anfangswertprobleme	99
4.5	Zusammenfassung	103
4.6	Aufgaben	103

5	Kontinuierliche LTI-Systeme	107
5.1	Allgemeine Beschreibungsform	107
5.2	Mathematische Grundlagen	108
5.2.1	Verallgemeinerte Funktionen	108
5.2.2	Spezielle kontinuierliche Signale	112
5.2.2.1	Dirac-Impuls	112
5.2.2.2	Sprungfunktion	114
5.2.2.3	Impulskamm	114
5.2.3	Ableitung von Sprung- und Knickstellen	115
5.3	Berechnung der Systemantwort mittels Laplace-Transformation	116
5.4	Lösung im Zeitbereich: Faltung	121
5.4.1	Herleitung und Definition	121
5.4.2	Eigenschaften und anschauliche Deutung	122
5.4.3	Darstellung der Integration	126
5.4.4	Darstellung periodischer Signale	126
5.4.5	Periodische Faltung	126
5.4.6	Zusammenhang Faltung und Korrelation	127
5.5	Darstellungsformen und Eigenschaften	127
5.5.1	Systemfunktion und Impulsantwort	127
5.5.2	Pol-Nullstellen-Diagramm und Stabilität	130
5.5.2.1	Anschauliche Deutung der Systemfunktion	130
5.5.2.2	Einschwingvorgang und stationärer Zustand	132
5.5.2.3	Stabilität	133
5.5.2.4	Stabilitätskriterium nach Hurwitz	134
5.5.3	Blockdiagramme	137
5.5.4	Eigenfunktionen von Systemen	140
5.6	Elektrische Netzwerke	140
5.6.1	Grundelemente	141
5.6.2	Komplexe Wechselstromrechnung	144
5.6.3	Zweipole	146
5.6.4	Vierpole	150
5.7	Anwendungsgebiete	155
5.7.1	Regelungstechnik	155
5.7.2	Nachrichtentechnik	163
5.8	Zusammenfassung	167
5.9	Aufgaben	167
6	Die Laplace- und Fourier-Transformation	171
6.1	Definitionen und Konvergenz	171
6.1.1	Laplace-Transformation	171
6.1.2	Fourier-Transformation	173
6.1.3	Vergleich von Laplace- und Fourier-Transformation	175
6.2	Eigenschaften	176
6.2.1	Linearität	176
6.2.2	Verschiebung im Zeitbereich	177

6.2.3	Dämpfung / Modulation	178
6.2.4	Lineare Gewichtung, Ableitung im Bildbereich	179
6.2.5	Ableitung / Integration der Zeitfunktion	179
6.2.6	Zeitskalierung und konjugiert komplexe Signale	181
6.2.7	Faltungsregel und Korrelationstheorem	184
6.2.8	Multiplikation im Zeitbereich	184
6.2.9	Grenzwertsätze der Laplace-Transformation	185
6.3	Spezielle Eigenschaften der Fourier-Transformation	188
6.3.1	Dualität	188
6.3.2	Reelle Signale, Symmetrieeigenschaften	188
6.3.3	Kausale Signale, Hilberttransformation	190
6.3.4	Periodische Signale, Fourier-Reihe	192
6.3.5	Zeit-Bandbreite-Produkt	193
6.3.6	Parsevalsches Theorem	195
6.3.7	Zusammenhang mit komplexer Wechselstromrechnung	196
6.4	Spezielle Korrespondenzen der Fourier-Transformation	196
6.4.1	Sprung- und Signumfunktion	197
6.4.2	Rechteck- und Dreieckimpuls	198
6.4.3	Komplexe Exponentialfunktionen und Schwingungen	199
6.4.4	Impulskamm	199
6.5	Die Rücktransformation	200
6.5.1	Partialbruchzerlegung	201
6.5.2	Komplexes Umkehrintegral	201
6.5.3	Weitere Verfahren	203
6.6	Zusammenfassung	203
6.7	Aufgaben	203
7	Beschreibung und Analyse von LTI-Systemen im Frequenzbereich	207
7.1	Übertragungsfunktion und Frequenzgang	207
7.1.1	Systembeschreibung und Übertragungsfunktion	207
7.1.2	Betragsfrequenzgang und Phasengang	208
7.1.3	Abschätzung des Frequenzganges anhand des Pol-Nullstellen-Diagramms	211
7.1.4	Komplexes Übertragungsmaß	211
7.1.5	Phasen- und Gruppenlaufzeit	213
7.2	Darstellungsformen	217
7.2.1	Bode-Diagramme	217
7.2.2	Ortskurven	224
7.3	Filter und Allpässe	226
7.3.1	Prinzipielle Filtertypen	226
7.3.2	Allpässe und minimalphasige Systeme	229
7.3.3	Verzerrungsfreie Systeme	230
7.4	Zusammenfassung	231
7.5	Aufgaben	231

8 Zusammenhang zwischen diskreten und kontinuierlichen Signalen und Systemen	233
8.1 Signalabtastung und -rekonstruktion	233
8.1.1 Ideale Abtastung und Rekonstruktion	233
8.1.2 Abtasttheorem	235
8.1.3 Nichtideale Abtastung und Rekonstruktion	237
8.1.3.1 Nichtideale Abtastung	237
8.1.3.2 Nichtideale Rekonstruktion	239
8.2 Diskrete Fourier-Transformationen	242
8.2.1 Zeitdiskrete Fourier-Transformation	243
8.2.1.1 Herleitung und Definition	243
8.2.1.2 Eigenschaften und Rechenregeln	249
8.2.1.3 Frequenzgang und Gruppenlaufzeit	253
8.2.2 Fourier-Reihe	255
8.2.3 Diskrete Fourier-Transformation (DFT)	258
8.2.3.1 Zeitdiskrete Fourier-Reihe	259
8.2.3.2 Definition der DFT und Eigenschaften	261
8.2.3.3 Fast Fourier Transformation (FFT)	266
8.3 Zusammenhang der Transformationen	267
8.4 Zusammenfassung	271
8.5 Aufgaben	272

9 Lösungen der Aufgaben	275
--------------------------------	------------

Anhang	301
---------------	------------

A Mathematischer Anhang	303
A.1 Komplexe Zahlen und Funktionen	303
A.2 Polynome und rationale Funktionen	304
A.3 Nullstellenbestimmung von Polynomen	306
A.4 Residuensatz	309
A.5 Partialbruchzerlegung	311
A.6 Kettenbruchentwicklung	314
A.7 Distributionen	318
A.8 Trigonometrische Formeln	323
A.9 Wichtige mathematische Formeln	324
B Kurzeinführung in Matlab und Octave	327
B.1 Signaldarstellung	327
B.1.1 Polynome	327
B.1.2 Diskrete Signale	328
B.1.3 Kontinuierliche Signale	328
B.2 Grundlegende Berechnungen	328
B.2.1 Polynommultiplikation, diskrete Faltung	328
B.2.2 Polynomdivision	329

- B.2.3 Nullstellenbestimmung von Polynomen 329
- B.2.4 Umrechnung von Polynom- und Produktdarstellung 330
- B.2.5 Partialbruchzerlegung 331
- B.2.6 Polynomauswertung 332
- B.2.7 Skalarprodukt 332
- B.3 Berechnung diskreter Systeme 333
 - B.3.1 Systemdarstellung 333
 - B.3.2 Berechnung Systemantwort 333
 - B.3.3 Bestimmung Impulsantwort 334
 - B.3.4 Partialbruchzerlegung von z-Transformierten 334
 - B.3.5 Korrelation 335
- B.4 Berechnung kontinuierlicher Systeme 336
 - B.4.1 Systemdarstellung 336
 - B.4.2 Berechnung Systemantwort 336
 - B.4.3 Bestimmung Impuls- und Sprungantwort 337
- C Hilfsblätter 339**
 - C.1 Wichtige Formeln und Definitionen 339
 - C.2 z-Transformation 340
 - C.3 Laplace-Transformation 342
 - C.4 Fourier-Transformation 344
 - C.5 Zeitdiskrete Fourier-Transformation 346
 - C.6 Diskrete Fourier-Transformation 348
 - C.7 Matlab und Octave 349
- Formelzeichen und Darstellungskonventionen 351**
- Literaturverzeichnis 353**
- Stichwortverzeichnis 355**