

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theorie der Signale</b>	<b>5</b>
2.1	Einführung	5
2.2	Determinierte Signale	8
2.2.1	Betrachtung im Zeitbereich	8
2.2.2	Betrachtung im Frequenzbereich	16
2.2.2.1	Periodische Funktionen, Fourierreihen	17
2.2.2.2	Periodische Folgen, Diskrete Fouriertransformation	23
2.2.2.3	Spektren von Funktionen, Fouriertransformation	28
2.2.2.4	Spektren von Folgen	48
2.2.2.5	Spektrum abgetasteter Funktionen	51
2.2.2.6	Das Abtasttheorem	58
2.2.3	Kausale und analytische Signale	64
2.2.4	Zusammenfassung	73
2.3	Stochastische Folgen und Funktionen	75
2.3.1	Betrachtung im Zeitbereich	75
2.3.1.1	Einführung	75
2.3.1.2	Definitionen und grundlegende Beziehungen	76
2.3.1.3	Funktionen einer Zufallsvariablen	83
2.3.1.4	Erwartungswert, Charakteristische Funktion	87
2.3.1.5	Zwei Zufallsvariablen	90
2.3.1.6	Korrelation und Kovarianz	96
2.3.1.7	Zeitmittelwerte, Ergodische Prozesse	99
2.3.2	Betrachtung im Frequenzbereich	102
2.4	Literatur	106
<b>3</b>	<b>Systeme</b>	<b>109</b>
3.1	Systemeigenschaften	109
3.2	Beschreibung von linearen Systemen im Zeitbereich	116
3.2.1	Kennzeichnung durch die Sprungantwort	116
3.2.2	Kennzeichnung durch die Impulsantwort	120
3.2.3	Eine Stabilitätsbedingung	124
3.2.4	Zeitverhalten von linearen Systemen mit $\ell$ Eingängen und $r$ Ausgängen	126
3.3	Beschreibung von linearen Systemen im Frequenzbereich	127

3.3.1	Zeitinvariante Systeme . . . . .	127
3.3.2	Zeitvariante Systeme . . . . .	136
3.4	Beispiele . . . . .	138
3.4.1	Verzögerungsglied . . . . .	138
3.4.2	Angenäherte und exakte Differentiation . . . . .	139
3.4.3	Angenäherte und exakte Integration . . . . .	141
3.4.4	Mittelwertbildung über ein Fenster fester Breite . . . . .	143
3.4.5	System erster Ordnung . . . . .	144
3.5	Kausale, lineare, zeitinvariante Systeme . . . . .	146
3.5.1	Kausalität . . . . .	146
3.5.2	Passivität und Verlustfreiheit . . . . .	148
3.6	Reaktion eines linearen, zeitinvarianten Systems auf ein Zufalls- signal . . . . .	152
3.7	Bemerkungen zu nichtlinearen Systemen . . . . .	163
3.7.1	Reguläre Verzerrungen . . . . .	164
3.7.2	Beschreibung nichtlinearer Systeme . . . . .	168
3.7.3	Ein Verfahren zur Messung der Eigenschaften nichtlinearer Systeme . . . . .	172
3.7.4	Nichtreguläre nichtlineare Verzerrungen . . . . .	176
3.7.4.1	Übersteuerung . . . . .	176
3.7.4.2	Quantisierung . . . . .	178
3.7.4.3	Realer Multiplizierer . . . . .	179
3.7.5	Hystereseverzerrungen . . . . .	182
3.8	Literatur . . . . .	184
4	<b>Kausale Systeme, beschrieben durch gewöhnliche Differential- oder Differenzgleichungen</b> . . . . .	<b>185</b>
4.1	Zustandskonzept und Zustandsgleichungen . . . . .	185
4.2	Lineare, zeitinvariante Systeme . . . . .	187
4.2.1	Vorbemerkung . . . . .	187
4.2.2	Zustandsgleichungen, realisierende Basisstrukturen, Über- tragungsfunktionen . . . . .	192
4.2.2.1	Beispiele . . . . .	194
4.2.2.2	Systeme n-ter Ordnung . . . . .	197
4.2.2.3	Transformation von Zustandsvektoren . . . . .	210
4.2.3	Die Lösung der Zustandsgleichung im Zeitbereich . . . . .	215
4.2.3.1	Kontinuierliche Systeme . . . . .	215
4.2.3.2	Diskrete Systeme . . . . .	221
4.2.4	Die Lösung der Zustandsgleichung im Frequenzbereich . . . . .	224
4.2.4.1	Kontinuierliche Systeme . . . . .	224
4.2.4.2	Diskrete Systeme . . . . .	225
4.2.5	Ergänzende Betrachtungen diskreter Systeme . . . . .	230
4.2.5.1	Impuls- und Sprungantwort . . . . .	230
4.2.5.2	Stabilität . . . . .	231
4.2.5.3	Frequenzgang . . . . .	234
4.2.5.4	Mindestphasensysteme und Allpässe . . . . .	240
4.2.5.5	Nichtrekursive Systeme . . . . .	244

4.2.5.6	Systeme linearer Phase . . . . .	246
4.2.5.7	Charakteristische Frequenzgänge . . . . .	249
4.2.6	Passive Systeme . . . . .	253
4.2.7	Zusammenfassung . . . . .	261
4.2.8	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit . . . . .	267
4.2.9	Ergänzende Betrachtungen zur Stabilität linearer, zeit- invarianter Systeme . . . . .	275
4.2.9.1	Stabilitätsuntersuchung basierend auf den Zustands- variablen . . . . .	275
4.2.9.2	Graphische Stabilitätstests . . . . .	276
4.2.10	Anwendungen . . . . .	297
4.3	Lineare, zeitvariante Systeme . . . . .	311
4.3.1	Die Lösung der Zustandsgleichung . . . . .	312
4.3.1.1	Behandlung der homogenen Gleichungen . . . . .	312
4.3.1.2	Behandlung der inhomogenen Gleichungen . . . . .	320
4.4	Allgemeine Systeme . . . . .	323
4.4.1	Stabilitätsdefinition nach LYAPUNOV . . . . .	324
4.4.2	Die direkte Methode von LYAPUNOV . . . . .	330
4.5	Literatur . . . . .	341
<b>5</b>	<b>Lineare, kausale Systeme, beschrieben durch partielle Differen- tialgleichungen</b> . . . . .	<b>345</b>
5.1	Vorbemerkungen . . . . .	345
5.2	Homogene Leitungen . . . . .	346
5.2.1	Leitungsgleichungen . . . . .	346
5.2.2	Untersuchung des Frequenzverhaltens . . . . .	347
5.2.3	Untersuchung des Zeitverhaltens . . . . .	359
5.2.4	Wellenmatrizen . . . . .	365
5.2.4.1	Einführung . . . . .	365
5.2.4.2	Die Wellenquelle . . . . .	367
5.2.4.3	Eintorige Stoßstelle . . . . .	368
5.2.4.4	Zweitorige Stoßstelle, Streumatrix . . . . .	369
5.2.4.5	Kaskadenmatrix . . . . .	372
5.2.4.6	Beispiele . . . . .	374
5.3	Physikalische Systeme, die zur homogenen Leitung analog sind . . . . .	377
5.3.1	Die Wellengleichung . . . . .	377
5.3.2	Die Wärmeleitungsgleichung . . . . .	379
5.4	Literatur . . . . .	381
<b>6</b>	<b>Idealisierte, lineare, zeitinvariante Systeme</b> . . . . .	<b>383</b>
6.1	Einführung . . . . .	383
6.2	Verzerrungsfreie Systeme . . . . .	384
6.3	Impuls- und Sprungantworten idealisierter Systeme . . . . .	386
6.3.1	Verzerrung des Betragsfrequenzganges . . . . .	386
6.3.1.1	Idealisierter Tiefpaß . . . . .	387
6.3.1.2	Allgemeine Systeme linearer Phase . . . . .	391
6.3.1.3	Spezielle Verzerrungen des Betragsfrequenzganges . . . . .	398

6.3.1.4	Impulsantwort von Bandpässen . . . . .	405
6.3.2	Systeme mit Phasenverzerrung . . . . .	409
6.3.2.1	Reine Phasenverzerrung . . . . .	409
6.3.2.2	Tiefpässe mit Phasenverzerrung . . . . .	411
6.3.3	Allgemeine Verfahren zur Berechnung des Zeitverhaltens von Systemen . . . . .	414
6.4	Wechselschaltvorgänge . . . . .	419
6.4.1	Allgemeine Zusammenhänge . . . . .	419
6.4.2	Wechselschaltvorgänge in idealisierten Tiefpässen . . . . .	423
6.4.3	Wechselschaltvorgänge im idealisierten Bandpaß . . . . .	429
6.5	Kausale Systeme . . . . .	434
6.5.1	Vorbemerkung . . . . .	434
6.5.2	Beziehungen zwischen Real- und Imaginärteil des Frequenz- ganges eines kontinuierlichen Systems . . . . .	437
6.5.3	Beziehungen zwischen Dämpfung und Phase . . . . .	443
6.6	Literatur . . . . .	448
<b>7</b>	<b>Anhang</b> . . . . .	<b>451</b>
7.1	Einführung in die Distributionentheorie . . . . .	451
7.1.1	Lokal integrable Funktionen . . . . .	451
7.1.2	Die allgemeine Distribution . . . . .	453
7.2	Fourierintegrale . . . . .	457
7.2.1	Definition, Eigenschaften und Sätze . . . . .	457
7.2.2	Fouriertransformation von Distributionen . . . . .	458
7.3	Funktionentheorie . . . . .	465
7.3.1	Holomorphe Funktionen . . . . .	465
7.3.2	Potenzreihen . . . . .	466
7.3.3	Integration . . . . .	467
7.4	Z-Transformation . . . . .	469
7.4.1	Definition und Eigenschaften . . . . .	469
7.4.2	Die Rücktransformation . . . . .	474
7.5	Signalflußgraphen . . . . .	475
7.6	Literatur . . . . .	478
	<b>Namen- und Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>481</b>