

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Warum modulieren?	1
1.2	Was ist Modulation?	4
1.3	Übersicht	5
1.4	Lineare und nichtlineare Modulationsverfahren	7
1.5	Kurzbezeichnungen	8
2	Analoge Modulationsverfahren	13
2.1	Der Sinusträger und seine Beschreibung	14
2.2	Amplitudenmodulation	18
2.2.1	Einleitung	18
2.2.2	Theorie	19
2.2.2.1	Einleitung	19
2.2.2.2	Leistungsinhalt und Bandbreite	26
2.2.2.3	Trägerunterdrückung	27
2.2.2.4	Darstellung der Amplitudenmodulation mit Hilfe des analytischen Signals	31
2.2.3	Verfahren zur Modulation	34
2.2.3.1	Einleitung	34
2.2.3.2	Additive Mischung	34
2.2.3.3	Multiplikative Mischung	37
2.2.4	Verfahren zur Demodulation	38
2.2.4.1	Einleitung	38
2.2.4.2	Hüllkurvendemodulation (inkohärente De- modulation)	38

2.2.4.3	Kohärente Demodulation (Synchrondemodulation)	40
2.2.5	Einseitenbandmodulation (ESB)	43
2.2.5.1	Theorie	43
2.2.5.2	Modulation und Demodulation	48
2.2.6	Independent Sideband Modulation (ISB)	55
2.2.7	Restseitenbandmodulation (VSB)	56
2.2.8	Zeitfunktionen von amplitudenmodulierten Signalen	58
2.2.9	Einfluss von Verzerrungen	58
2.2.9.1	Lineare Verzerrungen	59
2.2.9.2	Nichtlineare Verzerrungen	62
2.2.10	Einfluss von Störsignalen	64
2.2.10.1	Störungen durch einen Sinusträger	65
2.2.10.2	Störungen durch Rauschen	66
2.3	Frequenzmodulation	69
2.3.1	Einleitung	69
2.3.2	Theorie der Frequenzmodulation	70
2.3.2.1	Zeitfunktion	70
2.3.2.2	Zeigerdiagramm der Frequenzmodulation .	72
2.3.2.3	Spektrum der Frequenzmodulation	74
2.3.2.4	Leistung und Bandbreite der Frequenzmodulation	76
2.3.3	Zeitfunktionen von frequenzmodulierten Signalen .	79
2.3.4	Modulator und Demodulator für Frequenzmodulation und Phasenmodulation	80
2.3.4.1	Modulation	80
2.3.4.2	Demodulation	85
2.3.5	Einfluss von Verzerrungen	92
2.3.5.1	Bandbegrenzung	92
2.3.5.2	Dämpfungs- und Phasenverzerrungen . . .	95
2.3.6	Einfluss von Störsignalen	97
2.3.6.1	Störungen durch Sinusträger	97
2.3.6.2	Störungen durch Rauschen	99
2.3.6.3	Preemphase und Deemphase	102
2.4	Phasenmodulation	106
2.4.1	Einleitung	106
2.4.2	Zeitfunktionen von phasenmodulierten Signalen . .	109
2.5	Quadraturamplitudenmodulation	110
2.6	Anwendungen	113
2.6.1	Überblick	113

2.6.2	Einige Detailbetrachtungen	113
2.6.2.1	Amplitudenmodulation	113
2.6.2.2	Einseitenbandmodulation	114
2.6.2.3	Restseitenbandmodulation	116
2.6.2.4	Frequenzmodulation	116
2.7	Übungsaufgaben	119
3	Digitale Modulationsverfahren	123
3.1	Einleitung	124
3.1.1	Allgemeines	124
3.1.2	Amplitudenumtastung (ASK)	126
3.1.3	Phasenumtastung (PSK)	127
3.1.4	Frequenzumtastung (FSK)	129
3.1.5	Amplituden- und Phasenumtastung (hybride Verfahren)	130
3.2	Grundlagen	131
3.2.1	Impulsformung	131
3.2.2	Spektrale Darstellung der Basisbandsignale	139
3.2.3	Transformation Basisbandsignal \rightarrow Bandpasssignal	142
3.2.4	Signal und Rauschen	145
3.2.5	Bandbreitenausnutzung	146
3.2.6	Soft-decision und Hard-decision	150
3.3	Amplitudenumtastung (ASK)	150
3.4	Phasenumtastung (PSK)	157
3.4.1	Binäre Phasenumtastung (BPSK)	158
3.4.2	Quaternäre Phasenumtastung (QPSK)	163
3.4.3	Offset-QPSK (OQPSK)	170
3.4.4	Minimum Shift Keying (MSK)	173
3.4.5	Höherwertige Phasenumtastung (M -PSK)	180
3.4.6	Differentiell codierte Phasenumtastung	185
3.4.7	$\pi/4$ -QPSK und $\pi/4$ -DQPSK	188
3.5	Frequenzumtastung (FSK)	192
3.6	Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)	204
3.7	Hybride Verfahren (Modulation von Amplitude und Phase)	210
3.7.1	Amplitude Phase Shift Keying (APSK)	210
3.7.2	Quadraturamplitudenumtastung (QAPSK)	211
3.7.3	Kombinierte Codierung und Modulation	219
3.7.4	Trellis-codierte Modulation (TCM)	221
3.8	Polybinär-Codierung	222
3.9	Synchronisationsverfahren	225
3.9.1	Einleitung	225

3.9.2	Trägerrückgewinnung	226
3.9.3	Symbolsynchronisation	229
3.9.4	Rahmensynchronisation	232
3.10	Mehrträgerverfahren	233
3.10.1	Einleitung	233
3.10.2	Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)	234
3.10.3	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex	238
3.11	Spread-spectrum-Verfahren	241
3.11.1	Was ist »Spread-spectrum«?	241
3.11.2	Übersicht	243
3.11.3	Direct-sequence Spread-spectrum (DS-SS)	244
3.11.4	Frequency-hopping Spread-spectrum (FH-SS)	250
3.11.5	Weitere Verfahren	254
3.11.6	Vergleich der verschiedenen Verfahren	254
3.12	Störungen	255
3.13	Anwendungen	258
3.13.1	Überblick	258
3.13.2	Einige Detailbetrachtungen	259
3.13.2.1	QPSK (Richtfunk)	259
3.13.2.2	$\pi/4$ -DQPSK (TETRA)	260
3.13.2.3	GMSK (HIPERLAN)	261
3.13.2.4	16-QAPSK (V.32)	261
3.13.2.5	64-QAPSK und 256-QAPSK (ITU-T J.83 B)	262
3.13.2.6	32-TCM (V.32)	263
3.13.2.7	Mehrträgerverfahren	263
3.14	Übungsaufgaben	265
4	Pulsmodulationsverfahren	269
4.1	Abtastvorgang	269
4.1.1	Einleitung	269
4.1.2	Idealer Abtaster	270
4.1.3	Realer Pulsträger	272
4.1.4	Realer Abtaster	276
4.1.5	Abtasttheorem	278
4.1.6	Einige Beispiele	281
4.2	Pulsmodulationsverfahren ohne Codierung	283
4.2.1	Pulsamplitudenmodulation	283
4.2.1.1	Bipolare und unipolare Pulsamplitudenmodulation	284
4.2.1.2	Arten der Abtastung bei Pulsamplitudenmodulation	287

4.2.1.3	Erzeugung und Demodulation	293
4.2.1.4	Pulsamplitudenmodulation bei TDMA	295
4.2.2	Pulsfolgefrequenz- und Pulsphasenmodulation	300
4.2.2.1	Zeitfunktion und Frequenzspektrum	300
4.2.2.2	Erzeugung und Demodulation	306
4.2.2.3	Anwendungen	307
4.2.3	Pulsdauermodulation	309
4.2.3.1	Zeitfunktion und Frequenzspektrum	310
4.2.3.2	Erzeugung und Demodulation	312
4.3	Pulsmodulation mit Codierung (Pulsmodemodulation)	314
4.3.1	Prinzip der Pulsmodemodulation	314
4.3.2	Abtast-Halte-Vorgang	316
4.3.3	Quantisierungsgeräusch bei PCM	319
4.3.4	Kompanierung	325
4.3.5	Codier- und Decodierverfahren	333
4.3.6	Auswirkung von Bitfehlern	334
4.4	Prädiktive Codierung	335
4.4.1	Einleitung	335
4.4.2	Deltamodulation	336
4.4.2.1	Einleitung	336
4.4.2.2	Lineare Deltamodulation (LDM)	338
4.4.2.3	Delta-Sigma-Modulation	340
4.4.2.4	Adaptive Deltamodulation (ADM)	342
4.4.3	Differenz-Pulsmodemodulation	343
4.5	Anwendungen	345
4.5.1	Überblick	345
4.5.2	Einige Detailbetrachtungen	346
4.5.2.1	Pulsphasenmodulation	346
4.5.2.2	Pulsdauermodulation	346
4.5.2.3	Pulsmodemodulation	347
4.6	Übungsaufgaben	350
Anhang		353
A Einige Detailbetrachtungen		355
A.1	Bessel-Funktion	355
A.2	Error-Funktion und Gauß'sches Fehlerintegral	356
A.3	Berechnung des Spektrums von abgetasteten Signalen	358
A.3.1	Spektrum bei idealer Abtastung	358
A.3.2	Spektrum des Rechteckimpulses	360
A.3.3	Spektrum bei Abtastung mit Rechteckimpulsen	361

A.4 Abtastung von Bandpasssignalen	362
B Formelzeichen	367
C Abkürzungen	371
D Musterlösungen	375
D.1 Aufgaben zu Kapitel 2	375
D.2 Aufgaben zu Kapitel 3	378
D.3 Aufgaben zu Kapitel 4	379
Literaturverzeichnis	381
Stichwortverzeichnis	389