

Martin Werner

Nachrichten- Übertragungs- technik

**Analoge und digitale Verfahren
mit modernen Anwendungen**

Mit 269 Abbildungen und 40 Tabellen

Herausgegeben von Otto Mildenberger

Studium Technik



Inhaltsverzeichnis

Hinweis: Mit * gekennzeichnete Abschnitte sind als vertiefende Ergänzungen gedacht oder enthalten aufwändige Rechnungen. Sie können ohne Verlust an Verständlichkeit der weiteren Abschnitte übersprungen werden.

1	Einführung	1
1.1	Historischer Überblick.....	1
1.2	Kommunikationsmodell	3
1.3	Nachrichtenkanäle	4
1.4	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.....	8
1.4.1	Einführung	8
1.4.2	Telegraphengleichung*	10
1.4.2.1	Herleitung und Lösung der Telegraphengleichung*	10
1.4.2.2	Lösung der Telegraphengleichung für sinusförmige Zeitabhängigkeit*	13
1.4.2.3	Leitungsabschluss und Reflexionen*	14
2	Nachrichtenquellen	19
2.1	Einführung.....	19
2.2	Audiosignalquellen.....	20
2.2.1	Hörschwelle	20
2.2.2	Mikrofon	21
2.2.3	Sprachtelefonie, Hörrundfunk, Compact Disc	21
2.2.4	Digitale Audioquellen.....	22
2.3	Bild- und Videosignalquellen, Multimedia	22
2.3.1	Überblick	22
2.3.2	Analoges Fernsehen.....	23
2.3.2.1	Schwarz-Weiß-Fernsehen	23
2.3.2.2	Farbfernsehen	25
2.3.3	Fernkopieren	26
2.3.4	Bildtelefonie und Video-Konferenz.....	27
2.3.5	Digitale Bilder, digitales Fernsehen und Video	27
2.4	Analog-Digital-Umsetzung	29
2.4.1	Einführung	29
2.4.2	Abtasttheorem.....	30
2.4.3	Quantisierung.....	32
2.4.4	Quantisierungsgeräusch	36
2.4.5	Pulse-Code-Modulation in der Telefonie.....	40
2.4.5.1	Abschätzung der Wortlänge	40
2.4.5.2	Kompandierung	41
2.4.5.3	13-Segment-Kennlinie	42
2.4.5.4	DPCM und ADPCM	46
2.4.6	Delta-Sigma-A/D-Umsetzer*	47
2.5	Aufgaben zu Abschnitt 2	52
2.5.1	Aufgaben.....	52
2.5.2	Lösungen.....	53

3	Amplitudenmodulation	54
3.1	Analoge Modulation eines Sinusträgers	54
3.2	Prinzip der Amplitudenmodulation	56
3.3	Gegentakt-Modulator und Ring-Modulator	58
3.4	Zweiseitenband-AM mit Träger	59
3.5	Kohärente AM-Demodulation	62
3.6	AM-Demodulation mit dem Hüllkurvendetektor	63
3.7	Einseitenband-AM	63
3.7.1	Filtermethode	64
3.7.2	Phasenmethode	65
3.8	Restseitenband-AM	67
3.9	Quadraturamplitudenmodulation	68
3.10	Anwendungsbeispiele	70
3.10.1	Trägerfrequenzsystem in der Telefonie	70
3.10.2	Hörrundfunkempfänger	71
3.10.3	Zweiseitenband-AM zur Stereorundfunkübertragung	74
3.11	Einfluss von Verzerrungen	76
3.11.1	Lineare Verzerrungen	76
3.11.2	Einfluss nichtlinearer Kennlinien	77
3.11.2.1	Kubische Parabel	77
3.11.2.2	Kreuzmodulation	80
3.12	Störungen durch Rauschsignale	81
3.12.1	Einführung	81
3.12.2	Zweiseitenband-AM ohne Träger	82
3.12.3	Zweiseitenband mit Träger	85
3.13	Tiefpass- und Bandpass-Prozesse*	85
3.14	Aufgaben zu Abschnitt 3	88
3.14.1	Aufgaben	88
3.14.2	Lösungen	92
4	Frequenz- und Phasenmodulation	100
4.1	Einführung	100
4.2	Zeigerdiagramm	103
4.3	Spektrum von FM-Signalen	103
4.4	FM-Demodulation	108
4.4.1	Konventioneller FM-Empfänger	108
4.4.2	FM-Demodulation mit dem Phasenregelkreis	111
4.5	Störungen durch Rauschsignale	112
4.6	Schwellwerteffekt und Dimensionierungsbeispiel	115
4.6.1	FM-Schwelle	115
4.6.2	Dimensionierungsbeispiel	116
4.7	Preemphase und Deemphase	118
4.8	Anmerkungen zur Bewertung von Modulationsverfahren	120
4.9	Phasenregelkreis*	121
4.10	SNR-Abschätzung für die FM- und PM-Demodulation*	126
4.11	Aufgaben zu Abschnitt 4	129
4.11.1	Aufgaben	129
4.11.2	Lösungen	132

5	Rauschen in Kommunikationssystemen	138
5.1	Einführung.....	138
5.2	Rauschen und Kettenschaltungen von Verstärkern	139
5.2.1	Äquivalente Rauschbandbreite	139
5.2.2	Rauschquelle bei angepasster Last.....	140
5.2.3	Rauschen an Verstärkern	141
5.2.4	Kettenschaltung von Verstärkern.....	143
5.2.5	Signalübertragung über eine Leitung mit Zwischenverstärkern	144
5.3	Beispiel Satellitenkommunikation.....	151
5.4	Aufgaben zu Abschnitt 5	156
5.4.1	Aufgaben.....	156
5.4.2	Lösungen.....	156
6	Digitale Übertragung im Basisband.....	158
6.1	Einführung.....	158
6.2	Scrambler	159
6.3	Leitungscodierung	163
6.3.1	Binäre Leitungscodes.....	163
6.3.2	Ternäre Leitungscodes.....	165
6.4	Aufgaben zu Abschnitt 6.1 bis 6.3	168
6.4.1	Aufgaben.....	168
6.4.2	Lösungen.....	170
6.5	Optimalempfänger für bekannte Signale in AWGN.....	173
6.5.1	Übertragungsmodell.....	173
6.5.2	Trägersignale	173
6.5.2.1	Unipolare und bipolare Übertragung.....	174
6.5.2.2	Mehrpegelübertragung	175
6.5.2.3	Orthogonale Übertragung.....	176
6.5.3	Matched-Filter-Empfänger	177
6.5.4	Optimalempfänger für uni- und bipolare Signale in AWGN.....	181
6.5.5	Bitfehlerwahrscheinlichkeiten	185
6.5.5.1	Bitfehlerwahrscheinlichkeit für die uni- und bipolare Übertragung.....	185
6.5.5.2	Bitfehlerwahrscheinlichkeit für die M -stufige PAM-Übertragung.....	188
6.5.5.3	Bitfehlerwahrscheinlichkeit für die Übertragung orthogonaler Signale.....	190
6.5.6	Vergleich von PAM und orthogonaler Übertragung.....	194
6.6	Übertragung im Tiefpass-Kanal	196
6.6.1	Verzerrungen im Tiefpass-Kanal.....	196
6.6.2	Nyquist-Bandbreite und Impulsformung	198
6.6.3	Mehrstufige Pulsamplitudenmodulation	201
6.6.4	Kanalkapazität	203
6.6.5	Entzerrer	203
6.7	Leistungsdichtespektren digitaler Basisbandsignale*	209
6.7.1	Mittlere AKF und mittleres LDS*	209
6.7.2	Digitale Basisbandsignale ohne Gedächtnis*	211
6.7.3	Digitale Basisbandsignale mit Gedächtnis*.....	214
6.7	RC-Tiefpass als Ersatz für ein Matched-Filter*	217

6.8	Aufgaben zu den Abschnitten 6.5 und 6.6.....	219
6.8.1	Aufgaben	219
6.8.2	Lösungen	221
7	Digitale Modulation mit Sinusträger.....	225
7.1	Einführung.....	225
7.2	Äquivalentes Tiefpass-Signalmodell.....	225
7.3	Digitale Quadraturamplitudenmodulation (QAM).....	228
7.3.1	Grundprinzip der digitalen QAM	228
7.3.2	Ein- Austastung (OOK).....	230
7.3.3	Binäre Phasenumtastung (BPSK).....	231
7.3.4	Amplitudenumtastung (ASK).....	231
7.3.5	Quarternäre Phasenumtastung (QPSK).....	233
7.3.6	Höherstufige digitale Modulationsverfahren (M-QAM, M-PSK)	236
7.3.7	Differenzielle Phasenumtastung (DPSK).....	238
7.3.8	Frequenzumtastung mit stetiger Phase (CPFSK).....	241
7.3.8.1	CPFSK-Signal.....	241
7.3.8.2	Spektren von CPFSK-Signalen.....	245
7.3.8.3	Empfänger für CPFSK-Signale.....	247
7.3.9	Minimum-Shift Keying (MSK).....	248
7.3.10	Gaussian Minimum-Shift Keying (GMSK).....	254
7.4	Trägerregelung zur kohärenten Demodulation.....	259
7.4.1	Trägerrückgewinnung mit quadrierendem Regelkreis.....	259
7.4.2	Trägerrückgewinnung mit der Costas-Schleife.....	260
7.5	Aufgaben zu Abschnitt 7.....	260
7.5.1	Aufgaben	260
7.5.2	Lösungen	262
8	Digitale Modulation für den Mobilfunk.....	264
8.1	Mobilfunkkanal	264
8.2	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)	268
8.2.1	Multiträgersystem.....	269
8.2.2	OFDM_Übertragung für WLAN.....	275
8.2.3	OFDM-Übertragung für DVB-T	276
8.3	Code Division Multiple Access (CDMA).....	282
8.3.1	Spreizbandtechnik für den Vielfachzugriff.....	282
8.3.2	Spreizbandtechnik mit RAKE-Empfänger	287
8.4	Berechnung der Empfangsgrundimpulse zur OFDM-Übertragung*.....	290
8.4.1	Ohne Schutzabstand*.....	290
8.4.2	Berechnung der Empfangsgrundimpulse mit Schutzabstand*.....	292
8.5	Aufgaben zu Abschnitt 8.....	294
8.5.1	Aufgaben	294
8.5.2	Lösungen	294
	Formelzeichen und Symbole	296
	Abkürzungen und Akronyme	300
	Literaturverzeichnis.....	303
	Sachwortverzeichnis.....	308