

Erich Pehl

Digitale und analoge Nachrichtenübertragung

Signale, Codierung, Modulation, Anwendungen

2., überarbeitete und erweiterte Auflage



Hüthig Verlag Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

Einführung	XV
1 Information und Nachricht	1
1.1 Diskrete Informationsquellen und Kanäle	1
1.1.1 Entscheidungsgehalt, Informationsentropie	1
1.1.2 Verbundentropie, bedingte Entropie	6
1.1.3 Kanalkapazität	9
1.2 Kontinuierliche Informationsquellen und Kanäle	11
1.2.1 Entropie, Verbundentropie, bedingte Entropie	11
1.2.2 Kanalkapazität eines gestörten Kanals	14
Übungsaufgaben	20
2 Signale und Rauschen	21
2.1 Signaldarstellung	21
2.1.1 Periodische Signale	21
2.1.2 Nichtperiodische Signale	24
2.1.2.1 Determinierte Signale	24
2.1.2.2 Nichtdeterminierte Signale	26
2.2 Rauschen	28
2.2.1 Rauschquellen	28
2.2.2 Rauschkenngrößen	30
2.3 Logarithmisches Maß, Pegel	32
2.4 Übertragungsverhalten linearer Systeme	33
Übungsaufgaben	35
3 Signalverzerrungen	37
3.1 Lineare Verzerrungen	37
3.2 Nichtlineare Verzerrungen	41
3.2.1 Reihenentwicklung der Systemkennlinie	41
3.2.2 Entstehung von Oberschwingungen	42
3.2.3 Entstehung von Kombinationsfrequenzen	44
Übungsaufgaben	45

4	Allgemeines Schema einer Nachrichtenübertragung	47
4.1	Analoge und digitale Nachrichtenübertragung	47
4.2	Vielfachübertragung (Multiplextechnik)	49
4.2.1	Frequenzmultiplexverfahren	49
4.2.2	Zeitmultiplexverfahren	51
5	Übertragungsstrecke	53
5.1	Leitung als Übertragungsstrecke	53
5.1.1	Leitungsgleichungen	53
5.1.2	Reflexionsfaktor	58
5.1.3	Eingangsimpedanz	60
5.1.4	Stehende Wellen	62
5.1.5	Näherungsbeziehungen für γ und Z_L	64
5.2	Freier Raum als Übertragungsstrecke	68
	Übungsaufgaben	75
6	Amplitudenmodulation eines Sinusträgers	79
6.1	Signalbeschreibung	79
6.1.1	Zweiseitenbandmodulation mit Träger	79
6.1.2	Zweiseitenbandmodulation ohne Träger	84
6.1.3	Einseitenbandmodulation	85
6.1.3.1	Einseitenbandmodulation mit Träger	85
6.1.3.2	Einseitenbandmodulation mit unterdrücktem Träger	87
6.1.4	Restseitenbandmodulation	87
6.1.5	Quadraturamplitudenmodulation	89
6.2	Erzeugung einer Amplitudenmodulation	91
6.2.1	Zweiseitenband-AM mit Träger	91
6.2.2	Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger	94
6.2.3	Einseitenband-Amplitudenmodulation	98
6.2.3.1	Filtermethode	98
6.2.3.2	Phasenmethode	98
6.3	Demodulation einer Amplitudenmodulation	100
6.3.1	Inkohärente Demodulation (Hüllkurvendemodulation)	100
6.3.2	Kohärente Demodulation (Synchrondemodulation)	102
6.3.2.1	Zweiseitenband-AM mit Träger	103
6.3.2.2	Zweiseitenband-AM ohne Träger	103
6.3.2.3	Einseitenband-AM ohne Träger	105
6.4	Verfahren der Bandpass-Tiefpass-Darstellung von Signalen (Verfahren der komplexen Einhüllenden)	105
	Übungsaufgaben	109

7	Winkelmodulation (Frequenz- und Phasenmodulation)	113
7.1	Signaldarstellung im Zeit- und im Frequenzbereich	113
7.1.1	Frequenzmodulation	113
7.1.2	Phasenmodulation	116
7.1.3	Frequenzmodulation mit Preemphase	122
7.2	Erzeugung einer Winkelmodulation	123
7.2.1	Direkte Frequenzmodulation	123
7.2.2	Indirekte Frequenzmodulation	125
7.3	Demodulation einer Winkelmodulation	125
7.3.1	Demodulation über eine Umwandlung in eine Amplitudenmodulation	125
7.3.2	Demodulation über eine Umwandlung in eine Pulsmodulation	132
7.3.3	PLL-Demodulator	134
7.4	Störverhalten der Frequenzmodulation	136
	Übungsaufgaben	137
8	Analoge Modulation eines Pulsträgers	141
8.1	Abtasttheorem	141
8.2	Pulsamplitudenmodulation	142
8.2.1	Signalbeschreibung	142
8.2.2	Signalerzeugung und -demodulation	149
8.3	PAM-Zeitmultiplex	151
8.4	Pulszeitmodulation	154
8.4.1	Pulsdauermodulation	154
8.4.1.1	Signalbeschreibung	154
8.4.1.2	Signalerzeugung	155
8.4.1.3	Demodulation	158
8.4.2	Pulsfrequenz- und Pulsphasenmodulation	159
8.4.2.1	Signalbeschreibung	159
8.4.2.2	Signalerzeugung	160
8.4.2.3	Demodulation	161
	Übungsaufgaben	162
9	Digitale Modulation im Basisband (Pulsmodulation und Deltamodulation)	165
9.1	Pulsmodulation	165
9.1.1	Signalerzeugung und Demodulation	165
9.1.2	Codierverfahren	173
9.1.3	PCM-Zeitmultiplex	174

X	Inhaltsverzeichnis
9.1.3.1	Signalbündelung 174
9.1.3.2	Übertragungsbandbreite 175
9.1.3.3	PCM-Systeme 177
9.2	Differenz-Pulscodemodulation 179
9.3	Deltamodulation 181
9.4	Signalregenerierung 182
10	Übertragung digitaler Signale 185
10.1	Codierung 185
10.2	Taktsynchronisation 188
10.2.1	Bitsynchronisation 188
10.2.2	Wortsynchronisation 189
10.2.3	Rahmensynchronisation 190
10.3	Verwürfelung (Scrambling) 191
10.3.1	Verwürfelung mit einer Pseudozufallsfolge 191
10.3.2	Verwürfelung mit Selbstsynchronisation 195
10.4	Nyquist-Übertragungsbedingung 197
10.5	Übertragungsbandbreite 199
10.5.1	Nyquist-Bandbreite 199
10.5.2	\cos^2 -Roll-off-Filter 200
10.5.3	Gauß-Filter 202
10.6	Mehrpegel-Basisbandübertragung 203
10.7	Korrelative Codierung, Partial-response-Verfahren 203
10.7.1	Duobinärtechnik 204
10.7.2	Modifizierte Duobinärtechnik 207
10.7.3	Vorcodierung 210
10.7.3.1	Vorcodierung bei Duobinärsignalen 210
10.7.3.2	Vorcodierung bei modifizierten Duobinärsignalen 211
10.7.4	Fehlererkennung 212
10.7.5	Verallgemeinertes Partial-response-Verfahren 213
10.7.6	Partial-response-Verfahren für M-wertige Signale 214
10.8	Augendiagramm 215
10.9	Kanalentzerrung (Equalization) 217
10.10	Optimale Verarbeitung der Empfangssignale (Optimalfilter, Korrelator) 218
10.11	Multiplextechnik 223
10.11.1	Plesiochrone Digitale Hierarchie PDH 223
10.11.2	Synchrone Digitale Hierarchie SDH 225

Inhaltsverzeichnis	XI
10.11.3 Asynchroner Transfer Modus ATM	231
Übungsaufgaben	234
11 Tastung eines sinusförmigen Trägers durch digitale Signale	235
11.1 Amplitudenumtastung	236
11.2 Frequenzumtastung	239
11.3 Phasenumtastung	242
11.3.1 2-PSK-Verfahren	242
11.3.2 4-PSK-Verfahren	245
11.3.3 M-PSK	249
11.3.4 Phasendifferenzumtastung	251
11.3.5 Offset-QPSK	254
11.4 Verfahren mit kontinuierlichem Phasenübergang (MSK-Verfahren, GMSK-Verfahren)	256
11.5 Amplituden-Phasen-Umtastung, Quadraturamplitudenmodulation	266
11.6 Trägerrückgewinnung	269
11.6.1 Quadierschleife (Frequenzverdopplungsschleife)	269
11.6.2 Costas-Schleife	272
11.7 Störabstand, Bitfehlerwahrscheinlichkeit, Bandbreite	273
Übungsaufgaben	277
12 Bitfehlererkennung und -korrektur	279
12.1 Blockcodierung und Paritätsprüfung	279
12.2 Fehlerkorrigierende zyklische Codes	286
12.3 Bündelfehler	295
12.3.1 Erkennung von Bündelfehlern	295
12.3.2 Codespreizung (Interleaving)	296
12.4 Faltungscodes	297
12.4.1 Codierung	297
12.4.1.1 Baumdiagramm	300
12.4.1.2 Trellisdiagramm	302
12.4.1.3 Zustandsdiagramm	303
12.4.2 Decodierung	303
12.4.2.1 Hard- und Soft-Decision-Technik	303
12.4.2.2 Entscheidungsgewicht bei der Decodierung	305
12.4.2.3 Viterbi-Decodierer	306
Übungsaufgaben	310

13	Richtfunk	313
13.1	Übertragungsschema	313
13.2	Erforderliche Sendeleistung	313
13.3	Abweichungen von der Freiraumausbreitung	316
13.3.1	Mehrwegeausbreitung	316
13.3.2	Beugung des Funkstrahls	317
13.3.3	Atmosphärische Dämpfung	318
13.4	FM-Richtfunk und Trägerfrequenztechnik	318
13.5	Digitaler Richtfunk mit PCM	324
	Übungsaufgaben	326
14	Satellitenfunk	329
14.1	Einführung	329
14.2	Vielfachzugriff zum Satellitentransponder	329
14.2.1	Vielfachzugriff im Frequenzmultiplex	329
14.2.1.1	FDMA mit Mehrkanalträgern	329
14.2.1.2	FDMA mit Einzelkanalträgern	330
14.2.2	Vielfachzugriff im Zeitmultiplex	330
14.2.2.1	TDMA mit konstanter Rahmenlänge	331
14.2.2.2	Offene TDMA-Systeme	331
14.2.3	Vielfachzugriff im Codemultiplex	333
14.2.4	Vielfachzugriff im Raummultiplex	334
14.2.5	Vielfachzugriff im Polarisationsmultiplex	334
14.3	Satellitenübertragungsstrecke	335
	Übungsaufgaben	339
15	Optische Nachrichtenübertragung	341
15.1	Lichtwellenleiter	341
15.1.1	Mehrmoden-Stufenprofilfaser	341
15.1.2	Mehrmoden-Gradientenfaser	344
15.1.3	Einmodenfaser	345
15.2	Optische Quellen	346
15.2.1	Lumineszenzdioden	346
15.2.2	Laserdioden	346
15.3	Optische Detektoren	347
15.3.1	PIN-Fotodioden	347
15.3.2	Lawinenfotodioden	348
15.4	Glasfaserverstärker	349

Inhaltsverzeichnis	XIII
15.5 Wellenlängenmultiplex	350
15.6 Solitonensysteme	353
15.7 Übertragungsverfahren	353
15.7.1 Analoge und digitale Übertragung	353
15.7.2 Inkohärente Übertragung	354
15.7.3 Kohärente Übertragung	354
15.8 Signalstörungen	357
15.8.1 Signalverzerrungen	357
15.8.2 Rauschen	358
16 Mobilfunk	359
16.1 Einführung	359
16.2 Eigenschaften des Mobilfunkkanals	360
16.3 Vielfachzugriffsverfahren	366
16.3.1 Vielfachzugriff im Frequenzmultiplex, FDMA	366
16.3.2 Vielfachzugriff im Zeitmultiplex, TDMA	367
16.3.3 Vielfachzugriff im Codemultiplex, CDMA	367
16.3.4 Vielfachzugriff im Raummultiplex, SDMA	367
16.3.5 Hybride Verfahren	368
16.4 Mobilfunksysteme	368
16.4.1 C-Tel (C-Netz)	368
16.4.1.1 Netzaufbau	368
16.4.1.2 Datenübertragung	369
16.4.1.3 Verkehrsablauf	373
16.4.2 GSM-Mobilfunk (D-Netz)	374
16.4.2.1 Netzaufbau	374
16.4.2.2 Funknetzaufbau	376
16.4.2.3 Frequenzbereiche	377
16.4.2.4 Kanalaufteilung	377
16.4.2.5 Physikalische und logische Kanäle	378
16.4.2.6 Datenübertragung	380
16.4.2.7 Fehlerschutzcodierung	381
16.4.2.8 Datenverkehr im Netz	382
16.4.2.9 Aufbau einer GSM-Mobilstation	384
16.4.3 Weiterentwicklungen von GSM (HSCSD, GPRS, EDGE)	384
16.4.4 CDMA-Mobilfunk, IS-95-System	387
16.4.4.1 CDMA-Übertragung	387
16.4.4.2 IS-95-System	391
16.4.4.3 UMTS-Netz	393
16.4.4.4 Migration zu UMTS	394

16.4.4.5 CDMA-Simulation mit dem beiliegenden Programm "CommSim"	395
16.4.4.6 Professioneller Mobilfunk (Bündelfunk)	396
16.4.4.7 Satellitenmobilfunk	405
17 Digitaler Hörrundfunk DAB	407
17.1 Überblick	407
17.2 Quellencodierung	409
17.3 Kanalcodierung	410
17.4 Fehlerverschleierung (Concealment)	412
17.4.1 Stummschaltung	412
17.4.2 Signalwiederholung	412
17.4.3 Links-Rechts-Ersatz	413
17.5 DAB-Decodierer	414
17.6 Übertragungsverfahren COFDM	415
17.7 Gleichwellentechnik	418
18 Erläuterung zur beigefügten Software	421
18.1 Programm "CommSim"	421
18.1.1 Beschreibung des Programms	421
18.1.2 Installation von "CommSim"	422
18.1.3 Bedienung des Programms	422
18.2 Programm "LEITUNG"	423
18.2.1 Beschreibung	423
18.2.2 Installation von "LEITUNG"	424
18.2.3 Bedienung des Programms	424
Anhang	427
Lösungen zu den Übungsaufgaben	427
Glossar	465
Verwendete Formelzeichen	469
Trigonometrische Formeln	471
Literatur	473
Stichwortverzeichnis	477