

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	v
1	Informationstheorie	1
1.1	Quellen und Senken	2
1.2	Kanäle	7
1.2.1	Diskrete Kanäle	7
1.2.2	Zeit- und wertkontinuierlicher Kanal bei additivem Rauschen, Gaußscher Kanal	12
	Übungsaufgaben	16
2	Signale und Systeme	19
2.1	Determinierte Signale	20
2.1.1	Fourier-Analyse	20
2.1.2	Fourier-Transformation	23
2.1.2.1	Sätze der Fourier-Transformation	27
2.1.3	Laplace-Transformation	27
2.1.4	Zeitmittelwerte, Korrelationsfunktion und spektrale Leistungsdichte determinierter Signale	31
2.2	Zufallssignale	35
2.2.1	Diskrete Zufallssignale	36
2.2.2	Kontinuierliche Zufallssignale	41
2.2.3	Zeitmittelwerte, Korrelationsfunktion und spektrale Leistungsdichte von Zufallssignalen	45
2.3	Lineare Systeme	49
2.3.1	System-Übertragungsfunktion	52
2.3.2	Impulsantwort	53
2.3.3	Faltungsintegral	56
2.3.4	Ideale Übertragung, ideales Tiefpaßsystem, ideales Bandpaßsystem	57
2.3.5	Systemanalyse	62

2.4	Abtastsysteme	66
2.4.1	Abtastung, Abtasttheorem	67
2.4.2	Zeitdiskrete Signale und Systeme, Diskrete Fourier- Transformation, z-Transformation	71
	Übungsaufgaben	76
3	Zweipol- und Vierpol-Netzwerke	81
3.1	Zweipole	82
3.1.1	Zweipol- Impedanz- und Admittanzfunktionen, komplexe Frequenz	82
3.1.2	Zweipolfunktionen in der komplexen Ebene	83
3.1.3	Reaktanz-Zweipole	86
3.2	Vierpole	90
3.2.1	Vierpolgleichungen in Leitwertform	91
3.2.2	Vierpolgleichungen in Widerstandsform	92
3.2.3	Vierpolgleichungen in hybrider Form	93
3.2.4	Vierpolgleichungen in Kettenform	94
3.2.5	Theorie der homogenen verlustbehafteten Doppelleitung, Vierpolgleichungen in Wellenparameterform	96
3.2.5.1	Frequenzgang der Wellenparameter	101
3.2.5.2	Wellenparameter des übertragungssymmetrischen Vierpols, reflexionsfeier Abschluß	105
3.2.6	Vierpol-Übertragungsfunktion, Dämpfungsfaktor	108
3.2.7	Logarithmierte Größen, logarithmische Darstellung	112
3.2.7.1	Logarithmische Maße	112
3.2.7.2	Darstellung einer Übertragungsfunktion mit dem Bode- Diagramm	114
3.2.8	Anpassung	116
3.2.8.1	Wirkleistungsanpassung	116
3.2.8.2	Scheinleistungsanpassung	118
3.2.9	Vierpol-Betriebsgrößen	119
3.2.9.1	Komplexes Betriebsdämpfungsmaß	119
3.2.9.2	Reflexionsfaktor, Stoßfaktor, Echofaktor	122
3.3	Passive Vierpol-Komponenten	125
3.3.1	Technische Ausführung metallischer Leitungen	125
3.3.1.1	Symmetrische Leitungen, Nebensprechen	125
3.3.1.2	Koaxiale Leitungen	132
3.3.2	Übertrager	134
3.3.3	Wellenparameterfilter	136
3.3.3.1	Normtiefpaß-Halbglied	138
3.3.3.2	Filterdimensionierung mit Hilfe der Frequenztransformation	140
3.3.3.3	Grund-Filterketten	142

3.3.3.4	Betriebsverhalten von Filterketten	142
3.3.3.5	Weichen	144
3.3.4	Betriebsparameterfilter	144
3.3.4.1	Normierter Butterworth-Tiefpaß (Potenz-Tiefpaß)	147
3.3.4.2	Normierter Tschebyscheff-Tiefpaß	150
3.3.4.3	Tiefpaß-Filter mit wählbaren Dämpfungs-Nullstellen und Sperrstellen	155
3.3.4.4	Frequenztransformation	155
3.3.5	Passive Entzerrer	157
3.3.5.1	Passive Amplitudenentzerrer	157
3.3.5.2	Passive Gruppenlaufzeitentzerrer	159
3.4	Aktive Vierpol-Komponenten	160
3.4.1	NF-Kleinsignal-Verstärker	160
3.4.1.1	Kleinsignalparameter, Ersatzbilder	163
3.4.1.2	Verstärker-Grundsaltungen	165
3.4.1.3	Gegenkopplung	171
3.4.2	Großsignal-Verstärker	173
3.4.2.1	A-Verstärker	173
3.4.2.2	B-Verstärker	174
3.4.3	Operationsverstärker	175
3.4.4	Aktive Betriebsparameterfilter	183
3.4.4.1	Synthese aktiver Filter (Leap-Frog-Verfahren)	183
3.4.5	Aktive Entzerrer	187
3.4.5.1	Linearer Dämpfungsentzerrer	187
3.4.5.2	Linearer Gruppenlaufzeitentzerrer	189
3.4.5.3	Echoentzerrer, Transversalentzerrer	190
3.4.6	Schalter-Kondensator-Filter (Switched-Capacity-Filter)	193
	Übungsaufgaben	196
4	Hochfrequenztechnik	201
4.1	Elektromagnetische Wellen und Felder	201
4.1.1	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im leeren Raum, Wellentypen	205
4.1.1.1	Poyntingscher Vektor	205
4.1.2	Ebene Wellen	206
4.1.3	Polarisation, duale Polarisation	209
4.1.4	Reflexions- und Brechungsgesetze ebener Wellen	211
4.1.5	Skineffekt	212
4.2	Passive Komponenten der HF-Technik	213
4.2.1	Schwingkreise	214
4.2.1.1	Reihen-Schwingkreis	214
4.2.1.2	Parallel-Schwingkreis	218

4.2.2	Schwingquarze	221
4.2.3	Kopplungsbandfilter	224
4.2.4	HF-Leitungen	229
4.2.4.1	Stromverdrängung bei der Doppelleitung, Bereich IV	230
4.2.4.2	Dielektrische Verluste bei der Doppelleitung, Bereich V	231
4.2.4.3	Verlustlose Doppelleitung	232
4.2.4.4	Leitungsdiagramme (Kreisdiagramme)	238
4.2.4.5	Streifenleitungen	246
4.2.4.6	Hohlleiter	248
4.2.4.7	Wellengröße und Streumatrix	253
4.2.5	Komponenten aus Leitungstücken	256
4.2.5.1	$(\lambda/4)$ -Transformator	256
4.2.5.2	Impedanz-Transformation mit inhomogenen Leitungen	257
4.2.5.3	Zusammenschaltung von koaxialer und erdsymmetrischer Doppelleitung	258
4.2.5.4	Richtkoppler	259
4.2.5.5	Leitungsresonatoren	260
4.2.5.6	Mikrowellenfilter	262
4.2.6	Gyromagnetische Komponenten	263
4.2.6.1	Zirkulator, Richtungsleitung	264
4.3	Aktive Komponenten der HF-Technik	265
4.3.1	Ersatzbilder bipolarer Transistoren	265
4.3.2	Ersatzbilder von HF-Feldeffekttransistoren (FET)	267
4.3.3	HF-Kleinsignalverstärker	271
4.3.3.1	RC-Verstärker	271
4.3.3.2	Schwingkreisverstärker	272
4.3.3.3	Bandfilterverstärker (Mehrkreisverstärker)	276
4.3.4	Rauscharme Kleinsignal-Transistorverstärker	277
4.3.4.1	Rauschen, Rauschvierpole	277
4.3.4.2	Rauscharme Verstärker mit Feldeffekttransistoren	280
4.3.4.3	Reflexionsverstärker, parametrische Verstärker	280
4.3.5	HF-Großsignalverstärker	283
4.3.5.1	C-Verstärker	285
4.3.5.2	Wanderfeldröhrenverstärker	286
4.3.5.3	Halbleiter-Leistungsverstärker	288
4.3.6	Schwingungserzeugung, Oszillatoren	290
4.3.6.1	Zweipoloszillatoren	290
4.3.6.2	Vierpoloszillatoren	292
4.3.6.3	Analoge Phasenregelschleife (Phase Locked Loop)	301
4.3.7	Frequenzumsetzung	304
4.3.7.1	Frequenzvervielfachung durch Aussteuerung einer nichtlinearen Kennlinie mit einer Sinusschwingung	304

4.3.7.2	Frequenzvervielfachung mit der Phasenregelschleife (PLL-Synthesizer)	306
4.3.7.3	Frequenzteilung	308
4.3.7.4	Mischung	309
4.4	Antennen	313
4.4.1	Elementare, fiktive Strahlungsquellen	317
4.4.1.1	Isotroper Kugelstrahler	317
4.4.1.2	Hertzscher Dipol	318
4.4.2	Antennen aus am Ende offenen Leitungsstücken	322
4.4.2.1	Dipole	322
4.4.2.2	Monopole	326
4.4.3	Empfangsantennen (Dipol, Monopol)	330
4.4.4	Antennen aus kurzgeschlossenen Leitungsstücken und äquivalente Formen	331
4.4.4.1	Rahmenantenne	331
4.4.4.2	Schlitzantenne	333
4.4.5	Richtantennen	334
4.4.5.1	Langdrahtantenne, Rhombusantenne	335
4.4.5.2	Dipolzeile, Dipollinie (Dipolspalte), Dipolwand, (Dipolebene) ..	335
4.4.5.3	Logarithmisch-periodische Antenne	337
4.4.5.4	Flächenantennen (Aperturstrahler), Hornstrahler, Parabolspiegel	338
	Übungsaufgaben	344

5	Grundlagen und Komponenten der optischen Nachrichtentechnik	349
5.1	Optische Grundlagen	350
5.2	Stufenprofil-Lichtwellenleiter	353
5.2.1	Dispersion	357
5.3	Monomode-Lichtwellenleiter	360
5.4	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter	362
5.4.1	Moden- und Profildisperison beim Gradienten-LWL	363
5.5	LWL-Dämpfung	364
5.6	LWL-Herstellung	366
5.7	Stecker und Spleiße	368
5.8	Sende- und Empfangselemente	369
5.8.1	Bändermodell, Wechselwirkungsmechanismen zwischen Atom und Lichtquant	370
5.8.1.1	Lumineszenzdiode	372
5.8.1.2	Laserdiode	374
5.8.2	Empfangselemente	379
5.8.2.1	Funktionsprinzip der Photodiode	379

5.8.2.2	PIN-Photodiode	381
5.8.2.3	Avalanche-Photodiode	382
5.9	Kopplung Sendeelement-LWL-Empfangelement	383
5.10	Optische Verstärker	384
	Übungsaufgaben	387
6	Wellenausbreitung im Raum, Funkstrecken	391
6.1	Funkstrecken mit optischer Sicht	395
6.1.1	Richtfunk-Strecken	396
6.1.2	Satelliten-Strecken	399
6.1.2.1	Frequenzbänder für Satellitenverbindungen	400
6.1.2.2	Satellitenbahnen, Ausleuchtgebiete	402
6.1.2.3	Streckenanalyse (Link-Budget)	406
6.2	Funkstrecken ohne optische Sicht	409
6.2.1	Mobilfunkstrecken	410
6.2.2	Kurzwellen-Strecken	413
6.2.3	Mittelwellen-Strecken	414
6.2.4	Lang- und Längswellenstrecken	415
	Übungsaufgaben	416
7	Analoge Nachrichtenübertragungs- und Multiplexverfahren	419
7.1	Fernsprechapparat, Fernsprech-Übertragungstechnik	421
7.2	NF-Übertragung	426
7.3	Modulationsverfahren	427
7.3.1	Amplitudenmodulation (AM)	428
7.3.1.1	Zweiseitenband-Amplitudenmodulation (ZSB-AM)	428
7.3.1.2	Zweiseitenband-Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger	432
7.3.1.3	Einseitenband-Modulation	434
7.3.1.4	Restseitenband-modulation (RSB-AM)	436
7.3.2	Winkelmodulation	437
7.3.2.1	Phasenmodulation (PM)	437
7.3.2.2	Frequenzmodulation (FM)	439
7.3.2.3	Spektrum eines WM-Signals	442
7.3.2.4	Bandbreite und Leistung eines WM-Signals	443
7.4	Trägerfrequenztechnik	445
7.4.1	Harmonischer Frequenzplan	446
	Übungsaufgaben	449
8	Digitale Nachrichtenübertragungs- und Multiplexverfahren	453
8.1	Puls-Modulation	453
8.1.1	Puls-Amplituden-Modulation (PAM)	455

8.1.2	Puls-Dauer-Modulation (PDM)	456
8.1.3	Puls-Phasen- (PPM) und Puls-Frequenzmodulation	458
8.1.4	Puls-Code-Modulation (PCM)	460
8.1.4.1	Lineare Quantisierung	461
8.1.4.2	Nichtlineare Quantisierung	462
8.1.5	Adaptive Differenz-Puls-Code-Modulation (ADPCM)	465
8.1.6	Delta-Modulation	466
8.2	Zeitmultiplex-Verfahren	467
8.2.1	Plesiochrone digitale Hierarchie (PDH)	469
8.2.2	Synchrone digitale Hierarchie (SDH)	474
8.2.3	Asynchronous Transfer Mode (ATM)	480
8.3	Basisband-Übertragung auf metallischen Leitungen	484
8.3.1	Merkmale des idealen Basisband-Übertragungssystems	485
8.3.2	Reale Basisband-Übertragungssysteme	487
8.3.2.1	Impulsformung, spektrale Formung	487
8.3.3	Leitungscodierung	494
8.3.3.1	Scrambler-Descrambler	495
8.3.3.2	Ternäre Leitungscodes	498
8.3.3.3	Binäre Leitungscodes	499
8.3.4	Symbolfehler-Wahrscheinlichkeit bei m-stufiger Übertragung ..	501
8.4	Signal-Übertragung auf Lichtwellenleitern	504
8.4.1	LWL-Impulsübertragung	504
8.4.1.1	Impulsübertragung beim Einmoden-LWL	506
8.4.1.2	Impulsübertragung auf Mehrmoden-Lichtwellenleitern	508
8.4.2	LWL-Modulationsverfahren	509
8.4.2.1	Intensitätsmodulation	509
8.4.2.2	Kohärente optische Modulationsverfahren	511
8.4.3	LWL-Multiplextechnik	513
8.4.4	LWL-Netzwerk-Komponenten	514
8.4.4.1	Koppel- und Steckerverluste an optischen Datenbus-Systemen ..	515
8.5	Digitale Sinusträger-Modulation	518
8.5.1	Amplituden-Tastung (ASK)	518
8.5.2	Phasen-Umtastung (PSK)	524
8.5.2.1	Offset-4PSK	533
8.5.3	Amplituden-Phasen-Tastung (APK)	536
8.5.4	Frequenz-Umtastung (FSK)	542
8.5.4.1	Continuous Phase Modulation (CPM)	550
8.6	Übertragung hoher Bitraten in teilnehmernahen Bereich	551
8.6.1	HDSL- und VDSL-Verfahren (High and Very High - Bit Rate Digital Subscriber Line)	551
8.6.2	ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)	553
8.7	Vielfachzugriff	555
8.7.1	Vielfachzugriff im Frequenzmultiplex	555

8.7.2	Vielfachzugriff im Zeitmultiplex	559
8.7.3	Vielfachzugriff im Codemultiplex	563
8.8	Meßtechnik bei Digitalübertragung	569
8.8.1	Messung des Zustands- und Augendiagramms	570
8.8.2	Messung der spektralen Leistungsdichte	572
8.8.3	Messung der Bitfehlerquote	573
8.8.3.1	Bitfehlerquote bei Basisband-Übertragung	574
8.8.3.2	Bitfehlerquote bei trägerfrequenter Übertragung	576
	Übungsaufgaben	578
9	Digitale Signalverarbeitung	581
9.1	Grundlagen digitaler Filter	582
9.1.1	Signaldarstellung im Zeitbereich, Differenzengleichungen	583
9.1.2	Diskontinuierliche Signale und Systeme im z-Bereich	588
9.2	Entwurf digitaler Filter	593
9.2.1	Nichtrekursive Digitalfilter, FIR-Filter	596
9.2.2	Rekursive Digitalfilter, IIR-Filter	601
	Übungsaufgaben	606
10	Codierung	609
10.1	Quellencodierung	612
10.2	Kanalcodierung	621
10.2.1	Begriffe der Kanalcodierung	622
10.2.2	Fehlerkorrektur durch wiederholte Aussendung, Parity Codes	626
10.2.3	Binäre (lineare) Blockcodes	630
10.2.4	Zyklische binäre Blockcodes	634
10.2.5	CRC-Verfahren (Cyclic Redundancy Check)	643
10.2.6	BCH-Codes, Reed-Solomon Codes	645
10.2.7	Faltungscodes	645
10.2.7.1	Decodierung von Faltungscodes	648
10.2.8	Codierte Modulation	652
	Übungsaufgaben	657
11	Telekommunikationsnetze	659
11.1	OSI-Referenzmodell	662
11.2	Protokolle	673
11.2.1	ARQ-Protokolle	673
11.2.2	HDLC-Protokoll	678
11.2.3	Protokoll/Schnittstelle X.21	682
11.2.4	Protokoll X.25	686
11.2.5	Zeichengabe-System Nr. 7 (ZGS Nr. 7)	688
11.2.6	Protokoll-Familie TCP/IP	693

11.3	Netzklassen	704
11.3.1	Local Area Networks (LANs)	706
11.3.1.1	LAN-Zugriffsverfahren	707
11.3.1.2	Token-Ring und Token-Bus	715
11.3.1.3	Ethernet	717
11.3.2	Koppelemente	721
11.3.3	Metropolitan Area Networks (MANs)	726
11.3.3.1	Fiber Distributed Data Interface (FDDI)	726
11.3.3.2	Distributed Queue Dual Bus (DQDB)	728
11.3.3.3	ATM-MAN	730
11.3.4	Wide Area Networks (WANs)	732
11.3.4.1	Integrated Service Digital Network (ISDN)	732
11.3.4.2	Schnittstellen im ISDN	734
11.3.4.3	B-ISDN	743
11.3.4.4	Frame-Relay-Netze	749
11.3.4.5	Datex-P	751
11.3.4.6	Mobilfunknetze	752
11.3.5	Global Area Networks (GANs)	762
11.3.5.1	Globales Fernsprechnet	762
11.3.5.2	Internet	765
	Übungsaufgaben	769
12	Vermittlungstechnik	771
12.1	Verkehrstheorie, Bedientheorie	772
12.1.1	Statistik des Nachrichtenverkehrs	773
12.1.2	Verlustsysteme	777
12.1.3	Wartesysteme	781
12.1.4	Warte-Verlust-Systeme	784
12.1.5	Warteschlangen	786
12.2	Durchschaltevermittlung	787
12.2.1	Koppelnetze für die Durchschaltevermittlung	788
12.2.2	Wegesuche bei Durchschaltevermittlung	796
12.2.3	Vermittlungssystem zur Durchschaltevermittlung (Prinzip) ..	799
12.3	Paketvermittlung (Speichervermittlung)	800
12.3.1	Prinzip der Paketvermittlung	801
12.3.2	Koppelnetze zur Paketvermittlung	805
12.3.2.1	ATM-Switch	809
12.3.3	Routing (Wegesuche) bei Paketvermittlung	811
12.3.3.1	ATM-Table-Routing	813
12.3.3.2	ATM-Self-Routing	816
12.3.3.3	Internet-Routing	817
	Übungsaufgaben	823

Anhang	825
Literaturverzeichnis	829
Index	841