

Heinrich Nuskowski
Aufgabensammlung Digitale Signalübertragung

Informationstechnik

Heinrich Nuskowski

**Aufgabensammlung
Digitale Signalübertragung**

 VOGT

Dresden 2017

Autor

Dr.-Ing. habil. Heinrich Nuszowski
TU Dresden
Lehrstuhl Mobile Nachrichtensysteme

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Jörg Vogt
HTW Dresden
Fakultät Informatik / Mathematik
01069 Dresden

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© Jörg Vogt Verlag 2017
Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Gesetzt vom Autor

ISBN 978-3-95947-012-4

Jörg Vogt Verlag
Niederwaldstr. 36
01277 Dresden
Germany

Phone: +49-(0)351-31403921
Telefax: +49-(0)351-31403918
e-mail: info@vogtverlag.de
Internet : www.vogtverlag.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	vii
1 Grundlagen	1
1.1 Aufgaben	1
1.1.1 Periodische Diracfolgen (1)	1
1.1.2 Periodische Diracfolgen (2)	2
1.1.3 RC-Tiefpass	3
1.1.4 Idealer Tiefpass	4
1.1.5 Energie- und Leistungssignale	6
1.2 Lösungen	7
1.2.1 Periodische Diracfolgen (1)	7
1.2.2 Periodische Diracfolgen (2)	8
1.2.3 RC-Tiefpass	11
1.2.4 Idealer Tiefpass	14
1.2.5 Energie- und Leistungssignale	16
2 Übertragung im Basisband	19
2.1 Aufgaben	19
2.1.1 Augendiagramm und Nyquistkriterien	19
2.1.2 Impulsformung	20
2.1.3 Optimale Signalübertragung	21
2.1.4 Signalangepasstes Filter	23
2.1.5 Empfang von NRZ-Impulsen durch Kurzzeitintegration	24
2.1.6 Erzeugung von Duobinärsignalen	25
2.1.7 Übertragung von Duobinärsignalen	26
2.1.8 Bitfehlerwahrscheinlichkeit von unipolaren Binärsignalen	28
2.1.9 Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei Fehlsynchronisation	29
2.1.10 Leistungsspektrum unkorrelierter, reeller Impulsfolgen	30
2.1.11 Leistungsspektrum differenzcodierter Impulsfolgen	32
2.1.12 Leistungsspektrum eines Partial-Response-Signals	33
2.1.13 Leistungsspektrum einer periodischen Impulsfolge	33
2.2 Lösungen	35
2.2.1 Augendiagramm und Nyquistkriterien	35

2.2.2	Impulsformung	35
2.2.3	Optimale Signalübertragung	36
2.2.4	Signalangepasstes Filter	40
2.2.5	Empfang von NRZ-Impulsen durch Kurzzeitintegration	42
2.2.6	Erzeugung von Duobinärsignalen	46
2.2.7	Übertragung von Duobinärsignalen	47
2.2.8	Bitfehlerwahrscheinlichkeit von unipolaren Binärsignalen	51
2.2.9	Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei Fehlsynchronisation	54
2.2.10	Leistungsspektrum unkorrelierter Impulsfolgen	56
2.2.11	Leistungsspektrum differenzcodierter Impulsfolgen	61
2.2.12	Leistungsspektrum eines Partial-Response-Signals	68
2.2.13	Leistungsspektrum einer periodischen Impulsfolge	74
3	Übertragung im Bandpassbereich	77
3.1	Aufgaben	77
3.1.1	Leistungsspektrum komplexer Symbolfolgen	77
3.1.2	Amplitudenspektrum hochgemischter TP-Signale	78
3.1.3	Leistungsspektrum hochgemischter TP-Signale	79
3.1.4	Korrelationsempfänger	80
3.1.5	Korrelation von FSK-Signalen	82
3.1.6	Übertragungsmodell im TP-Bereich für lineare Modulation	83
3.1.7	Signalvektordiagramm für M -ASK und M -QAM	86
3.1.8	M -PSK-Modulation	87
3.1.9	M -PSK-Demodulation	89
3.1.10	QPSK-Übertragung (I)	90
3.1.11	QPSK-Übertragung (II)	92
3.1.12	16-QAM-Übertragungssystem	93
3.1.13	OFDM-Übertragungssystem	95
3.1.14	M -FSK-Übertragungssystem	96
3.1.15	Leistungsspektrum von phasenkontinuierlicher 2-FSK	97
3.1.16	Leistungsspektrum von nicht phasenkontinuierlicher M -FSK	99
3.1.17	Demodulation von MSK-Signalen	101
3.1.18	Orthogonale Modulation	103
3.2	Lösungen	105
3.2.1	Leistungsspektrum komplexer Symbolfolgen	105
3.2.2	Amplitudenspektrum hochgemischter TP-Signale	108
3.2.3	Leistungsspektrum hochgemischter TP-Signale	111
3.2.4	Korrelationsempfänger	112
3.2.5	Korrelation von FSK-Signalen	114
3.2.6	Übertragungsmodell für lineare Modulation	117
3.2.7	Signalvektordiagramm für M -ASK und M -QAM	123
3.2.8	M -PSK-Modulation	128
3.2.9	M -PSK-Demodulation	130

3.2.10	QPSK-Übertragung (I)	133
3.2.11	QPSK-Übertragung (II)	135
3.2.12	16-QAM-Übertragungssystem	139
3.2.13	OFDM-Übertragungssystem	144
3.2.14	M -FSK-Übertragungssystem	149
3.2.15	Leistungsspektrum von phasenkontinuierlicher 2-FSK	151
3.2.16	Leistungsspektrum von nichtphasenkontinuierlicher M -FSK	155
3.2.17	Demodulation von MSK-Signalen	157
3.2.18	Orthogonale Modulation	160

A Abkürzungen**165**

Vorwort

Rechenübungen sind eine wertvolle methodische Hilfe in der Ingenieurausbildung, um theoretische Zusammenhänge zu verstehen und auf praktische Probleme anzuwenden. Die vorliegende Aufgabensammlung basiert auf Übungsaufgaben zur Vorlesung *Digitale Signalübertragung*, die der Autor an der Technischen Universität Dresden seit vielen Jahren hält. Die Aufgabensammlung wendet sich daher in erster Linie an Studenten der Fachrichtung Nachrichtentechnik. Notation und verwendete Begriffe stimmen mit dem im Jörg Vogt Verlag erschienen Buch *Digitale Signalübertragung* überein. In den Aufgabenstellungen wird auf die entsprechenden Kapitel dieses Buches verwiesen, in denen der benötigte theoretische Zusammenhang behandelt wird.

Die Aufgabensammlung enthält insgesamt 36 Aufgaben und ist in drei Kapitel gegliedert. Am Ende eines jeden Kapitels sind ausführliche Lösungen zu den Aufgaben zu finden. Die fünf Aufgaben in Kapitel 1 beziehen sich auf mathematische und systemtheoretische Grundlagen, die für die späteren Aufgabenstellungen gebraucht werden. Kapitel 2 umfasst dreizehn Aufgaben zu Problemen der Basisbandübertragung. Gegenstand dieser Aufgaben sind u.a. die Nyquistkriterien der Datenübertragung, der optimale Signalempfang unter AWGN-Bedingungen, das Prinzip der Likelihood-Detektion und die Berechnung des Leistungsdichtespektrums getakteter Impulsfolgen. Die achtzehn Aufgaben zur Übertragung im Bandpassbereich sind in Kapitel 3 zusammengefasst. Hier werden Probleme der Erzeugung, der Übertragung und des Empfangs modulierter Signale behandelt. Die betrachteten Modulationsverfahren sind M -ASK, M -PSK, M -QAM, M -FSK, OFDM und orthogonale Modulation.

Auf Reaktionen aus der verehrten Leserschaft freue ich mich und greife gerne Vorschläge und Hinweise auf.

Dresden, im April 2017

Heinrich Nuszowski

