教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会规划教材

通信原理与应用
——基础理论部分

主　编　曹志刚

编　著　（按章节顺序）
曹志刚　宋铁成　杨鸿文
陈　巍　张　辉

主　审　谈振辉

高等教育出版社

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导

通信原理与应用
——基础理论部分

主　编　曹志刚

编　著　（按章节顺序）

曹志刚　宋铁成　杨鸿文

陈　巍　张　辉

主　审　谈振辉

TONGXIN YUANLI YU YINGYONG
JICHU LILUN BUFEN

内容简介

本书是《通信原理与应用》的基础理论部分。

《通信原理与应用》是在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的系列教材，该教材分为基础理论部分和系统案例部分。基于教育部提出的卓越工程师教育培养计划，将理论部分和案例部分作为一个整体编写，旨在理论联系实际，学以致用，读者在学习基本理论的基础上可进一步拓宽工程知识，在同类教材中这是一次尝试。

基础理论部分共9章：绪论、随机过程基础、模拟调制、数字信号基带传输、数字调制、模拟信号数字化、差错控制编码、复用与多址技术、无线通信传输新技术。本书配有习题答案及解答，读者可扫描每章篇末的二维码或登陆相应的网页进行查看。配套出版的系统案例部分共收纳48个通信系统案例，包括7个应用类别：移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信。

本书可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材，也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。建议教学中将系统案例部分与基础理论部分配合使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与应用. 基础理论部分 / 曹志刚主编；曹志刚等编著.--北京：高等教育出版社，2015.8

ISBN 978-7-04-042559-8

Ⅰ.①通… Ⅱ.①曹… Ⅲ.①通信理论-高等学校-教材 Ⅳ.①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第079791号

策划编辑 吴陈滨　责任编辑 袁 坤　封面设计 王 雎　版式设计 杜微言
插图绘制 于 博　责任校对 陈 杨　责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社　　址	北京市西城区德外大街4号	网　　址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印　　刷	北京鑫丰华彩印有限公司	网上订购	http://www.landraco.com
开　　本	787mm×1092mm 1/16		http://www.landraco.com.cn
印　　张	37	版　　次	2015年8月第1版
字　　数	850千字	印　　次	2015年8月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定　　价	59.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换

版权所有　侵权必究

物 料 号　42559-00

曹志刚

清华大学电子工程系教授、博导。1962年毕业于清华大学无线电系，获优秀毕业生金质奖章，随即留校。任教以来一直从事通信和语音信号处理等领域的研究和教学工作。1984年—1986年在美国斯坦福大学访问，1997年为香港科技大学访问教授。现任中国通信学会会士，卫星通信专业委员会副主任，IEEE终身高级会员，IEICE会员，电子学报副主编，China Communications、宇航学报等期刊编委。

先后承担了数十项科研项目。获国家科技进步二等奖、军队科技进步一等奖和三等奖、电子工业部科技进步一等奖、教育部科技进步一等奖、山东省自然科学二等奖、北京市科技进步二等奖等十余项科技奖励，并获政府特殊津贴。

已发表论文500余篇，获2009年IEEE马可尼论文奖和多项国际会议优秀论文奖。获专利20余项。已出版著译5本，其中《现代通信原理》一书获1996年全国电子类优秀教材一等奖。指导的两名博士生分获2003年和2005年全国百篇优秀博士论文奖和提名奖。个人传记已收录于中国科学技术协会2011年编撰出版的《中国科学技术专家传略》中。

序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确指出:“高等教育承担着培养高级专门人才、发展科学技术文化、促进社会主义现代化建设的重大任务。提高质量是高等教育发展的核心任务,是建设高等教育强国的基本要求。”我国高等教育已经进入大众化教育阶段,成为工程教育大国,但还不是工程教育强国,还远不能满足当前经济建设和社会发展的需求。高等教育培养高素质工程技术人才是我国高等学校人才培养模式之一,并应置于重要的位置。高等教育培养出数量足够并且能够面向一线的优秀工程技术人员,这是中国高等学校,特别是高等工科院校不可推卸的历史责任,也是努力办好人民满意的教育、推动高等教育内涵式发展、深化教育领域综合改革和着力提高教育质量的具体实践。

国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展,对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求,而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业,也是近年来发展最快、在校人数最多的专业类之一。

为了适应高等工程教育改革,满足社会对电子信息类专业工程技术人才的需要,教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会根据教育部卓越工程师教育培养计划要求,针对中国高等工程教育存在的工程性、创新性和多样性缺失等问题,在认真开展了学科专业发展战略的研究和《高等学校电子信息科学与工程类本科指导性专业规范(试行)》的制定基础上,2010年从以信息与通信工程学科为特色的十余所重点高等院校和知名企业遴选了有丰富的工程实践背景和教材编写经验的40余位教授和专家,组织开展编写一套体现理论基础教学与工程应用案例协同教学理念的电子信息类专业核心课程教材,并使其具有权威性、工程性、创新性和示范性。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程涉及“通信原理与应用”“通信网络基础”和“数字信号处理”三门课程。从课程体系、教学大纲到三级目录,编写组在广泛征求意见的基础上进行了深入的调查、分析和研究,并召开了十几次会议进行研讨。教材完稿后,又邀请相关课程领域的权威专家进行审稿。至此,第一批“高等学校电子信息类专业核心课程教材”将于2015年陆续问世。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的编写汇聚了全国相关课程优秀教育工作者和行业专家的丰硕教学和科研成果。教材内容注重体现理论基础性和工程应用性的协同。教材的理论基础严谨,概念清晰;教材的应用案例典型,特色鲜明。本系列教材有利于培养学生应用数理基础、科学与工程知识的能力,有利于培养学生

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

根据需求设计部件、系统或过程的能力，有利于培养学生解决问题的能力，有利于激发学生提出问题的兴趣，有利于培养学生创新意识，增强学习主动性和积极性。

衷心感谢参与编写第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的学者和专家，正是他们高度的责任感和无私的奉献精神，使这套系列教材得以顺利出版。同时，也衷心希望这套教材能够在我国高等学校电子信息类专业课程教学中发挥积极的作用。

教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会（2001—2012 年）
副主任委员
教育部高等学校电子信息类专业教学指导分委员会（2001—2012 年）
主任委员
北京交通大学　谈振辉
2014 年 1 月

前言

为贯彻落实走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人力资源强国的战略部署，实施《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》，教育部提出了卓越工程师教育培养计划。其主要目标是：面向工业界、面向世界、面向未来，培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势，增强我国的核心竞争力和综合国力。

以实施卓越工程师教育培养计划为突破口，促进工程教育改革和创新，全面提高我国工程教育人才培养质量，努力建设具有世界先进水平、中国特色的社会主义现代高等工程教育体系，促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。卓越工程师教育的核心是强化工程实践能力、工程设计能力与工程创新能力，为此需要大力改革课程体系和教学内容。

本书正是基于以上目标，在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的。由清华大学曹志刚教授担任主编、选题并统编定稿。

全书分两部分：基础理论部分和系统案例部分。将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写，在国内外同类教材中是一次尝试，旨在理论联系实际，学以致用，拓宽学生的工程知识。

基础理论部分共9章，第1章绪论，第2章随机过程基础，第3章模拟调制，第4章数字信号基带传输，第5章数字调制，第6章模拟信号数字化，第7章差错控制编码，第8章复用与多址技术，第9章无线通信传输新技术。以章次为序，分别由清华大学曹志刚(第1、7章)、东南大学宋铁成(第2、9章)、北京邮电大学杨鸿文(第3、5章)、清华大学陈巍(第4章)、西安电子科技大学张辉(第6、8章)编写。北京交通大学张立军参与了第7章部分内容的修改。清华大学白铂编写了第1章的1.2节。北京交通大学谈振辉教授对基础理论部分全文进行了审阅。

系统案例部分按移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信等不同应用类别分为7篇，共收纳48个通信系统典型案例。案例作者由从事该领域研究和教学的高校和国内知名设备厂商中遴选，以案例编号为序，作者分别是：北京邮电大学杨鸿文，清华大学李云洲，北京邮电大学张欣、彭木根，北京交通大学孙强，北京邮电大学陈雪，中央民族大学陈根祥，北京交通大学李唐军，解放军理工大学甘仲民、李志强、李广侠、张更新，清华大学郑友泉、詹亚

锋，南京邮电大学王文鼐，东南大学胡静，北京信威公司许瑞锋、唐春莺、余西西，南京邮电大学余兆明，北京邮电大学郭文彬，清华大学宋健，南京邮电大学朱晓荣，东南大学夏玮玮、徐平平、张在琛，西安电子科技大学李长乐，中国传媒大学韦博荣，清华大学薛永林，北京交通大学张立军、赵永祥，清华大学王昭诚、窦维蓓、唐昆、李晔，解放军理工大学程云鹏、王呈贵，中兴通讯股份有限公司王田甜，清华大学粟欣，西安电子科技大学卢小峰，西北工业大学陈连平。其中个别作者编写了多个案例。通信系统案例部分内容丰富，但篇幅较大。为读者使用方便，将系统案例部分按两种方式出版，一种是通信系统案例部分合订本；另一种是将系统案例部分分成7个分册出版，每篇自成一册。7个分册依序分别由清华大学王京、陈明华，北京大学项海格，北京邮电大学吴伟陵，东南大学沈连丰，清华大学林行刚，北京交通大学谈振辉担任评审。

限于本人水平，且作者众多，书中错误疏漏、文风不一在所难免，敬请指正。主编邮箱为 czg-dee@tsinghua.edu.cn。

本教材可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材，也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。

曹志刚

2014年9月于清华大学

符 号 表

$a(t)$	数字基带信号
a_k	第 k 个符号
$\underset{x}{\operatorname{argmax}} f(x)$	求能使 $f(x)$ 最大的 x
$\underset{x}{\operatorname{argmin}} f(x)$	求能使 $f(x)$ 最小的 x
A	码字
$\lvert \boldsymbol{A} \rvert$	矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的行列式
$A_{\max}$	临界过载振幅
$A(D)$	码多项式
$A^{(i)}(D)$	移位 i 位的码多项式
A_j	正交估计
B	带通信号带宽
$B(D)$	接收到的码多项式
$B_{\min}$	最小带宽
c	光速
C	信道容量
C_m	信号 $m(t)$ 的峰值功率与均值功率之比
C_n	时域均衡器第 n 个抽头的系数
$d_{\min}$	星座点之间的最小距离
$d_{\min}$	最小码距
$d_q(k)$	预测误差
d_{free}	自由距
d_i	分配给第 i 个子载波的数据符号
D	哑元,延时算子
$D[\cdot]$	随机变量的方差
D_k	第 k 个二进制符号,或第 k 个二进制比特组
$\operatorname{erf}(x)$	误差函数
$\operatorname{erfc}(x)$	互补误差函数
e	可检测误码数
e_q	量化误差
e_i	错误图样第 i 位

E	错误图样,错误序列
E_s	每符号能量
E_b	每比特能量
$E[\cdot]$	随机变量的期望
$E(R)$	误差指数
$E(D)$	错误图样多项式
E_b/n_0	每比特能量与白噪声单边功率谱密度比
f	信号频率
f_c	载频
f_s	采样速率
f_i	第 i 个子载波频率
$f(x)$	概率密度函数
$f(x)$	特征多项式
$F[\cdot]$	傅里叶变换运算
$F_X(x)$	随机变量 X 的概率分布函数
$g(t)$	发送端的基带成形脉冲
G	解调增益(信噪比增益)
$\boldsymbol{G}$	生成矩阵
G	网络负载
$G(f)$	成形脉冲的傅里叶变换
GF(2)	二元域,伽罗华域(Galois 域)
$g(D)$	生成多项式
GF(2^m)	含有 2^m 个元素的伽罗华域
$h(t)$	恒参信道的冲激响应
$h(\tau,t)$	变参信道的冲激响应
$h(D)$	非系统码校验多项式
$H(f)$	频域传输函数
$H(X)$	信源熵,平均信息量
$H(XY)$	联合熵
$H(X/Y)$	条件熵
$H_{rcos}(f)$	升余弦滚降传输函数
$\boldsymbol{H}$	校验矩阵
$\boldsymbol{H}$	(信道容量分析中的)信道增益矩阵
$\boldsymbol{H}_N$	N 阶哈达玛矩阵
I	离散信源的信息量

$I(x_i)$	离散消息 x_i 携带的信息量
$I(x_iy_i)$	离散消息 x_i 和 y_i 的联合信息量
$I(x_i,y_i)$	离散消息 x_i 和 y_i 的互信息量
$I(X,Y)$	平均互信息量
k	信息比特(符号)位长度
k/n	编码效率
K_{FM}	相位偏移常数(调相灵敏度)
K_{PM}	频率偏移常数(调频灵敏度)
L	系统损耗因子
L_{path}	路径损耗
$m(t)$	基带信号
$m_s(t)$	采样后的信号
$m_q(t)$	量化信号
$\hat{m}(t)$	实信号 $m(t)$ 的希尔伯特变换
$\overline{m(t)}$	$m(t)$ 的时间均值(直流分量)
M	调制阶数
M	进制数
M_t	发送端天线数目
M_r	接收端天线数目
$M_s(\omega)$	采样后信号的频谱
$M(D)$	信息多项式
n	码组长度
n_0	加性白噪声单边功率谱密度
$n(t)$	白噪声
$n_I(t)$	窄带噪声的同相分量
$n_Q(t)$	窄带噪声的正交分量
N_q	量化噪声的平均功率
$f(x/y)$	连续信源的条件概率密度函数
$p(D)$	本原多项式
P_b	误比特率
P_s	误码元率,误符号率
P_s	发射功率
P_r	接收功率
$P(x_i)$	离散信源出现 x_i 的概率

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

$P(x_i/x_j)$	离散信源符号 x_j 转移到 x_i 的概率
$P_s(f)$	信号 $s(t)$ 的功率谱密度
P_s	信号 $s(t)$ 的功率
P_e	信道的误比特率
P_w	误字率
P_{wc}	译码后误字率
q_i	第 i 个量化区间的量化电平
$Q(x)$	Q 函数
r	校验位长度
$r(D)$	系统码校验多项式
$r(t)$	接收信号
$\mathrm{rect}(t)$	宽度为 1、面积为 1、中心在原点的矩形
$R(j)$	自相关函数
R_s	码元速率
R_b	比特速率
$R_X(t_1,t_2)$	随机过程 $X(t)$ 在 t_1 时刻和 t_2 时刻的自相关函数
$R_X(\tau)$	平稳随机过程 $X(t)$ 的自相关函数
$R_m(\tau)$	信号 $m(t)$ 的自相关函数
$R_g(\tau)$	信号 $g(t)$ 的自相关函数
$R_{XY}(j)$	X 和 Y 的互相关函数
R_H	矩阵 $\boldsymbol{H}$ 的秩
$s(t)$	发送信号
$s_L(t)$	带通信号 $s(t)$ 的复包络
$s(k)$	编码器输入采样值信号
$s_r(k)$	重建信号
$s_e(k)$	重建信号的线性预测值
SER	误符号率
$\mathrm{sinc}(x)$	$\dfrac{\sin(\pi x)}{\pi x}$
$\mathrm{sign}(x)$	符号函数
S	校正子(校验子、伴随式)
$S_X(f)$	平稳随机过程 $X(t)$ 的功率谱密度
SNR_i	解调输入信噪比
SNR_o	解调输出信噪比
$S(D)$	校正子(伴随式)多项式

$S_i(D)$	码多项式 B(D)循环移位 i 次后计算得到的校正子
t	可纠正误码数
T_b	比特间隔
T_c	相干时间
T_d	多径时延扩展
T_s	符号间隔
T_s	采样间隔
$Tr(\cdot)$	矩阵的迹
$\boldsymbol{U}^H$	矩阵 $\boldsymbol{U}$ 的共轭转置
V_{th}	判决门限
w_i	输入序列的汉明重量
w_o	输出序列的汉明重量
W	信道带宽,基带信号带宽
W_c	相干带宽
W_N	N 阶沃尔什矩阵
$\|x\|$	矢量 x 的长度
X	随机变量
$X(t)$	随机过程
$X(f)$	$x(t)$的傅里叶变换
α	路径损耗指数
α	升余弦的滚降系数
α	本原元
$\alpha^{2^{k-1}i}$	α^i 的共轭元素
$\delta(t)$	狄拉克函数
λ	约束长度
λ	信号波长
$\tau(2\pi f)$	信道的群时延特性
$\varphi(2\pi f)$	信道的相频特性
$\mu_X(t)$	随机过程 $X(t)$的期望函数
$\sigma_X^2(t)$	随机过程 $X(t)$的方差函数
β_{AM}	调幅指数
β_{FM}	调频指数
η	频谱效率
η_{AM}	AM 的调制效率(调幅效率)
$\mathscr{A}$	星座图

$\mathscr{A}$	集合
$\lvert\mathscr{A}\rvert$	集合 $\mathscr{A}$ 的元素个数
$\langle u,v\rangle$	内积
$\delta_T(t)$	时间周期为 T 的周期性冲激序列
$\delta_T(\omega)$	频率周期为 $1/T$ 的周期性冲激序列
γ	译码深度
γ_i	第 i 个信道上的信噪比
$\sigma(D)$	错误位置多项式
$\Lambda(D)$	错误求值多项式
$\phi_i(D)$	最小多项式
$\rho(j)$	归一化自相关系数
$\rho_{XY}(j)$	X 和 Y 的归一化互相关系数
Δf	子载波频率间隔
Δf	最大频偏
ΔV	量化间隔

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话　(010) 58581897　58582371　58581879

反盗版举报传真　(010) 82086060

反盗版举报邮箱　dd@ hep.com.cn

通信地址　北京市西城区德外大街 4 号　高等教育出版社法务部

邮政编码　100120

目录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　通信系统的组成和分类 …… 1
1.1.1　通信系统的组成 …… 1
1.1.2　通信系统的分类 …… 5
1.2　信道 …… 10
1.2.1　信道的一般数学模型及其分类 …… 11
1.2.2　恒参信道 …… 11
1.2.3　变参信道 …… 14
1.2.4　广义信道 …… 23
1.3　通信系统的主要性能指标 …… 25
1.4　信道容量与香农公式 …… 27
1.4.1　信息的度量 …… 27
1.4.2　信道容量和香农公式 …… 35
参考文献 …… 40
习题 …… 41
第 2 章　随机过程基础 …… 43
2.1　随机过程的定义 …… 43
2.2　随机过程的统计特性和数字特征 …… 45
2.2.1　随机过程的统计特性 …… 45
2.2.2　随机过程的数字特征 …… 46
2.3　平稳随机过程 …… 49
2.3.1　严平稳和宽平稳 …… 49
2.3.2　自相关函数及其性质 …… 52
2.4　各态历经的随机过程 …… 53
2.5　维纳-欣钦定理 …… 55
2.6　随机过程通过线性时不变系统 …… 58
2.7　高斯随机过程 …… 60
2.7.1　高斯随机变量与高斯随机矢量 …… 60
2.7.2　高斯过程 …… 64
2.7.3　Q 函数 …… 64
2.8　高斯白噪声 …… 66
2.9　窄带高斯噪声 …… 67
2.9.1　窄带高斯噪声定义 …… 67
2.9.2　同相和正交分量表示法 …… 69
2.9.3　包络和相位表示法 …… 71
2.10　正弦波加窄带高斯噪声 …… 73
参考文献 …… 74
习题 …… 75
第 3 章　模拟调制 …… 79
3.1　引言 …… 79
3.2　带通信号分析 …… 80
3.2.1　带通信号 …… 80
3.2.2　希尔伯特变换与解析信号 …… 82
3.2.3　复包络 …… 86
3.2.4　带通信号的表示 …… 88
3.2.5　I/Q 调制与解调 …… 89
3.2.6　等效基带分析 …… 91
3.3　模拟线性调制 …… 93
3.3.1　常规双边带调幅（AM）…… 94
3.3.2　双边带抑制载波调制（DSB-SC）…… 99
3.3.3　单边带调制（SSB）…… 99

3.3.4 残留边带调制（VSB）…… 106
3.3.5 载波同步 …… 107
3.4 角度调制 …… 113
3.4.1 调频与调相 …… 114
3.4.2 角度调制信号的带宽 …… 115
3.4.3 FM 调制与解调 …… 118
3.5 模拟调制的抗噪声性能 …… 121
3.5.1 系统模型 …… 121
3.5.2 线性调制的相干解调 …… 122
3.5.3 AM 包络检波 …… 124
3.5.4 模拟调频 …… 124
3.6 模拟调制系统的性能比较 …… 127
参考文献 …… 129
习题 …… 130
第 4 章 数字信号基带传输 …… 135
4.1 数字基带传输的基本类型 …… 135
4.2 近似非带限信道的基带传输——线路码型 …… 137
4.2.1 码型设计的基本原则 …… 137
4.2.2 二元码 …… 139
4.2.3 三元码 …… 145
4.2.4 多元码 …… 151
4.3 数字通信波形与奈奎斯特（Nyquist）准则 …… 152
4.3.1 比特与符号 …… 152
4.3.2 脉冲成形与数字通信波形 … 153
4.3.3 Nyquist 第一准则及其证明 … 154
4.3.4 Nyquist 第二、第三准则及其证明 …… 157
4.3.5 符号速率与频谱效率 …… 159
4.3.6 一种实用的成型滤波器——升余弦滤波器 …… 161
4.3.7 通信波形的功率谱 …… 164
4.4 最佳接收与匹配滤波器 …… 167
4.4.1 基带传输的噪声模型 …… 167
4.4.2 信噪比的最大化 …… 168
4.4.3 匹配滤波器的信噪比增益 … 170
4.4.4 数字基带传输的根号 Nyquist 准则 …… 172
4.4.5 等效基带模型 …… 173
4.5 最佳判决与差错概率 …… 175
4.5.1 最佳判决的若干准则 …… 176
4.5.2 *M* 元 PAM 与 ASK …… 178
4.5.3 数字基带传输的差错分析方法 …… 179
4.6 非理想信道的接收方案——均衡 …… 183
4.6.1 时域均衡原理 …… 183
4.6.2 时域均衡算法及实现 …… 187
参考文献 …… 190
习题 …… 191
第 5 章 数字调制 …… 200
5.1 引言 …… 200
5.2 二进制调制 …… 203
5.2.1 二进制启闭键控 …… 204
5.2.2 二进制移相键控 …… 214
5.2.3 二进制频移键控 …… 216
5.2.4 二进制差分移相键控 …… 222
5.2.5 二进制调制的误比特率曲线 …… 227
5.3 正交移相键控 …… 227
5.3.1 QPSK …… 227
5.3.2 OQPSK …… 231
5.3.3 DQPSK …… 233
5.3.4 π/4-DQPSK …… 233
5.4 恒包络调制 …… 234
5.4.1 MSK …… 235
5.4.2 GMSK …… 241
5.5 信号空间与数字调制 …… 243
5.5.1 *M* 进制无记忆调制 …… 244

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com