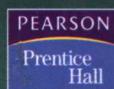
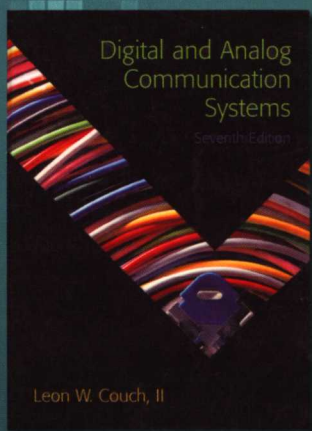


国外电子与通信教材系列



# 数字与模拟通信系统 (第七版)

Digital and Analog Communication Systems  
Seventh Edition



[美] Leon W. Couch, II 著

罗新民 任品毅 黄华 等译



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

# 数字与模拟通信系统

(第七版)

Digital and Analog Communication Systems  
Seventh Edition

[美] Leon W. Couch II 著

罗新民 任品毅 黄华 等译

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是作者多年从事教学工作积累的成果,继承了前六版的风格,系统地介绍了现代通信系统的基本理论和最新发展技术。全书共分为8章,内容包括:绪论;信号与频谱;基带脉冲与数字信号;带通信号传输原理与电路;AM,FM及数字调制系统;随机过程和谱分析;被噪声污染的通信系统的性能;有线及无线通信系统。每章都提供有助学例题和大量的习题,部分例题及习题附有MATLAB仿真软件。此外,本书还包含3个附录,内容包括数学基本公式及图表、概率论及随机变量的简易教程、MATLAB的使用等。

本书不仅可供工科二、三年级的本科生使用,也适合作为研究生的入门课程教材,或作为电气工程师的最新技术参考书。

Simplified Chinese edition Copyright © 2007 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Digital and Analog Communication Systems, Seventh Edition, ISBN: 01314249210 by Leon W. Couch II. Copyright © 2007. All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2006-5884

### 图书在版编目(CIP)数据

数字与模拟通信系统:第7版/(美)库奇(Couch, W. L.)著;罗新民等译.-北京:电子工业出版社,2007.11

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Digital and Analog Communication Systems, Seventh Edition

ISBN 978-7-121-04430-4

I. 数... II. ①库... ②罗... III. ①数字通信系统-教材 ②模拟通信-通信系统-教材 IV. TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第147788号

责任编辑:谭海平 特约编辑:李玉龙

印刷:北京市顺义兴华印刷厂

装订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:787×1092 1/16 印张:37.5 字数:960千字

印次:2007年11月第1次印刷

定价:58.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

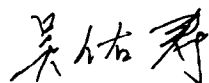
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 教材出版委员会

- |     |                              |   |
|-----|------------------------------|---|
| 主任  | 吴佑寿                          | 中国工程院院士、清华大学教授  |
| 副主任 | 林金桐                          | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师   |
|     | 杨千里                          | 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长<br>中国通信学会常务理事、博士生导师                                    |
| 委员  | 林孝康                          | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员                 |
|     | 徐安士                          | 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任   |
|     | 樊昌信                          | 西安电子科技大学教授、博士生导师<br>中国通信学会理事、IEEE 会士  |
|     | 程时昕                          | 东南大学教授、博士生导师  |
|     | 郁道银                          | 天津大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员                                 |
|     | 阮秋琦                          | 北京交通大学教授、博士生导师<br>计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长<br>国务院学位委员会学科评议组成员                   |
|     | 张晓林                          | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长<br>教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员<br>中国电子学会常务理事 |
|     | 郑宝玉                          | 南京邮电大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员                                   |
|     | 朱世华                          | 西安交通大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员                            |
|     | 彭启琮                          | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长<br>教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员                   |
|     | 毛军发                          | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长<br>教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员                        |
|     | 赵尔沅                          | 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任   |
|     | 钟允若                          | 原邮电科学研究院副院长、总工程师  |
|     | 刘 彩                          | 中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工<br>信息产业部通信科技委副主任   |
|     | 杜振民                          | 电子工业出版社原副社长   |
|     | 王志功                          | 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长<br>教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员                    |
| 张中兆 | 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长 |   |
| 范平志 | 西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长   |   |

## 译者序

本书译自美国佛罗里达大学 Leon W. Couch, II 教授所著的 *Digital and Analog Communication Systems, Seventh Edition* 一书。此次新版在第六版的基础上,增加了数字调幅及调频广播、数字卫星广播、电缆数据调制解调器、Wi-Fi(IEEE 802.11)及 Wi Max(IEEE 802.16)网络等反映通信系统最新发展技术方面的内容。该书作为通信工程专业高年级本科生或研究生通信原理课程的教材,被国外大学普遍采用,影响广泛,因而有较高的知名度。本书全面系统地论述了现代通信系统的基本理论,内容完整,可读性强。全书共分 8 章及 3 个附录,内容上注重理论和实际应用的结合。在每章后面既有帮助读者理解所学内容的助学例题,又有帮助读者巩固所学内容的大量课外习题。书中的部分例题、习题及公式附有 MATLAB 仿真软件,部分课外习题附有答案。附录中的内容有数学公式及图表、概率论及随机变量的简易教程、MATLAB 入门等。这些内容既是正文的补充,又是独立的章节,可供没有这方面基础的读者阅读参考。本书适合作为无线电技术、通信与信息系统及相关专业的高年级本科生或研究生的教材,也可作为通信工程技术人员和科研人员的参考书。本书由罗新民翻译第 1 章~第 4 章及前言,任品毅翻译第 5 章~第 7 章,黄华翻译第 8 章和附录。限于时间和水平,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

译者

2007 年于西安交通大学

## 缩 略 词

AC	交流	FFT	快速傅里叶变换
ADC	模数转换	FM	调频
ADM	自适应增量调制	FSK	频移键控
AM	幅度调制	GEO	对地静止卫星
ANSI	美国国家标准学会	GSM	特别移动小组(蜂窝电话)
APLL	模拟锁相环	HDTV	高清晰度(数字)电视
ATM	异步传输模式	HF	高频
ATSC	(美国)高级电视系统委员会	HRC	谐波载波
AT&T	美国电话电报公司	IBOC	带内信道
AWGN	加性高斯白噪声	IEEE	电气与电子工程师协会
BER	误比特率	IF	中频
BPSK	二进制相移键控	IMD	互调失真
CATV	有线电视系统	IRC	增量载波
CCIR	国际无线电咨询委员会	ISDN	综合业务数字网
CCITT	国际电话电报咨询委员会	ISI	码间串扰
CDMA	码分多址	ISO	国际标准化组织
CFT	连续傅里叶变换	ITU	国际电信联盟
CMOS	互补金属氧化物半导体	LAN	局域网
CO	电话中心局	LED	发光二极管
CRT	阴极射线管	LO	本机振荡器
dB	分贝	LOS	视线
DC	直流	LPF	低通滤波器
DFT	离散傅里叶变换	LSSB	下单边带
DM	增量调制	MAP	最大后验概率(准则)
DPCM	差分脉冲编码调制	MIMO	多输入多输出系统
DRM	通用数字无线电	MPSK	多进制移相键控
DSB-SC	抑制载波双边带	MQAM	多进制正交幅度调制
DSL	数字用户环线	MSK	最小移频键控
DTV	数字电视	NBFM	窄带调频
EIRP	有效全向辐射功率	NLOS	非视线
EIA	电子工业协会	NRZ	非归零码
ERP	有效辐射功率	NTSC	国家电视制式委员会
FCC	(美国)联邦通信委员会	OFDM	正交频分复用
FDM	频分复用	OOK	开关键控
FEC	前向纠错编码	OQPSK	偏移正交移相键控
FET	场效应管	PAM	脉冲幅度调制



PCM	脉冲编码调制	S/N 或 SNR	信噪比
PCS	个人通信业务	SS	扩频(系统)
PD	相位检测	SSB	单边带
PDF	概率密度函数	TCP/IP	传输控制协议/网际协议
PEP	峰值包络功率	TDM	时分复用
PLL	锁相环	TDMA	时分多址
PM	调相	TELCO	电话公司
PPM	脉位调制	THD	谐波失真总量
PSD	功率谱密度	TTL	晶体管-晶体管-逻辑电路
PSK	移相键控	TV	电视
PTM	脉时调制	TVRO	仅能接收电视的终端
PWM	脉宽调制	TWT	行波管
QAM	正交幅度调制	UHF	甚高频
QPSK	正交相移键控	USSB	上单边带
RMS	均方根值	VCO	压控振荡器
RF	射频	VF	音频
RT	远程电话终端	VHF	特高频
RZ	归零码	VSB	残留边带
SAW	声表面波	WBFM	宽带调频
SDARS	卫星数字音频无线业务	WLAN	无线局域网
SDTV	标准分辨率数字电视		

# 前 言

本书继承了前六版的风格,在此新版中为读者介绍了数字通信系统的最新发展和技术,它包括了许多有关卫星无线广播系统、有线数据调制解调器及无线数据网络,如 Wi-Fi(IEEE 802.11)及 Wi-Max(IEEE 802.16)系统等新内容。本书不仅可供工科二、三年级的本科生使用,也适合作为研究生的入门课程教材,或作为电气工程师的最新技术参考书。对初次使用本教材的读者,可到网址 <http://lcouch.us> 或 <http://couch.ece.ul.edu> 下载学生题解手册。

要学习通信系统,首先必须搞清楚通信系统是如何工作的。读者在掌握本书前五章介绍的通信系统基本知识(信号功率、频谱及信号的傅里叶分析等)的基础上,再通过对书中大量的助学例题和习题的练习,以及对采用的通信标准的应用,将能更好地理解通信系统的工作原理。特别值得关注的是有线及无线通信系统。另外噪声对通信系统的影响也是很重要的。如果通信系统中没有噪声(噪声由概率论及随机过程来描述),那么用极小的发射功率就可以把信号传至无穷远。总之,本书包括了学习有线及无线通信系统所需的基本内容和通信系统中采用的技术标准,具体内容有

- 通信系统的工作原理:第 1 章到第 5 章。
- 噪声对通信系统的影响:第 6 章和第 7 章。
- 有线和无线通信系统:第 8 章。

本书既可作为一学期课程的教材,也可作为两学期课程的教材。如果作为一学期课程的教材来使用,建议将本书中的前五章作为讲授内容(适当选择第 8 章的内容作为补充),倘若作为两学期课程的教材来使用,就将全书作为讲授内容。

本书涉及到了通信系统中的一些实际应用问题,这些实际应用建立在通信系统坚实的理论基础之上。


通信系统的理论基础包括

- |             |                |
|-------------|----------------|
| ● 数字信号与模拟信号 | ● 复包络          |
| ● 幅频特性和相频特性 | ● 调制理论         |
| ● 傅里叶分析     | ● 概率论与随机过程     |
| ● 正交函数理论    | ● 匹配滤波器        |
| ● 功率谱密度     | ● SNR(信噪比)的计算  |
| ● 线性系统      | ● BER(误比特率)的计算 |
| ● 非线性系统     | ● 最佳系统         |
| ● 码间串扰      | ● 分组码与卷积码      |

实际的应用有

- PAM, PCM, DPCM, DM, PWM 和 PPM 等基带信号
- OOK, BPSK, QPSK, MPSK, MSK, OFDM 和 QAM 等带通数字信号
- AM, DSB-SC, SSB, VSB, PM 和 FM 等带通模拟信号

- 时分复用及其体系标准
- 数字线路码及其频谱
- 通信系统中所用电路
- 比特同步、帧同步及载波同步电路
- 软件无线电
- 频分复用及其体系标准
- 电信系统
- 电话系统
- 数字用户环线调制解调器
- 数字用户环线
- 卫星通信系统
- 卫星无线广播系统
- 有效输入噪声温度与噪声系数
- 线路预算分析
- 模拟通信系统输出端的信噪比
- 数字通信系统的误比特率
- 光纤系统
- 扩频系统
- AMPS, GSM, iDEN, TDMA 和 CDMA 蜂窝电话系统与 PCS 系统
- 数字与模拟电视系统
- AM, FM, TV, DTV 和 CATV 系统的技术标准
- 有线数据调制解调器
- Wi-Fi 和 Wi-Max 无线数据网络
- 网页中的 MathCAD 文件(网址在下方给出)
- 网页中的 MATLAB M 文件(网址在下方给出)
- 数学图表
- 助学例题
- 超过 550 道的习题和部分习题答案
- 超过 60 道需借助计算机求解的习题
- 大量的参考文献
- 重视通信系统的设计
- 学生题解手册(可下载)

本书中,在许多公式及习题旁标有个人计算机的符号,这表示这些公式或习题有用 MATLAB 及 MathCAD 编写的仿真软件及答案。

书中每章的后面都有习题。大约有 1/3 的习题标有符号★,这些习题的答案可在学生题解手册中找到。学生题解手册及 M 文件可以通过网址 <http://LCouch.us> 或 <http://www.couch.ece.ufl.edu> 免费下载得到。教师题解手册中给出了包括需借助计算机求解在内的全部习题答案(教师题解手册只提供给指导教师使用)。题解手册为 pdf 文件,对需借助计算机求解的课外习题的 MATLAB M 文件及 MathCAD 文件可在网址 [www.prenhall.com](http://www.prenhall.com) 的 text 网页中下载得到。

本书是我在佛罗里达大学多年从事教学工作积累的成果,后又以我作为业余无线电接线员

(编号为 K4GWQ)的经历对该书进行了补充和完善。我认为读者只有对书中习题做了一定的练习,才能理解书中的技术内容。因此,本书为读者设计了 550 多道习题。有些习题比较容易,这样可以使得那些刚开始学习的同学不感到吃力。对那些学习程度更深的同学也有足够难的习题让他们去练习。所有的习题都能激励学生去思考,从而加深对通信系统的理解。

感谢在本书的编写过程中帮助过我的许多人以及多年来对本书的编写工作提出过建设性意见的那些人。特别要感谢 Rose-Hulman 工学院的 Bruce A. Ferguson, Hartford 大学的 Ladimer S. Nagurney, 波士顿大学的 Jeffrey Carruthers, 加州长滩州立大学的 Hen-Geul Yeh。还要感谢我在佛罗里达大学的同事们的帮助。最后我要感谢我的妻子 Margaret Couch 博士,是她帮助我打印并校对了对该书的原稿和修订稿。

Leon W. Couch, II  
于佛罗里达州冈斯韦尔  
couch@ufl.edu

# 符 号 表

由于在英语和希腊语字母表中,没有足够多的符号让我们能够不重复地使用它们,因此,有些符号可能在不同的地方用来表示不同的量,这些用法应该在上下文中交代清楚。此外,书中所用的符号通常与相关的数学学科中所用的符号相同。例如,在讲述复变量时, $x$ 表示的是复数的实部(即  $c = x + jy$ ),而在讲述统计学时, $x$ 表示的可能是随机变量。

## 符 号

$a_n$	常数	$f_i$	瞬时频率
$a_n$	正交形式傅里叶级数的系数	$f_0$	(频率)常数;周期波形的基波频率
$A_c$	载波频率为 $f_c$ 的已调信号电平	$f_s$	抽样频率
$A_e$	天线的有效面积	$F$	噪声系数
$b_n$	正交形式傅里叶级数的系数	$F(a)$	累积分布函数(CDF)
$B$	基带信号带宽	$g(t)$	复包络
$B_p$	带通滤波器带宽	$\tilde{g}(t)$	受噪声影响的复包络
$B_T$	发射信号(带通型)带宽	$G$	功率增益
$c$	复数( $c = x + jy$ )	$G(f)$	功率传输函数
$c$	常数	$h$	普朗克常数, $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
$c_n$	复数形式傅里叶级数的系数	$h(t)$	线性网络的冲激响应
$C$	信道容量	$h(x)$	$x$ 对 $h(x)$ 的变换函数
$C$	电容	$H$	熵(平均信息量)
$^{\circ}\text{C}$	摄氏温度	$H(f)$	线性网络的传输函数
dB	分贝	$i$	整数
$D$	每秒个数,每秒符号数( $D = N/T_0$ ),或波特率	$I_j$	第 $j$ 条消息中包含的信息量
$D_f$	调频增益因子	$j$	虚数( $\sqrt{-1}$ )
$D_n$	极坐标形式傅里叶级数的系数	$j$	整数
$D_p$	调相增益因子	$k$	玻尔兹曼常数, $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
$e$	误差	$k$	整数
$e$	自然数 2.7183	$k(t)$	带通网络复冲激响应
$E$	调制效率	$K$	表示数字消息的二进制码字中的比特数
$E$	能量	$K$	热力学温度( $^{\circ}\text{C} + 273$ )
$\mathcal{E}(f)$	能量谱密度(ESD)	$l$	整数
$E_b/N_0$	单位比特能量与噪声功率谱密度之比	$\ell$	单个数或单个符号中的比特数
$f$	频率(赫兹)	$L$	电感
$f(x)$	概率密度函数(PDF)	$L$	允许使用的电平数
$f_c$	载波频率	$m$	整数
		$m$	均值
		$m(t)$	消息(调制)波形

$\tilde{m}(t)$	受噪声干扰的消息波形	$v(t)$	电压波形
$M$	整数	$v(t)$	带通波形或带通随机过程
$M$	允许使用的消息符号数	$w(t)$	波形
$n$	整数	$W(f)$	$w(t)$ 的频谱(傅里叶变换)
$n$	消息符号中的比特数	$x$	输入
$n(t)$	噪声波形	$x$	随机变量
$N$	整数	$x$	复函数的实部或复常数
$N$	表示数字消息的符号个数	$x(t)$	随机过程
$N$	噪声功率	$y$	输出
$N_0$	白噪声功率谱密度值	$y$	输出随机变量
$p(t)$	绝对时限脉冲波形	$y$	复函数的虚部或复常数
$p(t)$	瞬时功率	$y(t)$	随机过程
$p(m)$	调频信号概率密度函数	$\alpha$	常数
$P$	平均功率	$\beta$	常数
$P_e$	误比特率	$\beta_f$	调频指数
$P(C)$	正确判别概率	$\beta_p$	调相指数
$P(E)$	消息错误概率	$\delta$	增量调制中的量化台阶
$\mathcal{P}(f)$	功率谱密度(PSD)	$\delta_{ij}$	Kronecker $\delta$ 函数
$Q(z)$	高斯函数积分	$\delta(t)$	冲激函数 [狄拉克( $\delta$ )函数]
$Q(x_k)$	第 $k$ 个抽样值 $x_k$ 的量化值	$\Delta F$	最大频率偏移(Hz)
$r(t)$	接收到的信号与噪声混合物	$\Delta\theta$	最大相位偏移
$R$	数据速率(b/s)	$\epsilon$	常数
$R$	电阻	$\epsilon$	误差
$R(t)$	实包络	$\eta$	频谱效率[(b/s)/Hz]
$R(\tau)$	自相关函数	$\theta(t)$	相位波形
$s(t)$	信号	$\lambda$	积分时的哑变量
$\tilde{s}(t)$	受噪声干扰的信号	$\lambda$	波长
$S/N$	信号功率与噪声功率之比	$\Lambda(r)$	似然比
$t$	时间	$\pi$	3.141 59
$T$	时间间隔	$\rho$	相关系数
$T$	热力学温度	$\sigma$	标准偏差
$T_b$	比特周期	$\tau$	自相关函数的独立变量
$T_e$	有效输入噪声温度	$\tau$	脉冲宽度
$T_0$	发射符号或消息持续时间	$\varphi_j(t)$	正交函数
$T_0$	周期波形的周期	$\phi_n$	极坐标形式傅里叶级数的系数
$T_0$	标准室内温度(290 K)	$\omega_c$	载波角频率, $2\pi f_c$
$T_s$	抽样周期	$\equiv$	数学恒等式
$u_{11}$	协方差	$\triangleq$	符号的数学定义式

#### 定义函数

$J_n(\cdot)$	第一类 $n$ 阶贝塞尔函数
$\ln(\cdot)$	自然对数

$\lg(\cdot)$	以 10 为底的对数
$\text{lb}(\cdot)$	以 2 为底的对数

$Q(z)$  高斯概率密度函数积分  
 $Sa(z) = (\sin z)/z$   
 $u(\cdot)$  单位阶跃函数

$\Delta(\cdot)$  三角函数  
 $\Pi(\cdot)$  矩形函数

### 运算符

$\text{Im}\{\cdot\}$  虚部  
 $\text{Re}\{\cdot\}$  实部  
 $[\cdot]$  集平均  
 $\langle[\cdot]\rangle$  时间平均  
 $[\cdot] * [\cdot]$  卷积  
 $[\cdot]^*$  复共轭  
 $\angle[\cdot]$  角度运算符或角度, 参见式(2.108)

$|[\cdot]|$  绝对值  
 $[\cdot]$  希尔伯特变换  
 $\mathcal{F}[\cdot]$  傅里叶变换  
 $\mathcal{L}[\cdot]$  拉普拉斯变换  
 $[\cdot] \cdot [\cdot]$  点积

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 历史回顾 .....	2
1.2 数字信源、模拟信源与系统 .....	4
1.3 确定波形与随机波形 .....	4
1.4 本书的结构 .....	5
1.5 个人计算机及 MATLAB 的使用 .....	5
1.6 通信系统框图 .....	6
1.7 频率分配 .....	7
1.8 电波传播 .....	9
1.9 信息的度量 .....	12
1.10 信道容量与理想的通信系统 .....	14
1.11 编码 .....	14
1.12 展望 .....	22
1.13 助学例题 .....	22
习题 .....	23
<b>第 2 章 信号与频谱</b> .....	25
2.1 信号与噪声的特性 .....	25
2.2 傅里叶变换与频谱 .....	33
2.3 功率谱密度与自相关函数 .....	47
2.4 信号与噪声的正交级数表示 .....	50
2.5 傅里叶级数 .....	52
2.6 线性系统回顾 .....	60
2.7 带限信号与噪声 .....	66
2.8 离散傅里叶变换 .....	71
2.9 信号带宽 .....	79
2.10 小结 .....	83
2.11 助学例题 .....	84
习题 .....	87
<b>第 3 章 基带脉冲与数字信号</b> .....	100
3.1 引言 .....	100
3.2 脉冲幅度调制 .....	100
3.3 脉冲编码调制 .....	107
3.4 数字信号 .....	118



3.5	线路码及其频谱	124
3.6	码间串扰	139
3.7	差分脉冲编码调制	146
3.8	增量调制	149
3.9	时分复用	155
3.10	分组传输系统	165
3.11	脉冲时间调制:脉宽调制与脉位调制	165
3.12	小结	168
3.13	助学例题	169
	习题	172
<b>第4章</b>	<b>带通信号传输原理及电路</b>	<b>179</b>
4.1	带通波形的复包络表示	179
4.2	已调信号的表示方法	181
4.3	带通信号的频谱	182
4.4	功率的计算	184
4.5	带通滤波和线性失真	186
4.6	带通信号的抽样定理	189
4.7	接收信号加噪声	191
4.8	滤波器及放大器分类	191
4.9	非线性失真	194
4.10	限幅器	199
4.11	混频器、上变频器和下变频器	199
4.12	倍频器	204
4.13	检波电路	205
4.14	锁相环及频率合成器	211
4.15	直接数字合成	217
4.16	发射机与接收机	217
4.17	软件无线电	222
4.18	小结	223
4.19	助学例题	223
	习题	227
<b>第5章</b>	<b>幅度调制、频率调制及数字调制系统</b>	<b>234</b>
5.1	幅度调制	234
5.2	调幅广播技术标准以及数字调幅广播	238
5.3	抑制载波的双边带调制	240
5.4	科斯塔环和平方环	240
5.5	非对称边带信号	242
5.6	相位调制和频率调制	247
5.7	频分复用(FDM)和调频(FM)立体声	258
5.8	FM广播技术标准以及数字FM广播	259