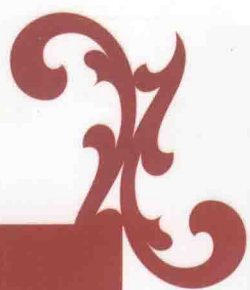


教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材



电子信息学科基础课程系列教材



通信原理 (第2版)

王福昌 屈代明 编著

清华大学出版社



内容简介

通信原理是一门理论性和实践性都很强的课程。本书在内容编排上,充分反映现代通信技术发展方向和水平,突出通信的系统概念,注意理论联系实际,简化数学分析,强化物理概念。全书共12章,包括绪论、预备知识、信道、模拟调制系统、数字基带系统、数字调制系统、相位连续调制与正交频分复用技术、模拟信号的数字化与传输、复用与多址、扩频通信原理、信道编码以及蜂窝移动通信传输技术等内容。

本书可作为电子信息类相关专业“通信原理”课程的教材,或作为相关领域科技人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/王福昌,屈代明编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2015

电子信息学科基础课程系列教材

ISBN 978-7-302-38933-0

I. ①通… II. ①王… ②屈… III. ①通信原理—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第005668号

责任编辑:文怡

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62775954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:23.5

字 数:526千字

版 次:2006年3月第1版

2015年6月第2版

印 次:2015年6月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:059501-01

《电子信息学科基础课程系列教材》

编审委员会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)

王小海(浙江大学)

王 萍(天津大学)

刘宗行(重庆大学)

刘新元(北京大学)

张晓林(北京航空航天大学)

陈后金(北京交通大学)

郭宝龙(西安电子科技大学)

高上凯(清华大学)

徐淑华(青岛大学)

崔 翔(华北电力大学)

董在望(清华大学)

蒋宗礼(北京工业大学)

邓建国(西安交通大学)

王诗宓(清华大学)

王福昌(华中科技大学)

刘润华(中国石油大学)

张 石(东北大学)

沈连丰(东南大学)

郑宝玉(南京邮电大学)

柯亨玉(武汉大学)

高小榕(清华大学)

袁建生(清华大学)

傅丰林(西安电子科技大学)

曾孝平(重庆大学)

《电子信息学科基础课程系列教材》

丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程研究组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和研究,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

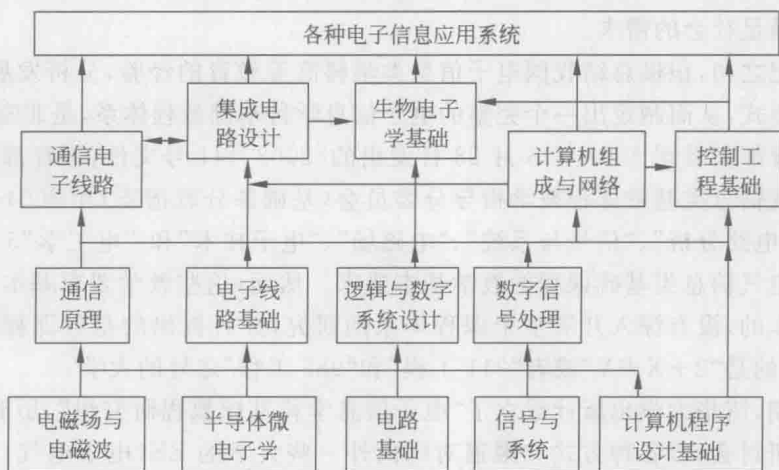
在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

- (1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。
- (2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。
- (3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。
- (4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 电子科学与技术
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

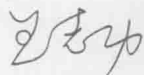
我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月

本书是 2006 年出版的《通信原理》(王福昌等编著,清华大学出版社出版)的修订版。改编后的版本具有以下特点。

(1) 充分反映现代通信技术发展方向和水平。为此,本书主要讨论数字通信系统,仅第 4 章专门介绍模拟通信系统;对于相位连续调制、网格编码调制、正交频分复用、波分复用、多址技术、扩频技术以及 Turbo 码等新的通信技术,在有关章节中给予了应有的重视;在第 12 章中详细介绍了目前广泛使用的蜂窝移动通信系统。

(2) 突出通信的系统概念。为此,本书在第 1 章给出了一个完善的数字通信方框图(不含交换技术),数字通信各章的内容皆与此方框图紧密地联系在一起。而且,除信源编码技术、加密技术、扰码技术以及发射机和接收机外,此方框图中的其他各单元,本书都作了较详细的介绍。另外,将同步技术(包括载波同步、位同步、帧同步、网同步)、最佳接收及最佳传输技术分散到相关章节中介绍,以便使读者明确它们在通信系统中的地位和作用。

(3) 理论联系实际。为此,本书特别注意数学模型与其对应的物理模型之间的关系与区别;特别注意理论分析的结果所代表的物理概念;另外,在第 12 章中,详细介绍了第 1 代到第 4 代蜂窝移动通信系统,以与基本理论知识相呼应。

(4) 简化数学分析,强化物理概念。为此,本书对于理论分析,不拘泥于数学推导,而是着重于讨论由数学分析得出的结论。同时,省去一些过于复杂的数学分析过程,直接给出分析结论,并讨论其物理意义。

本书共 12 章。第 1 章为绪论,给出了消息、信号与信息的定义,介绍了通信系统的组成、分类以及通信性能指标的评价标准,并对通信发展进行了回顾和展望。

第 2 章为预备知识,包括确知信号及随机过程的分析结论、数字信号最佳接收基本原理、锁相环基本概念及其抗噪性能。

第 3 章介绍了恒参信道和变参信道的基本特征以及它们对信号传输的影响和改善措施。还介绍了信道加性噪声的特点和信道容量的基本概念。

第 4 章从时域和频域的角度阐述了各种模拟通信系统的工作原理,并分析了其抗噪性能和占用的信道带宽,还介绍了模拟相干通信系统载波同步原理。

第 5 章为数字基带系统。本章全面阐述了数字基带信号传输原理,包括数字基带信号码型及其频谱,无码间串扰条件、时域均衡、部分响应,及各类数字基带传输系统的抗噪性能和频带利用率。本章还介绍了位同步原理以及数字基带信号的最佳接收及最佳传输原理。

第6章为数字调制系统。本章介绍了二进制及多进制数字调制系统原理、抗噪性能、频带利用率、载波同步,并将数字基带系统中的有关概念和结论推广到数字调制系统中。

第7章介绍在现代通信系统中采用的相位连续调制技术和正交频分复用技术。

第8章介绍语音信号的波形编码技术,包括脉冲编码调制、自适应差分脉冲编码调制、增量调制等,并分析了模拟信号数字传输系统的输出信噪比。

第9章介绍信道复用技术,包括频分复用和频分多址、时分复用和时分多址、码分多址等,以及与此有关的帧同步和网同步技术。

第10章介绍扩频通信基本原理,包括直扩系统和跳频系统的工作原理、抗随机噪声和随机干扰能力、抗多径干扰能力、多址能力,以及扩频码的捕捉与跟踪方法。

第11章介绍信道编码技术,包括线性分组码、循环码、卷积码、网格码、级联码与Turbo码等。

第12章介绍目前广泛使用的蜂窝移动通信系统中的传输技术。本章可以使读者了解具体的通信系统的构成和工作原理,从而加深对所学基本理论和基本概念的理解。

本书第1~6章及第8~10章由王福昌编写,第7章、第11章及第12章由屈代明编写,全书由王福昌和屈代明共同统编定稿。

感谢熊兆飞教授和黄本雄教授在本书的第1版的出版中所做的贡献,他们的工作对本次修订工作仍发挥了积极作用。感谢王博、王芳、高彤、熊绪胜等四位研究生,他们在本书的修订过程中做出了自己的贡献。感谢清华大学出版社的文怡老师及其他工作人员,没有他们的辛勤工作,这次修订工作难以如期完成。

由于作者水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者指正。

作者

2015年4月于武汉·华中科技大学

第 1 章 绪论	1
1.1 消息、信号与信息	2
1.1.1 定义	2
1.1.2 信息的度量	2
1.2 通信系统一般模型	5
1.3 模拟通信系统与数字通信系统	6
1.3.1 定义	6
1.3.2 数字通信系统	7
1.3.3 模拟通信系统	10
1.4 通信网基本概念	11
1.4.1 通信网的种类和拓扑结构	11
1.4.2 通信网的组成	12
1.4.3 信令和协议	12
1.5 通信系统的分类和通信方式	13
1.5.1 通信系统的分类	13
1.5.2 通信方式	14
1.6 通信系统的性能指标	15
1.7 通信技术的发展简史和展望	16
1.7.1 通信技术发展简史	16
1.7.2 通信发展的趋势	17
思考题	18
习题	19
第 2 章 预备知识	20
2.1 引言	21
2.2 确知信号分析	21
2.2.1 信号的傅里叶变换	21
2.2.2 信号的能量谱与功率谱	23
2.2.3 自相关函数与互相关函数	24
2.2.4 自相关函数与能量谱密度函数及功率谱密度函数的关系	25

目录

2.3	随机过程分析	25
2.3.1	随机过程的分布函数和概率密度函数	25
2.3.2	随机过程的数字特征	26
2.3.3	平稳随机过程	27
2.3.4	高斯随机过程	28
2.3.5	高斯白噪声和高斯窄带白噪声	29
2.3.6	正弦波加窄带高斯过程	31
2.3.7	平稳随机过程通过线性系统	31
2.3.8	随机变量	32
2.4	数字信号的最佳接收	33
2.4.1	最佳接收机的相关器形式	33
2.4.2	最佳接收机的匹配滤波器形式	34
2.5	锁相环基本原理	37
2.5.1	锁相环构成及分类	37
2.5.2	模拟锁相环的数学模型	38
2.5.3	锁相环的工作状态	39
2.5.4	锁相环的捕捉带、同步带及捕捉时间	40
2.5.5	锁相环的频率特性	41
2.5.6	锁相环的稳定性	44
2.6	锁相环抗噪声性能	46
2.6.1	锁相环对输入白噪声的滤除能力	46
2.6.2	锁相环对输入干扰信号的滤除能力	48
	思考题	49
	习题	50
第3章	信道	52
3.1	信道分类	53
3.2	调制信道与编码信道	54
3.2.1	调制信道	54
3.2.2	编码信道	55
3.3	恒参信道	55
3.4	变参信道	57

3.4.1	变参信道实例	57
3.4.2	变参信道传输特性及其对信号传输的影响	59
3.5	变参信道中的信息传输	62
3.5.1	分集方式	62
3.5.2	合并方式	63
3.6	信道加性噪声	63
3.6.1	噪声来源及分类	64
3.6.2	起伏噪声的统计特性	64
3.6.3	等效噪声带宽	65
3.7	信道容量	65
	思考题	67
	习题	68
第 4 章	模拟调制系统	69
4.1	幅度调制系统原理	70
4.1.1	幅度调制系统构成	70
4.1.2	幅度调制	71
4.1.3	双边带调制	72
4.1.4	单边带调制	73
4.1.5	残留边带调制	76
4.2	角度调制系统原理	78
4.2.1	基本概念	78
4.2.2	调频方法	81
4.2.3	鉴频方法	82
4.3	模拟调制系统的抗噪性能	83
4.3.1	AM 系统的抗噪性能	84
4.3.2	DSB 系统的抗噪性能	86
4.3.3	SSB 系统的抗噪性能	86
4.3.4	FM 系统的抗噪性能	87
4.4	各类模拟通信系统的性能比较	90
4.5	模拟调制系统的载波同步原理	93
4.5.1	载波同步方法	93

目录

4.5.2	载波同步器的性能指标	94
	思考题	96
	习题	96
第5章	数字基带系统	99
5.1	引言	100
5.2	数字基带信号码型	102
5.2.1	二进制码	102
5.2.2	1B2B码	103
5.2.3	AMI码和HDB ₃ 码	104
5.2.4	多进制码	105
5.3	数字基带信号的频谱	106
5.3.1	无记忆相同波形二进制数字基带信号的功率谱密度	106
5.3.2	无记忆多进制数字基带信号的功率谱密度	109
5.3.3	有记忆相同波形随机序列的功率谱密度	109
5.4	无码间串扰数字基带系统	111
5.4.1	数学模型	111
5.4.2	无码间串扰数字基带系统的冲激响应	112
5.4.3	无码间串扰数字基带系统的频率特性	113
5.4.4	余弦滚降数字基带系统	115
5.5	部分响应系统	118
5.5.1	第I类部分响应系统	118
5.5.2	第IV类部分响应系统	120
5.6	眼图	122
5.7	时域均衡	123
5.7.1	时域均衡原理	124
5.7.2	时域均衡算法及实现	125
5.8	基带传输系统的抗噪性能	128
5.8.1	二进制数字基带系统的误码率	128
5.8.2	M进制双极性数字基带系统的误码率	130
5.8.3	M进制双极性部分响应系统的误码率	130
5.9	数字基带信号最佳接收机及最佳传输系统	131

	5.9.1 数字基带信号最佳接收机	131
	5.9.2 数字基带信号最佳传输系统	133
	5.10 位同步原理	135
	5.10.1 位同步器输入信号的频谱	135
	5.10.2 滤波法	136
	5.10.3 锁相环法	137
	5.10.4 位同步器的性能指标	140
	思考题	143
	习题	144
第6章 数字调制系统		
	6.1 引言	149
	6.2 二进制数字调制系统原理	149
	6.2.1 二进制振幅键控	149
	6.2.2 二进制频移键控	151
	6.2.3 二进制相移键控	153
	6.2.4 二进制差分相移键控	155
	6.3 多进制数字调制原理	159
	6.3.1 M 进制振幅键控	159
	6.3.2 M 进制频移键控	160
	6.3.3 M 进制相移键控	161
	6.3.4 M 进制正交振幅调制	166
	6.4 无码间串扰数字调制系统	169
	6.4.1 数字调制系统无码间串扰条件	170
	6.4.2 余弦滚降频率特性	171
	6.5 正交部分响应幅度调制系统	172
	6.6 数字调制系统的抗噪声性能	174
	6.6.1 2ASK 系统的抗噪声性能	174
	6.6.2 2FSK 系统的抗噪性能	176
	6.6.3 2PSK 及 2DPSK 系统的抗噪性能	177
	6.6.4 4PSK 系统的抗噪性能	179
	6.7 各类数字调制系统的性能比较	181

目录

6.7.1	有效性	181
6.7.2	可靠性	181
6.8	数字已调信号的最佳接收机及最佳传输系统	184
6.8.1	数字已调信号最佳接收机	184
6.8.2	数字已调信号最佳传输系统	187
6.8.3	数字已调信号最佳接收机及最佳传输系统的抗噪性能	188
6.9	数字调制系统的载波同步原理	190
6.9.1	非线性变换法(直接法)	190
6.9.2	插入导频法	195
	思考题	196
	习题	196
第7章 相位连续调制与正交频分复用技术		199
7.1	最小频移键控	200
7.1.1	MSK基本原理	200
7.1.2	MSK调制	202
7.1.3	MSK解调	205
7.2	高斯滤波最小频移键控	206
7.2.1	GMSK基本原理	206
7.2.2	GMSK调制	208
7.2.3	GMSK解调	209
7.3	正交频分复用	211
	思考题	214
	习题	215
第8章 模拟信号的数字化与传输		216
8.1	概述	217
8.2	抽样定理	218
8.2.1	低通信号抽样定理	218
8.2.2	带通信号抽样定理	219
8.3	量化与编码	221
8.3.1	基本概念	221

8.3.2	均匀量化与线性 PCM	222
8.3.3	非均匀量化与非线性 PCM	226
8.4	A 律 PCM 与 μ 律 PCM	227
8.4.1	A 律 PCM	227
8.4.2	μ 律 PCM	232
8.4.3	孔径失真及补偿	233
8.4.4	PCM 通信系统输出信噪比	234
8.5	自适应差分脉冲编码调制	236
8.6	增量调制	238
8.6.1	简单 Δ M	238
8.6.2	自适应 Δ M	241
8.6.3	Δ M 系统与 PCM 系统的性能比较	242
	思考题	243
	习题	243
第 9 章 复用与多址		246
9.1	引言	247
9.2	频分复用	247
9.2.1	FDM 基本原理	247
9.2.2	波分复用	248
9.3	时分复用	249
9.3.1	TDM 基本原理	249
9.3.2	PCM 基群帧结构	251
9.4	数字复接原理	252
9.4.1	PCM 数字复接系列	252
9.4.2	PDH 复接原理	253
9.4.3	SDH 复接基本概念	256
9.5	多址通信方式	258
9.5.1	频分多址	259
9.5.2	时分多址	260
9.5.3	码分多址	261
9.6	帧同步原理	262

目录

9.6.1	帧同步码插入方法	262
9.6.2	集中插入式帧同步器	263
9.6.3	集中插入式帧同步器的性能指标	266
9.7	网同步的基本概念	267
9.7.1	主从同步方式	267
9.7.2	相互同步方式	267
9.7.3	独立时钟同步方式	268
	思考题	269
	习题	269
第 10 章 扩频通信原理		270
10.1	引言	271
10.2	直扩系统原理	272
10.2.1	扩频与解扩	272
10.2.2	抗随机噪声能力	274
10.2.3	抗人为干扰的能力	277
10.2.4	抗多径干扰能力	277
10.2.5	多址能力	279
10.2.6	干扰容限	280
10.3	跳频通信系统原理	280
10.3.1	扩频与解扩	281
10.3.2	抗噪性能	282
10.4	扩频码的捕捉与跟踪	283
10.4.1	直扩系统扩频码的捕捉与跟踪	283
10.4.2	跳频系统扩频码的捕捉与跟踪	286
	思考题	286
第 11 章 信道编码		288
11.1	信道编码的基本概念	289
11.1.1	概述	289
11.1.2	常用的差错控制方式	289
11.1.3	差错控制码分类	291