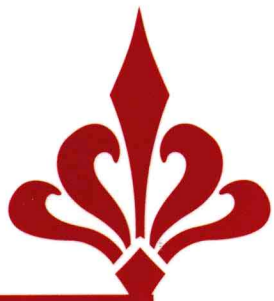




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材



通信电子线路

李智群 主编

清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材

通信电子线路

李智群 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材比较全面地反映了现代通信系统的基础知识和未来通信系统的发展方向,对各类现代通信技术进行了系统地分析和归纳,总结出不同通信系统的结构、功能和特点,提炼出应用于不同通信系统的关键模块,并对其进行详细的理论分析和电路设计。教材内容包括通信系统结构及性能指标、高频信号滤波器与阻抗变换网络、高频小信号放大器、混频器、调制解调器、射频功率放大器、振荡器、频率合成器、超宽带通信系统、超高速数字信号发送与接收电路和通信系统实例,内容涉及有线与无线、数字与模拟、窄带与宽带等各类现代通信系统的关键技术和实现方法,使学生系统地掌握各种现代通信系统的工作原理和分析设计方法,为电子系统的工程实现和后续课程学习打下必备的基础。

本书是普通高等学校电子、通信等专业本科生教材,也可供相关专业研究生、科研人员参考。

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

通信电子线路/李智群主编;李智群,王志功等编著. —北京:清华大学出版社,2011.4
(电子信息学科基础课程系列教材)

ISBN 978-7-302-23687-0

I. ①通… II. ①李… ②李… ③王… III. ①通信系统—电子电路 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 165128 号

责任编辑:王一玲

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjtc@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:27.5 字 数:683 千字

版 次:2011 年 4 月第 1 版 印 次:2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.80 元

产品编号:023851-01

《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之一,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”。

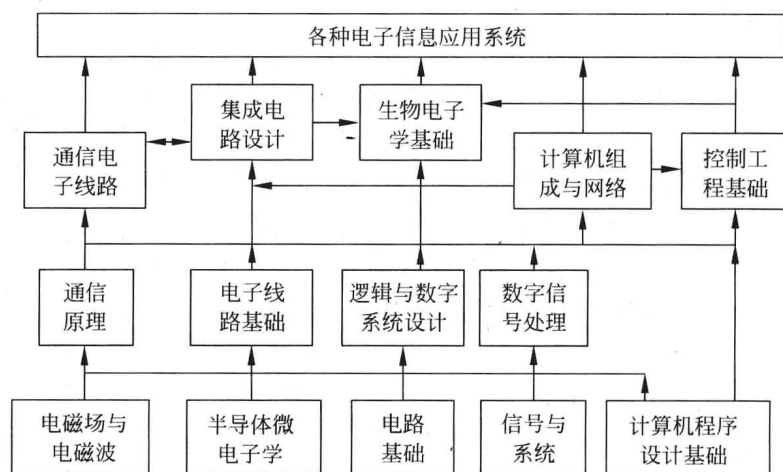
在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

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点形成有机的整体,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。

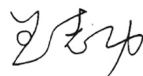
我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

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?如何为学生打下深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

本教材是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是教育部高等学校电子电气教学指导分委员会主持规划的重点教材。本教材系统阐述了通信系统结构及性能指标、高频信号滤波器与阻抗变换网络、高频小信号放大器、混频器、调制解调器、射频功率放大器、振荡器、频率合成器、超宽带通信系统、超高速数字信号发送与接收电路和通信系统实例。

以往的“通信电子线路”课程内容主要包括无线通信系统结构、功能电路及设计方法,涉及的内容集中在窄带无线通信系统上,对广泛应用的高速大容量光纤通信系统和正在快速发展的超宽带通信系统内容很少涉及。为了更全面地反映现代通信系统的基础知识和未来通信系统的发展方向,本教材对各类现代通信技术进行系统地分析和归纳,总结出了不同通信系统的结构、功能和特点,提炼出应用于不同通信系统的关键模块,并对其进行详细的理论分析和电路设计。教材内容涉及有线与无线、数字与模拟、窄带与宽带等各类现代通信系统的关键技术和实现方法。在窄带无线通信系统内容的基础上,增加光纤通信系统和超宽带通信系统的内容;在无源滤波器的基础上,增加有源滤波器内容,重点介绍了现代通信系统采用的复数滤波技术和复数滤波器设计方法。从而使学生系统地掌握各种现代通信系统的工作原理和分析设计方法,为电子系统的工程实现和后续课程学习打下必备的基础。

本教材具有以下特色:

(1) 内容全面,系统性强。本教材既包括窄带通信系统,又包括光纤通信系统和超宽带通信系统,比较全面地反映了现代通信系统的基础知识和未来通信系统的发展方向。

(2) 注重理论与实践相结合。本教材系统地介绍了各类通信系统的特点与组成,关键模块的基本概念、性能指标与设计方法,以及设计时需要考虑的关键点,通过大量的例题和习题来加深对相关内容的理解与掌握,并结合通信系统实例以进一步强化系统概念和系统应用。

(3) 循序渐进,深入浅出。本教材强调基本概念的阐述,由此逐渐过渡到系统模块的分析、公式推导和计算,以及模块在系统中的应用,并在此过程中充分体现处理和分析问题的方法,达到融会贯通的目的。

李智群负责第1~6章和第10章的编写,王志功负责第11章的编写,冯军负责第8章的编写,李文渊负责第7章的编写,陈莹梅负责第9章的编写,苗澎负责第12章的编

写。本书由李智群主编。

作者要特别感谢教育部电子电气基础课程教学指导分委员会在教材的编写过程中给予的指导与支持。同时作者要感谢东南大学射频与光电集成电路研究所黎飞老师,张浩、郭婷、解锋、刘继华、金琳、万川川、张越成、胡嘉伟、曹佳、王利丹、陈岗、陈亮、杨格亮等同学,为本书的编写做了大量工作,在此对他们表示感谢。

限于作者水平,书中难免有错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2011年2月于南京

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统的发展	2
1.2 通信系统的组成	4
1.3 通信频段的划分	5
1.4 通信系统的分类	6
1.4.1 模拟通信系统	6
1.4.2 数字通信系统	6
1.5 本书的内容组成	8
参考文献	8
第 2 章 通信系统结构及性能指标	9
2.1 混频	10
2.1.1 混频原理	10
2.1.2 实混频	11
2.1.3 复混频	13
2.2 无线通信系统结构	17
2.2.1 无线接收机结构	17
2.2.2 无线发射机结构	27
2.3 通信系统主要性能指标	28
2.3.1 噪声和噪声系数	29
2.3.2 线性失真和非线性失真	41
2.3.3 灵敏度和动态范围	48
2.3.4 误码率	49
2.4 本章小结	49
参考文献	49
习题	49
第 3 章 高频信号滤波器与阻抗变换网络	51
3.1 高频无源元件 L 和 C	52

目录

3.1.1	电感 L	52
3.1.2	电容 C	54
3.2	RC 滤波器与二端口网络	57
3.2.1	RC 滤波器	57
3.2.2	二端口 RC 网络	58
3.3	LC 滤波器	61
3.3.1	滤波器指标	61
3.3.2	LC 并联谐振回路	62
3.3.3	LC 串联谐振回路	66
3.4	声表面波滤波器	68
3.4.1	声表面波滤波器的原理	68
3.4.2	声表面波滤波器的应用	70
3.4.3	声表面波滤波器的匹配	71
3.5	晶体和陶瓷滤波器	72
3.5.1	晶体滤波器	72
3.5.2	陶瓷滤波器	75
3.6	复数滤波器	76
3.6.1	复数滤波原理	77
3.6.2	G_m - C 复数滤波器	78
3.6.3	有源 RC 复数滤波器	82
3.7	阻抗匹配网络	88
3.7.1	串并联支路的阻抗转换	89
3.7.2	电容部分接入阻抗变换	89
3.7.3	L 型匹配网络	91
3.7.4	π 型和 T 型匹配网络	95
3.8	本章小结	98
	参考文献	99
	习题	99

第 4 章	高频小信号放大器	103
4.1	晶体管高频小信号等效电路和关键参数	104

4.1.1	双极型晶体管小信号等效电路	104
4.1.2	场效应管的小信号等效电路	106
4.2	高频小信号谐振放大器	107
4.2.1	单管单调谐放大器	108
4.2.2	多级单谐振回路谐振放大器	109
4.2.3	小信号谐振放大器的稳定性	110
4.3	低噪声放大器	112
4.3.1	低噪声放大器的主要性能指标	112
4.3.2	双端口网络的噪声分析	115
4.3.3	低噪声放大器的噪声及结构分析	117
4.4	宽带放大器	128
4.4.1	放大器的带宽	128
4.4.2	展宽频带的方法	131
4.4.3	Miller 效应及对策	134
4.5	自动增益控制(AGC)电路	135
4.5.1	AGC 电路的作用及组成	136
4.5.2	AGC 电压的产生	137
4.5.3	AGC 的实现方法	138
4.6	本章小结	139
	习题	139
第 5 章	混频器	141
5.1	工作原理	142
5.1.1	混频器的作用	142
5.1.2	混频器的工作原理	143
5.1.3	混频器的指标	144
5.2	混频器的电路结构	146
5.2.1	非线性电路的分析方法	146
5.2.2	无源混频器	147
5.2.3	有源混频器	155
5.3	混频失真与干扰	171

目录

5.3.1	信号与本振的组合频率干扰	172
5.3.2	外来干扰与本振的组合频率干扰(副波道干扰)	172
5.3.3	三阶交调干扰	174
5.3.4	三阶互调干扰	174
5.3.5	包络失真和阻塞干扰	175
5.3.6	倒易混频	176
5.4	本章小结	176
	参考文献	177
	习题	177
第6章	调制解调器	181
6.1	概述	182
6.1.1	调制解调的基本含义	182
6.1.2	通信系统中进行调制的原因	183
6.1.3	调制方法	183
6.1.4	调制方法的选择	184
6.2	幅度调制	184
6.2.1	各种幅度调制	184
6.2.2	各种幅度调制的实现电路举例	192
6.2.3	各种幅度调制的解调方法及其电路举例	195
6.3	角度调制	199
6.3.1	模拟频率调制和相位调制的基本概念及相关参数定义	199
6.3.2	模拟调频电路的两种实现方法与电路	201
6.3.3	调频波的解调原理与电路	205
6.3.4	数字信号的角度调制/解调原理	208
6.4	数据判决	213
6.4.1	判决电路基本构成	214
6.4.2	利用瞬时值判决	215
6.4.3	利用平均值判决	215
6.4.4	利用积分值判决	217
6.5	本章小结	217

参考文献	218
习题	218
第 7 章 射频功率放大器	223
7.1 概述	224
7.2 功率放大器与小信号放大器的区别	224
7.3 主要技术指标	225
7.4 功率放大器分类	226
7.4.1 A 类(甲类)功率放大器	227
7.4.2 B 类(乙类)功率放大器	229
7.4.3 C 类(丙类)功率放大器	231
7.4.4 D 类功率放大器	234
7.4.5 E 类功率放大器	238
7.4.6 F 类功率放大器	240
7.4.7 G、H、S 类功率放大器	241
7.5 共轭匹配与负载线匹配	242
7.6 负载牵引	243
7.7 线性化技术	243
7.7.1 功率回退法	244
7.7.2 反馈线性化方法	244
7.7.3 前馈线性化方法	245
7.7.4 预失真方法	245
7.7.5 使用非线性元件的线性化技术(LINC)	247
7.7.6 包络的消除与再生(EER)	247
7.8 功率合成技术	248
7.8.1 谐振式功率合成	248
7.8.2 非谐振式功率合成	248
7.9 本章小节	249
参考文献	250
习题	250

目录

第 8 章 振荡器	253
8.1 概述	254
8.2 反馈振荡器工作原理	255
8.2.1 起振条件和平衡条件	256
8.2.2 稳定条件	258
8.2.3 基本组成和基本分析方法	260
8.3 LC 振荡器	262
8.3.1 三点式振荡电路	262
8.3.2 差分对管振荡电路	272
8.4 LC 振荡器的频率稳定度	275
8.4.1 影响频率稳定性的因素	276
8.4.2 提高频率稳定性的措施	277
8.4.3 克拉泼振荡电路	279
8.5 石英晶体振荡器	280
8.5.1 石英晶体的物理性能	280
8.5.2 晶体的电特性	280
8.5.3 晶体振荡电路	283
8.6 负阻振荡器	286
8.6.1 负阻器件	286
8.6.2 负阻振荡原理及其电路	288
8.6.3 用负阻观点讨论 LC 反馈振荡器	291
8.6.4 用正反馈电路实现负阻振荡	291
8.7 环形振荡器	292
8.7.1 门电路反相器构成环行振荡器	293
8.7.2 反相放大器构成环行振荡器	294
8.8 压控振荡器	295
8.8.1 压控特性	295
8.8.2 压控振荡器的实现方法	295
8.8.3 压控振荡器实现方法举例	296
8.9 本章小结	298
参考文献	298
习题	298

第 9 章 频率合成器	304
9.1 锁相环(PLL)的工作原理	305
9.2 基本 PLL 的线性模型	306
9.3 电荷泵锁相环	309
9.3.1 频率检测的引入	309
9.3.2 鉴频鉴相和电荷泵	309
9.3.3 CPPLL 的线性模型	311
9.4 锁相环的跟踪与捕获	313
9.4.1 静态跟踪	313
9.4.2 捕获锁定	314
9.5 锁相环的应用	316
9.5.1 通信中的噪声与抖动的抑制	316
9.5.2 数字系统中的时滞抑制	317
9.5.3 频率倍增与合成	318
9.6 频率合成器	320
9.6.1 频率合成器及其技术指标	320
9.6.2 整数频率合成器	321
9.6.3 小数分频频率合成器	325
9.6.4 直接数字频率合成器	327
9.7 频率合成器设计与应用举例	329
9.8 本章小结	332
参考文献	333
习题	333
第 10 章 超宽带通信系统	335
10.1 引言	336
10.2 UWB 通信原理	336
10.2.1 基本概念	336
10.2.2 系统结构	337
10.2.3 与其他通信方式比较	344

目录

10.2.4	UWB 关键技术	346
10.3	宽带匹配	350
10.3.1	宽带匹配方法	350
10.3.2	微波超宽带放大器匹配网络分析设计	352
10.4	超宽带放大器	360
10.4.1	超宽带低噪声放大器	360
10.4.2	超宽带功率放大器	366
10.5	脉冲产生电路	369
10.5.1	基于 SRD 的脉冲实现电路	369
10.5.2	基于晶体管雪崩区工作原理的脉冲产生电路	371
10.6	本章小结	374
	参考文献	374
	习题	375
第 11 章	超高速数字信号发送与接收电路	376
11.1	数字信号特征	377
11.1.1	时域特性	377
11.1.2	频域特性	379
11.1.3	数字信号的测量	381
11.1.4	超高速数字信号与射频信号比较	382
11.2	宽带放大器	383
11.2.1	双极型晶体管宽带放大器	384
11.2.2	FET 宽带放大器	385
11.2.3	带负反馈的宽带放大器	386
11.2.4	带频率补偿的宽带放大器	387
11.3	超高速放大器	388
11.4	超高速信号发送电路	389
11.5	超高速数字信号接收电路	391
11.5.1	超高速数字信号接收电路组成	391
11.5.2	前置放大器	392
11.5.3	限幅放大器	393

11.5.4	时钟恢复电路	395
11.5.5	数据判决电路	399
11.5.6	光接收机单片集成电路	400
11.6	本章小结	401
	参考文献	401
第 12 章	通信系统实例	402
12.1	MAX2335 射频前端电路	403
12.1.1	低噪声放大器(LNA)	404
12.1.2	下变频混频器	404
12.1.3	应用示例	406
12.1.4	匹配网络的布局	407
12.2	FM 全接收 IC MC3363	407
12.2.1	MC3363 的基本结构	407
12.2.2	MC3363 的 PCB 设计	409
12.2.3	MC3363 的应用举例	409
12.2.4	MC3362 射频接收芯片	411
12.3	基于 nRF903 的 433/868/915MHz GMSK/GFSK 收发器电路	415
12.3.1	nRF903 主要特点	415
12.3.2	nRF903 的构成	415
12.3.3	nRF903 的应用	416
12.3.4	nRF903 编程与典型应用	416
12.4	本章小结	417
	参考文献	418