

21世纪国家电工电子教学基地教材

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



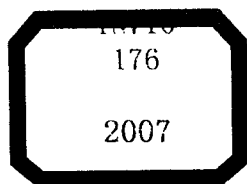
高等学校教材
电子信息

模拟电路基础

林 红 周鑫霞 主编



清华大学出版社



高等学校教材
电子信息

模拟电路基础

林 红 周鑫霞 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书按照 1995 年教育部(原国家教委)颁发的“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”,本着简洁、通俗、先进和实用的原则精心编写,分为《模拟电路基础》和《数字电路与逻辑设计》两册出版。

本书主要内容包括半导体二极管及基本电路、晶体管及放大电路分析基础、放大电路的频率特性、场效应管及基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器、集成运算放大器的应用、低频功率放大电路、脉冲波形的产生与变换、直流电源。每章有小结、习题(或思考题),便于教学和自学。

本书可作为高等学校和成人高等教育各专业模拟电路课程的教材(教学学时为 40~70),也可供工程技术人员自学和参考。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路基础/林红,周鑫霞主编. —北京:清华大学出版社,2007.4

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-14415-1

I. 模… II. ①林… ②周… III. 模拟电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 163169 号

责任编辑:魏江江

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:三河市深源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.75 字 数:452 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版 印 次:2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:24.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020309-01

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方 勇	教授
上海交通大学	朱 杰	教授
	何 晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林 君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授
西南交通大学	冯全源	教授
	金炜东	教授
重庆工学院	余成波	教授
重庆通信学院	曾凡鑫	教授

重庆大学	曾孝平	教授
重庆邮电学院	谢显中	教授
	张德民	教授
西安电子科技大学	彭启琮	教授
	樊昌信	教授
西北工业大学	何明一	教授
集美大学	迟岩	教授
云南大学	刘惟一	教授
东华大学	方建安	教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合新世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail:dingl@tup.tsinghua.edu.cn

随着现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,电子技术已成为许多专业开设的一门技术基础课程。随着半导体技术的发展,模拟电路所涵盖的内容越来越多,但受限于新的教学大纲和学生知识结构的变化,该门课所允许的授课学时却越来越少,该教材就是为了适应这种形势的需要而编写的。编者在分析了1990年以来出版或再版的若干美国同类教材和国内重点大学的改革教材的基础上,结合他们多年来在该门课上的教学体会及在该领域的科研实践体会,力求在教材编写中体现出以下的思路和特色。

(1) 教材最大限度地删除了对半导体器件(半导体二极管、晶体管和场效应晶体管)内部物理过程的数学分析,把注意力放在器件的外部伏安特性、模型和参数上面。这是解决模拟电路内容多、学时数少的必要措施,这一作法也被各种新教材所共同采用。

(2) 虽然新品器件、新电路不断涌现,但基本概念、基本原理是不会变化的。教材始终以“讲透概念原理,打好电路基础”为宗旨。对基本概念的讲述一般不压缩篇幅,这是使教材易读的重要措施。简化公式的数学分析推导过程,使公式简明易记,重在应用。

(3) 教材服务的对象是初学者,因此在章节次序的安排上符合由浅入深,从个别到一般的认识规律。例如:不为“先器件后电路”的系统性,而把器件在前面的章节里就全盘托出,使得学习难度增加。代之以“边器件边电路”的方法,介绍完一种器件,接着就讲它的基本实用电路。放大电路的分析也按照先基础电路后实用变形电路来编排。

(4) 教材有意识地加强了电路模型的概念。电路中的电子器件一旦模型化以后,剩下分析计算的工作依靠电路理论课程的知识来完成,使学生掌握研究电路的统一方法,所学的知识得到从具体到抽象的升华。

(5) 模拟电路是学生第一次接触到的一门工程型、技术型、实用型而非理论型的课程。因此,教材注意强调电路结构和元件取值的合理性。电路的计算则用工程近似方法:抓主要矛盾,简化模型和计算。

(6) 教材对放在各章之后的习题(或思考题)给予足够的重视。习题是对学生是否掌握本章的基本知识的全面检查,并能起到纠正模糊认识,巩固基础知识,以及提高分析实用电路能力的作用。编者根据多年的教学实践,精选题目,使之对学生有最大的

帮助。

(7) 教材各章之后附有小结,以帮助学生归纳重要知识点和重要结论。

注意到各层次学生的需要,教材的实际内容超过教学学时数,以便教师在讲授时根据专业需要、学时多少和学生实际水平来决定取舍。本教材可作为高等学校电信、计算机应用、自动化、电子、电力、机械、化工、建筑等专业的本科或专科电子技术基础课程的教学用书。

本教材由林红、周鑫霞主编,参加编写的工作人员还有张士军、杨凡、杨桦、张燕燕、张德芳。

本教材在编写过程中,得到有关专家和教师的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免疏漏,恳请各位读者批评指正。

编者

绪论	1
第 1 章 半导体二极管及基本电路	5
1.1 半导体基础知识	5
1.1.1 本征半导体	5
1.1.2 杂质半导体	7
1.2 PN 结	8
1.2.1 PN 结的单向导电性	9
1.2.2 PN 结的击穿	10
1.2.3 PN 结的电容效应	11
1.3 半导体二极管	12
1.3.1 半导体二极管的结构和符号	12
1.3.2 伏安特性	13
1.3.3 主要参数	14
1.4 二极管基本电路及分析方法	15
1.4.1 二极管伏安特性的建模	15
1.4.2 限幅电路	16
1.4.3 开关电路	17
1.5 稳压二极管	18
1.5.1 稳压二极管的伏安特性及工作状态	18
1.5.2 稳压管的主要参数	19
1.6 特殊二极管	20
1.6.1 发光二极管	20
1.6.2 变容二极管	20
1.6.3 光电二极管	20
小结	20
习题	21

第 2 章 晶体管及放大电路分析基础	24
2.1 晶体管	24
2.1.1 基本结构	24
2.1.2 晶体管的电流放大作用	25
2.1.3 晶体管的特性曲线	27
2.1.4 主要参数	29
2.1.5 温度对晶体管特性的影响	31
2.2 共射极放大电路	33
2.2.1 放大电路的组成	33
2.2.2 共射极基本放大电路的工作原理	33
2.2.3 直流通路和交流通路	34
2.2.4 放大电路的基本性能指标	34
2.3 图解分析法	35
2.3.1 静态分析	35
2.3.2 动态分析	37
2.3.3 非线性失真	39
2.4 微变等效电路分析法	40
2.4.1 晶体管 H 参数微变等效电路	40
2.4.2 微变等效电路动态分析法	43
2.5 放大电路静态工作点的稳定问题	45
2.5.1 稳定原理	45
2.5.2 动态分析	46
2.6 共集电极放大电路和共基极放大电路	49
2.6.1 共集电极放大电路	49
2.6.2 共基极放大电路	51
2.7 多级放大电路	53
2.7.1 多级放大电路的组成	54
2.7.2 多级放大电路的耦合方式	54
2.7.3 多级放大电路的性能指标计算	55
小结	59
习题	59
第 3 章 放大电路的频率特性	66
3.1 频率特性的一般概念	66
3.1.1 频率特性的概念	66
3.1.2 线性失真	67
3.2 晶体管的频率参数	68
3.2.1 共射极截止频率 f_{β}	68

3.2.2	特征频率 f_T	69
3.2.3	共基极截止频率 f_c	69
3.3	晶体管高频微变等效电路	70
3.3.1	混合参数 Π 型模型	70
3.3.2	高频微变等效电路参数的获得	71
3.4	共发射极放大电路的频率特性	72
3.4.1	中频放大倍数 A_{usm}	72
3.4.2	低频放大倍数 A_{usl} 及波特图	73
3.4.3	高频放大倍数 A_{ush} 及波特图	77
3.4.4	共发射极放大电路频率特性曲线(波特图)	79
3.4.5	增益-带宽积	82
3.5	多级放大电路的频率特性	83
	小结	84
	习题	84
第 4 章	场效应管及放大电路	88
4.1	结型场效应管	88
4.1.1	结构	88
4.1.2	工作原理	89
4.1.3	特性曲线	92
4.1.4	主要参数	93
4.2	金属-氧化物-半导体场效应管	96
4.2.1	N 沟道增强型 MOS 场效应管	96
4.2.2	N 沟道耗尽型 MOS 场效应管	98
4.2.3	P 沟道 MOS 场效应管	99
4.2.4	MOS 场效应管的主要参数	100
4.3	场效应管的特点	101
4.4	场效应管放大电路	101
4.4.1	场效应管的直流偏置电路	102
4.4.2	静态分析	103
4.4.3	场效应管的微变等效电路	104
4.4.4	动态分析	105
4.4.5	三种基本放大电路的性能比较	109
	小结	111
	习题	111
第 5 章	反馈放大电路	115
5.1	反馈的基本概念与分类	115
5.1.1	反馈的定义	115

5.1.2	反馈类型及其判定	117
5.1.3	负反馈放大器的四种基本组态	121
5.2	负反馈对放大电路性能的改善	126
5.2.1	提高放大倍数的恒定性	126
5.2.2	展宽通频带	127
5.2.3	对输入电阻的影响	128
5.2.4	对输出电阻的影响	129
5.2.5	减少非线性失真	131
5.2.6	抑制反馈环内噪声	131
5.3	负反馈放大电路的指标计算	134
5.3.1	估算依据	134
5.3.2	计算举例	135
5.4	负反馈放大电路的自激振荡	138
5.4.1	自激的产生原因及条件	138
5.4.2	反馈放大电路的稳定性	139
5.4.3	消除自激振荡的方法	140
	小结	141
	习题	142
第6章	集成电路运算放大器	147
6.1	差动放大电路	148
6.1.1	基本差动放大电路	148
6.1.2	恒流源差动放大电路	159
6.1.3	场效应管差动放大电路	163
6.2	集成电路运算放大器中的电流源	163
6.2.1	镜像电流源	164
6.2.2	微电流源	164
6.2.3	多路电流源	165
6.2.4	电流源用作有源负载	166
6.3	复合管电路	167
6.4	集成运算放大器	168
6.4.1	偏置电路	169
6.4.2	输入级	169
6.4.3	中间级	171
6.4.4	输出级	171
6.5	集成电路运算放大器的主要参数	172
	小结	176
	习题	176

第 7 章 集成运算放大器的应用	181
7.1 集成运算放大器的低频等效电路	181
7.1.1 简化低频等效电路	181
7.1.2 集成运算放大器的理想模型	181
7.1.3 集成运算放大器线性应用时的两个重要概念	182
7.2 基本运算放大电路	182
7.2.1 比例运算电路	182
7.2.2 加法运算电路	184
7.2.3 减法运算电路	186
7.2.4 积分电路与微分电路	188
7.2.5 对数与指数运算电路	189
7.2.6 模拟乘法器	190
7.3 测量放大器	190
7.4 有源滤波电路	192
7.4.1 一阶低通滤波电路	193
7.4.2 一阶高通滤波电路	194
7.4.3 带通滤波电路	196
7.4.4 带阻滤波电路	198
7.5 电压比较器	200
7.5.1 单门限电压比较器	200
7.5.2 迟滞比较器	201
7.5.3 窗口比较器	204
小结	205
习题	206
第 8 章 信号产生电路	212
8.1 正弦波信号发生器	212
8.1.1 自激振荡的基本原理	212
8.1.2 RC 正弦振荡器	213
8.1.3 LC 型正弦波信号发生器	216
8.1.4 石英晶体振荡器	220
8.2 非正弦波发生器	222
8.2.1 方波发生器	222
8.2.2 三角波发生器	224
8.2.3 锯齿波发生器	226
小结	227
习题	227

第 9 章 功率放大电路	231
9.1 功率放大电路的特点及其工作方式	231
9.1.1 功率放大电路的特点	231
9.1.2 功率放大电路的工作方式	232
9.2 互补对称功率放大电路	233
9.2.1 乙类互补对称电路	233
9.2.2 甲乙类互补对称电路	235
9.2.3 单电源互补对称功率放大电路	237
9.3 集成功率放大电路	237
小结	238
习题	239
第 10 章 直流电源	241
10.1 单相整流电路	241
10.1.1 单相半波整流电路	241
10.1.2 单相桥式整流电路	243
10.2 滤波电路	245
10.2.1 电容滤波电路	245
10.2.2 电感滤波电路	247
10.2.3 其他形式的滤波电路	248
10.3 稳压电路	248
10.3.1 稳压电路的性能指标	248
10.3.2 并联稳压电路	249
10.3.3 串联稳压电路	252
10.3.4 集成稳压电路	254
10.4 开关稳压电路	256
10.4.1 串联型开关稳压电路的电路结构	256
10.4.2 脉宽调制器的工作原理	256
10.4.3 串联型开关稳压电路工作原理	257
小结	259
习题	259
附录 A 半导体器件型号命名方法	262
附录 B 国产半导体集成电路型号命名	264
附录 C 符号说明	266
附录 D 习题答案	272
参考文献	281

电子技术是近几十年来发展非常迅速的一门学科,它的应用已渗入到工业、农业、国防、科技以及人民生活的各个领域。目前电子技术已经成为现代科学技术的一个重要组成部分。那么,电子技术如何发展起来的?它有哪些相关概念?本课程的性质、任务以及重点是什么?它的特点和学习方法又是什么?这是绪论要讨论的问题。

1. 电子技术发展概况

电子技术的核心是电子器件;电子器件的更新换代引起了电子电路的极大变化,出现了更多的应用领域和更新的应用技术。

1869年 Hittorf 和 Crookes 发明的阴极射线管是电子技术发展的历史起点。到 1906 年真空三极管的诞生,标志着第一代电子器件——真空管开始形成。此后,近半个世纪里,真空管几乎是各种电子设备中唯一可用的电子器件,电子技术得到了迅速发展,成为一门新兴科学。随后电子技术取得了许多成就,如电视、雷达和计算机的发明都与真空管是分不开的。

在 20 世纪 40 年代后期,出现了一种新型的电子器件——半导体器件,它被称为第二代电子器件。与真空管相比,半导体管体积小,重量轻,功耗低,寿命长,因而很快在许多领域取代了真空管。半导体器件有二极管、晶体管、电阻、电容等,都是一个个的独立元件,所以称为分立元件,由分立元件组成的电路称为分立元件电路。随着电子器件应用技术的更加完善,使得电子技术很快用于工业自动化、检测、计算等方面,也促成了计算机、通信等方面的发展。而且在解决实际问题中,逐步形成了自己的理论系统和分析方法,成为应用广泛的技术学科。

电子技术的惊人发展促进了其他科学技术的发展,反过来科学技术的发展又对电子器件提出了更新的要求。对分立元件的要求愈来愈高,分立元件电路愈来愈复杂,电路中元件数量也就愈来愈大,使得设备或系统变得庞大、笨重、焊接点增多,设备或系统的可靠性随之下降。

1959 年美国德州仪器公司把晶体管和电阻、电容等集成在一块硅片上,构成一个基本完整的单片式功能电路,第三代电子器件——集成电路从此诞生了。集成电路的发明使电子技术进入了微电子技术时代,是电子技术发展一个新的飞跃。集成电路是将各种不同的电路元件以及它们之间的连线制作在一块很小的半导体芯片上,成为能完成一定功能的完

整电路。由于集成电路不是一个个的分立元件,而是一个或多个完整的具有某种功能的电路,因此,集成电路与分立元件相比,不仅可靠性大大提高,而且体积更小,重量更轻,功耗更低,所以,集成电路一出现,很快被各个行业所采用,形成机—电—体化产品、光—电—体化产品,为电子设备和计算机向微型化和智能化发展开辟广阔的道路,是近代科学技术发展的新标志。

集成电路的发展经历了小规模、中规模、大规模和超大规模等不同阶段。第一块集成电路上只有四只晶体管,而目前的集成电路已经可以在一片硅片上集成几千万只,甚至上亿只晶体管。

目前,集成电路仍在高速发展。系统级芯片已经能将整个系统集成在单个芯片上,完成系统的功能。系统级芯片的出现,使集成电路逐步向集成系统的方向发展。

随着电子器件的发展,电子技术的应用已从最初的通信系统发展到自动控制系统、电子测量和电子计量仪表系统、电力系统,广播、电视、录音、录像,无一不与电子技术有关,现代教育和教学工作中,电子技术也已经成为一种重要的辅助工具。如今电子技术使我们这个时代到处充满电子气息。

2. 电子技术及相关概念

(1) 电子技术

电子技术是研究电子器件、电子电路及应用技术的一门科学技术,是发展迅速的学科之一。

电子器件的作用是实现信号的产生、放大、调制、探测、储存及运算等,常见的有真空管、晶体管和集成电路。

电子电路是组成电子设备的基本单元,由电阻、电容、电感等元件和电子器件构成,完成某种特定功能。

(2) 模拟信号与数字信号

在人们周围存在着电、声、光、磁、力等各种形式的信号,电子技术所处理的对象是载有信息的电信号,这些信号按其特点可分为两大类,即模拟信号和数字信号。

模拟信号是指幅值随时间连续变化的信号,如图 0.0.1(a)所示的正弦波,是一种常用来分析电路特性的模拟信号的波形,其特点是在一定动态范围内可任意取值。常用十进制数表示。

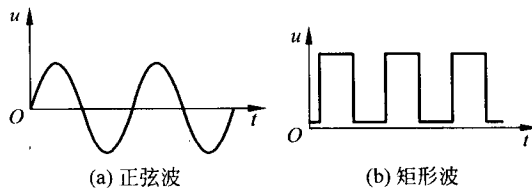


图 0.0.1 典型的信号波形

数字信号的时间变量是离散的,幅值是跃变的,如图 0.0.1(b)所示的矩形波,其特点是在一定时间内可取的值是有限的,常用二进制数表示。

同一物理量,既可以用模拟信号表示,也可用数字信号表示,例如传统的录音磁带是以