

可下载教学资料

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



高等学校教材
电子信息

模拟电子技术基础

林涛 林薇 编著

清华大学出版社

高等学校教材
电子信息

模拟电子技术基础

林涛 林薇 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书参照“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”(模拟电子技术部分),结合作者多年的教学实践体会与教学研究成果编写而成。内容包括常用半导体器件、分立元件放大电路、集成运算放大器电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、信号运算与处理电路、信号产生电路、功率放大电路、直流电源等。每章开始有内容提要、学习提示,章末有小结以及难易程度适当的思考题和习题。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及自动化、电子信息工程等专业及相近专业“模拟电子技术基础”课程的教材和教学参考书,也可供电子技术工程技术人员参考。

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

模拟电子技术基础/林涛,林薇编著. —北京:清华大学出版社,2010.11

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-23413-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 154017 号

责任编辑:郑寅堃 顾 冰

责任校对:梁 毅

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, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.5 字 数:507 千字

版 次:2010 年 11 月第 1 版 印 次:2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.50 元

产品编号:036613-01

重庆理工大学

王志功	教授
王新龙	教授
王成华	教授
邓元庆	教授
刘景夏	副教授
方 勇	教授
朱 杰	教授
何 晨	教授
严国萍	教授
朱定华	教授
吴彦文	教授
刘复华	教授
李中年	教授
蒋刚毅	教授
王成山	教授
郭维廉	教授
王煦法	教授
郭从良	教授
徐佩霞	教授
赵鹤鸣	教授
刘志军	教授
郑永果	教授
朱守正	教授
张秉权	教授
张丽英	教授
林 君	教授
何怡刚	教授
曾喆昭	教授
冯久超	教授
冯全源	教授
金炜东	教授
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21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: weijj@tup. tsinghua. edu. cn

本书参照“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”(模拟电子技术部分),结合作者多年的教学实践体会与教学研究成果而编写。可作为高等学校自动化、电气工程及自动化、电子信息工程等专业及相近专业本科生“模拟电子技术基础”课程的教材和教学参考书,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

“模拟电子技术基础”是自动化、电子信息工程等专业本科生在电子技术方面入门性质的技术基础课,具有自身的体系和很强的实践性。本课程通过对常用电子元器件及模拟电路的分析,使学生获得模拟电子技术方面的基本理论、基本知识、基本技能,为深入学习电子技术方面的新知识及电子技术在专业中的应用打下良好的基础。

进入 21 世纪以来,数字化是技术转移的重点之一。但我们面临的自然界中大多数物理量是模拟量,系统中被监测、处理、控制的输入输出信号经常是模拟量,如温度、压力、位移、速度、液位、流速等。因此,在电子技术方面要处理的大量信息首先是模拟量,所以,模拟电子技术的重要性仍然不可动摇。随着电子技术的发展,集成电路的应用已相当普及,但基本电子器件与基本单元电路目前还是电子技术的基础,因此,教材的重点内容仍然是基本电子元器件、基本单元电路、基本分析方法、常见应用电路等。对于电子技术方面的一些新器件和新技术,点到为止,读者可借助网络等途径查阅这方面的知识。

本书第 1~3、5 章由林涛编写,第 4、6~9 章由林薇编写,林涛负责制订编写大纲和统稿工作。在编写过程中,长安大学电子与控制工程学院电子技术教研室的多位老师参与了修改讨论,硕士研究生姜超为本书的编写做了不少工作。

作者的出发点是希望本书的编写有利教学,方便自学。但限于作者的业务水平,书中难免出现疏漏或错误,欢迎读者批评指正。

编 者

2010 年 3 月

第 0 章 绪论	1
0.1 电子管时代	1
0.2 晶体管时代	3
0.3 集成电路时代	3
第 1 章 常用半导体器件	6
1.1 PN 结及其特性	6
1.1.1 半导体物理的基本知识	6
1.1.2 PN 结	9
1.2 半导体二极管	13
1.2.1 普通二极管	13
1.2.2 稳压二极管	18
1.2.3 发光二极管	20
1.2.4 光电二极管	21
1.3 晶体管	21
1.3.1 晶体管的结构与符号	21
1.3.2 晶体管工作状态分析	22
1.3.3 晶体管的共发射极特性曲线	25
1.3.4 晶体管的主要参数	28
1.4 场效应管	29
1.4.1 结型场效应管	30
1.4.2 MOS 场效应管	34
1.4.3 MES 场效应管	38
1.4.4 场效应管的主要参数	39
本章小结	39
思考题与习题	41

第2章 分立元件放大电路	45
2.1 概述	45
2.1.1 放大电路的基本概念	45
2.1.2 放大电路的主要性能指标	46
2.2 基本共发射极放大电路	48
2.3 放大电路的图解分析法	51
2.3.1 直流通路与交流通路	51
2.3.2 用图解法分析放大电路的静态工作情况	52
2.3.3 用图解法分析放大电路的动态工作情况	56
2.3.4 图解法小结	60
2.4 放大电路的等效电路分析法	60
2.4.1 问题的提出及解决问题的思路	60
2.4.2 晶体管的 r_{be} - β 等效电路	61
2.4.3 晶体管的 h 参数微变等效电路	62
2.4.4 放大电路的主要性能指标分析	68
2.5 放大电路的工作点稳定问题	71
2.5.1 影响 Q 点稳定的因素	71
2.5.2 稳定 Q 点的途径	72
2.5.3 分压式偏置放大电路	72
2.6 共集电极放大电路与共基极放大电路	77
2.6.1 共集电极放大电路	77
2.6.2 共基极放大电路	79
2.6.3 3种基本放大电路性能的比较	81
2.7 场效应管放大电路	82
2.7.1 偏置电路和静态工作点分析	83
2.7.2 场效应管放大电路的动态性能分析	87
2.7.3 各种基本放大电路的比较	92
2.8 组合放大电路	95
2.8.1 复合管及其放大电路	95
2.8.2 组合放大电路	99
2.9 多级放大电路	101
2.9.1 多级放大电路的级间耦合方式	101
2.9.2 多级放大电路的分析方法	103
本章小结	106
思考题与习题	107
第3章 集成运算放大器电路	114
3.1 概述	114

3.1.1	集成运算放大器的电路组成	114
3.1.2	集成运算放大器的电路结构特点	115
3.2	电流源电路	116
3.2.1	单管电流源电路	116
3.2.2	镜像电流源电路	117
3.2.3	比例电流源电路	118
3.2.4	微电流源电路	119
3.2.5	改进型电流源电路	119
3.2.6	多路电流源电路	120
3.3	差动放大电路	121
3.3.1	基本差动放大电路	122
3.3.2	长尾式差动放大电路	123
3.3.3	差动放大电路的改进形式	126
3.3.4	差动放大电路的电压传输特性	127
3.3.5	差动放大电路分析举例	128
3.3.6	差动放大电路小结	131
3.4	集成运算放大器	132
3.4.1	通用型集成运算放大器 F007 简介	132
3.4.2	主要技术指标及低频等效电路	135
3.4.3	其他类型的集成运算放大器	137
3.5	集成运算放大器的简单应用电路	138
3.5.1	理想运算放大器的条件与符号	138
3.5.2	同相比例器	139
3.5.3	反相比例器	140
	本章小结	140
	思考题与习题	141
第 4 章	放大电路的频率响应	144
4.1	频率响应的概念	144
4.1.1	频率响应的概念	144
4.1.2	RC 电路的频率响应	146
4.2	晶体管的高频等效模型	150
4.2.1	高频混合 π 型等效模型的引出	150
4.2.2	混合 π 型等效模型参数的获得	151
4.2.3	三极管的频率参数	152
4.3	场效应管的高频等效模型	154
4.4	单管共发射极放大电路的频率响应	154
4.5	多级放大电路的频率响应	159
4.6	放大电路的阶跃响应	161

4.6.1	阶跃信号	162
4.6.2	单级放大电路的阶跃响应	162
	本章小结	165
	思考题与习题	165
第5章	放大电路中的反馈	168
5.1	反馈的基本概念与分类	168
5.1.1	反馈的基本概念与判别方法	168
5.1.2	交流负反馈的4种组态	171
5.2	负反馈放大电路的方框图及放大倍数的一般表达式	176
5.2.1	负反馈放大电路方框图的一般形式	176
5.2.2	负反馈放大电路放大倍数的一般表达式	177
5.3	负反馈对放大电路性能的影响	179
5.3.1	负反馈提高了放大倍数的稳定性	179
5.3.2	负反馈使放大电路的通频带展宽	180
5.3.3	负反馈使放大电路的非线性失真减小	181
5.3.4	负反馈可减小反馈环内的噪声和干扰	182
5.3.5	负反馈对放大电路输入、输出电阻的影响	183
5.3.6	交流负反馈对放大电路性能的影响小结	186
5.4	负反馈放大电路主要性能指标的定量计算	186
5.4.1	深度负反馈条件下放大倍数的近似计算	187
5.4.2	简单负反馈放大电路的微变等效电路分析法	189
5.5	负反馈放大电路的稳定性	191
5.5.1	产生自激振荡的原因与条件	191
5.5.2	负反馈放大电路稳定性的判断	192
5.5.3	负反馈放大电路消除自激振荡的方法	194
5.6	常见负反馈放大电路举例	196
5.6.1	电压串联负反馈放大电路	196
5.6.2	电流并联负反馈放大电路	197
5.6.3	电压并联负反馈放大电路	198
5.6.4	电流串联负反馈放大电路	199
	本章小结	199
	思考题与习题	200
第6章	信号运算与处理电路	205
6.1	基本运算电路	205
6.1.1	加法运算电路	205
6.1.2	减法运算电路	207
6.1.3	积分运算电路	209

6.1.4	微分运算电路	210
6.2	对数和反对数运算电路	211
6.2.1	对数运算电路	211
6.2.2	反对数运算电路	213
6.3	有源滤波电路	214
6.3.1	滤波电路的基本概念	214
6.3.2	一阶有源滤波器	215
6.3.3	二阶有源滤波器	217
6.4	集成运放应用举例	221
6.4.1	电流源和电压源	221
6.4.2	直流电压表	222
6.4.3	电子信息处理系统中的放大电路	223
6.4.4	电压-电流转换电路	226
6.4.5	精密整流电路	227
6.5	电压比较器	228
6.5.1	简单电压比较器	229
6.5.2	迟滞电压比较器	230
6.5.3	窗口电压比较器	232
6.5.4	集成电压比较器	233
	本章小结	234
	思考题与习题	234
第7章	信号产生电路	240
7.1	正弦波振荡电路的组成及振荡条件	240
7.2	RC正弦波振荡电路	242
7.2.1	RC串并联网络的选频特性	242
7.2.2	RC串并联式正弦波振荡电路	243
7.3	LC正弦波振荡电路	246
7.3.1	LC并联谐振回路的选频特性	246
7.3.2	变压器反馈式LC正弦波振荡电路	248
7.3.3	三点式LC正弦波振荡电路	249
7.3.4	石英晶体振荡电路	251
7.4	非正弦信号发生电路	254
7.4.1	矩形波发生电路	254
7.4.2	锯齿波发生电路	256
7.5	集成函数发生器	259
	本章小结	262
	思考题与习题	262

第 8 章 功率放大电路	268
8.1 功率放大电路的一般问题	268
8.1.1 功率放大电路的特点	268
8.1.2 功率放大电路的主要指标	269
8.1.3 功率放大电路的分类	269
8.2 互补对称功率放大电路	271
8.2.1 乙类双电源互补对称电路	271
8.2.2 甲乙类双电源互补对称电路	274
8.2.3 甲乙类单电源互补对称电路	277
8.3 集成功率放大电路	279
本章小结	280
思考题与习题	280
第 9 章 直流电源	285
9.1 直流稳压电源概述	285
9.1.1 直流稳压电源的组成	285
9.1.2 直流稳压电源的主要性能指标	286
9.2 单相整流电路	286
9.2.1 单相半波整流电路	287
9.2.2 单相全波整流电路	288
9.2.3 单相桥式整流电路	289
9.2.4 单相倍压整流电路	291
9.3 滤波电路	292
9.3.1 电容滤波电路	292
9.3.2 电感滤波电路	295
9.4 线性稳压电源	296
9.4.1 稳压管稳压电路	296
9.4.2 串联型稳压电路	299
9.4.3 集成稳压电路	301
9.5 开关型稳压电源	305
本章小结	307
思考题与习题	307
参考文献	311

绪 论

“兴趣是最好的老师”，作为本书的作者，我希望读者不仅把学习“模拟电子技术基础”作为必修课来完成，而且在学习过程中，逐步培养自己的学习兴趣，使自己热爱电子技术。

电子技术是19世纪末、20世纪初开始发展起来的新兴技术，在20世纪得到迅猛发展，成为近代科学技术发展的一个重要标志。进入21世纪，人们面临的是以微电子技术（半导体和集成电路为代表）、电子计算机、Internet为标志的信息社会。

电子技术的发展通常是以电子器件的发展为标志并进行划分的。电子器件经历了电子管、晶体管、集成电路3个时代。

0.1 电子管时代

1905~1948年，这一时期称为电子管时代，以电子管为开端，出现了无线电、电视、有声电影、计算机、雷达、惯性导航等。

以爱迪生效应为基础的弗莱明管是电子学的起点。爱迪生在1883年发现，一只真空管中的受热灯丝产生一股流向附近金属板极的电流。1904年，英国科学家弗莱明(John Ambrose Fleming)在爱迪生发明的热二极管的基础上，发明了实用的真空二极管。它具有单向导电特性，能用来整流或者检波。1906年，美国科学家福斯特(L. D. Forest)发现，在弗莱明二极管中，灯丝和集电极之间放一块金属网或者金属栅，就会产生极好的电压放大效果，这个发现导致真空三极管的诞生和电子学的出现。真空三极管从灯丝到板极的电子流随栅极上的电荷的变化而显著变化，栅极电位的微弱变化能使灯丝板极系统的电子流相应产生较大的变化，它对微弱电信号有放大作用。真空三极管的产生，促使无线电装置可以进行较远距离的通信。

真空三极管诞生之初，在收音机、无线电通信、电压表等方面得到了应用。但开始时真空三极管的性能不够稳定。1912年，美国通用电气公司的兰米尔(Irving Langmuir)和美国电话电报公司的阿诺德(Harold Arnold)改进了三极管的真空度，研制了高真空电子管，使真空三极管的性能更加稳定。1915年，德国科学家肖特基(Walter Schottky)进一步改进了真空三极管，研制成帘栅极电子管。同年，海辛(R. A. Heising)研制成电子管电压表，使电

压表对它所测量的电路的影响减小到最低限度。

1920年,阿姆斯特朗设计出了超外差电路,它只要用一个结构简单、稳定性好、灵敏度高的调谐接收器,即可制成现代收音机。

1921年,西哥蒙德(H. O. Siegmund)研制成电解电容器。

1923年,兹沃里金(Vladimir Zworykin)获得了光电摄像管的专利权,这种管子就是早期电视摄像机所用的摄像管。

1925~1926年间,英国的贝尔德(John Logie Baird)首先发明了电视。他多次表演了一种非常实用的电视装置,当时英国一家杂志的编辑采访了贝尔德并观看了该装置的演示。他曾写道:“我观看了贝尔德先生装置的一次演示,他所取得的成就给我留下了很好的印象。但是,他的机械设备非常简陋。这台电视机基本上是用废料制成的。光学器材是一些自行车灯的透镜,框架用旧糖盒做成,而电线则是临时拼凑的乱糟糟的蜘蛛网般的东西。最大的奇迹是这些质量很差的材料,一经他的安排,就能产生图像。”

1925年,贝尔实验室的J. 约翰逊(John Bertrand Johnson)首先证实了几年前肖特基曾预言的热效应和其他噪声效应的存在。当时约翰逊已经确定通信信号能够有效放大的极限值。由于这项工作的结果,现在通常称热噪声或者白噪声为约翰逊噪声。

1927年,贝尔实验室的布莱克(Harold S. Black)发明了负反馈放大器。布莱克的这种想法是他在乘渡船渡过赫德莱森河回到纽约市西街他的实验室途中形成的。在这之后不久,奈奎斯特(Harold Nyquist)设计出了奈奎斯特图,根据这张图,设计人员就能设计出稳定的负反馈放大电路。

1928年,韦勒(Harold Wheeler)设计出了自动音量控制电路。

1931年,威尔逊(A. H. Wilson)提出了固体半导体的量子力学模型。他把电子设想为通过整个固体或者晶体点阵的波。这一模型奠定了了解半导体性质的基础。在某些频率中,波和晶格之间存在干扰,所以这些频率波在晶格中是不会存在的。从频率和能量之间的关系来看,某些能量因而可以排除。威尔逊的模型导致了建立固体中存在能带的概念。

1938年,休利特(William Hewlett)和帕卡德(David Packard)合作在其所研制的声频振荡器中,用白炽灯作为文氏电桥阻容振荡器反馈回路中的稳定元件。

1939年4月20日,在纽约世界博览会上,美国无线电公司宣布首次提供公共电视广播服务,给声音配上图像。他们当时就曾预言,电视广播这门新技术的诞生,必将对整个社会产生影响。

1940年,贝尔实验室的帕金森(D. B. Parkinson)和勒弗尔(G. A. Lovell)提出了电子模拟计算机的基本概念。这种概念首次用于M9型火炮射击指挥仪。同年,贝克曼发明了多圈螺旋电位器。

1945年,美国无线电公司研制成第一台全电子管彩色电视机。

1946年,莫切利(John Mauchly)和埃克特(John Presper Eckert)在美国宾夕法尼亚大学研制成功第一台电子数字积分计算机ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)。

0.2 晶体管时代

1948~1959年这一时期被称为晶体管时代。

1947年底,贝尔实验室的巴丁(John Bardeen)、布莱顿(Walter Brattain)和肖克利(William Schockley)研究小组研制出了后来称为点接触型的锗晶体管,这是现代电子工业的开始。

1948年,美国通用无线电公司的一位工程师克拉普(James Glapp)发现,在考毕兹(电容三点式)振荡器振荡回路的电感支路串联一个可变电容器,可使考毕兹振荡器的频率稳定度更高,并能扩大其调谐范围。

在英国剑桥大学,吉尔(Stan Ley Gill)、韦勒(David Wheeler)和威尔克斯(Maurice Wilkes)应用冯·诺依曼关于存储程序计算机的原理,研制出了第一台存储程序的计算机——EDSAC(延迟存储电子自动计算机)。

面接触型晶体管是贝尔实验室斯帕克斯(Morgan Sparks)的研究成果。其晶体管的结是通过加热把两个钨“球”(每侧一个)熔合到锗晶体上而形成的。熔合工艺可以使锗晶体产生一个集电区和一个发射区,没有熔合的区域称为基区。

晶体管给超低功率工作提供了可能性,普通的晶体管只要 $1\sim 2\mu\text{W}$ 就能工作,几百个甚至几千个晶体管工作所需要的功率相当于加热一个电子管所需要的功率。

1952年,非线性系统公司推出了数字式电压表,它使标准实验室的测量精度比模拟仪器提高了一个数量级,其数字电压表的精度达到 0.01% ,为数字读出装置铺平了道路。

随着晶体管和晶体管化电路的出现,用来控制电流和电压的大型电位器就显得太庞大了,伯恩斯公司研制出了微调电位器,当时它专门用于微调晶体管化电路的电压。今天几乎在任何一台仪器中都能看到各种规格和型号的微调电位器。

1953年,哥伦比亚大学的汤斯(Charles Townes)、戈登(J. P. Gordon)和齐格勒(H. J. Zeigler)研制出了量子放大器——一种能用光放大微波信号的装置。这种放大器能在接近于热力学温度零度的条件下工作,具有对信号不附加任何噪声的放大能力。

1954年,德克萨斯仪器公司制成了第一只硅晶体管。贝尔实验室的皮尔逊(Gerald Pearson)研制了晶闸管。国家成品公司研制了齐纳二极管,它是第一只固体稳压元件。

1955年,贝尔实验室和穆康公司研制出变容二极管,实际上这是一种反向偏置电容量随外加电压成比例变化的二极管。变容二极管的出现,为电视机、收音机中的电子调谐奠定了基础。

1958年,美国通用电气公司和克里斯特洛尼克斯公司制成商用场效应管。

0.3 集成电路时代

1959年之后,人们称之为集成电路时代。

1958年底,德克萨斯仪器公司和仙童公司宣布研制成功集成电路。当时,这种电路只有几个晶体管、电阻等,与今天一片硅基片上有几千万个元件相比是非常原始的,但它却标