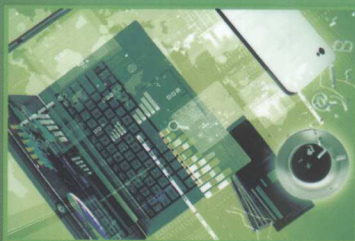


❖ 普通高等教育电子信息类规划教材 ❖

模拟电子技术

ANALOG ELECTRONIC TECHNOLOGY



彭利标 郝芸 蔡伟超 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书赠送电子教案

普通高等教育电子信息类规划教材

模拟电子技术

彭利标 郝 芸 蔡伟超 等编著



机械工业出版社

本书系统地阐述了模拟电子技术的基本原理、基本技术以及典型的应用实例,全书共分11章,主要内容包括电子信息技术概论、二极管及应用、晶体管及放大电路、场效应晶体管放大电路及功率放大器、模拟集成电路基础、负反馈放大电路、模拟信号的运算与处理、波形产生电路、电子系统的频率响应、直流稳压电源、电子产品的装配。每个单元在原理知识学习后,都安排了“学了就要用”环节,该环节提供了一些实用电路,讲述了实践操作方法,并采用软件仿真与硬件操作相结合的办法增加实践动手能力。此外,本书在每章后面附有练习题,供读者练习和自我检查用。

本书可作为普通高等院校电子、通信、电气类等专业的教材,也可作其他相关专业教育培训和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/彭利标等编著. —北京:机械工业出版社,2016.9

普通高等教育电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-53969-8

I. ①模… II. ①彭… 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(2016)第156889号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨

责任校对:张艳霞 责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016年8月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·515千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-53969-8

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

电子技术是工科电子信息类各专业的工程技术基础课,教学目标是使学生获得必要的基础知识和解决实际问题的能力,能排除电子技术应用中一些简单而常见的故障。通过一定的技能训练,提高该类专业学生的综合实践能力。

目前关于模拟电子技术类教材很多,质量普遍较高,但对于应用型人才的培养,还存在以下问题:

1. 理论研究成果偏深、偏多、偏细,不符合应用型人才“理论知识够用”的原则。特别是理论基础相对较薄弱的一些院校学生,对这些高深的教材难以接受,所以学习起来很难产生兴趣。

2. 缺乏理论知识与实践动手能力的融合。大部分同类教材只重视理论的分析与研究,而无解决实际工程中具体措施的讲解,缺乏可“操作性”,学生在学习过程中,只是无目的的“机械式”填压知识,缺乏学习主动性,不能激发其学习兴趣。

本教材主要是面向应用型高校电子信息类专业的学生和教师及相关专业技术人员而编写,其特点如下:

1. 根据信息技术的发展,遵循模拟电子技术的传统体系,增加部分新内容,摒弃晦涩的理论分析和烦琐的理论推导,以集成电路为主线,分立、集成相结合的原则进行工作原理的分析。

2. 在讲授每个单元的基本内容之后,均设有“学了就要用”环节,引导学生重视实践,培养解决实际问题的能力,经过应用环节的具体操作,结合日常生活用品,制作出具体产品,使学生产生成就感,从而提高学习兴趣。

3. 设计“学了就要用”环节主要目的:①掌握仿真软件的具体使用方法,通过仿真内容的结果分析,与理论知识进行对比,使学生形成完整的知识体系;②通过电子产品的装配与调试的具体操作,掌握电子产品的装配工具和基本测试仪器、仪表的使用方法,对了解生产一线的设备有初步认识;③将学习的相关内容与日常所用的电子产品安装与调试结合,了解和掌握电子产品的生产流程,为将来的工程实践打下坚实基础。

本书介绍了半导体二极管、晶体管、场效应晶体管、集成运算放大器、乘法器、集成稳压电源和集成功放等元器件,同时介绍了它们的有关电路,如放大电路、负反馈电路、运算电路、电源电路及振荡电路等,并列举了一些实际应用例子。对于教学内容的叙述力求浅显易懂,简单明了,突出“浅、宽、新、用”四字方针。在内容安排上做到立足基础,注重理论联系实际,突出应用和工程实践。

本书由彭利标、郝芸、蔡伟超等编著,其中彭利标教授编写了第1、2、3、10、11章,郝芸副教授编写了第4、5、6、7章,河南城建学院贺伟老师编写了第8、9章,蔡伟超编写了全书的仿真内容,全书由赵辉教授担任主审。另外,在本书编写过程中,得到了天津通信广播公司的马严总工程师的指导,提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示感谢。

由于编者学识所限,书中难免存在不足之处,敬请有关专家和读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电子信息技术概论	1
§1 电子系统的组成	1
1.1 电子系统的组成及作用	1
1.2 电子技术的应用	2
1.3 电子技术的发展	4
1.4 电路中的信号	8
§2 放大器及性能指标	10
2.1 放大的概念及要求	10
2.2 放大电路的基本性能指标	11
§3 PSpice 仿真简介	13
3.1 PSpice (PSpice8.0) 软件安装过程	13
3.2 PSpice 的基本组成	17
3.3 PSpice 的电路仿真基本步骤	18
3.4 Schematics 界面及操作	18
3.5 图形文件仿真项目设置说明	21
3.6 图形处理程序 Probe 的界面和菜单功能	22
§4 模拟电子技术课程特点	24
第2章 二极管及应用	27
§1 半导体基础知识	27
1.1 半导体的导电特性	27
1.2 PN 结及其单向导电特性	29
§2 半导体二极管	31
2.1 二极管的结构与分类	32
2.2 二极管的伏安特性	32
2.3 二极管的等效电路及主要参数	34
§3 二极管典型应用电路	35
3.1 二极管整流电路	35
3.2 二极管限幅电路	36
3.3 二极管开关电路	36
§4 特种二极管	37
4.1 稳压二极管	37
4.2 发光二极管	39

4.3 其他二极管	39
§5 学了就要用	40
5.1 普通二极管的测试	40
5.2 发光二极管的测试	43
5.3 画图及仿真实例	43
本章小结	45
本章习题	46
第3章 晶体管及放大电路	49
§1 晶体管	49
1.1 晶体管的结构及放大原理	49
1.2 晶体管的特性曲线	52
1.3 晶体管的主要参数	56
1.4 半导体器件的型号命名方法	58
§2 共发射极基本放大电路	60
2.1 共发射极基本放大电路的组成	60
2.2 放大电路的工作原理	61
2.3 直流通路和交流通路	62
2.4 共发射极放大电路的图解分析法	63
2.5 微变等效电路分析法	68
§3 工作点稳定的放大电路	72
3.1 该电路的特点	73
3.2 电路参数分析	74
§4 其他接法的放大电路	76
4.1 共集电极放大电路	77
4.2 共基极放大电路	79
4.3 三种接法放大电路的比较	81
4.4 复合管	82
§5 多级放大电路	83
5.1 多级放大电路概述	84
5.2 多级放大电路的分析	86
§6 学了就要用	88
6.1 晶体管的测试	88
6.2 光控节能灯电路的安装与调试	90
6.3 放大电路的测试	91
6.4 单级放大电路的仿真	92
本章小结	96
本章习题	96
第4章 场效应晶体管放大电路及功率放大器	103
§1 场效应晶体管	103

1.1	结型场效应晶体管	103
1.2	绝缘栅型场效应晶体管	107
1.3	场效应晶体管的主要参数	111
§ 2	场效应晶体管放大电路	112
2.1	场效应晶体管的偏置电路及静态分析	112
2.2	场效应晶体管的简化微变等效电路	114
2.3	共源极放大电路的动态分析	115
2.4	共漏极放大电路的动态分析	116
§ 3	功率放大器	117
3.1	功率放大电路的特点及要求	117
3.2	单管甲类变压器耦合功率放大电路	120
3.3	变压器耦合式乙类推挽功率放大电路	121
3.4	双电源互补对称功率放大电路	122
3.5	场效应晶体管功率放大器	126
§ 4	学了就要用	127
4.1	OTL 互补对称功率放大器的参数测试	127
4.2	音频功率放大器的安装	128
	本章小结	130
	本章习题	130
第 5 章	模拟集成电路基础	135
§ 1	差动放大电路	135
1.1	零点漂移现象	135
1.2	基本差动放大电路	137
1.3	差动放大电路的输入、输出方式	140
1.4	恒流源差动放大电路	143
§ 2	集成运算放大器	145
2.1	集成运放的电路组成及电路符号	145
2.2	集成运放的主要性能指标	148
2.3	理想集成运放的电路模型	149
§ 3	集成功率放大器	150
3.1	常用集成功率放大器	151
3.2	集成功率放大器应用注意事项	154
§ 4	学了就要用	155
	本章小结	157
	本章习题	158
第 6 章	负反馈放大电路	161
§ 1	反馈的基本概念	161
1.1	反馈的定义	161
1.2	反馈的类型及判断方法	162



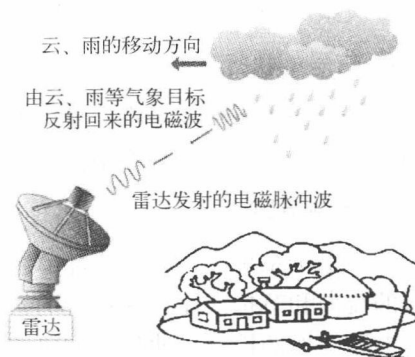
§ 2 交流负反馈的四种组态	165
2.1 负反馈放大电路的一般表达式	165
2.2 电压串联负反馈	166
2.3 电压并联负反馈	168
2.4 电流串联负反馈	169
2.5 电流并联负反馈	170
§ 3 负反馈对放大电路性能的影响	171
3.1 提高放大倍数的稳定性	171
3.2 负反馈对输入、输出电阻的影响	172
3.3 负反馈可减小非线性失真并抑制干扰和噪声	174
3.4 扩展频带	174
§ 4 深度负反馈放大电路的分析计算	176
4.1 深度负反馈放大器放大倍数的估算	176
4.2 电压串联负反馈电路	177
4.3 电压并联负反馈电路	178
4.4 电流串联负反馈电路	179
4.5 电流并联负反馈电路	180
§ 5 学了就要用	181
本章小结	184
本章习题	185
第 7 章 模拟信号的运算与处理	190
§ 1 比例运算电路	190
1.1 比例运算电路的形成	190
1.2 差动比例运算电路	192
§ 2 加法运算电路与加减运算电路	193
2.1 加法运算电路	193
2.2 加减运算电路	194
§ 3 积分和微分运算电路	195
3.1 积分运算电路及应用	195
3.2 微分运算电路及应用	197
§ 4 模拟乘法器及应用	198
4.1 乘法器的基本原理	198
4.2 乘法器的应用	200
§ 5 电压比较器	203
5.1 简单的电压比较器	203
5.2 滞回电压比较器	205
§ 6 学了就要用	207
6.1 基本运算电路的仿真分析	207
6.2 报警电路的设计	215

本章小结	217
本章习题	218
第8章 波形的产生与变换电路	223
§1 正弦波产生电路	223
1.1 电路的组成及振荡条件	223
1.2 RC 正弦波振荡电路	225
1.3 LC 正弦波振荡电路	228
§2 非正弦波产生电路	233
2.1 矩形波产生电路	233
2.2 矩形波参数计算	234
§3 波形变换电路	236
3.1 三角波产生电路	236
3.2 锯齿波产生电路	237
§4 学了就要用	238
4.1 PSpice 仿真分析	238
4.2 基极调幅发射机的安装	240
本章小结	241
本章习题	242
第9章 电子系统的频率响应	246
§1 放大电路的频率响应	246
1.1 放大电路的频率特性	246
1.2 简单 RC 电路的频率特性	248
1.3 多级放大电路的频率特性	250
§2 有源滤波器	251
2.1 滤波器的分类	252
2.2 有源低通滤波器	252
2.3 有源高通滤波器	254
2.4 有源带通滤波器和带阻滤波器	254
§3 晶体管的频率参数	255
3.1 晶体管的电容效应	255
3.2 晶体管的频率参数	256
§4 学了就要用	257
4.1 单级放大电路的仿真分析	258
4.2 两级放大电路的仿真分析	262
本章小结	265
本章习题	265
第10章 直流稳压电源	268
§1 单相整流电路	268
1.1 单相半波整流电路	269

1.2 单相桥式整流电路	270
§ 2 滤波电路	272
2.1 电容滤波电路	272
2.2 其他形式的滤波电路	274
§ 3 稳压电路	275
3.1 稳压电路的性能指标	276
3.2 硅稳压管稳压电路	276
3.3 串联型稳压电路	279
§ 4 线性集成稳压器	280
4.1 固定式集成三端稳压器	281
4.2 可调式集成三端稳压器	282
§ 5 开关式稳压电源	283
5.1 开关型稳压器的工作原理	284
5.2 典型的开关稳压电路	285
§ 6 学了就要用	286
6.1 PSpice 仿真分析	286
6.2 稳压电源的设计与组装	291
本章小结	292
本章习题	293
第 11 章 电子产品的装配	297
§ 1 常用电子元器件	297
1.1 电阻器和电位器	297
1.2 电容器	300
1.3 电感器	302
1.4 电声器件	303
§ 2 常用的装配及焊接工具	305
2.1 常用的装配工具	305
2.2 焊接工具	307
2.3 焊接的基本知识	308
2.4 手工焊接技术	310
2.5 印制电路板元件的焊接	312
§ 3 典型电子产品的装配	313
3.1 电话机的装配	313
3.2 S-2000 型直流稳压/充电电源的装配	319
3.3 超外差收音机的装配与调试	325
3.4 SMT 技术	327
参考文献	330

第1章 电子信息技术概论

科学技术是第一生产力，对于一个国家而言，要想在经济社会建设中获取更多的支持，就必须注重自身科学技术水平的提升，这是一个国家及社会进步的根本保证。就当前来看，电子信息技术较之前确实有了较大的进步与发展，电子信息技术正在逐渐渗透到各个行业和领域。随着人类社会的发展与科学技术的进步，电子信息技术给人们的生活方式带来了极大的转变。



§1 电子系统的组成

电子信息技术是电子设备和信息技术的有机结合。电子设备是指由电阻、电容、电感、晶体管、电子管、集成电路等电子元器件组成（包括软件）的整体，电子系统是应用电子技术发挥作用的电子设备，典型的电子系统包括电子计算机以及由电子计算机控制的机器人、数控或程控系统。

1.1 电子系统的组成及作用

什么是“电子系统”（Electronic System）？很难下一个明确的定义。一般来说，将若干个单元电路或功能模块组合成规模较大、能够完成特定功能的完整电子装置称为“电子系统”。电子系统有大有小，有简有繁，通常一个完整的电子系统由图 1.1 中所示几个主要部分组成，各部分有各自不同的作用。

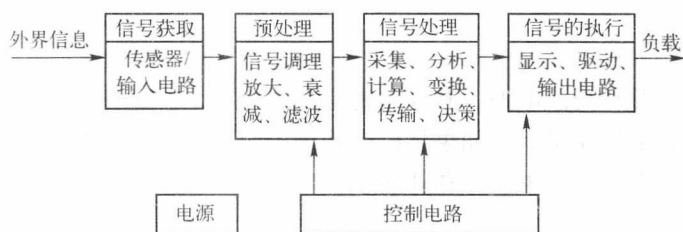


图 1.1 电子系统的组成框图

1. 信号获取

这个组成部分主要是通过各种传感器或输入电路，将外界非电信息（声音、图像、数据、温度、压力、辐射、光强等）变换为电信号或实现系统与信源之间的耦合匹配等功能。

2. 信号的预处理

该组成部分主要是对信号进行放大、衰减、滤波等，也就是通常所说的“信号的调

理”。经预处理后的信号，在幅度大小、频率成分以及其他诸多方面的参数都比较适合做进一步的分析和处理。

3. 信号处理

这部分电路的主要任务是完成有用信号的加工处理或信息的采集、分析、计算、变换、传输和决策等功能。

4. 信号的执行

该部分的主要功能是将信息处理的结果进行显示、对负载的驱动以及完成对信号的输出等功能，它是人机对话和输出信息处理结果的重要组成部分。

5. 控制电路

一个电子系统通常由多个环节组成，从信号的传输过程分析，电子系统中的各信号都有各自的流向和节拍次序，在系统的各组成部分中发挥着不同的作用。控制电路主要完成对各部分电路动作的控制，使各组成单元部分能够协调有序地工作。

6. 电源

电源电路是每个电子系统中必不可少的重要组成部分，它是电子系统中能量的源泉。目前电子系统的电源基本上都可以采用标准化电路，电子产品市场上有许多类型的电源成品可供选择。

1.2 电子技术的应用

电子技术的应用主要体现在广播电视、通信网络、光电技术、数码电子、集成电路、计算机、软件、信息技术、液晶显示以及相关服务行业。电子技术是电路理论与元器件技术的结合。

1. 电路基本理论

电路基础研究的主要内容包括电源、无源电子元件、基本定律和定理等，它是电子技术的理论基础。

(1) 电源

电源包括直流电源和交流电源，独立电源和受控电源，按输出形式可分为电压源和电流源等，如图 1.2 中的 a 和 b 所示。如果将电子系统中的信号源理解为电源，那么它与电子系统的关系也可以等效为图 1.2 中的 c 和 d 所示。

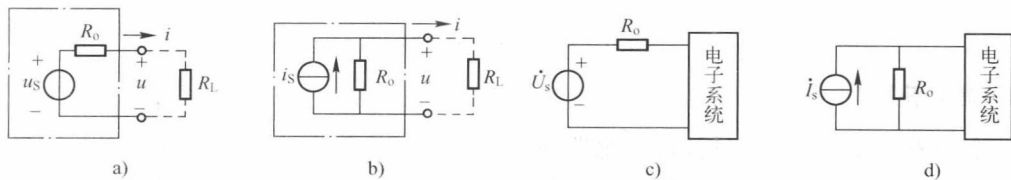


图 1.2 电源与电子系统的关系示意图

在受控电源中，根据控制变量与受控变量不同的控制和组合方式，受控电源可分成四

类,即电压控制的电压源 (Voltage Control Voltage Source, VCVS), 电流控制的电压源 (Current Control Voltage Source, CCVS), 电压控制的电流源 (Voltage Control Current Source, VCCS) 和电流控制的电流源 (Current Control Current Source, CCCS), 其控制示意图如图 1.3 所示。在晶体管中, 各电极电流的关系实际上就是一个电流控制的电流源 (CCCS), 它是利用基极电流来控制集电极电流, 而场效应晶体管则是一个电压控制的电流源 (VCCS)。

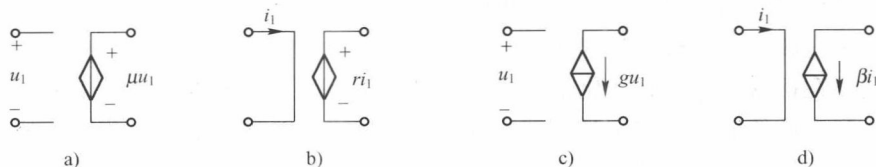


图 1.3 受控电源示意图

(2) 无源电子元件

如果电子元件在工作时, 其内部不需要有任何形式的电源就可以完成各自的功能, 则这种元件叫作无源元件。从电路性质上看, 无源元件有两个基本特点: ①元件自身或消耗电能、或把电能转变为不同形式的其他能量; ②只需输入信号, 不需要外加电源就能正常工作。无源元件主要包括电阻、电容、电感、变压器等。在一个二端线性无源元件中, 其两端的电压 u 与流经它的电流 i 之间的关系与元件的性质有关。如果在任一时刻, 能用 $u-i$ 平面上的一条直线来确定, 就称该元件为电阻器 (简称电阻), 电阻器两端的电压 u 与电流 i 符合欧姆定律, 即 $R = u/i$, 对于电容器和电感器来讲, 其两端的电压和流过它的电流的瞬时值是不符合欧姆定律的。设电容器两端的电压为 u , 流过电容器的电流为 i , 其电容量为 C , 储存的电荷量为 q , 则其基本关系为: $C = q/u$ 、 $i = dq/dt$ 、 $q = C(du/dt)$ 。设电感器两端的电压为 u , 流过电感器的电流为 i , 磁通量为 Φ , 电感量为 L , 则其基本关系为: $L = \Phi/i$ 、 $u = d\Phi/dt = L(di/dt)$ 。无源电路元件之间的参数关系及特性如图 1.4 所示。在电子电路中, 欧姆定律、基尔霍夫定律仍然是定量分析的基本定律。

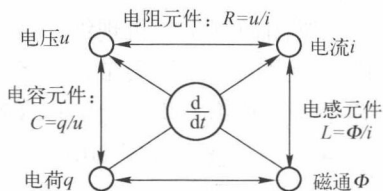


图 1.4 无源元件的参数特性示意图

2. 电子技术及其应用

近些年来, 随着我国经济的不断发展, 各行各业都进入了飞速发展的时期, 这也进一步推动了我国国民经济的发展。随着信息时代的到来, 电子技术被广泛应用于各个领域, 例如广播通信、国防建设、电力行业、汽车工业、医疗卫生等。

(1) 在通信广播、网络技术中的应用

在信息的远距离传输系统中, 首先要将信息转换成电 (或光) 信号, 然后从信源端发送出去, 这就要用到发送设备, 即发射机 (Transmitter); 信号通过传输系统传输到接收端后, 需要将信号还原成原信息, 从而实现信息的再现, 这就要用到接收设备, 即接收机 (Receiver)。另外如收录音、电话机、手机、路由器等都是电子技术在信息传输系统中的具体应用。

(2) 在现代工业、交通系统中的应用

电子技术在汽车电子、火车、轮船、飞机飞行等的控制过程中发挥了不可估量的作用。在百年的航空史中，航空电子的真正发展只是近几十年的事情。在 1912 年，埃尔默 - 斯佩里 (Elmer - Sperry) 发明了一种采用陀螺仪的机械式飞机自动稳定设备，这种设备在飞机飞行过程中，能够使机翼保持水平状态。随着信息接收技术的高速发展，大量的外部信息（如指挥员的命令、敌机方位、来袭导弹等）和内部信息（如发动机转速、载油量、各系统工作状态等）会让飞行员目不暇接。将大量的数据进行筛选、分类，挑选出当前最重要、最迫切需要处理的信息呈现给飞行员，无疑是一项艰巨的工作，必须有一套具有判断、推理能力的系统来完成，计算机的数据融合功能在其中扮演了重要角色。

电子技术在钢铁冶炼、石油化工、机械制造等领域内，伴随着数字控制和数字测量的不断发展而得到广泛的应用。数字控制机床和“自适应”数字控制机床相继出现。利用电子计算机对几十台乃至上百台数字控制机床进行集中控制（群控）也已经实现。此外，电子技术在军事科学、航天技术、雷达探测、电子导航、卫星定位等领域的应用正在发挥着巨大的作用，电子技术在多个方面为我国的工业 4.0 做出了卓越的贡献。

(3) 电子技术在医学领域的应用

近年来，电子技术的发展日新月异，现代医学也进入了生物工程时代。医疗技术的发展对于现代科技来说，已经不是单纯的医学问题，而是一个多学科、综合了多个领域不同技术的融合。如何将电子技术、生物工程和医学发展结合起来造福人类，已成为全世界电子工程师、生物学家和医务工作者所关注的焦点。特别是微电子技术与生物医学之间有着非常紧密的联系，一方面微电子技术的发展将大大地推动生物医学的发展，另一方面生物医学的研究成果同样也将对微电子技术的发展起着巨大的促进作用。

20 世纪 80 年代末至 90 年代初，随着最新计算机图像处理技术与生物医学工程技术的发展，为医学成像提供了有力的工具，人体组织的三维显现不再以二维投影或横断面序列实现，三维图像真实的再现终于成为可能。医疗电子技术在家庭医疗中的应用将随着人口的老龄化急速发展，给社会带来了各种各样的影响。 γ 刀、CT、B 超、微创技术等这些电子医疗设备在病情确诊、疾病治疗以及减少病人的痛苦等过程中的作用不言而喻。

(4) 电子技术在家用电子产品中的应用

电子技术在家用电子产品中的应用无处不在，如空调、冰箱、电视机、音响设备、摄像机、照相机、电子表、电子玩具、各类报警器、保安系统等到处可见。

现阶段，电子技术以及电子产品被广泛应用到社会生活当中的各个领域及层面，在信息化及网络化时代，高新技术更是得到了迅猛的发展，电子技术所具有的通用性、基础性、尖端性及发展性越来越重要和突出。电子技术凭借着质优、价廉、高效、便利、可靠等多方面优势从而获得了广泛应用。

1.3 电子技术的发展

电子技术随着电子元器件的发展而发展，其中半导体器件是组成电子电路的核心部分，随着电子技术的发展，半导体器件已经由分立器件发展到了集成电路，特别是随着大规模和超大规模集成电路的发展，已经使电子技术步入微电子时代。

1. 半导体器件的发展

半导体器件 (Semiconductor Device) 属于有源器件, 因为半导体器件在工作时, 其内部必须有电源存在, 否则它就不能完成其应有的功能 (例如对信号的放大)。从电路性质上看, 有源器件有两个基本特点: ①器件自身也消耗电能; ②除了输入信号外, 还必须要有外加电源才可以正常工作。由此可知, 有源器件和无源器件对电路的工作条件要求、工作方式完全不同, 这在电子技术的学习过程中必须十分注意。

(1) 第一代电子器件——电子管

1906 年美国工程师福雷斯特 (Lee De Forest) 发明了电子管, 解决了对电信号放大的难题, 它是电子学发展史上一个里程碑。电子管存在体积大、重量重、寿命短、耗电多等问题。1946 年 2 月 15 日, 在美国宾夕法尼亚大学诞生的世界上第一台电子数字积分计算机“爱尼阿克” (Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC), 整台机器用了 1.8 万多只电子管, 其机身长达 30.48 m, 宽 6 m, 占地 170 m², 重量达 30 t, 耗电高达 150 kW, 造价高达 48 万美元, 它是一个昂贵、耗电的“庞然大物”。由于它采用了电子线路来执行算术运算、逻辑运算和存储信息, 从而大大提高了运算速度。该计算机的计算速度虽然仅为 5000 次/s 加法或 400 次/s 乘法, 确能把计算一条弹道的时间缩短为 30 s, 它的速度是继电器计算机的 1000 倍, 是手工计算的 20 万倍。它最初被专门用于弹道运算, 后来经过多次改进而成为能进行各种科学计算的通用电子计算机。从 1946 年 2 月 ENIAC 交付使用, 到 1955 年 10 月最后切断电源, 其服役长达 9 年。尽管 ENIAC 还有许多弱点, 但是在人类计算工具发展史上, 它仍然是一座不朽的里程碑, 它的研制成功开辟了提高运算速度的一条先河, 展示了极其广阔的应用前景。ENIAC 的问世表明电子计算机时代的到来, 体现了电子计算机在解放人类智力的道路上突飞猛进的发展。电子计算机在人类社会所起的作用, 与第一次工业革命中蒸汽机相比是有过之而无不及的。

(2) 第二代电子器件——晶体管

晶体 (半导体) 管主要包括晶体二极管和晶体三极管。1947 年 12 月 16 日, 威廉·邵克雷 (William Shockley)、约翰·巴顿 (John Bardeen) 和沃特·布拉顿 (Walter Brattain) 成功地在贝尔实验室制造出世界上第一只晶体管; 1956 年 11 月, 在北京东皇城根中国科学院应用物理研究所小楼的第二层半导体器件实验室里, 中国的第一只晶体管诞生。

晶体管 (Transistor) 是一种固体半导体器件, 可用于检波、整流、放大、开关、稳压、信号调制、解调等许多功能。晶体管作为一种可变开关时, 基于用输入电压来控制流出电流, 因此晶体管可作为电流开关, 与一般机械开关不同之处, 在于晶体管是利用电信号来控制开关的通与断 (ON/OFF), 而且开关速度可以非常快, 在实验室中的切换速度可高达 100 GHz 以上。严格意义上讲, 晶体管泛指一切以半导体材料为基础的单一器件, 包括各种半导体材料制成的二极管、三极管等, 但在使用过程中, 晶体管多指晶体三极管。

晶体管的问世, 是 20 世纪的一项重大发明, 是微电子革命的先驱。晶体管出现后, 人们就可以用一个体积小巧、消耗功率低的电子器件来代替体积大、功率消耗高的电子管了。晶体管的发明又为后来集成电路的诞生奠定了坚实基础。

(3) 第三代电子器件——半导体集成电路

随着半导体技术的不断发展, 晶体管的运行速度更快, 可靠性更高, 成本也更低。

随着能够将大量的晶体管及其他电子元件集成到一块硅片上的集成电路的发明,晶体管取得了新的突破。1958年9月,杰克·基尔比(Jack Kilby)研制出世界上第一块集成电路,成功地实现了把电子元件集成在一块半导体材料上的构想。当时的第一片集成电路只有4只晶体管,到1997年一片集成电路上已经可有40亿个晶体管,目前的超大规模集成电路已经不能单从单片集成元器件数量上衡量,而是追求以功能齐全、运行速度、节能环保等为目标。

集成电路(Integrated Circuit)是一种微型电子器件或部件,它是采用氧化、光刻、扩散、外延、蒸铝等半导体制造工艺,把一个电路中所需的晶体管、二极管、电阻、电容和电感等元件及布线互连在一起,制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上,然后封装在一个管壳内,成为具有所需电路功能的微型结构;其中所有元器件在结构上已组成一个整体,使电子元器件向着微型化、低功耗和高可靠性方面迈进了一大步。

集成电路是20世纪50年代后期至60年代发展起来的一种新型半导体器件,它具有体积小、重量轻、引出线和焊接点少、寿命长、可靠性高、性能好等优点,电子产品中由于使用了集成电路,使其成本大幅度降低,也便于大规模生产。集成电路不仅在工业、民用电子设备如电视机、计算机等方面得到广泛的应用,同时在军事、通信、航空航天等方面也得到了广泛应用。目前半导体工业大多数应用的是基于硅材料的集成电路,因为硅材料的集成电路稳定性更高。有源电子器件的发展过程示意图如图1.5所示。

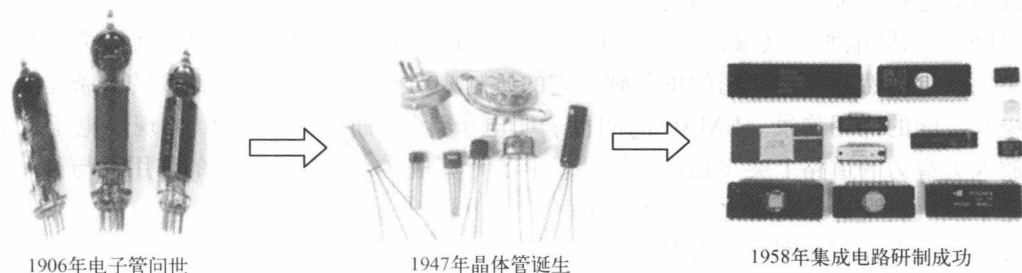


图 1.5 有源器件的发展过程示意图

2. 电子技术的发展

电子技术是19世纪末、20世纪初开始发展起来的新兴技术,20世纪发展最为迅速,应用最为广泛,电子技术已经成为近代科学技术发展的一个重要标志。20世纪50年代末期出现了集成电路后,使电子产品向更小型化发展,集成电路从小规模集成电路迅速发展到大规模集成电路和超大规模集成电路,从而使电子产品向着高效能、低消耗、高精度、高稳定、智能化的方向发展。

(1) 电子技术与计算机同步发展

由于电子计算机发展经历的阶段恰好能够充分说明电子技术发展的特性,所以就从电子计算机发展的四个时代来说明电子技术发展的四个阶段及特点。

第一代(1946~1957年)是电子管计算机,其代表产品就是ENIAC。它的基本电子元件是电子管,内存储器采用水银延迟线,外存储器主要采用磁鼓、纸带、卡片、磁带等。由于当时电子技术水平的限制,运算速度只是每秒几千次~几万次的基本运算,内存容量仅

几千个字节。程序语言处于最低阶段，主要使用二进制表示的机器语言编程，后阶段采用汇编语言进行程序设计。第一代计算机体积大、耗电多、速度低、造价高、使用不便，所以它主要局限于一些军事和科研部门进行科学计算。

第二代（1958~1970年）是晶体管计算机。自贝尔实验室发明了晶体管的10年后，晶体管取代了计算机中的电子管，诞生了晶体管计算机。晶体管计算机的基本电子元器件是晶体管，内存储器大量使用磁性材料制成的磁芯存储器。与第一代电子管计算机相比，晶体管计算机体积小，耗电少，成本低，逻辑功能强，使用方便，可靠性高。

第三代（1963~1970年）是集成电路计算机。随着半导体技术的发展，1958年夏天，美国德州仪器公司制成了第一个半导体集成电路后，从此宣告第三代集成电路计算机的诞生，它的基本电子元器件是小规模集成电路和中规模集成电路，磁芯存储器进一步发展，并开始采用性能更好的半导体存储器，运算速度提高到每秒几十万次基本运算。由于采用了集成电路，第三代计算机各方面性能都有了极大提高，其体积缩小，价格降低，功能增强，可靠性大大提高。

第四代（1971年~至今）是大规模集成电路计算机。随着集成了上千甚至上万个电子元器件的大规模集成电路和超大规模集成电路的出现，电子计算机发展进入了第四代。第四代计算机的基本元器件是大规模集成电路，甚至超大规模集成电路。集成度很高的半导体存储器替代了磁芯存储器，运算速度可达每秒几百万次，甚至上亿次基本运算。

超级计算机是计算机中功能最强、运算速度最快、存储容量最大的一类计算机，多用于国家高科技领域和尖端技术研究，是国家科技发展水平和综合国力的重要标志。

中国在超级计算机榜单中有着上佳表现，“天河一号”由国防科学技术大学研制，部署在国家超级计算天津中心，其实测运算速度可达每秒2570万亿次，也就是说它计算一天的工作量，相当于一台家用电脑计算800年。当然其花费和占据的空间以及能耗也是相当惊人的。排在第二位的是美国的“美洲虎”，实测运算速度可达每秒1750万亿次。排名第三的是中国曙光公司研制的“星云”高性能计算机，其实测运算速度达到每秒1270万亿次。排在前三位的超级计算机，中国占据了2名。

2015年11月16日，全球超级计算机500强榜单在美国公布，由国防科大研制的超级计算机系统“天河二号”以每秒33.86千万亿次连续第六度称雄。

今天的超级计算机可以确保核武器库的安全、预测天气、设计更安全的节能汽车、绘制DNA图谱、探索宇宙等，特别是在“大数据”处理过程中发挥了巨大的作用。

（2）电子信息技术的发展

随着电子信息产业的高速发展，当前社会已经进入信息时代，电子信息技术成为当代最活跃、渗透力最强的科学技术，随着我国科学技术的迅速发展和人民生活水平的不断提高，各种信息技术的应用已经进入千家万户，成为现代家庭生活中不可缺少的重要组成部分。由计算机、有线（或无线）通信设备、信号处理设备、控制设备及相关的配套设备，可按一定应用目的和规则对信息进行采集、加工、存储、传输、检索等。

（3）光电子技术的发展

光电子技术是继微电子技术之后，近30年来迅猛发展的综合性高新技术。1962年半导体激光器的诞生是近代科学技术史上一个重大事件。经历十多年的初期探索，从20世纪70