



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 电路与模拟电子技术

第三版

■ 殷瑞祥 主编

高等教育出版社



“十二五”

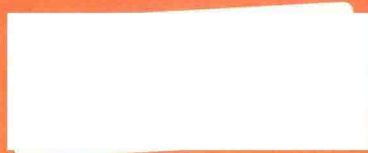
规划教材



# 电路与模拟电子技术

第三版

■ 殷瑞祥 主编



RFID

高等教育出版社·北京

## 内容提要

电路与模拟电子技术是电子信息类、计算机类专业的一门理论性、实践性都比较强的工程基础课程,既具有较强的系统性又强调工程性,是从事电子系统硬件学习的入门课程。全书包括两个部分:电路理论基础和模拟电子技术基础。书中着重基本概念、基本原理和基本电路的分析与应用。例题和习题除围绕上述重点外,还注意思考性、启发性,使读者能增强分析问题和解决问题的能力。

为提高读者应用计算机辅助手段分析设计电子电路,附录介绍了利用 Electronics Workbench 进行电路分析和设计的方法,同时为了配合理论教学,书中还安排一章实验内容,提供了 16 项电路与模拟电子技术实验。

本书兼顾了深度和广度,适合于电子信息类专业、计算机类专业及相关专业学科本专科学生,也可作为成人教育的教材。本书对于相关工程技术人员也是一本实用的参考书。

与教材配套的数字课程教学资源,可通过访问网站 <http://abook.hep.com.cn/12221210> 免费下载获取。教学资源包括:PPT 电子教案,书中各章主要例题的 Multisim 电路仿真文件, Multisim 软件使用指南视频文件及视频解码器。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术 / 殷瑞祥主编. -- 3 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-04-046674-4

I. ①电… II. ①殷… III. ①电路理论-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 266357 号

电路与模拟电子技术(第三版) Dianlu yu Moni Dianzi Jishu(Di-san Ban)

策划编辑 金春英 责任编辑 王莉莉 封面设计 于文燕 版式设计 童丹  
插图绘制 杜晓丹 责任校对 窦丽娜 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a>
印 刷	国防工业出版社印刷厂		<a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>
开 本	787mm × 1092mm 1/16		<a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>
印 张	26.25	版 次	2003 年 12 月第 1 版
印 数	640 千字		2017 年 1 月第 3 版
购书热线	010-58581118	印 次	2017 年 1 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	51.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物 料 号 46674-00

## 与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

### 一、网站登录

**1. 注册 / 登录** 访问 <http://abook.hep.com.cn/12221210>，点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

**2. 课程绑定** 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”，按网站提示输入教材封底防伪标签上的20位数字，点击“确定”完成课程绑定。

**3. 访问课程** 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程，点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

使用本账号如有任何问题，请发邮件至：[abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)

电路与模拟电子技术 (第3版) 易课程 course

用户名  密码  验证码  免费注册  进入课程

课程内容 纸质教材 版权信息 联系方式

电路与模拟电子技术 (第3版) 数字课程与纸质教材一体化设计。数字课程涵盖数字课程介绍、主教材全部章节内容的电子讲稿 (PPT文件)、电路仿真文件、子程序文件等模块。充分运用多种形式媒体资源，极大地丰富了知识的呈现形式，拓展了教材内容。在展开课程教学政策的同时，为学生学习提供思维与探索的空间。

**注册**

扫描二维码  
扫描下载移动应用

**注册** **绑定课程**

第一步 点击“注册”按钮，进行用户注册。已注册用户可直接登录。

第二步 用户登录。

第三步 点击页面右上方的“绑定课程”，输入教材封底数字课程绑定上的16位防伪码 (或防伪验证码) 绑定课程。

第四步 在“我的课程”列表中選擇已绑定的数字课程，点击“进入课程”按钮。

该网站提供使用指南如下，方便教师快速浏览。如有任何问题，请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn) 或添加微信 <https://www.wechat.com> 联系在线客服。

具体操作请参见使用指南

<http://abook.hep.com.cn/12221210>

## 二、配套教学资源包含的文件内容及使用说明:

### 1. PPT 电子讲稿

书中全部教学内容的电子讲稿（PPT 文件），可供教师授课使用，或学生学习复习课程使用。

### 2. Multisim 电路仿真文件

书中各章主要例题的 Multisim 电路仿真文件

### 3. 视频文件及视频解码器

Multisim 软件使用指南视频文件及视频解码器。

## 第三版前言

本书第二版于2009年出版至今已经7年,随着各个专业教育教学改革的深入,有更多专业对本课程提出需求,许多电子信息类专业较少学时的教学使用了我们的教材,在教学内容与教学要求上也提出了一些要求。面对教学需要,我们对教材进行了适当的修订。

第三版修订中,增加了引言,对电子学发展历史进行了简要介绍,以期读者对学科的发展有一些认识。第1章中对电路模型的建立进行了更科学的阐述,并对理想元件模型作了新的归类,提出了双端口理想元件,将理想变压器和受控电源归类为双端口理想元件。第2章对电路分析方法进行了重新归纳,把以解方程为手段的各种方法归为电路分析的系统方法,并给出了全电路方程的概念,使得电路分析方法更系统。此外,对非线性电路的线性化方法提出了系统的描述。重新整理了对放大电路分析方法的介绍,使得内容更系统。

修订中还纠正了第二版中的若干错误,更新和补充了各章思考题与习题。

第三版修订还配套了数字化教学资源,可通过网络注册免费下载获取(网站地址为 <http://abook.hep.com.cn/12221210>)。教学资源包括:PPT电子教案,书中各章主要例题的Multisim电路仿真文件,Multisim软件使用指南视频文件及视频解码器。

感谢使用本书第一、二版的全国高校教师为我们反馈的修改建议,感谢高等教育出版社为本书修订所做的大量工作。

限于作者水平,书中存留错漏,欢迎使用本书的教师和广大读者批评指正。

殷瑞祥

2016年10月于广州

## 第二版前言

本书第一版2003年12月出版至今已经5年,这5年正是我国高等学校深化教学改革如火如荼的5年,本课程经历了新一轮改革,遇到许多新问题,在教学内容与教学要求上提出新的要求。面对教学需要,我们对教材进行了较大篇幅的修订。

首先,为应对电子技术教学内容不断扩大的要求,在教材中压缩了电路部分内容,增强了电子技术应用的内容。根据电路分析基础的规律,按照分析方法的归类,将第一版中涉及正弦稳态分析的三章内容精简合并成一章;第2章增加电路分析的网孔分析方法;将第一版第7章分成两章,半导体器件基础与二极管电路单列一章,增加了二极管应用电路的介绍;直流电源放到第9章,加深了串联型稳压电源和开关稳压电源的内容,便于内容的衔接;晶体管放大电路基础一章增加了频率特性内容;集成运算放大器及其应用改名为模拟集成电路及其应用电路,增加了集成运算放大器核心单元电路——差分放大电路和镜像电流源偏置电路,增加集成功率放大器及其应用电路内容;信号产生电路一章增加石英晶体正弦波振荡电路内容,充实了非正弦振荡电路的定量分析;实验部分增加了4项实验内容。

其次,考虑到EDA技术应用已经比较普遍,将第一版第12章的内容归并到附录,不再单列一章;A/D和D/A转换内容作为附录放到书末,不单列一章。

本书修订中还更新和补充了各章思考题与习题。

第二版书稿承蒙清华大学王鸿明教授主审,王教授对全书修订内容布局、内容组织和文字叙述提出了很好的建议,并为书稿纠正了错误,在此向王教授表示由衷的感谢。

感谢使用本书第一版的全国高校教师给我们反馈的修改建议,感谢西安交通大学刘晔副教授提供的书面修订建议,感谢四川大学雷勇教授提供的修订意见。高等教育出版社为本书修订做了大量工作,作者深表感谢。

限于作者水平,书中存留错漏,欢迎使用本书的教师和广大读者批评指正。

殷瑞祥

2009年1月于广州

# 第一版前言

本书是针对计算机类专业编写的电工电子基础教材,与电气电子类专业不同,对于计算机类专业学生既要比较熟练地掌握电工电子技术的方法和应用,又不要求作深入的研究;但也不同于一般非电类专业只要求了解电工电子技术的概念,它对分析与设计都有一定的要求,以便掌握计算机相关硬件知识和从事计算机接口电路的分析与设计,对于电机及其控制则一般不做要求。因此,计算机类专业在实施专业教学的过程中,既不能按照电类专业那样设置多门课程进行电工电子基础教学,又难以套用非电类专业采用电工学教材的模式开展教学。国内大多数高等学校计算机类专业培养计划的课程设置都是将电路基础和模拟电子技术合并设立一门课程,后续安排数字电路(部分学校对硬件要求不高的也可不设)和数字逻辑课程来完成电工电子基础教学,本书正是在这样的背景下为满足教学需要,在多年教学基础上整理编写的。

在内容组织上,考虑到后续课程的差异,我们单独设立一章介绍 A/D、D/A 转换,使模拟电子电路与数字电子电路能够衔接,对于不设立数字电路课程的专业,可在数字逻辑课程中简单介绍逻辑单元功能电路(逻辑门、触发器)。

随着电工电子技术的发展,各种计算机辅助分析、设计手段越来越完善,因此,我们除了介绍电子电路基本分析设计思路,还专门设一章介绍应用 EWB 进行电子电路分析与设计的方法。

本书 1~6 章为电路基础内容,主要介绍基本的电路理论和分析方法,着重电路的分析方法阐述,7~11 章为模拟电子技术内容,以应用电路来组织内容,着重介绍应用电路的分析和设计,第 12 章介绍 EDA 技术,第 13 章安排了 12 个电路与模拟电子技术实验,由于各个学校实验室情况不同,因此,没有在实验中规定设备,以满足不同的需求。

在编写过程中,编者认真总结多年教学经验,学习参考了国内外同类和相关教材及著作。本教材以培养学生分析问题和解决问题能力,提高学生素质为目标,注重基本概念、基本原理、基本方法的论述,既能使学生掌握好基础,又能启发学生思考、开阔视野。文字叙述力求简明扼要,便于自学。

本书的编写大纲是在华南理工大学电工教研室全体教师集体讨论的基础上制订的,华南理工大学电工教研室的罗昭智老师、朱宁西老师、丘晓华老师、樊利民老师和张琳老师参与了教材的部分编写工作。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

殷瑞祥

2003 年 8 月于广州



## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581999 58582371 58582488

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务与版权管理部

邮政编码 100120

### 防伪查询说明

用户购书后刮开封底防伪涂层，利用手机微信等软件扫描二维码，会跳转至防伪查询网页，获得所购图书详细信息。也可将防伪二维码下的20位密码按从左到右、从上到下的顺序发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪。

### 反盗版短信举报

编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

### 防伪客服电话

(010)58582300

### 网络增值服务使用说明

#### 一、注册/登录

访问 <http://abook.hep.com.cn/12221210>，点击“注册”，在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”页面。

#### 二、课程绑定

点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”，正确输入教材封底防伪标签上的20位密码，点击“确定”完成课程绑定。

#### 三、访问课程

在“正在学习”列表中选择已绑定的课程，点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

如有账号问题，请发邮件至：[abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。

# 目 录

引言 电子学的发展 .....	1	2.3 电路定理 .....	52
<b>第1章 电路的基本概念与基本定律</b> .....	5	2.3.1 叠加定理 .....	52
1.1 电路组成与功能 .....	5	2.3.2 替代定理 .....	54
1.2 电路中的基本物理量:电压、 电流、电位、功率 .....	6	2.3.3 等效电源定理 .....	55
1.2.1 电流 .....	6	2.3.4 最大功率传输定理 .....	60
1.2.2 电压、电位和电动势 .....	7	2.4 含受控电源的电路分析 .....	62
1.2.3 功率和能量 .....	8	思考题与习题 .....	64
1.3 电路模型 .....	10	<b>第3章 交流稳态电路分析</b> .....	70
1.4 基本电路元件模型 .....	11	3.1 正弦量的基本概念 .....	70
1.4.1 单端口理想元件 .....	12	3.1.1 周期和频率 .....	71
1.4.2 双端口理想元件 .....	18	3.1.2 幅值和有效值 .....	71
1.5 电路的工作状态与电气设备的 额定值 .....	20	3.1.3 相位和相位差 .....	72
1.5.1 电路的工作状态 .....	20	3.2 正弦量的相量表示法及 相量图 .....	74
1.5.2 电气设备的额定值 .....	21	3.3 单一频率正弦稳态电路分析 .....	76
1.6 基尔霍夫定律 .....	22	3.3.1 元件的相量模型 .....	76
1.6.1 基尔霍夫电流定律 .....	23	3.3.2 电路的相量模型 .....	79
1.6.2 基尔霍夫电压定律 .....	24	3.3.3 基尔霍夫定律的相量 形式 .....	80
思考题与习题 .....	26	3.3.4 阻抗和导纳 .....	80
<b>第2章 电路分析的基本方法</b> .....	32	3.3.5 阻抗的串联和并联 .....	81
2.1 等效电路分析法 .....	32	3.3.6 正弦稳态电路的一般 分析 .....	84
2.1.1 等效电路的概念 .....	32	3.4 正弦稳态电路的功率及功率 因数的提高 .....	87
2.1.2 电阻的串联和并联 等效 .....	33	3.4.1 正弦稳态电路的功率 .....	87
2.1.3 理想电压源、电流源的 串联和并联 .....	36	3.4.2 功率因数的提高 .....	91
2.1.4 电源模型的等效变换 .....	39	3.4.3 正弦稳态电路的最大功率 传输 .....	94
2.2 电路分析的系统方法 .....	42	3.5 正弦稳态电路中的谐振 .....	96
2.2.1 全电路方程 .....	42	3.5.1 串联谐振 .....	96
2.2.2 支路电流分析法 .....	43	3.5.2 并联谐振 .....	98
2.2.3 网孔电流分析法 .....	45	3.6 三相交流电路 .....	101
2.2.4 结点电压分析法 .....	47	3.6.1 三相电源 .....	101

3.6.2	负载星形联结三相 电路 .....	102
3.6.3	负载三角形联结的 三相电路 .....	105
3.6.4	三相负载的功率 .....	107
3.7	非正弦周期交流稳态电路 .....	109
3.7.1	非正弦周期电压、电流的 谐波分解 .....	109
3.7.2	非正弦周期量的 有效值 .....	112
3.7.3	非正弦周期交流电路的 谐波分析方法 .....	113
3.7.4	非正弦周期交流 电路的功率 .....	116
	思考题与习题 .....	118
<b>第4章 暂态电路分析</b> .....		125
4.1	换路定律与电压电流初始值的 确定 .....	125
4.1.1	换路定律 .....	126
4.1.2	初始值计算 .....	126
4.2	RC 电路的暂态过程 .....	130
4.2.1	RC 电路的零状态 响应 .....	131
4.2.2	RC 电路的零输入 响应 .....	133
4.2.3	RC 电路的全响应 .....	135
4.3	RL 电路的暂态过程 .....	136
4.3.1	RL 电路的零状态响应 ..	136
4.3.2	RL 电路的零输入响应 ..	138
4.3.3	RL 电路的全响应 .....	139
4.4	一阶线性电路暂态过程的三 要素分析法 .....	141
4.5	矩形脉冲作用于一阶电路 .....	144
4.5.1	微分电路 .....	146
4.5.2	积分电路 .....	147
4.5.3	耦合电路 .....	148
4.6	RLC 串联电路的零输入响应 ..	150
	思考题与习题 .....	154

<b>第5章 半导体器件基础与二极管 电路</b> .....		158
5.1	半导体二极管的工作原理与 特性 .....	158
5.1.1	PN 结及其单向 导电性 .....	158
5.1.2	二极管的基本结构 .....	161
5.1.3	二极管的伏安特性 及主要参数 .....	162
5.1.4	稳压二极管 .....	165
5.2	二极管整流电路 .....	167
5.2.1	单相半波整流电路 .....	167
5.2.2	单相桥式整流电路 .....	168
5.2.3	三相桥式整流电路 .....	170
5.3	二极管峰值采样电路 .....	172
5.4	二极管检波电路 .....	173
5.4.1	二极管小信号平方律 检波电路 .....	173
5.4.2	二极管大信号包络 检波电路 .....	174
	思考题与习题 .....	176
<b>第6章 晶体管放大电路基础</b> .....		179
6.1	放大电路的基本概念 .....	179
6.2	双极型晶体三极管及其电路 模型 .....	181
6.2.1	晶体管基本结构 .....	181
6.2.2	晶体管电流分配及放大 原理 .....	182
6.2.3	晶体管的特性曲线 .....	184
6.2.4	晶体管的主要参数 .....	186
6.2.5	晶体管的大信号电路 模型 .....	187
6.3	晶体管放大电路 .....	188
6.3.1	共发射极放大电路 .....	188
6.3.2	放大电路的基本分析 方法 .....	191
6.3.3	静态工作点稳定电路 ..	201
6.3.4	射极输出器 .....	206

6.4 场效应晶体管 .....	209	电路 .....	265
6.4.1 绝缘栅场效应管 .....	210	7.2.1 差分放大电路 .....	265
6.4.2 结型场效应管(JEFT) .....	213	7.2.2 镜像电流源偏置电路 .....	271
6.4.3 场效应管的主要参数 .....	215	7.3 集成运算放大器的线性应用 .....	275
6.5 场效应管放大电路 .....	217	7.3.1 比例运算电路 .....	275
6.5.1 场效应管放大电路静态		7.3.2 加法、减法运算电路 .....	278
工作点的设置及分析 .....	217	7.3.3 微分、积分运算电路 .....	281
6.5.2 场效应管放大电路的动态		7.3.4 有源滤波器 .....	284
分析 .....	220	7.4 集成运算放大器的非线性	
6.5.3 场效应管放大与晶体管		应用 .....	286
放大的比较 .....	224	7.4.1 比较器 .....	287
6.6 多级放大电路 .....	224	7.4.2 采样保持电路 .....	290
6.6.1 阻容耦合放大电路 .....	225	7.5 模拟集成功率放大器及其	
6.6.2 直接耦合放大电路 .....	228	应用 .....	290
6.7 功率放大电路 .....	231	7.5.1 LM386 集成功率	
6.7.1 功率放大电路的特点 .....	231	放大器 .....	291
6.7.2 互补对称功率放大		7.5.2 LM386 的典型应用 .....	292
电路 .....	233	思考题与习题 .....	294
6.8 放大电路的频率特性 .....	237	<b>第8章 信号产生电路</b> .....	301
6.9 放大电路中的负反馈 .....	240	8.1 正弦信号产生电路 .....	301
6.9.1 什么是放大电路中的负		8.1.1 正弦波振荡电路的基本	
反馈 .....	240	原理 .....	301
6.9.2 负反馈的类型及判别 .....	241	8.1.2 LC 振荡电路 .....	304
6.9.3 负反馈对放大电路工作		8.1.3 RC 振荡电路 .....	309
性能的影响 .....	248	8.1.4 石英晶体正弦波振荡	
思考题与习题 .....	252	电路 .....	312
<b>第7章 模拟集成电路及其应用电路</b> .....	259	8.2 非正弦信号产生电路 .....	314
7.1 集成运算放大器概述 .....	259	8.2.1 矩形波发生器 .....	314
7.1.1 集成运算放大器的组成、		8.2.2 三角波和锯齿波	
特点以及图形符号 .....	260	发生器 .....	316
7.1.2 集成运算放大器的电压		8.3 集成函数发生器 8038 及其	
传输特性和等效电路		应用 .....	318
模型 .....	261	8.3.1 集成函数发生器 8038 的	
7.1.3 集成运算放大器的		电路结构及其功能 .....	318
理想化 .....	262	8.3.2 集成函数发生器 8038 的	
7.1.4 常用的集成运算放大器		典型应用 .....	319
及其主要参数 .....	263	思考题与习题 .....	320
7.2 集成运算放大器中的内部单元		<b>第9章 直流电源</b> .....	323

9.1 整流滤波电路 .....	324	10.6 低频功率放大电路的测试 .....	358
9.1.1 整流电路 .....	324	10.7 场效应管放大电路设计 .....	360
9.1.2 滤波电路 .....	326	10.8 多级放大电路设计 .....	361
9.2 稳压二极管稳压电路 .....	331	10.9 差分放大电路 .....	363
9.3 串联型线性稳压电源 .....	334	10.10 集成运算放大器线性应用电路 设计 .....	364
9.4 集成稳压电路 .....	336	10.11 集成功率放大器 .....	365
9.5 开关稳压电路 .....	340	10.12 $RC$ 振荡器电路设计 .....	368
9.5.1 串联型开关稳压电路 ..	340	10.13 信号发生电路设计 .....	370
9.5.2 并联型开关稳压电路 ..	342	10.14 硅稳压二极管稳压电源 .....	372
思考题与习题 .....	343	10.15 串联型直流稳压电源 .....	373
<b>第 10 章 电路与模拟电子技术实验</b> .....	<b>348</b>	10.16 集成稳压电源 .....	375
10.1 感性负载电路及功率因数的 提高 .....	348	<b>附录</b> .....	376
10.2 三相电路 .....	349	附录 1 模拟量和数字量的转换 .....	376
10.3 $RLC$ 电路的频率特性 .....	351	附录 2 应用 EWB 进行电子电路分析 设计 .....	387
10.4 $RC$ 一阶电路暂态过程研究 ..	353	<b>参考文献</b> .....	405
10.5 低频单管电压放大器 .....	357		

电是一种自然现象,人类很早就开始了对电的认识。在中国古代,认为闪电是阴气与阳气相激而生成的,有“阴阳以回薄而成雷,以申泄而为电”的说法。公元前约 600 年,古希腊的哲学家泰利斯(Thales,约公元前 624—约公元前 547)就知道琥珀摩擦会吸引绒毛或木屑,这种现象称为静电(static electricity)。

英国人吉尔伯特(William Gilbert,1544—1603)是世界上第一个从科学原理上来研究电现象的人,1600 年吉尔伯特发明了验电器(electroscope),为后来人们对电进行更科学的研究提供了试验基础,因此称他为电学之父。

美国科学家富兰克林(Benjamin Franklin,1706—1790)经过多次试验,进一步揭示了电的性质,认为电是一种没有重量的流体,存在于所有物体中,1732 年富兰克林第一次提出了电流的概念。1733 年,法国人迪非(Deffe,1698—1739)发现正、负电并提出电为二流体说。

1752 年,美国科学家富兰克林完成了著名的“捕捉天电”的风筝试验,证明天空的闪电和地面上的电是一回事。一年后富兰克林制造出世界上第一个避雷针。1753 年,英国人约翰(John Canton,1718—1772)发明了静电感应装置,证明了静电感应的存在。1772 年,意大利人伽伐尼(Luigi Galvani,1737—1798)提出带电体间距的平方反比定律和介电常数概念。

法国人查利·奥古斯丁·库仑(Charlse-Augustin de Coulomb,1736—1806)从 1785 年开始,用自己发明的扭秤对电荷间的作用力作了一系列的实验研究,发现带电体相互之间静电平方反比定律——库仑定律。

1799 年,意大利人亚历山大·伏打(Volta,1745—1827)发明了著名的“伏打电池”,伏打电池的发明,使人们第一次获得可以人为控制的持续电流,为以后电流现象的研究提供了物质基础。

德国物理学家乔治·西蒙·欧姆(Georg Simon Ohm,1789—1854)1825 年开始进行电导率方面的试验,用自制的细长金属丝测定出几种金属的相对电导率。用同样材料不同粗细的导线做试验发现,如果导线的长度和横截面成正比,则它们的电导值相同。1826 年欧姆提出了电压、电流与电阻的关系——欧姆定律。

19 世纪 30 年代末,英国著名物理学家詹姆斯·普雷斯科特·焦耳(James Prescott Joule,1818—1889)开始研究电流热效应。1840 年—1841 年,他在《论伏打电流产生的热》和《电的金属导体产生的热和电解时电池组所放出的热》两篇论文中,提出了焦耳定律,指出“在一定的时间内,伏打电流通过金属导体产生的热与电流强度的平方和导体电阻乘积成正比”。

1820 年 9 月,法国物理学家安德烈·玛丽·安培(André Marie Ampère,1775—1836)报告了两根载流导线存在相互影响的实验结果:相同方向的平行电流彼此相吸,相反方向的平行电流彼此相斥。通过一系列经典的和简单的试验,他认识到磁是由运动的电产生的。他用这一观点来说明地磁的成因和物质的磁性。他提出分子电流假说:电流从分子的一端流出,通过分子周围空间由另一端注入。

丹麦物理学家汉斯·克里斯蒂安·奥斯特(Hans Christian Oersted, 1777—1851)通过对磁效应的反复研究,于1820年发现了电流的磁效应,证明了电和磁能相互转化,这为电磁学的发展打下基础。

1831年,英国物理学家、化学家迈克尔·法拉第(Michael Faraday, 1791—1867)发现了电磁感应定律。法拉第在软铁环两侧分别绕两个线圈,其中一个线圈为闭合回路,并在导线下端附近平行放置一个磁针,另一线圈与电池组相连(接有开关)形成有电源的闭合回路。试验发现,合上开关,磁针偏转;切断开关,磁针反向偏转,这表明在无电池组的线圈中出现了感应电流。

1845年,德国著名物理学家古斯塔夫·罗伯特·基尔霍夫(Gustav Robert Kirchhoff, 1824—1887)发表了他的第一篇论文,提出了稳恒电路网络中电流、电压、电阻关系的两条电路定律,即著名的基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL),解决了电器设计中电路方面的难题。

英国数学家、物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell, 1831—1879)是继法拉第之后集电磁学大成的伟大科学家。1864年,麦克斯韦提出了电磁理论。从1862年至1864年,他连续发表3篇电磁学论文:《论法拉第的力线》、《论物理力线》、《电磁场的动力学理论》,运用场论的观点,以演绎法建立了系统的电磁理论。1873年出版的《电学和磁学论》一书,全面地总结了19世纪中叶以前对电磁现象的研究成果,建立了完整的电磁理论体系。

1888年,德国物理学家海因里希·鲁道夫·赫兹(Heinrich Rudolf Hertz, 1857—1894)用实验证实了电磁波的存在。依照麦克斯韦理论,电扰动辐射电磁波,赫兹用实验证实了韦伯与麦克斯韦理论的正确性。1888年1月,赫兹将实验成果总结在《论动电效应的传播速度》一文中。赫兹实验结果公布后,轰动了全世界的科学界。由法拉第开创、麦克斯韦总结的电磁理论,至此才取得决定性的胜利。赫兹不仅证实了麦克斯韦发现的真理,更重要的是开创了无线电电子技术的新纪元。

人类有意识地应用电始于19世纪初。

1821年,法拉第发明了一种简单的装置,在装置内,只要有电流通过线路,线路就会绕着一块磁铁不停地转动。这是世界上第一台使用电流将物体运动起来的装置——电动机。

美国发明家塞缪尔·莫尔斯(Samuel Finley Breese Morse, 1791—1872)从电线中流动的电流突然截止时会迸出火花这一事实得到启发,“异想天开”地想,如果将电流截止片刻发出火花作为一种信号,电流接通而没有火花作为另一种信号,电流接通时间加长又作为一种信号,这三种信号组合起来,就可以代表全部的字母和数字。经过几年的琢磨,1837年,莫尔斯设计出了著名且简单的电码,称为莫尔斯电码,利用“点”、“划”和“间隔”的不同组合来表示字母、数字、标点和符号。

美国发明家亚历山大·格拉汉姆·贝尔(Alexander Graham Bell, 1847—1922)在做聋哑人用的“可视语言”实验时,发现了一个有趣的现象:在电流流通和截止时,螺旋线圈会发出噪声。“电可以发出声音!”思维敏捷的贝尔马上想到,“如果能够使电流的强度变化,模拟出人在讲话时的声波变化,那么,电流将不仅可以像电报机那样输送信号,还能输送人发出的声音。”根据这个原理,贝尔于1875年发明了电话,开创了有线通信的历史。

1879年,美国发明家托马斯·阿尔瓦·爱迪生(Thomas Alva Edison, 1847—1931)发明了电

灯,使电走进了千家万户。

1893年,美国发明家、物理学家尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla,1856—1943)发明了无线电。几乎同时,俄国物理学家和电工学家亚历山大·斯捷潘诺维奇·波波夫(Александр Степанович Попов,1859—1906)于1894年制成了一台无线电接收机,第一次在接收机上使用了天线,这也是世界上的第一根天线,开创无线电通信的历史。

英国电气工程师约翰·安布罗斯·弗莱明(John Ambrose Fleming,1864—1945)经过反复试验发现,如果在真空灯泡里装上碳丝和铜板,分别充当阴极和屏极,则灯泡里的电子就能实现单向流动。1904年,弗莱明研制出一种能够充当交流电整流和无线电检波的特殊灯泡——“热离子阀”,产生了世界上第一只电子管——真空二极管。弗莱明发明的“真空二极管”是人类电子文明的开端。

1906年,在弗莱明的基础上,美国发明家李·德弗雷斯特(Lee deForest,1873—1961)发明了真空三极管,使电子管成为能广泛应用的电子器件。

1947年,美国物理学家威廉·布拉德福德·肖克莱(William Bradford Shockley,1910—1989)、约翰·巴丁(John Bardeen,1908—1991)、沃尔特·布喇顿(Walter Brattain,1902—1987)在贝尔实验室发明了晶体管,将电子技术带入晶体管时代,三人于1956年因此共同获得了诺贝尔物理学奖。

1958年9月12日,德州仪器工程师杰克·基尔比(Jack Kilby,1923—2005)发明了世界上第一块集成电路,在锗材料上将包括锗晶体管的5个元件集成在一起,制成了一个移相振荡器,并因此获得了2000年诺贝尔物理学奖。

1959年7月,美国仙童(Fairchild)半导体创始人之一罗伯特·诺顿·诺伊斯(Robert Norton Noyce,1927—1990)利用二氧化硅屏蔽的扩散技术和PN结隔离技术,发明了硅平面工艺,并基于硅平面工艺制成了世界上第一块硅集成电路,使得集成电路可量产化,从此开创了电子技术的集成电路时代。

计算机是20世纪电子技术最重要的应用。1946年2月,第一台电子计算机ENIAC在美国加州问世,ENIAC用了18000个电子管和86000个其他电子元件,有两个教室那么大,运算速度却只有300次(各种运算)/秒或5000次(操作)/秒,耗资100万美元以上。尽管ENIAC有许多不足之处,但它毕竟是计算机的始祖。从1960年到1964年,在计算机中使用晶体管代替了电子管,称为“晶体管计算机时代”(第二代)。晶体管比电子管小得多,不需要暖机时间,消耗能量较少,处理更迅速、更可靠。从1965年到1970年,集成电路被应用到计算机中,称为“中小规模集成电路计算机时代”(第三代),体积更小、价格更低、可靠性更高、计算速度更快。1970年以后计算机中采用了大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI),产生了第四代计算机,目前已经成为人类生产和生活的重要组成部分。

移动通信是电子技术影响人类生活的另一重要应用。1902年,美国人内森·斯塔布菲尔德(Nathan Stubblefield)制成了第一个无线电话——内森·斯塔布菲尔德装置;1938年,美国贝尔实验室为美国军方制成了世界上第一部“移动电话”;1973年4月,摩托罗拉公司工程师马丁·劳伦斯·库帕(Martin Lawrence Cooper)发明了世界上第一部推向民用的手机,被称为现代“手机之父”。经过几十年的发展,移动通信已走过1980年代的第一代(1G)模拟制式、1990年代第二代(2G)数字制式,发展到2000年代的第三代(3G),从单一的语音通信发展到多媒体通信。目



前,第四代(4G)移动通信已经商用,进入互联网通信时代。

100 多年来,电子技术的快速发展对人类社会起到了重要促进作用,已经深入到生产和生活的方方面面,可以预见,电子技术还将在更多领域发挥更加重要的作用。