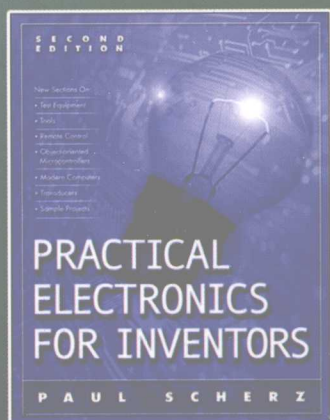


国外电子与通信教材系列

Mc  
Graw  
Hill

# 实用电子元器件 与电路基础 (第二版)

Practical Electronics for Inventors, Second Edition



[美] Paul Scherz 著

夏建生 王仲奕  
等译

刘晓晖 郭福田



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子与通信教材系列

# 实用电子元器件与电路基础

(第二版)

Practical Electronics for Inventors

Second Edition

[美] Paul Scherz 著

夏建生 王仲奕 等译  
刘晓晖 郭福田

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是一本实用性非常强的电子元器件和实用电子电路的参考工具书。

本书从电路基本原理的介绍开始,对各种类型的电子元器件进行了详细具体的分类介绍。首先重点介绍了包括电阻,电感,电容,变压器等在内的基本电子元器件;然后分别介绍了各种半导体器件、光电器件、运算放大器、直流稳压和调压器件、电声器件等专用元器件;介绍了各种滤波电路的设计及实用电路、各种振荡电路及555时基电路;在数字电路中,从各种门电路、触发器开始,详细介绍了各种中规模集成数字器件,如寄存器、计数器、编码器、译码器、数据选择器、数据分配器、数字显示器,以及大规模集成电路的存储器、可编程逻辑器件、微处理器等;在电机及控制电路中,介绍了直流电机、伺服电机和步进电机等。详细提供了各种元器件的型号、参数、接线引脚、外形、实物图片等,并给出了典型的实用电路图;在本书的最后,结合图解的方法,详细地介绍了制作实用电子电路的过程、方法、步骤和注意事项,以及常用仪器仪表的操作使用,元器件的选择等。

本书可作为电子工程技术人员,电子爱好者的电子元器件和实用电子电路的参考工具书,也可以作为大专院校的教学参考书。

Paul Scherz: Practical Electronics for Inventors, Second Edition.

ISBN-13: 978-0-07-145281-6 ISBN-10: 0-07-145281-8

Copyright © 2007 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2009.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字 01-2007-3442

### 图书在版编目(CIP)数据

实用电子元器件与电路基础:第2版/(美)舍茨(Scherz, P.)著;夏建生等译.

北京:电子工业出版社,2009.4

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Practical Electronics for Inventors, Second Edition

ISBN 978-7-121-07977-1

I. 实… II. ①舍… ②夏… III. ①电子元件-教材 ②电子电路-教材 IV. TN6 TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第196211号

责任编辑:李秦华

印刷:北京市顺义兴华印刷厂

装订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:787×1092 1/16 印张:46.5 字数:1507千字

印次:2009年4月第1次印刷

定价:79.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

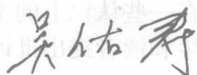
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老教师和专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 教材出版委员会

- 主任 吴佑寿 中国工程院院士、清华大学教授
- 副主任 林金桐 北京邮电大学校长、教授、博士生导师  
杨千里 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长  
中国通信学会常务理事、博士生导师
- 委员 林孝康 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长  
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员  
清华大学深圳研究生院副院长
- 徐安士 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
- 樊昌信 西安电子科技大学教授、博士生导师  
中国通信学会理事、IEEE 会士
- 程时昕 东南大学教授、博士生导师
- 郁道银 天津大学副校长、教授、博士生导师  
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
- 阮秋琦 北京交通大学教授、博士生导师  
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长  
国务院学位委员会学科评议组成员
- 张晓林 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长  
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员  
中国电子学会常务理事
- 郑宝玉 南京邮电大学副校长、教授、博士生导师  
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
- 朱世华 西安交通大学副校长、教授、博士生导师  
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
- 彭启琮 电子科技大学教授、博士生导师
- 毛军发 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长  
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
- 赵尔沅 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
- 钟允若 原邮电科学研究院副院长、总工程师
- 刘 彩 中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工  
信息产业部通信科技委副主任
- 杜振民 电子工业出版社原副社长
- 王志功 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长  
教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
- 张中兆 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
- 范平志 西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

# 译者序

本书的作者 Paul Scherz 是一个物理学家和机械工程师。他在物理学中的研究领域是基本粒子的相互作用,但 Paul 也是一个发明家和业余电子爱好者,这种兴趣是他在大学的核工程与工程物理系和等离子物理系的工作经历中培养起来的。

这是一本实用性非常强的电子元器件和实用电子电路的参考工具书,本书的第一版成为流行世界各地的畅销书。

这是本书的第二版,它对第一版做了较大的增订,特别是第 2 章的电路基本理论几乎重写,并增加了第 14 章电子实验。本书虽然是一本实用性很强的工具书,但它对各种元器件的分析和对各种电路的原理分析介绍,其深度和广度使得它又可以作为一本教学参考书使用。

本书从电路基本原理的介绍开始,对各种类型的电子元器件进行了详细具体的分类介绍。首先重点介绍了包括电阻,电感,电容,变压器等在内的基本电子元器件;然后分别介绍了各种半导体器件、光电器件、运算放大器、直流稳压和调压器件、电声器件等专用元器件;介绍了各种滤波电路的设计及实用电路、各种振荡电路及 555 时基电路;在数字电路中,从各种门电路、触发器开始,详细介绍了各种中规模集成数字器件,如寄存器、计数器、编码器、译码器、数据选择器、数据分配器、数字显示器,以及大规模集成电路的存储器、可编程逻辑器件、微处理器等;在电机及控制电路中,介绍了直流电机、伺服电机和步进电机等。详细提供了各种元器件的型号、参数、接线引脚、外形、实物图片等,并给出了典型的实用电路图,清晰的手绘电路图达 750 多幅;在本书的最后,结合图解的方法,详细地介绍了制作实用电子电路的过程、方法、步骤和注意事项,以及常用仪器仪表的操作使用,元器件的选择,安全操作等,细节几乎面面俱到,这也是本书的一大特点。

本书内容丰富,资料翔实新颖,涉及领域范围极广,叙述清晰细致,语言生动风趣,图文并茂,给出了大量的元器件参数图表和特性曲线,以及各种实用电路的组成和工作过程的详尽分析,并给出了很多计算和分析例题来帮助读者理解内容;本书提供了一个篇幅很大的附录,对电力系统及家用供电系统做了简明但全面的介绍,收录了误差分析、常用公式、各种集成电路分类型号以及大量的实际应用电路。因此,本书是一本非常有实用价值的工具书。可作为电子工程技术人员,电子爱好者的电子元器件和实用电子电路的参考工具书,也可以作为大专院校的教学参考书。

本书的第 2 章由王仲奕翻译;第 3 章的 3.3 节、3.4 节、3.5 节及第 4 章由刘晓晖翻译;第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章、第 13 章、第 14 章及第 3 章的 3.1 节、3.2 节、3.7 节由郭福田翻译;序言、第 1 章、第 12 章、第 3 章的 3.6 节、3.8 节、3.9 节、附录及索引等其他内容由夏建生翻译。

由于译者水平有限,错误和疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

# 序 言

电子领域的设计家们不仅要拥有理论知识、洞察力和创造力,还要具备专业技术,能将自己的想法转变成实际生活中的应用电子产品。本书旨在从理论和实际两个方面,帮助读者直观地理解电子学,激发读者的创造力。

本书以指导读者进行发明设计为目的,适合电子学基础知识薄弱或者根本没有相关知识的初学者。因此,它既是一本适合教师、学生和电子设计初级爱好者使用的入门教材,也是一本可供专业技术人员和更高级别爱好者使用的、有价值的参考书。

## 关于第二版

本书是 *Practical Electronics for Inventors* 的第二版,通篇整体方面和细节方面的改动兼有。第 2 章——理论章节的改动可能是最大的。这一章被完全重写,试图从更深的层次上来解释电子学的概念。在学习过程中添加了很多例题,也适当增加了 SPICE 和电路仿真器的内容。另一处明显的改变是在第 14 章添加了电子学实验部分,内容涉及到检测设备选择、学习实践、关键工具和硬件采购,以及其他与建立个人实验室相关的信息。

真诚地感谢诸位指正第一版中出现错误的人士,对于反馈回来的错误和我偶然发现的错误,在本书中均已得到纠正。



# 目 录

第 1 章 电子学简介 .....	1
第 2 章 基本理论 .....	3
2.1 电子学概论 .....	3
2.2 电流 .....	3
2.3 电压 .....	6
2.4 导体的微观结构 .....	12
2.5 电阻、电阻率和电导率 .....	15
2.6 绝缘体,导体和半导体 .....	19
2.7 热和功 .....	21
2.8 热传导和热阻 .....	23
2.9 导线规格 .....	26
2.10 接地 .....	27
2.11 电路 .....	33
2.12 欧姆定律和电阻器 .....	34
2.13 电压源和电流源 .....	45
2.14 电压,电流和电阻的测量 .....	47
2.15 电池的串并联 .....	48
2.16 开路和短路 .....	49
2.17 基尔霍夫定律 .....	50
2.18 叠加原理 .....	54
2.19 戴维南定理和诺顿定理 .....	55
2.20 交流电路 .....	59
2.21 交流及电阻,电压和电流的有效值 .....	64
2.22 电力网 .....	67
2.23 电容器 .....	69
2.24 电感 .....	84
2.25 复杂电路模型 .....	114
2.26 复数 .....	116
2.27 正弦电路 .....	120
2.28 交流电路的功率(视在功率,有功功率,无功功率) .....	129
2.29 交流电路的戴维南定理 .....	137
2.30 谐振电路 .....	139
2.31 分贝 .....	151
2.32 输入和输出阻抗 .....	154
2.33 二端口网络与滤波器 .....	155

2.34	瞬态电路	166
2.35	周期非正弦电源电路	176
2.36	非周期电源	181
2.37	SPICE	183
2.38	含有有源元件的复杂电路	198
<b>第3章</b>	<b>基本电子电路组件</b>	<b>200</b>
3.1	导线、电缆和连接器	200
3.2	电池组	215
3.3	开关	226
3.4	继电器	229
3.5	电阻	233
3.6	电容器	250
3.7	电感	275
3.8	变压器	289
3.9	熔断器和断路器	305
<b>第4章</b>	<b>半导体</b>	<b>308</b>
4.1	半导体技术	308
4.2	二极管	312
4.3	晶体管	332
4.4	半导体晶闸管	372
4.5	瞬态干扰抑制	379
<b>第5章</b>	<b>光电子技术</b>	<b>387</b>
5.1	光子概论	387
5.2	灯	388
5.3	发光二极管	390
5.4	光敏电阻	399
5.5	光电二极管	401
5.6	太阳能电池	402
5.7	光电晶体管	404
5.8	光电晶闸管	406
5.9	光电耦合器	407
<b>第6章</b>	<b>集成电路</b>	<b>409</b>
6.1	集成电路的封装	409
6.2	几个基本集成电路	411
<b>第7章</b>	<b>运算放大器</b>	<b>413</b>
7.1	运算放大器的水系统模拟	414
7.2	运算放大器的工作原理	414
7.3	运算放大器的相关理论	415
7.4	负反馈	416
7.5	正反馈	420

7.6	运算放大器的实际类型	421
7.7	运算放大器的特性	422
7.8	功率运算放大器	423
7.9	实践中的注意事项	424
7.10	电压和电流的偏移补偿	425
7.11	频率补偿	425
7.12	比较器	426
7.13	带迟滞的比较器	427
7.14	单电源比较器	429
7.15	窗口比较器	429
7.16	电平指示器	430
7.17	放大器的应用	430
<b>第8章</b>	<b>滤波器</b>	<b>435</b>
8.1	滤波器设计须知	436
8.2	基本滤波器	436
8.3	无源低通滤波器的设计	437
8.4	滤波器的比较	441
8.5	无源高通滤波器设计	441
8.6	无源带通滤波器设计	443
8.7	无源带阻滤波器设计	445
8.8	有源滤波器设计	447
8.9	集成滤波器电路	453
<b>第9章</b>	<b>振荡器和定时器</b>	<b>455</b>
9.1	RC 间歇振荡器	455
9.2	555 定时器	458
9.3	压控振荡器	464
9.4	文氏电桥和双 T 形振荡器	464
9.5	LC 振荡器(正弦波振荡器)	465
9.6	晶体振荡器	467
<b>第10章</b>	<b>稳压器和电源</b>	<b>470</b>
10.1	稳压集成电路	471
10.2	稳压器的应用	472
10.3	变压器	473
10.4	整流器的封装	473
10.5	几种简单的稳压电源	474
10.6	关于纹波抑制的技术要点	476
10.7	相关问题	478
10.8	开关稳压器电源	479
10.9	各种商品电源	481
10.10	电源的制作	482

第 11 章 音频电子技术 .....	483
11.1 音频概述 .....	483
11.2 话筒 .....	484
11.3 话筒的特性指标 .....	485
11.4 音频放大器 .....	485
11.5 前置放大器 .....	487
11.6 混频电路 .....	487
11.7 阻抗匹配 .....	487
11.8 扬声器 .....	488
11.9 分频网络 .....	488
11.10 用于驱动扬声器的简单集成电路 .....	490
11.11 声响设备 .....	491
11.12 其他音频电路 .....	491
第 12 章 数字电路 .....	493
12.1 数字电子基础 .....	493
12.2 逻辑门 .....	499
12.3 组合器件 .....	510
12.4 逻辑器件系列 .....	520
12.5 电源与测试逻辑 IC 和普通经验方法 .....	530
12.6 时序逻辑电路 .....	532
12.7 计数器 IC .....	550
12.8 移位寄存器 .....	558
12.9 三态缓冲器、锁存器和收发器 .....	565
12.10 模拟/数字接口 .....	568
12.11 显示器件 .....	581
12.12 存储器件 .....	595
12.13 微处理器和微控制器 .....	606
第 13 章 直流电动机、遥控伺服系统和步进电机 .....	628
13.1 直流电动机 .....	628
13.2 直流电动机的转速控制 .....	628
13.3 直流电动机的转向控制 .....	629
13.4 遥控伺服系统 .....	631
13.5 步进电机 .....	632
13.6 步进电机的类型 .....	632
13.7 步进电机的驱动 .....	634
13.8 带译码器的控制驱动器 .....	635
13.9 步进电机的识别 .....	637
第 14 章 实用电子技术 .....	639
14.1 安全 .....	639
14.2 设计电路 .....	641
14.3 万用表 .....	648

14.4 示波器 .....	652
14.5 电子技术实验室 .....	666
附录 A 配电与家用配线 .....	694
附录 B 误差分析 .....	699
附录 C 常用资料和公式 .....	702
附录 D 组件数据,逻辑集成电路列表,及一些国家的半导体编码 .....	708
附录 E 微控制器电路 .....	717

# 第1章 电子学简介

学习电子学时,初学者往往不能明确哪些内容是必须掌握的。那么究竟该了解哪些知识,并且应该按何种先后顺序去学习这些知识呢?图1.1可以作为学习电子学的一个不错的起步点,该流程图展示了电子学的所有重点内容,以及这些内容的常规学习顺序。图中扼要地介绍了进行实用电子装置设计的基本要素,这些要素也正是本书所要阐述的内容,下面将对这些要素进行详细介绍。

首先是理论知识,包括电压,电流,电阻,电容,电感的知识,以及各种用来确定电路中电压、电流的大小和方向的定律和定理。掌握了这些基础理论后,将开始学习无源元件,如电阻器、电容器、电感器和变压器等。

接下来是分立无源电路,包括限流网络、分压器、滤波电路、衰减器,等等。这些简单的电路本身并没有什么价值,但在较复杂的电路中,它们却是至关重要的组成部分。

学习了无源元件和无源电路后,将开始学习由半导体材料制成的分立有源装置。这些装置主要由二极管(单向导通门),晶体管(电气控制开关/放大器)和晶闸管整流器(仅用做电气控制开关)组成。

在阐述了分立有源装置之后,将介绍分立有源/无源电路。在这些电路中,有一部分带有整流器(交-直流转换器)、放大器、振荡器、调制器、混合器和稳压器。从这里开始,学习的内容不再枯燥无味,开始变得有趣了。

为了简化电路,设计者和生产商已经制造出集成电路(IC),就是在一小片半导体硅片上集成了前面提到的若干分立电路,硅片由塑料外壳封装,延伸出来的细小引线可以连接到芯片外部的金属插脚。放大器、稳压器之类的集成电路属于模拟装置,它们可以对连续变化的任意大小的电压信号做出反应,并且可以产生任意大小的电压信号(不同于数字电路,数字电路只有两种工作电平)。实用电路设计者必须熟悉集成电路的内容。

然后进入数字电子技术的学习。数字电路只工作在高(例如5伏)、低(例如0伏)两种电压状态下。仅采用两种电压状态是为了方便数据(数字、符号、控制信息)的处理和存储。将各种信息编码,使之成为数字电路可以使用的信号,在这个过程中,需要将二进制的位与表示对立意义的“词语”对应起来(例如:1和0,分别表示高、低电平)。对于某个具体的电路,由设计者指定它们表示的实际意义。与模拟电路不同,数字电路使用的是一套全新的集成元件。数字电路中使用了大量的专用集成电路,其中,一部分用于信息输入时的逻辑操作;另一部分用做计数;还有一部分用来暂存需要恢复的数据。数字集成电路包括逻辑门、触发器、移位寄存器、计数器、存储器、处理器,等等,数字电路使电子装置具有了“头脑”。为了使数字电路能与模拟电路相互作用,需要使用专门的模数转换电路,把模拟信号转换成一串由0和1组成的特殊字符串;同样,也需要数模转换电路将0和1组成的字符串转换成模拟信号。

在电子学的整个学习过程中,会接触到多种输入/输出(I/O)装置(转换器)。输入装置包括麦克风、光电晶体管、开关、键盘、电热调节器、应变仪、发电机和天线。它们将物理信号,例如声音、光照和压力,转换成电路可使用的电信号。输出设备是将电信号转换为物理信号。输出装置包括灯、LED和LCD显示器、扬声器、蜂鸣器、电动机(直流、伺服,步进)、螺线管和天线。正是这些I/O装置使人与人之间、电路之间可以相互通信。

最后是搭建/测试阶段。包括阅读原理图,使用实验板搭建电路原型,测试电路原型(使用万用表、示波器和逻辑探头),校正电路(非必需),使用各种工具和专用电路板搭建最终电路。

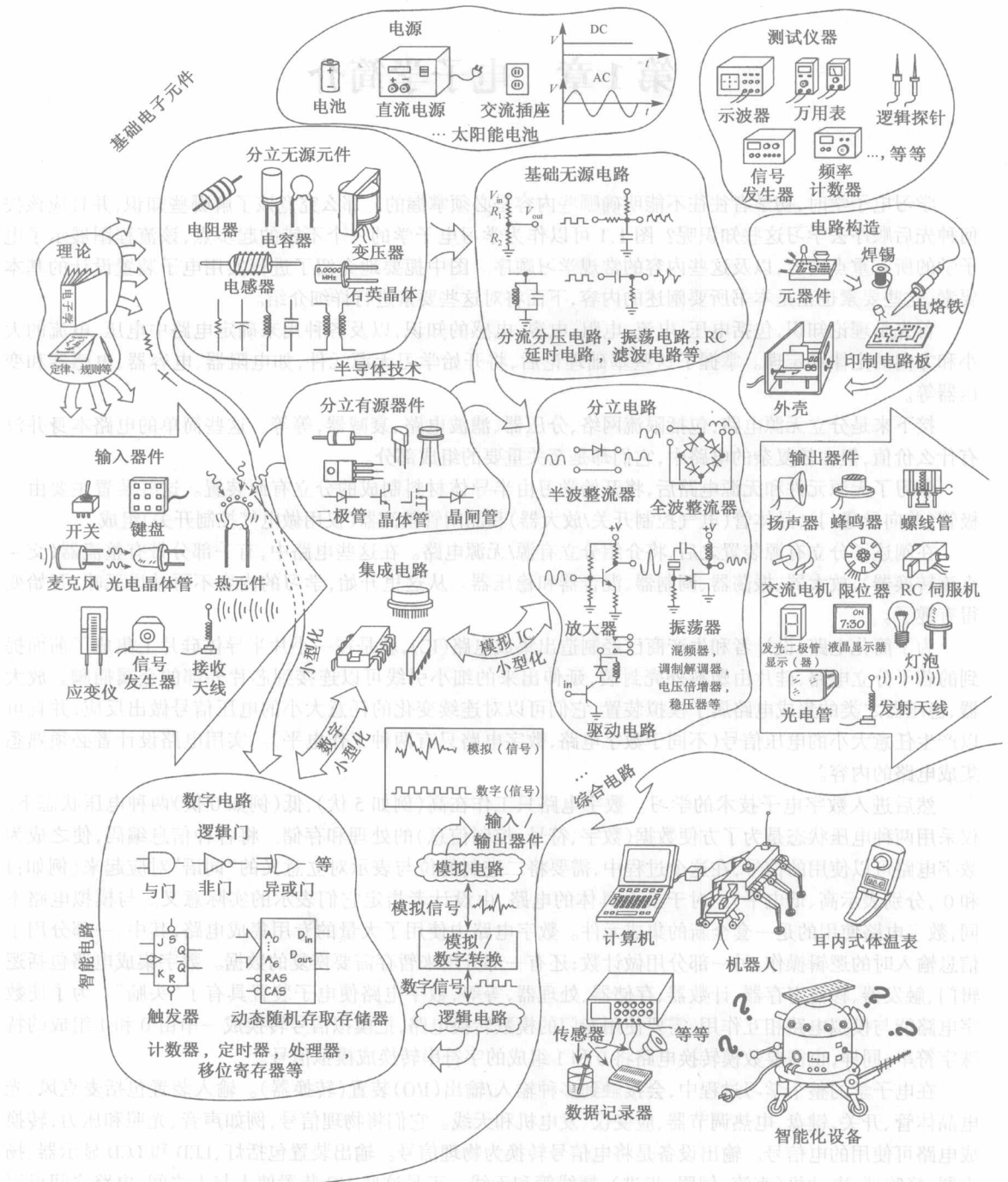


图 1.1 基础电子元件

## 第2章 基本理论

### 2.1 电子学概论

本章首先介绍电子学中的一些基本概念,如电流,电压,电阻,电源,电容和电感。在这些基本概念的基础上,说明描绘电阻、电容、电感这些基本元件上的电流和电压特性的数学模型。并通过基本定理和定律的应用,如欧姆定律,基尔霍夫定律,戴维南定理,给出包含电阻,电容,电感和一种激励源的复杂电路网络的分析方法,同时介绍用于电网络中的各种激励源,如直流电源(DC),交流电源(AC)(包括正弦周期信号或非正弦周期信号),以及非正弦非周期信号源。然后将讨论瞬态电路,在这种电路中,状态会发生突变(例如电路中开关的跳闸),最后对含有非线性元件(二极管,晶体管,积分电路等)的电路进行分析和讨论。

对开始学习电子学的读者,本书建议你使用电路仿真模拟器,从电子工作平台([www.electronicworkbench.com](http://www.electronicworkbench.com))搜索 MultiSim 程序,在 DesignSoft([www.tina.com](http://www.tina.com)) 搜索 TINAPro 程序,可以随时进行测试,在学习某一章的内容时,应用电路仿真模拟器有助于理解这一章的知识,并对电路性质有一个直观的认识。但是,要注意的是当没有完全理解模拟仿真器模拟一个实际电路所需要的参数时,模拟仿真器会给出错误的结果。更重要的是能亲自动手做出面包板,用导线,电阻,电源等电路元件构成电路,这将会得到大量的实际知识,对于一个发明者是非常必要的。

需要明确的是,本章只是从理论上解释了所有涉及到的电路元件。例如,拿电容来说,我们将了解电容的工作原理和在某一特定条件下描述一个电容器的特征方程式,以及预测一些基本现象的各种相关技巧。但是,更为重要的应该是得到电容器的实际知识,例如电容器的实际应用(滤波器,缓冲器,振荡器的设计等),现有实际电容器的类型,实际电容器有哪些不同的非理想特性,在一些特殊的应用场合哪种电容器最佳,以及如何识别电容器上的标签,在 3.6 节中可以找到这方面的相关知识。以上讲的问题也适用于本书理论部分所涉及到的其他电路元件。

关于变压器和非线性电路元件,例如二极管,晶体管,模拟和数字集成电路(IC),其理论和实际的问题没有在本章讨论。变压器部分将在 3.8 节中讨论,其他非线性电路元件将在本书的其他章节中分别讨论。

在这里提醒读者:如果在本章的某一节中出现看起来复杂的数学式子,不要担心,先跳过它,因为本章大部分复杂的数学式子是用来证明一些电路理论和定理的,或是为了说明如何把复杂事物理想化以避免用数学方法处理的。在大部分电路设计中实际用到的数学知识是非常少的。事实上,只需要知道基本的代数知识就足够了。因此,在本章某些特定部分中出现感觉难以理解的数学公式时,抛开这部分内容,不必过于在意其中的这些数学表达式,抓住有用的,不难理解的公式、定理等。不使用这些数学式子也能够设计出相当好的电路。

### 2.2 电流

电流是单位时间内通过某一横截面  $A$  的总电荷。这个横截面可以是空气,等离子体或是液体中的任意一截面。但在电子学中,这个截面大多数情况下是固体中的一个薄片,比如说导体(如图 2.1 所示)。

$\Delta t$  时间通过横截面积为  $A$  的电荷量为  $\Delta Q$

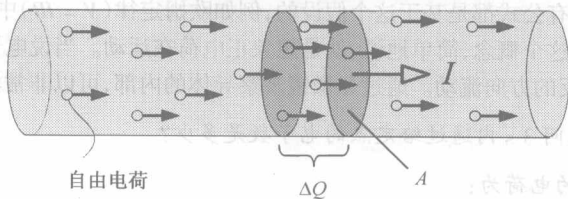


图 2.1 电流定义模型



如果在  $\Delta t$  时间内,通过某一截面的电荷量为  $\Delta Q$ ,则定义平均电流  $I_{\text{ave}}$  为:

$$I_{\text{ave}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

如果电流随时间变化,定义  $\Delta t \rightarrow 0$  时的电流值为瞬时电流,即瞬时电流是电荷通过某一截面时的变化率:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (2.1)$$

电流的单位是库仑每秒,也称为安培(A)

因为安培是一个比较大的单位,因此,电流也常用毫安( $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ )、微安( $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ )和纳安( $1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$ )表示。

在导体内,比如铜,电流是导体内自由电子的定向移动而形成的。每个铜原子有一个自由电子,单个自由电子的电荷量为:

$$Q_{\text{electron}} = (-e) = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (2.2a)$$

这个电荷量与单个铜离子的电荷量相等,但是符号相反(原子失去一个电子形成正电荷,这些电子在导体内自由移动形成自由电子群。失去电子的原子其质子数多于电子数)。一个质子的电荷量为:

$$Q_{\text{proton}} = (+e) = +1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (2.2b)$$

由于导体内的质子和电子的数量相等,因此整个导体是中性的。从式(2.2)可以看出,如果流过铜导线的电流为  $1 \text{ A}$ ,则在  $1 \text{ s}$  内穿过导线横截面的电子数量为:

$$1 \text{ A} = \left( \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} \right) \left( \frac{\text{电子}}{-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}} \right) = -6.24 \times 10^{18} \text{ 电子/s}$$

上式结果提出一个问题,即为什么每秒流过的电子量是负数?对这个问题只有两种可能的解释,要么把电子流动的反方向定义为电流,要么让正电荷取代电子在导线中运动,以上都可以解决符号问题。但后一种解释是不正确的,实验证明,电子是自由运动的,而正电荷不能自由移动,它们被固定在导体的晶格中(但要注意的是,有些介质中的正电荷可能会运动,如液体、气体和等离子体中的正电荷是运动的),因此前一种说法,即把电子流动的反方向规定为电流的方向是正确的。

很早以前,当本杰明·富兰克林(通常被称为电子学之父)开始早期的电子学研究时,规定了正电荷的符号,在那个时期,电荷的运动和做功还是一件神秘的事情,后来,名叫约瑟夫·汤姆逊的物理学家在实验中获得运动的电荷,为了测量和记录实验数据以及做一些计算,汤姆逊必须遵守唯一的定律——富兰克林的正电流定律。但是,汤姆逊发现运动电荷(被他称为电子)的运动方向与公式中约定的电流  $I$  的方向相反,或者说电子逆着约定的方向运动,参见图 2.2。

汤姆逊改变了正电荷在导体中自由运动的说法,与富兰克林的观念相反,但由于负电子的运动方向可以等效为正电荷沿着相反方向的运动,因此原有的公式仍然适用,在应用这些公式时,仍然采用富兰克林的电流理论,尽管已经意识到在导体内运动的实际是自由电子。

上述问题对于那些对物理细节不感兴趣的人来说没有什么关系,可以假设在导线中或电子设备中自由运动的是正电荷,把负电荷的运动方向等效为正电荷沿着相反方向的运动对所有的研究工作没有影响。事实上,在电子学中使用的公式都是基于这个假设的,例如欧姆定律( $V = IR$ )中的电流  $I$  被认为是由正电荷形成的,以后将一直遵循这个概念,简单地说,就是想象正电荷在运动。当说电子流动时,要意识到定义的电流正沿与其运动方向相反的方向流动。通过显微镜观察导体的内部,可以非常清楚地看到这一事实。

例 1:导体电流为  $2 \text{ A}$ ,问  $3 \text{ s}$  内通过给定点的电子数是多少?

解:  $3 \text{ s}$  内通过给定点的电荷为:

$$\Delta Q = I \times \Delta t = (2 \text{ A}) \times (3 \text{ s}) = 6 \text{ C}$$