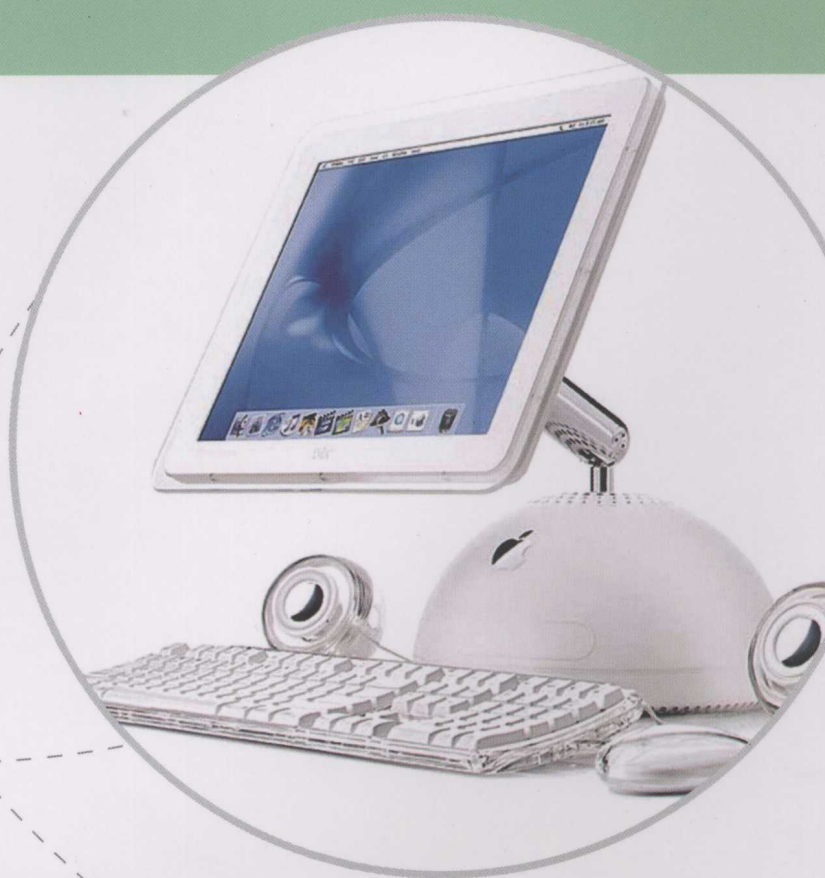




21世纪全国高职高专计算机教育“十一五”规划教材
丛书主编 全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会主任 李大友

电路与模拟电子技术教程

主 编 孙玉洁 张智雄
副主编 夏晓玲 郝建华
裘荣耀 汪建立



 中国计划出版社

21世纪全国高职高专计算机教育“十一五”规划教材

电路与模拟电子技术教程

本书编委会 编著

中国计划出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

电路与模拟电子技术教程 / 《电路与模拟电子技术教程》编委会编著. —北京: 中国计划出版社, 2007. 8
21世纪全国高职高专计算机教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-80177-975-5

I. 电… II. 电… III. ①电路理论—高等学校: 技术学校—教材②模拟电路—电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM13 TN710

中国版本图书馆CIP数据核字 (2007) 第112291号

内 容 简 介

本书将电路基础与模拟电子技术两部分内容有机地结合在一起, 是高校电类相关专业、计算机专业及其他本科非电类专业的一本很实用的学习资料。

全书共 12 章, 其中第 1~4 章为电路基础部分, 第 5~12 章为模拟电子技术部分。电路基础部分主要包括: 电路的基本概念和基本定律, 直流电路的分析, 正弦交流电路, 线性动态电路的时域分析, 使用时可以根据需要对前后顺序做灵活处理。模拟电子技术部分主要包括: 半导体二极管及其应用, 放大电路基础, 集成运算放大器基础, 负反馈放大电路, 集成运算放大器的应用, 信号产生电路, 功率放大器, 直流稳压电源。

本书既可作为高职高专相关课程的教材, 也可供其他电子类专业学生及相关专业的工程技术人员参考。

21世纪全国高职高专计算机教育“十一五”规划教材 电路与模拟电子技术教程

本书编委会 编著

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座4层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

河北省高碑店市鑫宏源印刷厂印刷

787×1092毫米 1/16 20.25印张 492千字

2007年8月第一版 2007年8月第一次印刷

印数1—4000册

☆

ISBN 978-7-80177-975-5

定价: 29.00元

丛书编委会

主 任：李大友

副主任：王行言 郑 莉 傅连仲

委 员：（按音序排列）

蔡 莉	成安霞	邓 凯	东朝晖	范双南	方一新
高永强	韩小祥	韩银锋	黄国雄	黄志刚	蒋星军
李国安	李 红	李金祥	李亚平	李 阳	李寅虎
李玉虹	黎敦云	刘灿勋	刘长生	刘 钢	刘国锋
刘立军	刘文涛	刘晓魁	刘占文	刘志军	罗建斌
罗文华	孟繁增	商信华	邵 杰	舒大松	万雅静
王德奎	王宏基	文其知	吴 博	吴国经	吴 玉
武嘉平	夏国明	谢书玉	阳若宁	杨邦荣	杨学全
袁学松	曾凡文	周承华	周少华	朱元忠	朱志伯

本书编委会

主 编：孙玉洁 张智雄

副主编：夏晓玲 郝建华 裘荣耀 汪建立

参 编：徐云青 马文龙 朱 猛 陈永松 杨丽婕

赵瑞军 刘 莎 侯 涛 朱秋琴 韩毓文

丛 书 序

编写背景和目的

高等职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分，在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有特殊的重要地位。现在，我国就业和经济发展正面临着两个大的变化，即：社会劳动力就业需要加强技能培训，产业结构优化升级需要培养更多的高级技术人才。温家宝总理在 2005 年 11 月 7 日的全国职业教育工作会议上指出，高等职业教育的发展仍然是薄弱环节，不适应经济社会发展的需要；大力发展高等职业教育，既是当务之急，又是长远大计。《国家教育事业发展规划“十一五”规划纲要》中提出，要以培养高素质劳动者和技能型人才为重点，提高学生创新精神和实践能力，大力发展职业教育；扩大高等职业教育招生规模，到 2010 年，使高等职业教育招生规模占高等教育招生规模的一半以上。在以上背景下，我国已进入了新一轮高等职业教育改革的高潮，目前高职院校的学校规模、专业设置、办学条件和招生数量，都超过了历史上任何一个时期。

随着信息社会的到来，灵活应用计算机知识、解决各自领域的实际问题成了当代人必须掌握的技能，为此，高职院校面向不同专业的学生开设了相关的计算机课程。然而，作为高职院校改革核心之一的教材建设大大滞后于高等职业教育发展和社会需求的步伐，尤其是多数计算机应用教材，或显得陈旧，或显得过于偏重理论而忽视应用。以致于一些通过 3 年学习的高职院校学生毕业后，所掌握的技能不能胜任用人单位的需求。

鉴于此，中国计划出版社与全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会联合在全国 1105 所高职高专中做了广泛的市场调查，并成立了《21 世纪全国高职高专计算机教育“十一五”规划教材》编委会，由全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会主任委员、北京工业大学李大友教授担任编委会主任。编委会进行了大量调查研究，通过借鉴国内外最新的、适用于高职高专教学的计算机技术经验成果，推出了切合当前高职教育改革需要、面向就业的系列职业技术型计算机教材。

系列教材

本计算机系列教材主要涵盖了当前较为热门的以下就业领域：

- 计算机基础及其应用
- 计算机网络技术
- 计算机图形图像处理和多媒体
- 计算机程序设计
- 计算机数据库

- 电子商务
- 计算机硬件技术
- 计算机辅助设计

教材特点

本套教材的目标是全面提高学生的计算机技术实践能力和职业技术素质，为此，中国计划出版社与全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会合作，邀请了来自全国各类高等职业学校的骨干教师（其中很多为主管教学的院长或系主任）作为编委会成员外，还特聘了多位具有丰富实践经验的一线计算机各应用领域工程师参加教材的技术指导和编审工作，以期达到教学理论和实际应用紧密结合的效果。

同时，为配合各学校的精品课程建设工程，本套教材以国家级精品课程指标为指引方向，借鉴其他兄弟出版社的先进经验和成功案例，提出了建设“立体化教学资源平台”的概念，其内容包括教材、教学辅导资料、教学资源包、网络平台等内容，并将在后续培训、论文发表等多方面满足教师与精品课程建设的需求。

本系列教材的特点如下：

（1）面向就业。本系列教材的编写完全从满足社会对技术人才需求和适应高等职业教育改革的角度出发，教材所涉及的内容是目前高职院校学生最迫切需要掌握的基本就业技能。

（2）强调实践。高职高专自身教育的特点是强调实践能力，计算机技术本身也是实践性很强的学科，本系列教材紧扣提高学生实践能力这一目标，在讲解基本知识的同时配套了大量相关的上机指导、实训案例和习题。

（3）资源丰富。本系列教材注重教材的拓展配套，辅助教学资源丰富。除了由本书作为主干教材外，还配有电子课件、实训光盘、习题集和资源网站等辅助教学资源。

读者定位

本计算机应用系列教材完全针对职业教育，主要面向全国的高职高专院校。本系列教材还可作为同等学历的职业教育和继续教育的教学用书或自学参考书。

本系列教材的出版是高职教育在新形势下发展的产物。我们相信，通过精心的组织和编写，这套教材将不仅能得到广大高职院校师生的认可，还会成为一套具有时代鲜明特色、易教易学的高质量计算机系列教材。我们与时俱进，紧密配合高职院校的办学机制和运行体制改革，在后期的组织推广及未来的修订出版中不断汲取最新的教学改革经验和教师学生及用人单位的反馈意见，为国家高等职业教育奉献我们的力量。

丛书编委会

前 言

本书将电路基础与模拟电子技术两部分内容有机地结合在一起,是高校电类相关专业、计算机专业及其他本科非电类专业的一本很实用的学习资料。

在编写本书的时候,编者本着基础理论教学以应用为目的的宗旨,理论叙述尽可能简明易懂,降低了理论深度,精选了教材内容,减少了不必要的数学理论和数学推导,内容由浅入深,注重从具体的例子引出结论。

全书共 12 章,其中第 1~4 章为电路基础部分,第 5~12 章为模拟电子技术部分。

电路基础部分主要包括电路的基本概念和基本定律,直流电路的分析,正弦交流电路,线性动态电路的时域分析,使用时可以根据需要对前后顺序做灵活处理。

模拟电子技术部分主要包括半导体二极管及其应用,放大电路基础,集成运算放大器基础,负反馈放大电路,集成运算放大器的应用,信号产生电路,功率放大器,直流稳压电源。书中每章都配有练习题,使用本书时注意理论、例题和练习题的有机结合。

本书既可作为高职高专计算机科学及应用专业的教材,也可供其他电子类专业学生及相关专业的工程技术人员参考。

本书由孙玉洁、张智雄主编,夏晓玲、郝建华、裘荣耀、汪建立担任副主编,徐云青、马文龙、朱猛、陈永松、杨丽婕、赵瑞军、刘莎、侯涛、朱秋琴、韩毓文参与编写。

由于时间仓促与编者水平有限,不足与欠妥之处在所难免,恳请广大读者不吝指正。

编者

2007年6月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电流、电压和功率	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	4
1.2.3 电功率	7
1.3 电阻元件与欧姆定律	8
1.3.1 电阻元件	8
1.3.2 欧姆定律	10
1.3.3 电阻元件上消耗的功率与能量	11
1.4 电容元件和电感元件	11
1.4.1 电容元件	11
1.4.2 电感元件	12
1.5 理想电源	13
1.5.1 理想电压源	13
1.5.2 理想电流源	15
1.6 基尔霍夫定律	17
1.6.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	17
1.6.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	19
1.7 练习题	21
第2章 直流电路的分析	23
2.1 无源电路的等效变换	23
2.1.1 电阻的串联、并联和串并联	23
2.1.2 电阻的Y形连接和 Δ 形连接的等效变换	26
2.2 含独立源电路的等效变换	27
2.2.1 理想电源的串联、并联	28
2.2.2 实际电源的两种模型及其互换	29
2.3 电路的基本分析方法	30
2.3.1 支路电流法	30
2.3.2 节点电压法	31
2.3.3 网孔电流法	34
2.3.4 回路电流法	36

2.4	电路分析常用定理	38
2.4.1	叠加定理和齐次定理	38
2.4.2	置换定理	40
2.4.3	戴维南定理和诺顿定理	42
2.4.4	互易定理	45
2.4.5	最大功率传输定理	48
2.5	受控源和含受控源电路的分析	49
2.5.1	受控源	49
2.5.2	含受控源电路的分析	50
2.6	练习题	52
第3章	正弦交流电路	57
3.1	正弦交流电压和电流	57
3.1.1	正弦量的三要素	57
3.1.2	正弦交流电的相位差和有效值	58
3.2	正弦量的相量表示法	60
3.2.1	复数及其运算	60
3.2.2	正弦量的相量表示	61
3.3	KCL、KVL的相量形式	64
3.4	电阻、电感和电容元件上电压与电流的相量关系	66
3.4.1	电阻元件上电压与电流的相量关系	66
3.4.2	电感元件上电压与电流的相量关系	68
3.4.3	电容元件上电压与电流的相量关系	71
3.5	RLC与多阻抗的串、并联电路	74
3.5.1	阻抗与导纳	74
3.5.2	RLC串联电路	76
3.5.3	多阻抗的串联	79
3.5.4	RLC并联电路	80
3.6	谐振电路	82
3.6.1	串联谐振电路	82
3.6.2	并联谐振电路	85
3.7	互感与理想变压器	88
3.7.1	耦合电感元件	88
3.7.2	耦合电感的去耦等效	92
3.7.3	空芯变压器电路的分析	95
3.7.4	理想变压器	96
3.8	三相交流电路	99
3.8.1	三相正弦交流电源	99
3.8.2	三相电路中负载的连接	101

3.9 练习题	103
第4章 线性动态电路的时域分析	107
4.1 换路定律和初始值的计算	107
4.1.1 产生过渡过程的原因	107
4.1.2 换路定律	108
4.1.3 初始值的计算	108
4.2 一阶电路的零输入响应	109
4.2.1 一阶RC电路的零输入响应	110
4.2.2 一阶RL电路的零输入响应	111
4.3 一阶电路的零状态响应	113
4.3.1 RC串联电路的零状态响应	113
4.3.2 RL串联电路的零状态响应	116
4.4 一阶电路的完全响应和三要素分析法	118
4.4.1 一阶电路的完全响应	118
4.4.2 一阶电路的三要素分析法	119
4.5 一阶电路的阶跃响应	121
4.6 一阶电路的冲激响应	123
4.7 二阶电路的零输入响应	126
4.8 练习题	128
第5章 半导体二极管及其应用	132
5.1 半导体基础知识	132
5.1.1 本征半导体	132
5.1.2 杂质半导体	133
5.2 PN结	135
5.2.1 PN结的形成	135
5.2.2 PN结的导电特性	135
5.2.3 PN结的击穿	137
5.2.4 PN结的电容效应	137
5.3 半导体二极管	138
5.3.1 二极管的基本结构	138
5.3.2 二极管的特性	139
5.3.3 二极管的主要参数	139
5.3.4 二极管的应用	140
5.3.5 其他二极管	141
5.4 半导体三极管	142
5.4.1 三极管的结构及类型	142
5.4.2 三极管的放大作用	143
5.4.3 三极管的特性曲线	145

5.4.4	三极管的主要参数	147
5.5	场效应管	149
5.5.1	结型场效应管	149
5.5.2	绝缘栅场效应管	152
5.5.3	场效应管的主要参数及特点	155
5.6	练习题	156
第6章	放大电路基础	159
6.1	基本放大电路的组成及性能指标	159
6.1.1	基本放大电路的结构	159
6.1.2	基本放大电路的性能指标	160
6.2	放大电路的分析方法	162
6.2.1	静态工作点的分析	162
6.2.2	动态分析	164
6.2.3	用微变等效电路法分析动态工作	167
6.3	静态工作点的稳定及其偏置电路	170
6.3.1	温度对静态工作点的影响	170
6.3.2	分压偏置电路	171
6.4	基本放大电路的其他两种组态	173
6.4.1	共集电极放大电路——射极输出器	173
6.4.2	共基极放大电路	175
6.4.3	三种基本放大电路的比较	177
6.5	场效应管放大电路	177
6.5.1	场效应管放大电路的静态分析	178
6.5.2	场效应管放大器的动态分析	179
6.6	多级放大电路	182
6.6.1	多级放大电路静态分析	182
6.6.2	多级放大电路动态分析	184
6.7	练习题	187
第7章	集成运算放大器基础	191
7.1	直接耦合放大电路及其存在的问题	191
7.2	差动放大电路	193
7.2.1	基本差动放大电路	193
7.2.2	典型差动放大电路	196
7.2.3	差动放大器的几种接法	199
7.3	集成运算放大器介绍	201
7.3.1	集成运算放大器结构	201
7.3.2	典型集成运放结构及电路分析	201
7.3.3	集成运放的性能指标	205

7.3.4 理想集成运放放大器	207
7.4 练习题	208
第8章 负反馈放大电路	210
8.1 反馈的基本概念及类型	210
8.1.1 反馈的基本概念	210
8.1.2 反馈类型及其判别	211
8.2 负反馈放大电路的表示方法	212
8.3 负反馈放大器的四种基本组态	214
8.4 负反馈对放大器性能的影响	217
8.4.1 提高放大倍数的稳定性	217
8.4.2 展宽通频带	218
8.4.3 减小非线性失真	219
8.4.4 改变输入电阻和输出电阻	219
8.5 练习题	222
第9章 集成运算放大器的应用	225
9.1 集成运算放大器应用基础	225
9.1.1 负反馈是集成运放线性应用的必要条件	225
9.1.2 运算放大器的基本电路	225
9.2 集成运放在信号运算方面的应用	229
9.2.1 加法和减法运算电路	229
9.2.2 微分和积分运算电路	233
9.2.3 对数和指数运算电路	234
9.2.4 模拟乘法器	236
9.2.5 模拟乘法器的应用	237
9.3 集成运放在信号处理方面的应用	239
9.3.1 有源滤波电路	240
9.3.2 采样保持电路	244
9.3.3 电压比较器	245
9.4 练习题	249
第10章 信号产生电路	253
10.1 正弦波振荡	253
10.1.1 正弦波振荡器	253
10.1.2 RC正弦波振荡电路	255
10.1.3 LC正弦波振荡电路	258
10.1.4 石英晶体正弦波振荡电路	262
10.2 非正弦波振荡器	263
10.2.1 矩形波产生电路	264
10.2.2 锯齿波产生电路	265

10.3 练习题	267
第11章 功率放大器	270
11.1 功率放大器概述	270
11.1.1 功率放大器的特点	270
11.1.2 功率放大器的性能指标	270
11.1.3 功率放大器的几种工作方式	271
11.2 对称功率放大器	272
11.2.1 电源互补对称电路 (OCL电路)	273
11.2.2 OTL互补对称功率放大器	276
11.2.3 集成功率放大器	277
11.3 功率放大器实际应用电路	278
11.3.1 OCL功率放大器实际应用电路	278
11.3.2 OTL功率放大器实际应用电路	279
11.3.3 功率放大器应用中的几个问题	279
11.4 练习题	280
第12章 直流稳压电源	282
12.1 直流电源的组成	282
12.2 整流电路	282
12.2.1 单相半波整流电路	283
12.2.2 单相桥式全波整流电路	284
12.2.3 三相桥式整流电路	285
12.3 滤波电路	286
12.3.1 电容滤波电路	287
12.3.2 电感滤波电路	288
12.3.3 复合滤波电路	289
12.4 直流稳压电路	290
12.4.1 并联型稳压电路	290
12.4.2 串联型稳压电路	291
12.5 集成稳压电路	292
12.5.1 三端固定电压式集成稳压器	293
12.5.2 三端可调式集成稳压器	296
12.5.3 正、负跟踪可调集成稳压器	298
12.6 开关型稳压电源	299
12.6.1 开关稳压电源的基本原理	299
12.6.2 集成开关稳压器	301
12.7 练习题	304
主要参考文献	307

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

1.1 电路和电路模型

电路是由某些电气设备和元器件按一定的方式连接以形成电流通路。

电路可分成电源、负载和中间环节3个部分。如图1-1所示，电源是提供电能的设备，是电路工作的能源。电源的作用是将非电能转换成电能。负载是用电设备，是电路中主要的耗电器件。负载的作用是将电能转换成非电能。

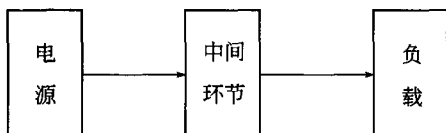


图 1-1 电路组成框图

中间环节是指电源与负载之间的部分。实际电路种类繁多，但就其功能来说可概括为两个方面。其一，是进行能量的传输、分配与转换，例如电力系统中的输电电路。发电厂的发电机组将其他形式的能量（或热能、或水的势能、或原子能等）转换成电能，通过变压器、输电线等输送给各用户负载，各用户负载又把电能转换成机械能（如负载是电动机）、光能（如负载是灯泡）、热能（如负载是电炉）等，为人们生产、生活所利用。其二，是实现信息的传递与处理，例如电话、收音机、电视机电路。接收天线把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后，通过电路把输入信号（又称激励）变换或处理为人们所需要的输出信号（又称响应），送到扬声器或显像管，再还原为语言、音乐或图像。

实际生活中的手电筒电路就是一个简单的电路，如图1-2（a）所示，它由3部分组成：①是提供电能的能源即电源（蓄电池），将化学能转换为电能；②是用电装置即负载（灯泡），将电能转换为光能和热能；③是连接电源与负载传输电能的金属导线，简称导线。图1-2（a）中S是为了节约电能所加的控制开关，需要照明时将开关S闭合，不需要照明时将S打开。电源、负载与连接导线是任何实际电路都不可缺少的3个组成部分。

电路理论内容包括分析和研究电路中所发生的电磁现象和过程，探讨电路的基本规律和计算方法。但是因为实际电路的种类很多，形式和结构各不相同，实际器件的物理过程又十分复杂并且都和电磁有关，所以在分析和研究电路时，为了简化对器件性能的描述而

忽略电路元器件的次要因素，将其理想化，并用规定的电气图形符号表示组成的，称为电路。经过简化的器件称为理想元件或元件模型。一个实际电路可以由多个理想元件的组合来模拟，这样的电路称为电路模型。

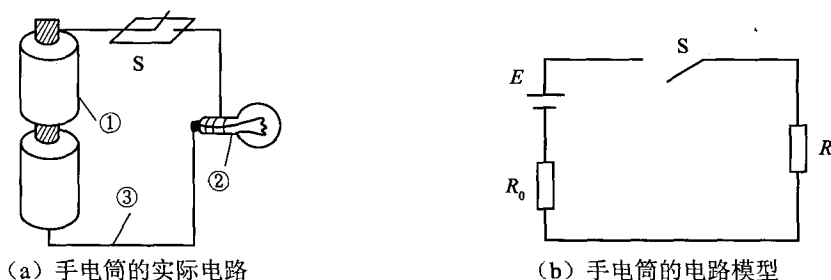


图 1-2 手电筒电路

有了理想元件和电路模型的概念，对如图 1-2 (a) 所示的手电筒的实际电路而言，可以用电阻 R 表示灯泡，用电阻 R_0 表示导线的电阻，用 E 表示蓄电池，得出的电路模型如图 1-2 (b) 所示。

应注意电路元件与实际的电气器件的区别。例如，实验室中的电子仪器常用各式各样的电阻、电容、电感绕组、晶体管等组成，这些也可用电路元件及其组合来模拟，但两者是不完全相同的。通常在一定条件下，根据实际器件的主要物理功能，可以按不同的精确度用电路元件及其组合来模拟。后面所说的电路一般均是指由理想电路元件构成的抽象的电路而不是指实际的电路。实践证明只要电路模型取得合适，按抽象的电路分析计算的结果与对应的实际电路中测得的结果基本是一致的。根据已经建立的电路模型（简称电路），研究其中的电压、电流和电功率之间的联系规律（有时要涉及到电荷、磁通），为分析、综合及设计实际的电路准备理论基础，这是本课程的一项重要任务。

1.2 电流、电压和功率

电路元件及电路中的基本物理量有电流、电压、功率和能量。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动形成传导电流。一段金属导体内含有大量的带负电荷的自由电子，通常情况下，这些自由电子在金属导体内部作无规则的热运动，如图 1-3 (a) 所示。在这种情况下，金属导体内虽有电荷运动，但由于电荷的运动是无规则的，因而不形成传导电流。如果在 AB 段金属导体的两端连接上电源，那么带负电荷的自由电子就要逆电场方向运动。这样，AB 段金属导体内就有电荷作规则的定向运动，于是就形成传导电流，如图 1-3 (b) 所示，图中 E 为电场强度。在其他场合，如电解溶液中的带电离子作规则的定向运动也会形成传导电流。

电流人们虽然看不见摸不着，但可通过它的各种效应（譬如磁效应、热效应）来感觉它的客观存在，这是人们所熟悉的。所以，毫无疑问，电流是客观存在的物理现象。为了从量的方面量度电流的大小，引入电流强度的概念。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为

电流强度（简称电流），如图 1-4 所示。电流强度用 $i(t)$ 表示，即

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1.2.1)$$

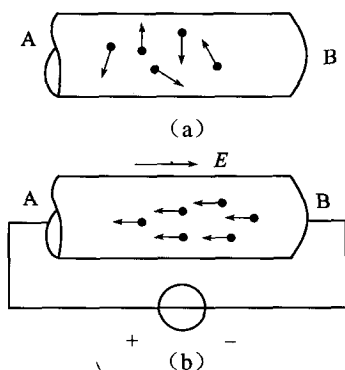


图 1-3 传导电流形成示意图

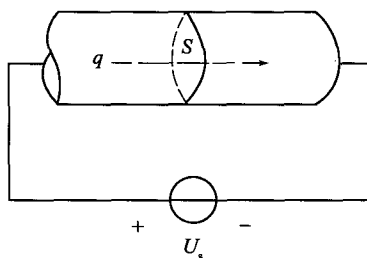


图 1-4 电流强度

式中： $q(t)$ 为通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制（SI）中，电荷量的单位是库仑（C），时间的单位是秒（s），电流强度的单位是安培（A），简称“安”。电流的方向和大小可能随时间变动，也可能不随时间变动。随时间变动的电流用小写字母 i 表示。恒定电流又称直流电流，常用大写字母 I 表示，即当 $dq(t)/dt$ 为常数时是直流电流。电力系统中认为安培这个单位太小，有时取千安（kA）为电流强度的单位。而无线电系统中（如晶体管电路中）又认为安培这个单位太大，常用毫安（mA）、微安（ μA ）作电流强度的单位。它们之间的换算关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流不但有大小，而且有方向。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在一些很简单的电路中，如图 1-3（b）所示，电流的实际方向是显而易见的，它从电源正极流出，流向电源负极。但在一些稍复杂的电路里，如图 1-5 所示的桥形电路中， R_5 上的电流实际方向就不是一看便知的。不过， R_5 上电流的实际方向只有 3 种可能：①从 a 流向 b。②从 b 流向 a。③既不从 a 流向 b，又不从 b 流向 a（ R_5 上电流为零）。所以说，对电流这个物理现象可以用代数量来描述它。简言之，电流是代数量，当然可以像研究其他代数量问题一样选择正方向，即参考方向。假定正电荷运动的方向为电流的参考方向，用箭头标在电路图上。今后若无特殊说明，就认为电路图上所标箭头的方向是电流的参考方向。

对电路中的电流设参考方向还有另一方面的原因，那就是在交流电路中电流的实际方向在不断地改变，因此很难在这样的电路中标明电流的实际方向，而引入电流的参考方向也就解决了这一难题。在对电路中的电流设定参考方向以后，若经计算得出的电流为正值，说明所设的参考方向与实际方向一致；若经计算得出的电流为负值，说明所设的参考方向与实际方向相反，如图 1-6 所示。电流值的正与负只有在设定参考方向的前提下才有意义。

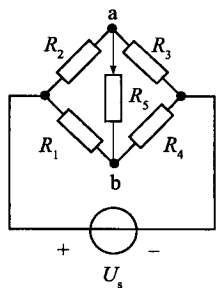


图 1-5 桥形电路

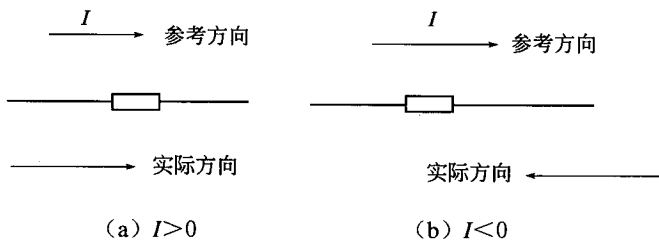


图 1-6 电流的方向

1.2.2 电压

电荷在电路中流动，就必然有能量的交换。电荷在电源处获得能量，而在另一处（如电阻）失去能量。电荷获得的能量是由电源的化学能、机械能或其他形式的能量转换而来的，电荷失去的能量转换成热能、光能等。电荷失去的能量是由电源提供的。电荷在运动过程中能量的得与失是因为电场力的作用。为衡量电场力移动电荷做功的能力，在分析电路中引入“电压”这个物理量，电压又称“电位差”，两点之间的电位之差即是两点间的电压。从电场力做功的概念来定义，电压就是将单位正电荷从电路中一点移至电路中另一点电场力做功的大小，如图 1-7 所示。用数学式表示，即为

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1.2.2)$$

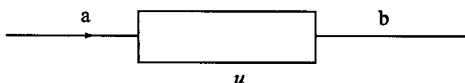


图 1-7 定义电压示意图

式中： dq 为由 a 点移至 b 点的电荷量，单位为库仑（C）； dw 是移动电荷 dq 电场力所做的功，单位为焦耳（J）。

电位、电压的单位都是伏特（V），1V 电压相当于移动 1C 正电荷电场力所做的功。在电力系统中认为伏特这个单位太小，有时用千伏（kV）。在无线电电路中认为伏特这个单位太大，常用毫伏（mV）、微伏（ μV ）作电压的单位。

从电位、电压的定义中可知它们都是代数量，因而也有参考方向的问题。电路中，规定电位真正降低的方向为电压的实际方向。图 1-8 和图 1-9 分别表示电压的实际方向和电压的参考方向。

但在复杂的电路里，如图 1-5 所示的桥形电路中， R_5 两端电压的实际方向是不易判别的，或在交流电路里，两点间电压的实际方向是经常改变的，这给实际电路问题的分析计算带来困难，所以也常常给电路中两点间的电压设定参考方向。

所谓电压参考方向，就是所假设的电位降低的方向，在电路图中用“+”、“-”号标出，或用带下脚标的字母表示。如电压 U_{ab} ，脚标中第一个字母 a 表示假设电压参考方向的正极性端，第二个字母 b 表示假设电压参考方向的负极性端。以后如无特殊说明，电路图