



普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

计算机电路基础 (第2版)

■ 张 虹 等编著

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

计算机电路基础

(第2版)

张 虹 等编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容分为三篇，分别是电路分析、模拟电子技术和数字电子技术。数字电子技术篇是重点，占的比重也更大。

全书分为 11 章：电路基本概念及分析方法，正弦稳态电路的相量分析法，常用半导体器件，放大电路基础，集成运算放大电路及其应用，逻辑代数基础，逻辑门电路，组合逻辑电路，触发器和时序逻辑电路，存储器和可编程逻辑器件，数模和模数转换电路。

本书适合作为应用型本科院校及高职院校计算机、电子、通信、机电、控制等专业的教材，也可作为自学考试和从事电子技术工程人员的自学用书。本教材推荐课时为 88 课时（不含实验）。高职院校使用本教材时可以根据实际情况筛选其中的内容。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

计算机电路基础/张虹等编著. —2 版. —北京：电子工业出版社，2018.1

ISBN 978-7-121-33031-5

I. ①计… II. ①张… III. ①电子计算机—电子电路—高等学校—教材 IV. ①TP331

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 279791 号



策划编辑：冉 哲

责任编辑：冉 哲 文字编辑：孟 宇

印 刷：天津嘉恒印务有限公司

装 订：天津嘉恒印务有限公司

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：787×1 092 1/16 印张：20.5 字数：551 千字

版 次：2009 年 1 月第 1 版

2018 年 1 月第 2 版

印 次：2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价：49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，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）88254888，88258888。

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

本书咨询联系方式：ran@phei.com.cn。

第2版前言

《计算机电路基础》第1版被许多应用型本科院校及部分高职院校选为教材,得到了广大读者的支持和肯定。随着课程改革的不断深入以及教学方法的不断探究,作者在教学实践过程中也积累了更多的教学经验,使得教学思想和教学理念逐步科学和完善。为了更好地适应电路理论、电子技术及计算机硬件技术的应用与发展,不断满足高等学校对应用型人才培养的需要,同时也为了更好地服务于读者,有必要对本书进行全面的修订。

本次修订,既保持第1版教材的诸多特点及完整体系,又要面向新世纪的发展;既要符合本门课程的基本要求,又要适当引进电子技术中的新器件、新技术、新方法;既要使学生掌握基础知识,又要培养他们的定性分析能力、综合应用能力和创新能力;既要有利于教师对教材的灵活取舍,又要有利于学生对教材内容的自主学习和思考。为此,提出了如下总体思路:精选内容,推陈出新;讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法;内容由浅入深,通俗易懂,便于自学,力争做到“讲、学、做”统一协调,重点与难点采取阐述与比喻相结合、例题与习题相结合、实例与实验相结合的方法讲解。

本次修订在如下方面做了进一步改进。

(1) 在体系结构上,将第4篇“实验实训”的内容分散到前面相应的章节中,这样使得理论与实际应用的结合更加紧密,更加具有针对性,效果也更为突出。

(2) 每章前面增加了内容提要,使学生在新的内容前做到心中有数,有的放矢。

(3) 扩大了习题的种类与题量。计算机电路概念多,内容琐碎,理论分析抽象难懂,必须加强训练才能更好地掌握基础知识。

(4) 增加了习题参考答案,便于学生更好地掌握所学内容。

(5) 在每一章中有效地增加了相关内容。与第1版相比,使内容更加细腻,问题探讨更加深入,逻辑关联性更强,理论与实际结合更加紧密,知识体系更加完整。

(6) 将第1版第1篇的4章内容缩减为两章,使电路理论更加精简,同时内容以够用为尺度,这样可以加大第3篇“数字电子技术”在全书中的比重。

(7) 删掉第1版第3章“非正弦周期电流电路”。这部分内容在计算机电路的内容体系中不太重要,只需在相关章节中提及一下即可。

(8) 删掉了第1版第14章“EDA技术与VHDL”。考虑到当前电子电路的计算机辅助分析软件的不断更新,而教材更新相对滞后的实际情况,鼓励学生在教师的引导下,充分利用网络资源,自行学习相关软件。利用这种方式,要比单独使用有限一章的篇幅介绍如何使用某一种软件的效果要好。当然,对于如何才能让学生更好地掌握一种电子电路计算机辅助分析和设计软件,有待于在今后的教学实践中继续探索。

由于本书是电路分析、模拟电子技术、数字电子技术三门课程的整合,因此内容多,知识覆盖面广。为了让学生更好地掌握每一部分内容,需要合理分配有限的课时。在此,提供本书的课时分配表,以供参考。本书较为适宜的理论教学课时为88课时(1课时按50分钟算),各章的参考课时如下。

《计算机电路基础（第2版）》各章理论教学参考课时一览表

章次名	参考课时	章次名	参考课时
第1章 电路基本概念及分析方法	10	第7章 逻辑门电路	6
第2章 正弦稳态电路的相量分析法	6	第8章 组合逻辑电路	10
第3章 常用半导体器件	6	第9章 触发器和时序逻辑电路	16
第4章 放大电路基础	8	第10章 存储器和可编程逻辑器件	4
第5章 集成运算放大电路及其应用	10	第11章 数模和模数转换电路	4
第6章 逻辑代数基础	8		

本次教材修订工作由张虹教授组织完成，参加本书编写的还有：高寒、杜德、于钦庆、王立梅、李厚荣、张建华、刘磊、周金玲、齐丽丽、郑建军、周建梁等。

修订后的第2版一定还会有许多不尽如人意之处，诚望广大读者给予指正。

作者

目 录

第1篇 电路分析

第1章 电路基本概念及分析方法	1
1.1 电路理论基础	1
1.1.1 电路理论及其发展	1
1.1.2 电路和电路模型	2
1.1.3 计算机辅助电路分析	3
1.2 电路基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 功率与能量	5
1.3 电路基本元件	6
1.3.1 电阻元件	7
1.3.2 电容元件	8
1.3.3 电感元件	9
1.4 独立电源和受控电源	10
1.4.1 独立电源	10
1.4.2 受控电源	12
1.5 基尔霍夫定律及支路电流 分析法	13
1.5.1 基尔霍夫定律	13
1.5.2 定律应用——支路电流 分析法	14
1.6 等效变换分析法	15
1.6.1 等效变换	15
1.6.2 无源二端网络的等效变换	16
1.6.3 有源二端网络的等效变换	19
1.7 节点电压分析法	21
1.7.1 节点电压及节点电压方程	21
1.7.2 节点法应用举例	22
1.8 网络定理分析法	23
1.8.1 叠加定理	23
1.8.2 戴维南定理和诺顿定理	24
1.8.3 最大功率传输定理	26
1.9 一阶动态电路的分析	26
1.9.1 过渡过程与换路定律	26

1.9.2 一阶 RC 电路过渡过程 分析	28
1.9.3 一阶 RL 电路过渡过程 分析	30
1.9.4 一阶电路的全响应	31
本章小结	33
习题 1	34
实验 1.1 电路基本定律及定理的 验证	38
实验 1.2 一阶动态电路的过渡过程 实验	40

第2章 正弦稳态电路的相量分析法	42
2.1 正弦交流电路的基本概念	42
2.1.1 正弦量的三要素	42
2.1.2 相位差	43
2.2 正弦量的相量表示	44
2.2.1 复数的表示形式及运算规则	44
2.2.2 正弦量的相量表示及相量图	45
2.3 R 、 L 、 C 各元件伏安关系的 相量形式	46
2.3.1 电阻元件	46
2.3.2 电感元件	46
2.3.3 电容元件	47
2.4 复阻抗与复导纳及正弦电路的 相量分析法	48
2.4.1 复阻抗	48
2.4.2 复导纳	49
2.4.3 正弦电路的相量分析法	49
2.5 正弦交流电路的功率	50
2.5.1 瞬时功率和平均功率	50
2.5.2 复功率、视在功率和无功 功率	51
2.5.3 功率因数的提高	51
2.6 RLC 串联谐振电路	52

2.6.1 谐振的概念及谐振条件	52	2.8.1 互感现象及同名端	55
2.6.2 串联谐振的特点	52	2.8.2 互感电压	57
2.7 三相电路	53	2.8.3 理想变压器	57
2.7.1 三相电源	53	本章小结	58
2.7.2 三相电源的连接	54	习题 2	59
2.7.3 三相电源和负载的连接	55	实验 2.1 单相正弦交流电路实验	61
2.8 互感耦合电路	55	实验 2.2 串联谐振电路实验	62

第 2 篇 模拟电子技术

第 3 章 常用半导体器件	64	4.2.1 基本放大电路的组成及各元件作用	90
3.1 半导体基础知识	64	4.2.2 基本放大电路的工作原理	91
3.1.1 本征半导体	64	4.3 基本放大电路的分析方法	93
3.1.2 杂质半导体	65	4.3.1 直流通路与交流通路	93
3.1.3 PN 结	65	4.3.2 静态分析	93
3.2 半导体二极管	67	4.3.3 动态分析	95
3.2.1 二极管的结构及外形	67	4.4 放大电路静态工作点的稳定	98
3.2.2 二极管的伏安特性	67	4.4.1 温度对静态工作点的影响	98
3.2.3 二极管的主要参数	68	4.4.2 静态工作点稳定电路	98
3.2.4 其他类型二极管	69	4.5 单管放大电路的三种基本组态	100
3.2.5 二极管应用电路举例	70	4.5.1 共集电极放大电路	100
3.3 半导体三极管	73	4.5.2 共基放大电路	101
3.3.1 三极管的基本结构及外形	73	4.6 多级放大电路	102
3.3.2 三极管的电流放大原理	74	4.6.1 多级放大电路的耦合方式	102
3.3.3 三极管的伏安特性	76	4.6.2 多级放大电路的动态分析	104
3.3.4 三极管的主要参数	77	本章小结	104
3.4 场效应管	79	习题 4	104
3.4.1 结型场效应管	79	实验 4.1 单管共射放大电路实验	107
3.4.2 绝缘栅场效应管	80	第 5 章 集成运算放大电路及其应用	110
3.4.3 场效应管和三极管比较	82	5.1 集成电路概述	110
本章小结	82	5.1.1 集成电路及其发展	110
习题 3	83	5.1.2 集成电路的特点及分类	110
实验 3.1 半导体元器件性能测试	85	5.1.3 集成电路制造工艺简介	111
第 4 章 放大电路基础	88	5.2 集成运放的基本组成及各部分的作用	112
4.1 放大的概念和放大电路的性能指标	88	5.2.1 偏置电路——电流源	112
4.1.1 放大的概念	88	5.2.2 输入级——差分放大电路	113
4.1.2 放大电路的性能指标	88	5.2.3 中间级——采用有源负载的共射放大电路	118
4.2 基本放大电路的组成及工作原理	90		

5.2.4 输出级——功率放大电路	119
5.3 集成运放的性能指标	120
5.4 放大电路中的反馈	120
5.4.1 理想运放的概念及工作特点	120
5.4.2 反馈的基本概念及判别方法	122
5.4.3 负反馈对放大电路性能的影响	125

5.5 集成运放的应用	127
5.5.1 模拟信号运算电路	127
5.5.2 有源滤波器	134
5.5.3 电压比较器	137
本章小结	139
习题 5	140
实验 5.1 模拟信号运算电路实验	143

第 3 篇 数字电子技术

第 6 章 逻辑代数基础	146
6.1 数字电路概述	146
6.1.1 模拟信号和数字信号	146
6.1.2 数字电路的特点及分类	147
6.1.3 数字电路的应用	148
6.2 数制与码制	148
6.2.1 数制及其转换	148
6.2.2 码制	151
6.3 逻辑代数	154
6.3.1 逻辑变量与逻辑函数	154
6.3.2 基本逻辑运算	155
6.3.3 复合逻辑运算	156
6.3.4 几个概念	157
6.4 逻辑函数的表示方法及其相互转换	158
6.4.1 真值表	158
6.4.2 逻辑表达式	159
6.4.3 逻辑图	160
6.4.4 波形图	161
6.4.5 卡诺图	161
6.5 逻辑代数的基本公式、定律和规则	162
6.5.1 基本公式	162
6.5.2 基本定律	162
6.5.3 常用公式	163
6.5.4 有关异或运算的一些公式	163
6.5.5 基本规则	163
6.6 逻辑函数的化简	164
6.6.1 “最简”的概念及最简表达式的几种形式	164

6.6.2 逻辑函数的公式化简法	164
6.6.3 逻辑函数的卡诺图化简法	165
6.6.4 具有无关项的逻辑函数的化简	166
本章小结	167
习题 6	168

第 7 章 逻辑门电路	172
7.1 半导体器件的开关特性	172
7.1.1 半导体二极管的开关特性	172
7.1.2 半导体三极管的开关特性	172
7.1.3 MOS 管的开关特性	173
7.2 分立元件门电路	174
7.2.1 二极管与门	174
7.2.2 二极管或门	175
7.2.3 三极管非门(反相器)	175
7.3 集成门电路	175
7.3.1 TTL 集成门电路	176
7.3.2 CMOS 集成门电路	181
7.3.3 TTL 与 CMOS 门电路之间的接口技术	184
本章小结	185
习题 7	185
实验 7.1 集成逻辑门电路功能检测	188
实验 7.2 集成逻辑门电路性能参数的测试	190

第 8 章 组合逻辑电路	194
8.1 组合逻辑电路的特点及分析方法	194
8.1.1 组合电路的特点	194
8.1.2 组合电路的一般分析方法	194

8.1.3 组合电路的一般设计方法	196	9.4 寄存器	252
8.2 常用组合逻辑电路介绍	199	9.4.1 数码寄存器	252
8.2.1 编码器	199	9.4.2 移位寄存器	253
8.2.2 译码器	203	9.4.3 寄存器的应用	255
8.2.3 加法器	208	9.5 顺序脉冲发生器	257
8.2.4 数值比较器	210	9.6 序列信号发生器	258
8.2.5 数据选择器	213	9.7 时序电路的设计	259
8.2.6 数据分配器	215	9.7.1 设计方法及步骤	259
8.3 组合电路中的竞争冒险	216	9.7.2 设计举例	260
8.3.1 竞争冒险的概念及产生原因	216	9.8 555 集成定时器的原理及应用	261
8.3.2 竞争冒险的消除方法	217	9.8.1 555 集成定时器	261
本章小结	218	9.8.2 由 555 定时器构成的单稳态触发器	262
习题 8	218	9.8.3 由 555 定时器构成的多谐振荡器	263
实验 8.1 组合逻辑电路的功能检测及设计实验	222	9.8.4 由 555 定时器构成的施密特触发器	264
第 9 章 触发器和时序逻辑电路	226	9.8.5 555 定时器应用电路举例	265
9.1 触发器	226	本章小结	266
9.1.1 触发器的功能特点	226	习题 9	266
9.1.2 触发器的分类及逻辑功能描述方法	226	实验 9.1 触发器逻辑功能的检测	273
9.1.3 基本 RS 触发器	227	实验 9.2 触发器的应用实验	275
9.1.4 同步触发器	229	实验 9.3 时序逻辑电路实验	277
9.1.5 主从触发器	231	实验 9.4 555 定时器及其应用电路的设计与检测	279
9.1.6 边沿触发器	234	第 10 章 存储器和可编程逻辑器件	283
9.1.7 不同类型时钟触发器间的转换	236	10.1 概述	283
9.2 时序电路概述	237	10.1.1 存储器	283
9.2.1 时序电路的特点	237	10.1.2 可编程逻辑器件	284
9.2.2 时序电路逻辑功能的描述方法	237	10.2 存储器及其应用	284
9.2.3 时序电路的一般分析方法	238	10.2.1 随机存取存储器	284
9.3 计数器	239	10.2.2 只读存储器	287
9.3.1 计数器的分类	239	10.3 可编程逻辑器件	289
9.3.2 同步计数器	239	10.3.1 PLD 的基本结构	289
9.3.3 异步计数器	247	10.3.2 PLD 的分类	290
9.3.4 集成计数器构成 N 进制计数器的方法	249	10.3.3 PLD 的应用	291
9.3.5 计数器应用电路举例	252	本章小结	293
		习题 10	293

第 11 章 数模和模数转换电路	296	11.2.2 取样保持电路	304
11.1 D/A 转换器	296	11.2.3 逐次渐近型 A/D 转换器	304
11.1.1 权电阻网络 D/A 转换器	296	11.2.4 双积分型 A/D 转换器	306
11.1.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	298	11.2.5 A/D 转换器的主要技术指标	307
11.1.3 D/A 转换器的主要技术指标	299	11.2.6 集成 ADC	307
11.1.4 集成 DAC	300	本章小结	309
11.2 A/D 转换器	302	习题 11	309
11.2.1 A/D 转换的一般步骤	302	实验 11.1 D/A、A/D 转换器的测试	312
		实验 11.2 D/A 转换器应用实验	314
		参考文献	318

第1篇 电路分析

第1章 电路基本概念及分析方法

内容提要

- 电路理论基础
- 电流的参考方向和电压的参考极性
- 电阻、电容、电感元件的特性
- 独立源与受控源
- 基尔霍夫定律及支路电流分析法
- 等效变换及其在电路分析中的应用
- 节点电压分析法
- 网络定理及其在电路分析中的应用
- 一阶动态电路分析

1.1 电路理论基础

1.1.1 电路理论及其发展

电路理论与应用技术的发展, 为人类驾驭物质世界奠定了重要的理论基础。电路理论是关于电器件的模型建立、电路分析、电路综合及设计等方面的理论。电路理论是物理学、数学和工程技术等多方面成果的融合。物理学, 尤其是其中的电磁学, 为研制各种电路器件提供了原理依据, 同时对各种电路现象做出了理论上的阐述; 数学中的许多理论在电路理论中得到了广泛的应用, 成为分析、设计电路的重要方法; 工程技术的进展不断向电路理论提出新的课题, 推动了电路理论的发展。电路理论作为首门电技术基础课, 为学习电类专业基础课打下了基础, 同时也是电气电子工程师必备的知识。学习本课程还有助于培养读者严谨的科学作风、抽象的思维能力、实验研究能力和总结归纳能力等。

电、磁互生现象早已为现代人所熟知, 它是人们经过长期不断观察才发现的。早在我国古代就发现了电磁现象, 在 4000 多年以前, 黄帝利用电磁现象制成了罗盘针。据史料记载, 公元前 9 世纪, 我国航海家已经使用指南针导航了。被世人称为电学之父的英国物理学家吉尔伯特, 于 1600 年在他的书中第一次讨论了电与磁。与电、磁理论发展有关的世界著名科学家还有安培、欧姆、伏特、基尔霍夫、戴维南、法拉第、亨利、拉普拉斯、傅里叶、麦克斯韦和赫兹等。关于电的理论和电子技术的发展, 就经典阶段和现代阶段而言, 前后大体经历了 200 年。经典电路理论形成于 20 世纪初至 60 年代, 经典的时域分析于 20 世纪 30 年代初初步建立, 并随着电力、通信、控制三大系统的要求, 发展到频域分析与电路综合。20 世纪六七十年代至今, 发展了现代电路理论, 它随着电子革命和计算机革命而飞速发展, 其特点是: 频域与时域相结合, 并产生了拓扑、状态、逻辑、开关电容、数字滤波器、有源网络综合和故障诊断等新的领域。

1.1.2 电路和电路模型

1. 电路

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。小到手电筒，大到计算机、通信系统和电力网络，都可以看到各种各样的电路。可以说，只要用电的物体，其内部都含有电路，尽管这些电路的结构各异，特性和功能也不相同，但都建立在一个共同的电路理论上。

电路通常按如下三个方面进行分类。①集总参数电路和分布参数电路。将实际电路的几何尺寸 d 与其中的工作信号波长 λ 比较，满足 $d \ll \lambda$ 的电路称为集总参数电路，不满足 $d \ll \lambda$ 的电路称为分布参数电路，常见的低频放大器属于集总参数电路，微波 ($\lambda < 1\text{m}$) 电路（如电视天线、雷达天线和通信卫星天线等）属于分布参数电路。本书中将以集总参数电路为研究对象进行讨论。②线性电路和非线性电路。若描述电路特征的所有方程都是线性代数方程或线性微积分方程，则称为线性电路，否则就是非线性电路。非线性电路在工程中应用更为普遍，线性电路仅是非线性电路的近似模型，但线性电路理论却是最重要的基础。③时不变电路和时变电路。时不变电路中元件参数不随时间变化，描述其电路的方程是常系数的代数方程或常系数的微积分方程，而时变电路是由变系数的代数方程或微积分方程描述的电路。在实际电路中，时变电路比较普遍，但时不变电路是最基本的电路模型，也是研究时变电路的基础。

电路的一种功能是实现电能的传输和转换，例如，电力网络将电能从发电厂输送到各个工厂、广大农村和千家万户，供各种电气设备使用；电路的另一种功能是实现电信号的传输、处理和存储，例如，电视接收天线将接收到的含有声音和图像信息的高频电视信号，通过高频传输线送到电视机中，这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理，恢复出原来的声音和图像信号，在扬声器发出声音并在显像管屏幕上呈现图像。

那么，什么是电路呢？所有的实际电路都是由电气设备和元器件按照一定的方式连接起来的，为电流的流通提供路径的总体，也称网络。在实际电路中，电能或电信号的发生器称为电源，用电设备称为负载。电压和电流是在电源的作用下产生的，因此，电源又称为激励源，简称激励。由激励而在电路中产生的电压和电流称为响应。有时，根据激励和响应之间的因果关系，把激励称为输入，响应称为输出。

2. 电路模型

为了便于对实际电路进行分析，通常是将实际电路器件理想化（或称模型化），即在一定条件下，突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，将其近似地看作理想电路元件，并用规定的图形符号表示。例如，用电阻元件来表征具有消耗电能特征的各种实际元件，同样，在一定条件下，电感线圈忽略其电阻，就可以用电感元件来近似地表示；电容器忽略其漏电，就可以用电容元件近似地表示。此外还有电压源、电流源两种理想电源元件。以上这些理想元件分别可以简称为：电阻、电感、电容和电源，它们都具有两个端钮，称为二端元件，其中，电阻、电感、电容又称无源元件^①。

由理想元件组成的电路，就称为实际电路的电路模型。图 1-1 (b) 即为图 1-1 (a) 的电路模型。今后如未加特殊说明，所说的电路均指电路模型。

以上用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件的过程称为建模。建模时必须考虑工作条件，并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。需要注意的是：

^① 电路中有两类元件，有源元件和无源元件。有源元件能产生或者能控制能量而无源元件不能，电阻、电容、电感等均为无源元件。发电机、电池、运算放大器、三极管、场效应管等为有源元件。

在不同的条件下，同一实际器件可能采用不同模型。模型取得恰当，对电路的分析和计算结果就与实际情况接近；模型取得不恰当，则会造成很大误差，有时甚至导致自相矛盾的结果。所以建模问题需要专门研究，绝不能草率定论。例如，如图 1-2 (a) 所示的线圈，在低频交流工作条件下，用一个电阻和电感的串联结构进行模拟，如图 1-2 (b) 所示；在高频交流工作条件下，则要再并联一个电容来模拟，如图 1-2 (c) 所示。

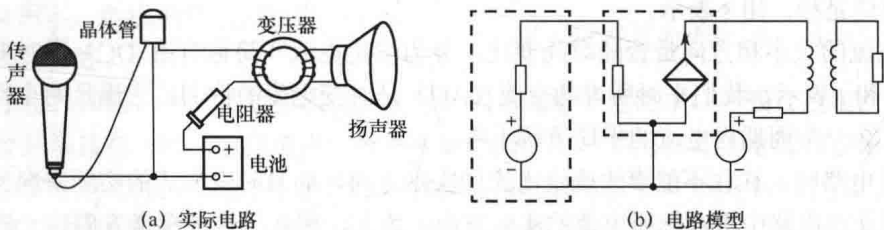


图 1-1 晶体管放大电路

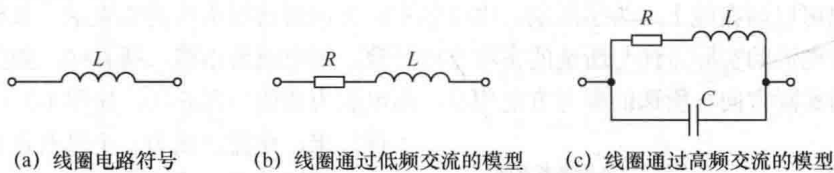


图 1-2 线圈的几种电路模型

1.1.3 计算机辅助电路分析

电路的分析和设计都要完成一定的数学运算工作。人们曾经使用计算尺和计算器来完成一定的计算工作，随着计算机和大规模集成电路的发展，现在已经广泛使用计算机来辅助电路的分析和设计，计算机辅助分析技术在工程技术领域的应用越来越广泛，为传统的电路系统分析与设计提供了新的方法。由于生产实际的发展和教学改革的需要，因此促使原有的教学体系在内容和分析手段上必须进行相应的调整。在教育教学方面，几乎所有理工类的高校都开设了计算机辅助分析（Computer Aided Analysis, CAA）方面的课程。目前最具有通用性的电子电气工程类的计算机辅助分析软件主要是 PSpice、MATLAB 等软件。MATLAB 具有数据分析，数值和符号计算，工程与科学绘图，控制系统设计，数字图像信号处理，财务工程，建模、仿真、原型开发，应用开发，图形用户界面设计等功能。PSpice 软件收敛性好，适合用于进行系统和电路级仿真，具有快速、准确的仿真能力。在科研开发部门，PSpice 是产品从设计、试验到定型过程中不可缺少的工具。1988 年 PSpice 已被定为美国国家工业标准。

1.2 电路基本物理量

在电路分析与设计中，为了定量描述电路的状态或电路元件的特征，普遍用两类物理量，即，基本物理量和复合物理量。描述电路的基本物理量有电流、电压、电荷和磁通。电路分析的基本任务是计算电路中的电流和电压。以此为基础，又经常用功率和能量来反映电路中的能量传递情况，功率和能量是两个复合物理量。

1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的大小用电流强度来衡量，电流强度简称电流，其数学表达式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式(1-1)的物理意义是单位时间内通过导体横截面的电荷量。式中, i 表示电流强度, 单位是安[培], 用 A 表示, 在计量微小电流时, 通常用毫安 (mA) 或微安 (μA) 作为单位; dq 为微小电荷量, 单位是库[仑], 用 C 表示, 且 1 库仑为 6.24×10^{18} 个电子所带的电量; dt 为微小的时间间隔, 单位是秒, 用 s 表示。

按照电流的大小和方向是否随时间变化, 分为恒定电流 (简称直流 DC) 和时变电流, 分别用符号 I 和 i 表示。我们平时所说的交流 (AC) 是时变电流的特例, 它满足两个特点: ①周期性变化; ②一个周期内电流的平均值等于零。

在分析电路时, 往往不能事先确定电流的实际方向, 而且时变电流的实际方向又随时间不断变化。因此在电路中很难标明电流的实际方向。为此, 引入了电流参考方向这一概念。

参考方向的选择具有任意性。在电路中, 通常用实线箭头或双字母下标表示, 实线箭头可以画在线外, 也可以画在线上。为了区别, 电流的实际方向通常用虚线箭头表示, 如图 1-3 所示。而且规定: 若电流的实际方向与所选的参考方向一致, 则电流为正值, 即 $i > 0$, 如图 1-3 (a) 所示; 若电流的实际方向与所选的参考方向相反, 则电流为负值, 即 $i < 0$, 如图 1-3 (b) 所示。这

样一来, 电流就成为一个具有正负的代数量。

图 1-3 (a) 中电流参考方向为从 a 到 b, 用双下标法表示为 i_{ab} ; 图 1-3 (b) 中电流参考方向为从 b 到 a, 表示为 i_{ba} 。对于同一电流, 参考方向选择不同, 其数值互为相反数, 即 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

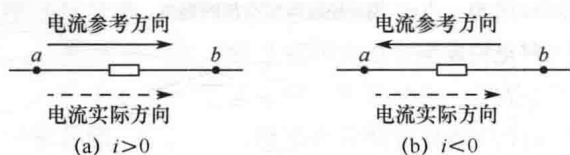


图 1-3 电流的参考方向与实际方向

1.2.2 电压

电路分析中另一个基本物理量是电压。直流电压用大写字母 U 表示, 交流电压用小写字母 u 表示, 单位为伏[特], 用 V 表示。为了便于计量, 还可以用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV) 等作为单位。在数值上, 电路中任意 a、b 两点之间的电压等于电场力由 a 点移动单位正电荷到 b 点所做的功, 即

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

式中, dW 是电场力所做的功, 单位是焦耳 (J)。

在电路中任选一点作为参考点, 则其他各点到参考点的电压称为该点的电位, 用符号 V 表示。例如, 电路中 a、b 两点的电位分别表示为 V_a 和 V_b , 并且 a、b 两点间的电压与该两点电位有以下关系

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

电位与电压既有联系又有区别。其主要区别在于: 电路中任意两点间的电压, 其数值是绝对的; 而电路中某一点的电位是相对的, 其值取决于参考点的选择。在电子技术中, 通常用求解电位的方法判断半导体器件 (如二极管、三极管) 的工作状态。

今后如未说明, 通常选接地点作为参考点, 并且参考点的电位为零。引入电位概念后, 两点间电压的实际极性即由高电位点指向低电位点。所以电压就是指电压降。

电路中电位相同的点称为等电位点。等电位点的特点是: 两个等电位点之间的电压等于零。用导线或电阻将等电位点连接起来, 导线和电阻元件中没有电流通过, 不会影响电路的工作

状态。

与电流参考方向同理，在电压的极性上引入参考极性（也可称为参考方向），参考极性的选择同样具有任意性，在电路中可以用“+”、“-”号表示，也可用双字母下标或实线箭头表示，如图 1-4 所示。电压正负值的规定与电流一样，此处不再赘述。

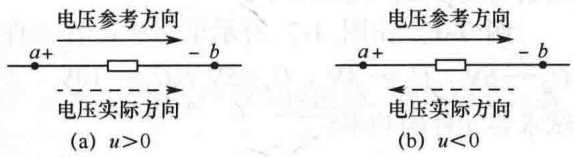


图 1-4 电压的参考方向与实际方向

在画电子电路图时，有一种简化的习惯画法。因为在电子电路中，一般会把电源、输入和输出信号的公共端接在一起作为参考点，所以在简化画法中，不用再画出电源的图形符号，而改为只标出除参考点之外另外一个电极的电位数值和极性就可以了，如图 1-5 所示。

反之，根据电路的简化画法也能还原出原电路的完整画法。

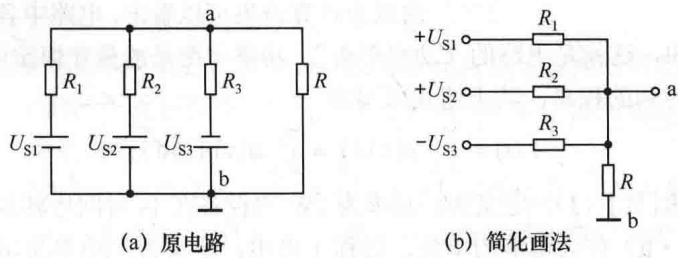
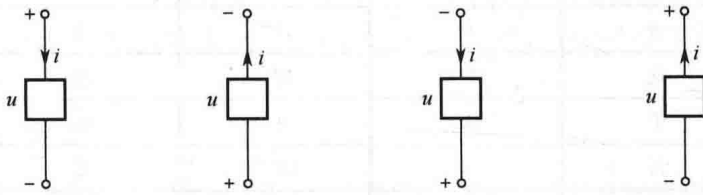


图 1-5 电子电路的简化画法

值得注意，今后在求电压、电流时，必须事先规定电压的参考极性和电流的参考方向，否则求出的值无意义。

通常，对于电路中的某个元件或某段电路，其上电流参考方向和电压参考极性都是可以任意选定的，彼此独立无关。但为了分析方便，通常将其电压的参考极性和电流的参考方向选为一致，即电流的参考方向由电压的“+”指向“-”，这样选定的参考方向称为电压与电流的关联参考方向，简称关联方向，如图 1-6 (a) 和 (b) 所示。否则，称为非关联方向，如图 1-6 (c) 和 (d) 所示。



(a) 关联参考方向 (b) 关联参考方向 (c) 非关联参考方向 (d) 非关联参考方向

图 1-6 二端元件电压、电流的参考方向

1.2.3 功率与能量

电能对时间的变化率即为电功率，简称功率。用 p 或 P 表示，单位是瓦 (W)。功率的表达式为

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \tag{1-4}$$

应用式 (1-4) 计算元件功率时，首先需要判断 u 、 i 的参考方向是否为关联方向，若关

联，则 $p = ui$ ；否则 $p = -ui$ 。根据计算结果，若 $p > 0$ ，则表明元件实际消耗功率；若 $p < 0$ ，则表明元件实际发出功率。

例 1-1 在图 1-7 所示电路中，各元件电压、电流参考方向已选定，已知 $U_1=1\text{V}$ ， $U_2=-6\text{V}$ ， $U_3=-4\text{V}$ ， $U_4=5\text{V}$ ， $U_5=-10\text{V}$ ， $I_1=1\text{A}$ ， $I_2=-3\text{A}$ ， $I_3=4\text{A}$ ， $I_4=-1\text{A}$ ， $I_5=-3\text{A}$ 。试求各元件的功率。

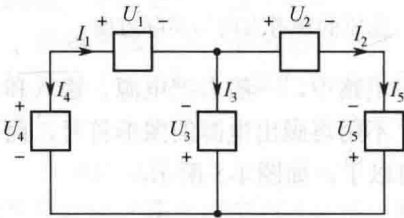


图 1-7 例 1-1 图

解 根据题目所给已知条件可得
 $P_1=U_1I_1=1\times1=1\text{W}$ (消耗功率1W)
 $P_2=U_2I_2=(-6)\times(-3)=18\text{W}$ (消耗功率18W)
 $P_3=U_3I_3=-(-4)\times4=16\text{W}$ (消耗功率16W)
 $P_4=U_4I_4=5\times(-1)=-5\text{W}$ (发出功率5W)
 $P_5=U_5I_5=-(-10)\times(-3)=-30\text{W}$ (发出功率30W)

由以上计算结果可以看出，电路中各元件发出的功率总和等于消耗功率总和，这就是电路的“功率平衡”。功率平衡是能量守恒定律在电路中的体现。

能量是功率对时间的积累，其表达式可写为

$$W(t)=\int_{-\infty}^t p(\tau)\text{d}\tau=\int_{-\infty}^t u(\tau)i(\tau)\text{d}\tau \tag{1-5}$$

能量的单位是焦[耳] (J)，定义为：功率为 1W 的设备在 1s 时间内转换的电能。工程上常采用千瓦小时 (kW·h) 作为电能的单位，俗称 1 度电，定义为：功率为 1kW 的设备在 1h 内所转换的电能。

在实际应用中，有时国际单位制 (SI 单位) 用起来太大或太小，一般可加上如表 1-1 所示的国际单位制的词头，构成 SI 的十进倍数或分数单位。

表 1-1 国际单位制前缀

所乘的 10 次幂	前 缀	符 号	所乘的 10 次幂	前 缀	符 号
10^{18}	艾	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	拍	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	太	T	10^{-3}	毫	m
10^9	吉	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	纳	n
10^3	千	k	10^{-12}	皮	p
10^2	百	h	10^{-15}	飞	f
10^1	十	da	10^{-18}	阿	a

1.3 电路基本元件

前已述及，在电路理论中，将实际的元器件进行抽象从而得到 4 类理想元件 (即元件模型)，它们是电阻元件、电容元件、电感元件、理想电源。本节将分别介绍这 4 类理想元件的参数、电压电流关系、功率及使用等。

1.3.1 电阻元件

1. 电阻元件的电压、电流关系及功率

导体对电子运动呈现的阻力称为电阻。对电流呈现阻力的元件称为电阻器，电阻器的电路模型是电阻元件，简称电阻，字母符号为 R ，电路符号如图 1-8 (a) 所示。电阻上的电压和电流有确定的对应关系，可以用 $u-i$ 平面上的一条关系曲线，即伏安曲线或数学方程式来表示。

如果电阻的伏安关系是一条通过原点的直线，如图 1-8 (b) 所示，则称为线性时不变电阻，在图 1-8 (a) 所示的关联方向下，其电压电流关系可用下式表示

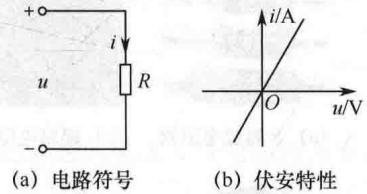


图 1-8 线性电阻的电路符号和伏安特性

$$u=Ri \text{ 或 } i=Gu \quad (1-6)$$

式 (1-6) 是欧姆定律的表达式，也就是说，欧姆定律揭示了线性电阻电压与电流的约束关系。式中 R 和 G 是电阻的两个重要参数，分别叫电阻和电导，单位分别是欧[姆] (Ω) 和西[门子] (S)。 R 和 G 两个参数在数值上互为倒数关系。

如果电阻的伏安关系不是一条直线，则称该电阻为非线性电阻，半导体二极管就是一个非线性电阻器件。今后如未特别说明，所讨论的电阻元件均指线性电阻（简称电阻）。

在任意时刻，电阻上消耗的功率为

$$p = \pm ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-7)$$

式中的“+”、“-”号与电压及电流的参考方向有关。式 (1-7) 表明，对于线性正电阻 ($R>0$) 来说，瞬时功率恒为非负值，所以它在任一时刻都是消耗能量的。

2. 开路和短路

有两种情况值得注意：开路和短路。当一个二端元件（或电路）的端电压不论为何值时，流过它的电流值恒为零，此时该元件可看成一个 $R=\infty$ 的电阻，或者说相当于一个断开的开关，故把它称为开路；当流过二端元件（或电路）的电流不论为何值时，它的端电压值恒为零，此时该元件可看成一个 $R=0\Omega$ 的电阻，或者说一个闭合的开关，故把它称为短路。

3. 电阻器与额定值

电阻元件是由实际电阻器抽象出来的理想化模型，常用来模拟各种电阻器和其他电阻性器件。实际的电阻器必须在一定电压、电流和功率范围内才能正常工作。电子设备中常用的碳膜电阻器、金属电阻器和线绕电阻器在生产制造时，除注明标称电阻值（如 100Ω 、 $1k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 等）外，还要规定额定功率值（如 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $5W$ 等），以便用户参考。图 1-9 所示为几种实际电阻器的外观图。

同样，电气设备也有额定值的问题。电气设备的额定值是由制造厂家给用户提供的，它是设备安全运行的限额值，又是设备经济运行的使用值。通常，制造厂在一定条件下规定了电气设备的额定电压、额定电流和额定功率等，电气设备只有在额定值情况下才能正常运行，才能保证它的寿命。外加电压大大高于额定电压，电气设备的绝缘材料将被击穿，造成短路或设备被烧毁。如果通过电气设备的电流超过额定值，设备温度过高，不仅影响寿命，而且绝缘材料