



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

电子技术基础

■ 付兴虎 主编

■ 付广伟 芦鑫 张燕君 刘丰 副主编

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

电子技术基础

付兴虎 主 编

付广伟 芦 鑫 张燕君 刘 丰 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分3个部分,共13章。第1部分为电路原理,主要介绍电路模型和电路定律、电阻电路的分析、电阻电路的一般分析、电路定理;第2部分为模拟电子技术基础,主要介绍半导体二极管及其典型应用、半导体三极管及其放大电路、集成运算放大电路、模拟信号运算电路;第3部分为数字电子技术基础,主要介绍数字逻辑电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路。本书配备大量例题和习题,并提供配套多媒体电子课件、习题详解。

本书可作为高等学校软件工程、计算机科学与技术、信息安全、教育技术学、机械电子工程、生物医学工程等专业的本科生教材,也可作为高等教育自学考试和成人教育的自学教材,还可供电子工程技术人员学习参考。

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

电子技术基础 / 付兴虎主编. —北京:电子工业出版社, 2019.10
ISBN 978-7-121-36316-0

I. ①电… II. ①付… III. ①电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第068277号

责任编辑:韩同平

印 刷:北京虎彩文化传播有限公司

装 订:北京虎彩文化传播有限公司

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:18 字数:576千字

版 次:2019年10月第1版

印 次:2019年10月第1次印刷

定 价:55.90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 zltts@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:010-88254525, hantp@phei.com.cn。

前 言

电子技术基础是软件工程、计算机等非电类专业非常重要的一门基础课。通过本课程的学习,使学生了解电路原理、模拟电子技术、数字电子技术领域的基础知识,强化对电子技术基础知识的认识,并为学习后续有关课程储备必要的电子技术基本分析方法、计算方法和设计方法。因此,本课程对于培养非电类专业学生的科学思维能力、优化人才培养方案和课程体系起着重要的桥梁作用。

本教材严格参照教育部《普通高等学校本科专业目录(2012年)》,以及教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会颁布的相关课程教学基本要求,充分吸收国内外现有优秀教材的成功之处,结合作者多年的教学实践和经验编写而成。本教材特色如下。

1. 精炼内容,保留经典。本书将电路原理、模拟电子技术基础、数字电子技术基础三者进行有机融合,在保证必要的经典内容的同时,力求符合本科非电类专业学生培养要求,删除与后续课程重复或应用较少的内容,能使学生用较少的时间掌握电子技术基础的基本知识。

2. 夯实基础,突出重点。本书强调对基本知识点的覆盖,降低知识点的难度与深度,突出电子技术基础的重点知识内容,将电子技术基础理论教学以通俗易懂的方式表达出来,强化学生理论联系实际的工程观点的建立和分析解决电子技术基础问题能力的培养。

3. 形式多样,拓展思路。每节附思考与练习,每章附习题,且形式多样,分为简答题、填空题、选择题、计算题,适应启发式教学的需要,以及不同专业、不同层次和不同程度的学生进行练习和拓展,并提供配套多媒体电子课件、习题详解。

本书分3个部分,共13章。第1部分为电路原理,主要介绍电路模型和电路定律、电阻电路的分析、电阻电路的一般分析、电路定理;第2部分为模拟电子技术基础,主要介绍半导体二极管及其典型应用、半导体三极管及其放大电路、集成运算放大电路、模拟信号运算电路;第3部分为数字电子技术基础,主要介绍数字逻辑电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路。

燕山大学信息科学与工程学院电子技术基础课程于2011年开设,所涉及的电路原理课程和数字电子技术基础课程均为河北省省级精品课程,模拟电子技术基础课程为校级精品课程。本书是主讲教师在吸收精品课程经典内容的基础上,总结多年教学经验及其讲义精华编写而成的。付兴虎任本书的主编,负责全书的整体规划与统稿工作,付广伟、芦鑫、张燕君、刘丰任副主编。其中,张燕君负责编写电路模型和电路定律、电阻电路的分析;芦鑫负责编写半导体二极管及其典型应用;刘丰负责编写半导体三极管及其放大电路;付广伟负责编写数字逻辑电路基础、组合逻辑电路、触发器;付兴虎负责编写电阻电路的一般分析、电路定理、集成运算放大电路、模拟信号运算电路、逻辑门电路、时序逻辑电路。本书由毕卫红主审并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,错误和疏漏在所难免,敬请专家、同仁和广大读者指正。

作者联系方式: fuxinghu@ysu.edu.cn

编 者

本书文字符号说明

本书中，有关数字电路的元器件，其端子名称、该端子的输入/输出信号，均用同一个文字符号表示，且不加区分统一用斜体。例如，对于 D 触发器，输入端为 *D*，其输入信号也用 *D* 表示。

目 录

第 1 部分 电 路 原 理

第 1 章 电路模型和电路定律	(2)	思考与练习	(23)
1.1 实际电路和电路模型	(2)	2.2 等效电阻	(24)
1.1.1 实际电路	(2)	2.2.1 惠斯通电桥测量电阻	(24)
1.1.2 电路模型	(3)	2.2.2 含平衡电桥的等效电阻	(24)
思考与练习	(4)	2.2.3 电阻的三角形连接与星形连接的等效变换	(25)
1.2 电流、电压参考方向及功率的计算	(4)	思考与练习	(27)
1.2.1 电流参考方向	(4)	2.3 实际电源模型的等效变换	(28)
1.2.2 电压参考方向	(5)	2.3.1 理想电压源、理想电流源的连接	(28)
1.2.3 关联及非关联参考方向、功率的计算	(5)	2.3.2 实际电源模型的等效变换	(29)
思考与练习	(6)	思考与练习	(31)
1.3 无源电路元件	(6)	习题 2	(31)
1.3.1 电阻元件	(6)	第 3 章 电阻电路的一般分析	(33)
1.3.2 电容元件	(8)	3.1 电阻电路的基本概念	(33)
1.3.3 电感元件	(9)	3.1.1 电路的图	(33)
思考与练习	(11)	3.1.2 图的相关概念	(34)
1.4 独立电源	(11)	3.1.3 图的基本回路数和基本割集数	(36)
1.4.1 独立电压源	(11)	思考与练习	(36)
1.4.2 独立电流源	(12)	3.2 KCL、KVL 独立方程的个数	(37)
思考与练习	(13)	思考与练习	(38)
1.5 受控源	(13)	3.3 支路电流法	(38)
思考与练习	(14)	思考与练习	(40)
1.6 基尔霍夫定律	(14)	3.4 网孔电流法与回路电流法	(40)
1.6.1 基尔霍夫电流定律	(15)	3.4.1 网孔电流法	(41)
1.6.2 基尔霍夫电压定律	(15)	3.4.2 回路电流法	(43)
思考与练习	(17)	思考与练习	(45)
习题 1	(17)	3.5 节点电压法	(46)
第 2 章 电阻电路的分析	(19)	思考与练习	(48)
2.1 简单电阻电路的分析	(19)	习题 3	(49)
2.1.1 电路的等效变换	(19)	第 4 章 电路定理	(50)
2.1.2 电阻的串联及分压	(20)	4.1 叠加定理和齐性定理	(50)
2.1.3 电阻的并联及分流	(21)		
2.1.4 利用分压、分流分析电路	(22)		

4.1.1 叠加定理	(50)	4.4 特勒根定理	(61)
4.1.2 齐性定理	(52)	4.4.1 特勒根定理 1	(62)
思考与练习	(53)	4.4.2 特勒根定理 2	(62)
4.2 替代定理	(53)	思考与练习	(63)
思考与练习	(55)	4.5 互易定理	(63)
4.3 戴维宁定理和诺顿定理	(55)	4.5.1 互易定理形式 1	(64)
4.3.1 戴维宁定理	(56)	4.5.2 互易定理形式 2	(64)
4.3.2 诺顿定理	(59)	4.5.3 互易定理形式 3	(64)
4.3.3 最大功率传输定理	(60)	思考与练习	(66)
思考与练习	(61)	习题 4	(66)

第 2 部分 模拟电子技术基础

第 5 章 半导体二极管及其典型

应用

5.1 半导体基础知识	(69)
5.1.1 本征半导体	(70)
5.1.2 杂质半导体	(71)
思考与练习	(72)
5.2 PN 结	(72)
5.2.1 PN 结的形成	(72)
5.2.2 PN 结的单向导电性	(73)
5.2.3 PN 结的电容效应	(75)
思考与练习	(75)
5.3 二极管特性与参数	(75)
5.3.1 二极管的伏安特性	(76)
5.3.2 二极管的主要参数	(77)
思考与练习	(78)
5.4 二极管的等效分析	(78)
5.4.1 图解分析法	(78)
5.4.2 等效模型分析法	(79)
思考与练习	(81)
5.5 二极管典型应用	(81)
5.5.1 整流与检波电路	(81)
5.5.2 限幅电路	(82)
5.5.3 开关电路	(82)
5.5.4 特殊二极管	(83)
思考与练习	(85)
习题 5	(86)

第 6 章 半导体三极管及其放大

电路

6.1 三极管	(87)
6.1.1 三极管的结构与电路符号	(87)
6.1.2 三极管的工作原理	(88)
6.1.3 三极管的特性曲线	(89)
6.1.4 三极管的主要参数	(91)
思考与练习	(92)
6.2 基本放大电路的概念及其参数	(93)
思考与练习	(95)
6.3 放大电路的工作原理	(95)
6.3.1 基本结构	(96)
6.3.2 放大原理	(96)
思考与练习	(97)
6.4 放大电路的分析方法	(98)
6.4.1 静态工作点的近似估算	(98)
6.4.2 图解分析法	(99)
6.4.3 微变等效电路分析法	(101)
思考与练习	(105)
6.5 静态工作点的稳定	(106)
6.5.1 静态工作点对波形失真的影响	(107)
6.5.2 静态工作点的稳定电路	(108)
思考与练习	(109)
6.6 共集极和共基极放大电路	(109)
6.6.1 共集极放大电路	(109)
6.6.2 共基极放大电路	(111)
思考与练习	(112)
习题 6	(112)

第 7 章 集成运算放大电路

7.1 集成运算放大器	(115)
-------------	-------

思考与练习	(116)	8.2 比例运算电路	(131)
7.2 电流源偏置电路	(116)	8.2.1 反相比例运算电路	(132)
7.2.1 基本镜像电流源	(116)	8.2.2 同相比例运算电路	(132)
7.2.2 精密镜像电流源	(117)	8.2.3 差分比例运算电路	(133)
7.2.3 微电流源	(117)	思考与练习	(134)
7.2.4 比例电流源	(118)	8.3 求和运算电路	(134)
7.2.5 多路镜像电流源	(118)	8.3.1 反相求和运算电路	(134)
思考与练习	(118)	8.3.2 同相求和运算电路	(134)
7.3 差分放大电路	(118)	思考与练习	(135)
7.3.1 差分放大电路基本形式	(119)	8.4 积分和微分运算电路	(135)
7.3.2 差分放大电路的四种接法	(124)	8.4.1 基本积分电路	(135)
思考与练习	(125)	8.4.2 基本微分电路	(136)
习题 7	(126)	思考与练习	(137)
第 8 章 模拟信号运算电路	(127)	8.5 对数和指数运算电路	(137)
8.1 理想运算放大器	(127)	8.5.1 对数运算电路	(137)
8.1.1 运算放大器的简化	(127)	8.5.2 指数运算电路	(138)
8.1.2 反馈的概念	(129)	思考与练习	(138)
思考与练习	(131)	习题 8	(138)

第 3 部分 数字电子技术基础

第 9 章 数字逻辑电路基础	(142)	思考与练习	(158)
9.1 数字信号与数字电路	(142)	9.5 逻辑函数的化简	(159)
9.1.1 数字信号	(142)	9.5.1 公式化简法	(160)
9.1.2 数字电路	(143)	9.5.2 卡诺图化简法	(161)
思考与练习	(144)	思考与练习	(168)
9.2 数制和码制	(144)	习题 9	(169)
9.2.1 数制	(144)	第 10 章 逻辑门电路	(171)
9.2.2 数制之间的相互转换	(146)	10.1 半导体二极管门电路	(171)
9.2.3 码制	(148)	10.1.1 二极管的开关特性	(171)
思考与练习	(149)	10.1.2 二极管门电路	(172)
9.3 逻辑代数	(149)	思考与练习	(173)
9.3.1 逻辑代数中 3 种基本运算	(150)	10.2 半导体三极管门电路	(173)
9.3.2 复合逻辑运算	(151)	10.2.1 三极管的开关特性	(174)
9.3.3 逻辑代数的基本公式	(153)	10.2.2 三极管反相器	(176)
9.3.4 逻辑代数的常用公式	(154)	思考与练习	(177)
9.3.5 逻辑代数的基本定理	(155)	10.3 TTL 反相器	(177)
思考与练习	(156)	10.3.1 TTL 反相器电路结构及原理	(177)
9.4 逻辑函数及其表示方法	(156)	10.3.2 TTL 反相器的电压传输特性和 抗干扰能力	(179)
9.4.1 逻辑函数的表示方法	(156)	10.3.3 TTL 反相器的静态输入特性、	
9.4.2 各种表示方法间的相互转换	(158)		

输出特性和负载能力·····	(180)	11.6.1 半加器和全加器·····	(214)
10.3.4 TTL 反相器的动态特性·····	(182)	11.6.2 多位加法器·····	(216)
思考与练习·····	(183)	思考与练习·····	(217)
10.4 TTL 基本门电路·····	(183)	11.7 数值比较器·····	(218)
10.4.1 与非门·····	(183)	11.7.1 一位数值比较器·····	(218)
10.4.2 或非门·····	(184)	11.7.2 多位数值比较器·····	(218)
10.4.3 与或非门·····	(185)	思考与练习·····	(220)
思考与练习·····	(185)	11.8 组合逻辑电路的竞争-冒险·····	(220)
10.5 集电极开路门·····	(186)	11.8.1 竞争-冒险的概念及其产生	
10.5.1 OC 门电路的结构及工作原理·····	(186)	原因·····	(220)
10.5.2 OC 门外接负载电阻的计算·····	(187)	11.8.2 消除竞争-冒险的方法·····	(221)
10.5.3 OC 门典型应用·····	(188)	思考与练习·····	(222)
思考与练习·····	(189)	习题 11·····	(223)
10.6 三态输出门·····	(189)	第 12 章 触发器 ·····	(225)
10.6.1 三态输出门的电路结构及工作		12.1 概述·····	(225)
原理·····	(189)	思考与练习·····	(225)
10.6.2 三态门的典型应用·····	(189)	12.2 基本 SR 触发器·····	(225)
思考与练习·····	(190)	12.2.1 由与非门构成的基本 SR	
习题 10·····	(190)	触发器·····	(226)
第 11 章 组合逻辑电路 ·····	(192)	12.2.2 由或非门构成的基本 SR	
11.1 概述·····	(192)	触发器·····	(228)
思考与练习·····	(193)	思考与练习·····	(229)
11.2 组合逻辑电路的分析与设计·····	(193)	12.3 同步触发器·····	(229)
11.2.1 组合逻辑电路的分析·····	(193)	12.3.1 同步 SR 触发器·····	(229)
11.2.2 组合逻辑电路的设计·····	(195)	12.3.2 同步 D 触发器·····	(231)
思考与练习·····	(198)	思考与练习·····	(232)
11.3 编码器·····	(198)	12.4 主从触发器·····	(232)
11.3.1 普通编码器·····	(199)	12.4.1 主从 SR 触发器·····	(232)
11.3.2 优先编码器·····	(200)	12.4.2 主从 JK 触发器·····	(234)
思考与练习·····	(203)	思考与练习·····	(236)
11.4 译码器·····	(203)	12.5 边沿触发器·····	(236)
11.4.1 二进制译码器·····	(204)	12.5.1 维持阻塞结构的边沿触发器·····	(237)
11.4.2 二-十进制译码器·····	(206)	12.5.2 基于门电路传输延迟的边沿 JK	
11.4.3 显示译码器·····	(208)	触发器·····	(239)
思考与练习·····	(211)	12.5.3 边沿 D 触发器·····	(240)
11.5 数据选择器·····	(211)	思考与练习·····	(242)
11.5.1 集成双 4 选 1 数据选择器·····	(211)	12.6 集成触发器·····	(242)
11.5.2 数据选择器逻辑功能扩展·····	(212)	12.6.1 双 JK 触发器·····	(242)
思考与练习·····	(214)	12.6.2 双 D 触发器·····	(243)
11.6 加法器·····	(214)	12.6.3 其他集成触发器·····	(243)

思考与练习	(244)	13.3.2 移位寄存器的工作原理	(257)
12.7 触发器的逻辑功能及其转换	(244)	思考与练习	(258)
12.7.1 触发器的逻辑功能	(244)	13.4 计数器	(259)
12.7.2 触发器的功能转换	(245)	13.4.1 同步 4 位二进制加法计数器	(259)
思考与练习	(246)	13.4.2 同步 4 位二进制减法计数器	(261)
习题 12	(247)	13.4.3 同步 4 位二进制加/减计数器	(262)
第 13 章 时序逻辑电路	(250)	13.4.4 同步十进制加法计数器	(263)
13.1 时序电路的基本概念	(250)	思考与练习	(264)
13.1.1 时序电路的分类	(250)	13.5 集成计数器	(265)
13.1.2 时序电路的基本结构和描述 方法	(251)	13.5.1 集成计数器控制功能	(265)
思考与练习	(252)	13.5.2 典型集成计数器	(266)
13.2 同步时序电路的分析方法	(252)	13.5.3 集成计数器的应用	(267)
13.2.1 时序电路的分析步骤	(252)	思考与练习	(272)
13.2.2 同步时序电路的分析实例	(253)	13.6 同步时序电路的设计方法	(272)
思考与练习	(256)	13.6.1 时序电路的设计步骤	(272)
13.3 寄存器	(256)	13.6.2 时序电路的设计实例	(273)
13.3.1 寄存器的工作原理	(256)	思考与练习	(276)
		习题 13	(276)
参考文献	(278)		

第1部分 电路原理

随着电子设备在日常工作和生活中应用得越来越广泛，各式各样的实际电路随处可见，如电气电路、计算机电路、通信电路、自动控制电路、电力电路等，尽管这些电路的外形、功能、结构等各不相同，但它们都建立在同一个理论基础上，这个理论就是电路理论。

电路原理包括电路分析和电路综合两方面的内容。电路分析是讨论如何在已知的电路中，求出给定激励（输入）的响应（输出）；而电路综合则是研究如何设计一个对给定激励有预期的响应的电路。本书主要面向非电类的本科生和研究生，特别是软件工程、教育技术学、信息安全等专业的学生，因此本书只讨论电路分析中的直流电路的内容。在本书中，随时间变化的物理量一般用小写字母表示，如 $u(t)$ 、 $i(t)$ ，不随时间变化的物理量一般用大写字母表示，如 U 、 I 、 P 等。

第1章 电路模型和电路定律

主要内容:

- (1) 理解电路模型, 掌握电流、电压及其参考方向和功率的定义和计算。
- (2) 了解电阻、电容和电感的定义, 理解并掌握独立电源和受控源等电路元件。
- (3) 掌握基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律及适用条件。

1.1 实际电路和电路模型

实际电路 (Circuit) 是由一些电气设备和元器件 (如电动机、变压器、晶体管、电容等) 按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状, 又称网络 (Network), “电路” 和 “网络” 这两个术语通常是相通的。电路的作用主要有两个: ①实现电能的传输和转换, 如各类电力系统; ②实现信号的处理, 如收音机和电视机中的调谐放大电路。

1.1.1 实际电路

无论电路结构多么复杂, 它们都由三大部分组成: 电源或信号源、中间环节和负载。

图 1.1-1 (a) 是最简单的手电筒实际照明

电路。它由三部分组成:

(1) 提供电能的能源 (图中为电池), 简称电源或激励源或输入。电源把其他形式的能量转换成电能。

(2) 用电设备 (图中为灯泡), 简称负载。负载把电能转换为其他形式的能量。

(3) 连接导线, 导线提供电流通路。

电路中产生的电压和电流称为响应。

根据元件的不同特性, 电路可分为以下几种。

- 根据电路元件参数可分为分布参数电路和集总参数电路。分布参数电路是必须考虑电路元件参数分布性的电路。参数的分布性指电路中同一瞬间相邻两点的电位和电流都不相同。在电力系统中, 高电压远距离的电力传输线是比较典型的分布参数电路。而集总参数电路是由集总参数元件构成的电路。集总参数思想是电路原理的最基本也是最核心的思想。
- 根据电路元件参数是否随时间变化可分为时变电路和时不变电路。时变电路是含有时变参数元件的电路。电阻参数随时间变化的电阻器, 电感 (互感) 参数随时间变化的电感器, 电容参数随时间变化的电容器, 都是时变参数元件。时不变电路是其电路参数不随时间改变的线性电路。
- 根据表征电路元件特性的代数关系可分为非线性电路和线性电路。非线性电路是指

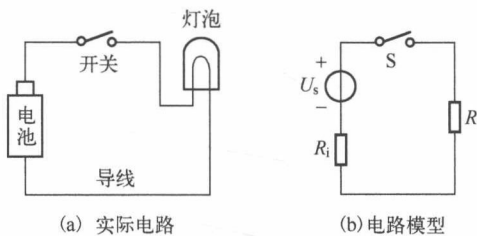


图 1.1-1 手电筒实际照明电路

含有非线性元件的电路。这里的非线性元件不包括独立电源。线性电路是完全由线性元件、独立源或线性受控源构成的电路。

1.1.2 电路模型

电路分析的研究对象不是实际电路或一个实际的电路部件，而是将实际电路抽象成理想化的电路模型，通过对电路模型的分析来代替对实际电路的分析。在电路原理中，将这些理想化的电路模型称为电路。而电路是由一些理想化的电路元件组成的。在一定条件下对实际电路器件加以理想化，抽象出一些反映单一电磁现象的理想化电路元件，简称为电路元件。

电阻元件（Resistance）是表示消耗电能的元件，如图 1.1-2 所示。

电容元件（Capacitor）能表示各种电容器产生电场、储存电能的作用，如图 1.1-3 所示。

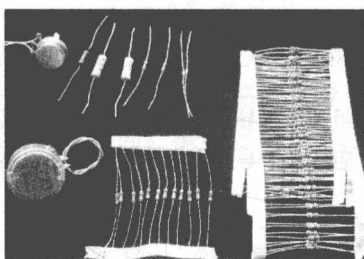


图 1.1-2 电阻元件

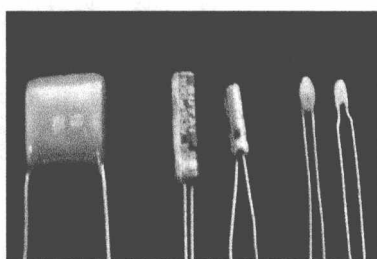


图 1.1-3 电容元件

电感元件（Inductor）能表示各种电感线圈产生磁场、储存磁能的作用，如图 1.1-4 所示。

电源元件（Source）是表示各种其他形式的能量转换成电能的元件，如图 1.1-5 所示。

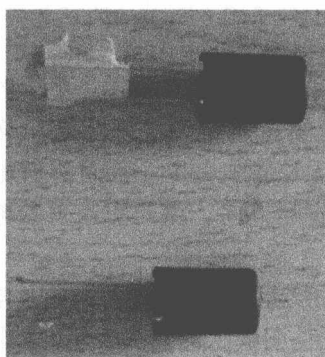


图 1.1-4 电感元件

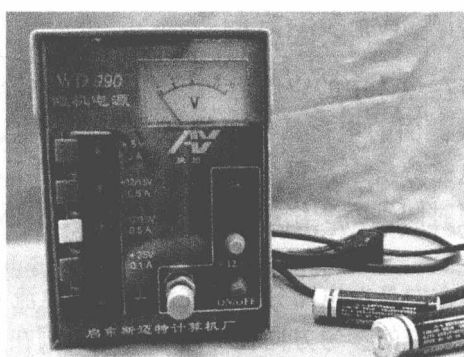


图 1.1-5 电源元件

这样，电阻元件、电感元件和电容元件就是抽象化了的理想电路元件。将这些元件按一定方式连接起来，逼近实际电路的特性，便构成了实际电路的模型。例如，图 1.1-1 (b) 为图 1.1-1 (a) 所示实际电路的电路模型。在这个模型中，电池用一个电压为 U_s 的电源和一个与它串联的内阻 R_i 表示，灯泡用一个电阻 R 表示，连接导线用理想导线（其电阻设为零）或线段表示。

把各种理想的电路元件连接而成的电路，称为理想电路，也称为电路模型。而实际电路

是把各种实际电路元件连接而成的电路。应当指出,用理想电路元件的组合来模拟实际电路,只能在一定条件下近似地反映实际电路中所发生的物理过程。但大量实践证明,只要电路模型建立恰当,对电路模型分析的结果就会与实际电路的测试结果保持基本一致。

电阻元件、电感元件和电容元件都是二端元件,它们分别集总地代表实际电路中耗能作用、磁场作用和电场作用,每个元件中都有确定的电流,端子间都有确定的电压,将这些元件称作集总参数元件。它们是只表示一种电或磁特性的元件。而由集总参数元件构成的电路,称作集总参数电路。实际电路用集总参数电路来近似是有条件的,即当电路元件的尺寸 L 远小于正常工作的波长 λ 时,元件的尺寸与工作波长相比可忽略不计,元件的特性参数可用集总参数表示。电路分析是以集总假设为前提的,其中的基本定律及分析方法必须满足集总假设。未加特殊说明的情况下,本书中的电路均为集总参数电路。

思考与练习

1.1-1 实际电路与电路模型有何区别?

1.1-2 电路模型的适用条件是什么?

1.1-3 画出由1节干电池、1个开关、1个灯泡、2个电阻和若干导线组成的并联电路及其模型。

1.1-4 画出由1节干电池、1个开关、1个灯泡、4个电阻和若干导线组成的串并混联电路及其模型。

1.2 电流、电压参考方向及功率的计算

电路的变量有电流、电压、电荷、磁链、功率及能量,其中电流、电压、功率是用得较多的三个变量,电流、电压是最基本的变量。在电路分析中,不仅要知道它们的大小,还要知道它们的方向。

1.2.1 电流参考方向

电荷在导体中的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度来表示,是单位时间内通过导体横截面的电荷量,可简称为电流。电流的方向习惯上规定为正电荷定向移动的方向。在电路分析中,每个元件中的电流的实际方向往往无法预先判断,而且有时电流的实际方向随时间不断变化,因此很难在电路中标明电流的实际方向。由此引入“参考方向”的概念。

参考方向是在电路分析中任意假设的电流方向,因此所选的参考方向不一定是电流的实际方向。电流的参考方向在电路中一般用画在元件旁或元件引线上的箭头表示。如图1.2-1所示电路中,用实线箭头标出了电路元件中电流的参考方向。在参考方向选定后,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。“ $i > 0$ ”表示实际方向与参考方向相同;“ $i < 0$ ”表示实际方向与参考方向相反。例如图1.2-1所示电路中,若解出电流 $i = -5\text{A}$,表示电流 i 的大小为 5A ,电流实际方向与参考方向相反,即由B指向A。可见只有参考方向而无代数表达式就不能确定实际方向;反之,没有参考方向,表达式就没有意义,同样不能知道实际方向。电流的参考方向也可用双下标表示,如 i_{AB} ,表示电流的参考方向由A指向B。需要指出的是,用双下标表示电流参考方向对并联电路不适用。

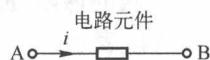


图 1.2-1 电流参考方向

值得注意的是，在求解电路时，先标定电流的参考方向，参考方向是分析计算电路的依据。特别需要指出的是，电流是一种物理现象，是客观存在的，电流方向也是客观存在的，而电流的参考方向仅是为了计算方便而引入的。

1.2.2 电压参考方向

在电路中，单位正电荷由 A 点移动到 B 点所获得或失去的能量为 A、B 两点间电位差，即 A、B 间的电压。电压的真实方向是使电荷电能减少的方向，也是库仑电场力对正电荷做正功的方向，从高电位指向低电位。电压的实际方向也有两种，可以选定任意一个方向为电压的参考方向。在电路中，电压的参考方向可用正 (+)、负 (-) 极性表示，正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向。有时为了图示方便，可用一个箭头表示电压的参考方向，如图 1.2-2 所示；也可用双下标表示，如 u_{AB} 。若 “ $u > 0$ ” 表明实际方向与参考方向极性一致，若 “ $u < 0$ ” 表明实际方向与参考方向相反。

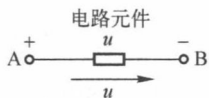


图 1.2-2 电压参考方向

值得注意的是，在对电路进行分析时，都应该先指定各处的电流和电压的参考方向。参考方向在电路分析中起着重要的作用，没有参考方向，复杂电路的分析将难以进行。

1.2.3 关联及非关联参考方向、功率的计算

一个元件的电流和电压的参考方向都可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从标以电压 “+” 极性的一端流入，从标以电压 “-” 极性的一端流出，即电流的参考方向和电压的参考方向一致，这种参考方向称为关联参考方向，如图 1.2-3 (a) 所示。当两者不一致时，称为非关联参考方向，如图 1.2-3 (b) 所示。

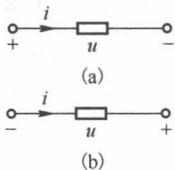


图 1.2-3 关联和非关联参考方向

在电路分析和计算中，能量和功率的计算十分重要。电功率与电压和电流密切相关。正电荷从元件上电压的正极经元件运动到电压的负极，电场力做正功，元件吸收能量；相反，正电荷从元件上电压的负极经元件运动到电压的正极，电场力做负功，元件向外释放能量。

根据电压的定义，A、B 两点间的电压等于电场力将单位正电荷由 A 点移动到 B 点时所做的功，可知 dt 时间内将电荷 dq 由 A 点移动到 B 点电场力所做的功为

$$dw = u dq$$

该瞬间电场力做功的速率称为该瞬时的电功率，用 p 表示。

若电压 u 和电流 i 为关联参考方向，如图 1.2-3 (a) 所示，则

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui$$

式中， p 是元件吸收的功率。但 u 、 i 的值可能为 “+”，也可能为 “-”，因此 p 的值也有 “+” 或 “-” 的可能。若 p 为 “+” (即 $p > 0$)，则表示该元件实际吸收功率。若 p 为 “-” (即 $p < 0$)，则表示该元件实际发出功率。

若电压 u 和电流 i 为非关联参考方向，如图 1.2-3 (b) 所示，则 $p = ui$ 表示发出功率。

$p > 0$ 表示该元件实际发出功率； $p < 0$ 表示该元件实际吸收功率。此时 $p = -ui$ 表示吸收功率， $p > 0$ 表示该元件实际吸收功率； $p < 0$ 表示该元件实际发出功率。实际计算时，为不致混淆，可加下标来区别，若 u 、 i 为关联参考方向，则用 $p_{\text{吸}} = ui$ 表示；若 u 、 i 为非关联参考方向，则用 $p_{\text{发}} = ui$ 表示。

在国际单位制中，电压的单位是伏特（Volt），简称伏（符号为 V）；电流的单位是安培（Ampere），简称安（符号为 A）；功率的单位是瓦特（Watt），简称瓦（符号为 W）。

例 1.2-1 图 1.2-4 所示直流电路中， $U_1 = 5\text{V}$ ， $U_2 = -6\text{V}$ ， $U_3 = 8\text{V}$ ， $I = 2\text{A}$ 。求各元件吸收的电功率。

解：图中元件 1 和元件 2 的电压、电流为关联参考方向，所以

$$P_{1\text{吸}} = U_1 I = 5 \times 2 = 10\text{W} \quad (\text{实际吸收 } 10\text{W})$$

$$P_{2\text{吸}} = U_2 I = -6 \times 2 = -12\text{W} \quad (\text{实际发出 } 12\text{W})$$

元件 3 的电压、电流为非关联参考方向，所以

$$P_{3\text{发}} = U_3 I = 8 \times 2 = 16\text{W} \quad (\text{实际发出 } 16\text{W})$$

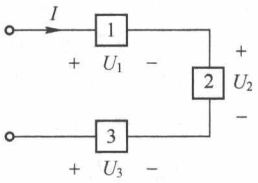


图 1.2-4 例 1.2-1 图

需要注意的是，当电流和电压为关联参考方向时，如果 $p = ui$ 表示吸收功率，则 $p > 0$ 表示实际吸收功率， $p < 0$ 表示实际发出功率；当电流和电压为非关联参考方向时，如果 $p = -ui$ 表示吸收功率，则 $p > 0$ 表示实际发出功率， $p < 0$ 表示实际吸收功率。

思考与练习

1.2-1 求解图 1.2-5 所示直流电路中的电流 I_1 。

1.2-2 求解图 1.2-6 所示直流电路中的电压 U_1 。

1.2-3 已知电压 $U = 5\text{V}$ ， $I = -1\text{A}$ ，求图 1.2-7 所示直流电路中电阻 R 的吸收功率。

1.2-4 已知电压 $U = 4\text{V}$ ， $I = -2\text{A}$ ，求图 1.2-8 所示直流电路中电阻 R 的发出功率。

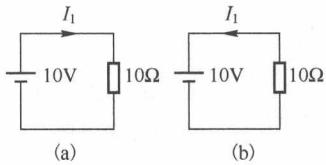


图 1.2-5 题 1.2-1 图

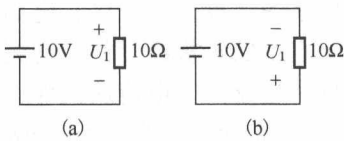


图 1.2-6 题 1.2-2 图



图 1.2-7 题 1.2-3 图



图 1.2-8 题 1.2-4 图

1.3 无源电路元件

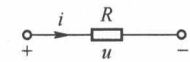
本节主要介绍电阻元件、电容元件和电感元件。各种元件都有精确的定义，由此可确定电压和电流之间的关系，简称 VCR（Voltage Current Relation），这种关系是电路分析的基础之一。

1.3.1 电阻元件

电阻元件是电路基本元件之一，是用来模拟电能损耗或将电能转换成热能等其他形式能量的理想元件，例如电阻器、灯泡、电炉等。当电压和电流参考方向为关联参考方向时，线

性电阻元件的电压和电流符合欧姆定律，如图 1.3-1 所示，即

$$u = Ri \tag{1.3-1}$$



电压 u 的单位为伏特 (V)，电流 i 的单位为安培 (A)，电阻 R 的单位为欧姆 (Ω)。线性电阻 R 是一个与电压和电流无关的正常数。
(关联参考方向)

如果把电阻元件的电流 i 取为横坐标，电压 u 为纵坐标，画出电压电流的关系曲线，这条曲线称为该元件的伏安特性，它是一条通过原点的直线，如图 1.3-2 所示。

令 $G = 1/R$ ，则式 (1.3-1) 变为

$$i = Gu$$

式中， G 称为电阻元件的电导 (Conductance)，电导的单位为西[门子] (S)。如 $R = 10\Omega$ ，则 $G = 0.1S$ 。

如果电阻元件的电压和电流为非关联参考方向，如图 1.3-3 所示，则欧姆定律应写为

$$u = -Ri \quad i = -Gu$$

由式 (1.3-1) 及图 1.3-2 可知，在任何时刻电阻元件的端电压 (或电流) 是由同一时刻电流 (或电压) 决定的，而与过去的电流 (或电压) 无关，所以电阻元件是一种无记忆元件。

当电流和电压为关联参考方向时，任何时刻电阻元件吸收 (消耗) 的电功率为

$$p = ui = Ri^2 = u^2 / R = Gu^2 = i^2 / G$$

式中， R 和 G 是正实常数，故功率 p 恒为非负值，电阻吸收功率。

在电流和电压为非关联参考方向时，任何时刻电阻元件吸收 (消耗) 的电功率为

$$p = -ui = -(-Ri)i = Ri^2$$

由于这时有 $u = -Ri$ 或 $i = -Gu$ ，因此功率 $p = -ui = -(-Ri)i = Ri^2$ 仍为正值，这说明电阻元件仍吸收功率，即在任何时刻它是不可能发出功率的。所以，线性电阻元件是无源耗能元件。

从 t_0 到 t 内，电阻元件产生的热量为

$$W = \int_{t_0}^t Ri^2(\xi)d\xi$$

当一个电阻元件的端电压不论为何值时，流过它的电流恒为零值，就把它称为“开路” (Open Circuit)，其伏安特性与 u 轴重合，如图 1.3-4 所示，这相当于 $R = \infty (G = 0)$ 。当流过一个电阻元件的电流不论为何值时，它的端电压恒为零值，就把它称为“短路” (Short circuit)，其伏安特性与 i 轴重合，如图 1.3-5 所示，这相当于 $R = 0 (G = \infty)$ 。

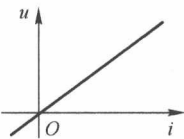


图 1.3-2 线性电阻元件的伏安特性

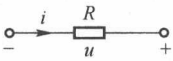


图 1.3-3 电阻元件 (非关联参考方向)

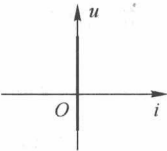


图 1.3-4 电阻元件的伏安特性 ($R = \infty$)

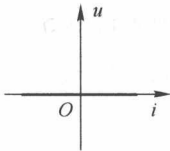


图 1.3-5 电阻元件的伏安特性 ($R = 0$)

如果电阻元件的伏安特性在 $u-i$ 平面上不是通过原点的直线，此元件称为非线性电阻元件；如果电阻元件的伏安特性不随时间改变，则称为定常电阻元件。为叙述方便，把线性电阻元件简称为电阻，所以本书中“电阻”这个术语及其相应的符号 R 既表示一个电阻元