



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

电工电子基础

Principles of Electric Circuits

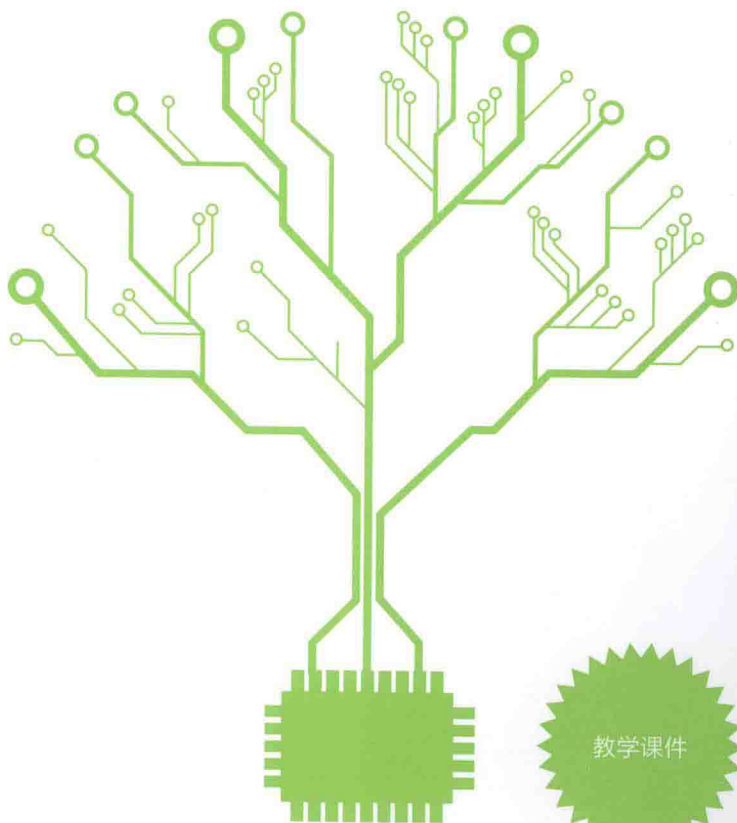
电路原理

张燕君 齐跃峰 吴国庆 朱奇光 编著

Zhang Yanjun Qi Yuefeng Wu Guoqing Zhu Qiguang

毕卫红 主审

Bi Weihong



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Principles of Electric Circuits

电路原理

张燕君 齐跃峰 吴国庆 朱奇光 编著

Zhang Yanjun

Qi Yuefeng

Wu Guoqing

Zhu Qiguang

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本教材系统介绍了电路的基本理论知识,全书共分为10章,主要内容包括电路模型和电路定律、电阻电路的分析、电路定理、动态电路的时域分析、正弦稳态电路的分析、三相电路、非正弦周期电流电路、动态电路的复频域分析、二端口网络、电路的矩阵方程。书末附有各章习题参考答案。

本书可供高等院校自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、通信工程、生物医学工程、电子科学与技术、光信息科学与工程等光电类专业使用,也可供工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路原理/张燕君等编著. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-48198-0

I. ①电… II. ①张… III. ①电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 207805 号

责任编辑:盛东亮 赵晓宁

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.25 字 数:438千字

版 次:2017年10月第1版 印 次:2017年10月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:076167-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	火箭军工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋 峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳 伟	香港理工大学
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

电路原理是电类专业非常重要的一门技术基础课,通过本课程的学习,使学生掌握电路的基本理论知识、电路分析计算的基本方法,并为学习后续有关课程准备必要的电路知识。学习电路课程,对培养学生的科学思维能力,树立理论联系实际的工程观点和提高学生分析问题和解决问题的能力,都有重要的作用。该课程在整个电类专业的人才培养方案和课程体系起着承前启后的重要作用。

本教材严格参照教育部《普通高等学校本科专业目录(2012年)》、教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会《电子电气基础课程教学基本要求》,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. 内容精练。本教材强调基本概念的理解,注重新老内容的结合,特别注重理论联系实际。对电路理论中传统的内容进行了整合,保留经典的理论内容,删除与后续课程重复或应用较少的内容,使学生用较少的时间掌握电路理论的内容体系。

2. 一题多解。本教材以一题多解的方式培养学生应用理论分析问题及解决问题的能力,使学生启迪思路、开阔视野,学会分析问题和解决问题的方法,并且能适应启发式教学的需要。

3. 利于拓展。本教材课后习题分为简答题、选择题、计算题和思考题,利于不同层次、不同专业和不同程度的学生进行练习和拓展。

本书的内容安排是:第1~3章为直流电路,主要介绍基本元件及其特性、基本定理、定律及分析方法;第4章为一阶动态电路,主要介绍动态电路的时域分析;第5章和第6章为正弦电路,主要介绍一般正弦稳态电路和三相电路的分析;第7章为非正弦周期电流电路;第8章为动态电路复频域分析;第9章和第10章为二端口网络和网络方程。

燕山大学信息学院电路原理课程于2003年被评为河北省省级精品课程,2008年再次通过省级精品课程评估。本书是电路精品课程主讲教师在总结多年教学经验的基础上编写而成的。参加编写的人员及分工为:王伟编写第1章和第3章;李文慧编写第2章;朱奇光编写第4章;张燕君编写第5章和第10章;齐跃峰编写第6章和第7章;吴国庆编写第8章和第9章。全书由张燕君统稿并作部分调整。

本书由毕卫红主审并提出了许多宝贵的意见,高美静、金娃和刘烁参与了本书的审读工作,作者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。

编者

2017年7月

教学建议

TEACHING SUGGESTION

通过本课程的学习,掌握电路的基本概念、基本规律、基本分析方法和基本定理等,为后续专业课的学习奠定理论和实验的基础。

本书的电路理论分为三部分:电路的稳态分析、电路的动态分析和电路理论应用。下面给出大致的教学学时安排,仅供参考。

章 名	知 识 要 点	建 议 学 时
第 1 章 电路模型和电路定律	电路模型 电流、电压参考方向及功率的计算 电阻元件、独立电源与受控电源 基尔霍夫定律	6
第 2 章 电阻电路的分析	等效变换的概念 电桥电路等效电阻的计算 电源模型的等效变换 支路电流法 网孔电流法与回路电压法 节点电压法	12
第 3 章 电路定理	叠加定理 齐次定理 替代定理 戴维宁定理和诺顿定理 特勒根定理 互易定理	8
第 4 章 动态电路的时域分析	动态元件 电路初始值的确定 一阶电路的分析:三要素法 二阶电路的分析	8
第 5 章 正弦稳态分析	正弦量的基本概念 正弦量的相量表示 电路定律的相量形式 阻抗、导纳及其等效变换 正弦稳态电路的相量分析 正弦稳态电路的功率 谐振电路 耦合电感 空心变压器 理想变压器	16

续表

章 名	知 识 要 点	建 议 学 时
第 6 章 三相电路	三相电路的基本知识 对称三相电路 不对称三相电路 三相电路的功率 安全用电*	4
第 7 章 非正弦周期电流电路	非正弦周期信号及其频谱 有效值、平均值和平均功率 非正弦周期电流电路的计算 谐波对供电系统的危害*	4
第 8 章 动态电路的复频域分析	拉普拉斯变换的定义和性质 拉普拉斯反变换和部分分式展开 应用拉普拉斯变换分析线性动态电路 网络函数	10
第 9 章 二端口网络	二端口网络的方程和参数 二端口网络的等效电路 二端口网络的连接 回转器和负阻抗变换器	4
第 10 章* 电路的矩阵方程	关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵 电路方程的矩阵形式 状态方程	4
教学总学时		72 (含选学为 76)

注：表中标注“*”的内容为选学内容。

目录

CONTENTS

第 1 章 电路模型和电路定律	1
1.1 实际电路和电路模型	1
1.1.1 实际电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流、电压参考方向及功率的计算	2
1.2.1 电流参考方向	2
1.2.2 电压参考方向	3
1.2.3 关联及非关联参考方向、功率的计算	3
1.3 电阻元件、独立电源与受控电源	4
1.3.1 电阻元件	4
1.3.2 独立电源	5
1.3.3 受控电源	7
1.4 基尔霍夫定律	8
1.4.1 基尔霍夫电流定律	8
1.4.2 基尔霍夫电压定律	9
习题 1	11
第 2 章 电阻电路的分析	16
2.1 简单电阻电路的分析	16
2.1.1 电路的等效变换	16
2.1.2 电阻的串联及分压	17
2.1.3 电阻的并联及分流	18
2.1.4 串并联电路的分析	19
2.2 电桥电路等效电阻的计算	21
2.2.1 Wheatstone 电桥电路	21
2.2.2 含平衡电桥电路的等效电阻	22
2.2.3 电阻的三角形连接与星形连接的等效变换	22
2.3 电源模型的等效变换	25
2.3.1 理想电源的等效变换	25
2.3.2 实际电源两种模型及其等效变换	27
2.4 电阻电路的一般分析	29
2.4.1 网络图论简介	29
2.4.2 KCL、KVL 独立方程的个数	32
2.4.3 支路电流法	33

2.4.4	网孔电流法与回路电流法	35
2.4.5	结点电压法	39
习题 2		44
第 3 章	电路定理	53
3.1	叠加定理和齐性定理	53
3.1.1	叠加定理	53
3.1.2	齐性定理	56
3.2	替代定理	57
3.3	戴维宁定理和诺顿定理	59
3.3.1	一端口	59
3.3.2	戴维宁定理	60
3.3.3	诺顿定理	63
3.3.4	最大功率传输定理	64
3.4	特勒根定理	66
3.4.1	特勒根定理 1	66
3.4.2	特勒根定理 2	67
3.5	互易定理	67
3.5.1	互易定理的一般形式	67
3.5.2	互易定理形式 1	68
3.5.3	互易定理形式 2	69
3.5.4	互易定理形式 3	69
习题 3		72
第 4 章	动态电路的时域分析	78
4.1	动态元件	78
4.1.1	电容元件	78
4.1.2	电感元件	79
4.1.3	动态元件的串并联	81
4.2	动态电路的方程及其初始条件	83
4.2.1	动态电路的基本概念及方程的建立	83
4.2.2	换路定律与初始条件的确定	84
4.3	一阶电路的零输入响应	86
4.3.1	RC 电路的零输入响应	86
4.3.2	RL 电路的零输入响应	89
4.4	一阶电路的零状态响应	90
4.4.1	RC 电路的零状态响应	90
4.4.2	RL 电路的零状态响应	92
4.5	一阶电路的全响应	93
4.5.1	全响应	93
4.5.2	三要素法	93
4.6	一阶电路的阶跃响应	95
4.6.1	阶跃函数	95
4.6.2	阶跃响应	96
4.7	一阶电路的冲激响应	97

4.7.1 冲激函数	97
4.7.2 冲激响应	98
4.8 二阶电路的分析	100
4.8.1 二阶电路的零输入响应	100
4.8.2 二阶电路的零状态响应与全响应	105
习题 4	106
第 5 章 正弦稳态分析	114
5.1 正弦电路的基本概念	114
5.1.1 周期电压和电流	114
5.1.2 正弦电压和电流	115
5.2 正弦量的相量表示	118
5.2.1 复数	118
5.2.2 相量	120
5.2.3 相量图	121
5.2.4 同频率正弦量的代数和	122
5.3 电路定律的相量形式	122
5.3.1 正弦电路中的电路元件	122
5.3.2 基尔霍夫定律的相量形式	125
5.3.3 相量模型	126
5.4 阻抗、导纳及其等效变换	127
5.4.1 阻抗	127
5.4.2 导纳	128
5.4.3 阻抗和导纳的等效变换	129
5.5 正弦稳态电路的相量分析	130
5.6 正弦稳态电路的功率	134
5.6.1 功率及功率因数	134
5.6.2 复功率	138
5.6.3 功率因数的提高	139
5.6.4 最大功率传输定理	140
5.7 谐振电路	141
5.7.1 串联谐振电路	142
5.7.2 并联谐振电路	146
5.8 耦合电感	148
5.8.1 耦合电感的伏安关系	148
5.8.2 含有耦合电感电路的计算	151
5.9 空心变压器与理想变压器	155
5.9.1 空心变压器	155
5.9.2 理想变压器	157
习题 5	160
第 6 章 三相电路	171
6.1 三相电路的基本知识	171
6.1.1 三相电源	171
6.1.2 三相负载	173

6.1.3	三相电路的连接	173
6.2	对称三相电路	174
6.2.1	相电压与线电压	175
6.2.2	相电流与线电流	176
6.2.3	对称三相电路的计算	176
6.3	不对称三相电路	180
6.3.1	不对称三相电路的计算	180
6.3.2	不对称三相电路的常见问题	182
6.4	三相电路的功率	183
6.4.1	三相电路的功率	183
6.4.2	三相电路功率的测量	184
6.5	安全用电*	186
6.5.1	三相五线制介绍	186
6.5.2	住宅供电系统	187
6.5.3	防止触电的技术措施	188
	习题 6	190
第 7 章	非正弦周期电流电路	194
7.1	非正弦周期信号及其频谱	194
7.1.1	非正弦周期信号	194
7.1.2	非正弦周期信号的频谱	195
7.2	有效值、平均值和平均功率	200
7.2.1	非正弦周期信号的有效值和平均值	200
7.2.2	非正弦周期信号的功率	202
7.3	非正弦周期电流电路的计算	203
7.3.1	非正弦周期信号电路的电压和电流	203
7.3.2	非正弦周期信号电路的功率	206
7.4	谐波对供电系统的危害*	207
7.4.1	对供、配电线路的危害	208
7.4.2	对电力设备的危害	208
	习题 7	209
第 8 章	动态电路的复频域分析	212
8.1	拉普拉斯变换的定义和性质	212
8.1.1	拉普拉斯变换的定义	212
8.1.2	拉普拉斯变换的基本性质	213
8.2	拉普拉斯反变换和部分分式展开	218
8.3	应用拉普拉斯变换分析线性动态电路	221
8.3.1	线性电路的复频域模型	221
8.3.2	线性电路的复频域分析法	225
8.4	网络函数	228
8.4.1	网络函数的定义	228
8.4.2	网络函数的极点和零点	230
	习题 8	232

第 9 章 二端口网络	239
9.1 概述	239
9.2 二端口网络的方程和参数	240
9.2.1 Y 参数和方程	240
9.2.2 Z 参数和方程	242
9.2.3 T 参数和方程	244
9.2.4 H 参数和方程	244
9.3 二端口网络的等效电路	245
9.3.1 Z 参数表示的等效电路	246
9.3.2 Y 参数表示的等效电路	246
9.4 二端口网络的连接	247
9.4.1 级联(链联)	247
9.4.2 并联	248
9.4.3 串联	250
9.5 回转器和负阻抗变换器	251
9.5.1 回转器	251
9.5.2 负阻抗变换器	252
习题 9	253
第 10 章 电路的矩阵方程*	258
10.1 关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵	258
10.1.1 关联矩阵	258
10.1.2 回路矩阵	259
10.1.3 割集矩阵	261
10.2 电路方程的矩阵形式	262
10.2.1 回路电流方程的矩阵形式	262
10.2.2 结点电压方程的矩阵形式	264
10.2.3 割集电压方程的矩阵形式	266
10.3 状态方程	268
习题 10	270

注：标注“*”的内容为选学内容。

在日常工作和生活中,到处可以见到实际电路,例如通信电路、计算机电路、自动控制电路、电力电路、电气照明电路等,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,该理论就是电路理论。

电路理论包括电路分析和电路综合(设计)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响应的电路。本书只讨论电路分析的内容。

在电路分析中,研究的对象不是实际电路,而是实际电路在一定条件下经科学抽象所得的模型,称之为电路模型。本章将讨论电路模型、电压和电流参考方向、电阻元件、独立电源、受控电源、基尔霍夫定律等重要知识及相关概念。

1.1 实际电路和电路模型

1.1.1 实际电路

实际电路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,“电路”和“网络”这两个术语通常是相通的。实际的电路种类很多,其主要功能有两方面:①实现电力的传输和分配,例如电力系统;②传输和处理各种电信号,例如收音机及通信系统等。按其用途不同可细分为控制电路、测试电路、通信电路、电气照明电路等。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(a)所示是最简单的手电筒电路,它由三部分组成。

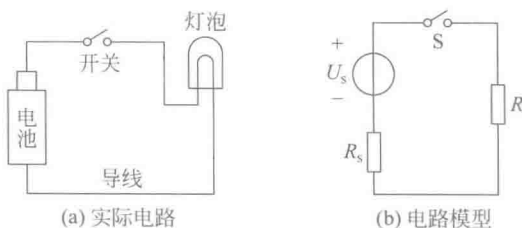


图 1-1 实际照明电路及其电路模型

(1) 提供电能的能源(图中为电池),简称电源,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,产生的电压和电流称为响应;

(3) 连接导线和开关,属于中间环节。

1.1.2 电路模型

电路理论的研究对象不是实际电路,而是由一些理想化的电路元件组成的电路模型。理想化的电路元件是由实际电路元件中抽象出来的一些具有单一电磁性质的元件。只消耗电能的元件,称作电阻元件;只有磁效应并储存磁场能量的元件,称作电感元件;只有电场效应并储存电场能量的元件,称作电容元件;能把非电能转化为电能的元件,称作电源元件。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。电路模型简称为电路。图 1-1(b)为图 1-1(a)所示的实际电路的电路模型。在该模型中,电池用一个电压为 U_s 的电源和一个与它串联的内阻 R_s 表示,灯泡由一个电阻 R 表示,连接导线用理想导线(其电阻设为零)或线段表示。

电阻元件、电感元件和电容元件都是二端元件,它们分别集总代表实际电路中的耗能作用、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,这些元件称作集总参数元件。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,即实际电路的长度须远小于电路工作频率下电磁波的波长。

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,在线性电路分析中,人们主要关注的物理量是电流、电压和功率。在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安(符号为 A);电压的单位是伏特,简称伏(符号为 V);功率的单位是瓦特,简称瓦(符号为 W)。

1.2.1 电流参考方向

电流的方向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引线上的箭头表示。如图 1-2 所示的电路中,用实线箭头标出了电路元件上电流的参考方向。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,如图 1-2 所示的电路中,若假设电流 i 参考方向为由 A 指向 B,解出电流 $i = -5\text{A}$,表示电流 i 的大小为 5A,但是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,同样不能知道电流的实际方向。



图 1-2 电流参考方向

1.2.2 电压参考方向

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,从高位指向低位。电压的实际方向也有两种可能,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,如图 1-3 所示。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。例如图 1-3 所示的电路中,若假设电压 u 参考方向为 A “+” B “-”,解出电压 $u = -5\text{V}$,表示电压 u 的大小为 5V,但是实际方向与参考方向相反,即 A “-” B “+”。

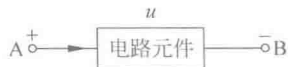


图 1-3 电压参考方向

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。对任何电路进行分析时,都应该先指定各处的电流和电压的参考方向。

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 1-4(a)所示。当两者不一致时,称为非关联参考方向,如图 1-4(b)所示。



图 1-4 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。当正电荷从元件上电压的正极经元件运动到电压的负极时,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时,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

$$d\omega = u dq \quad (1-1)$$

如果电压 u 和电流 i 为关联参考方向,如图 1-4(a)所示,该瞬间电场力做功的速率称为瞬时电功率,也就是元件吸收的功率 $p_{\text{吸}}$,

$$p_{\text{吸}} = \frac{d\omega}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-2)$$

但 u 、 i 的值可能为正,也可能为负,因此 $p_{\text{吸}}$ 的值也有可能为正或负。若 $p_{\text{吸}} > 0$,则表示该元件实际吸收功率;若 $p_{\text{吸}} < 0$,则表示该元件吸收负功率,即实际发出功率。

如果电压 u 和电流 i 为非关联参考方向,如图 1-4(b)所示,则利用 $p_{\text{吸}} = -ui$ 计算元件吸收的功率,同样当 $p_{\text{吸}} > 0$ 时表示该元件实际吸收功率; $p_{\text{吸}} < 0$ 时表示该元件发出功率。