

21 世纪高等院校教材

电工技术

(电工学 I)

史仪凯 主编



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

电 工 技 术

(电工学 I)

史仪凯 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部最新制定的高等工业院校“电工学”课程教学基本要求编写,在教材的内容及编排体例上对传统教材作了大幅度的调整与更新。全书分为3个部分,即电工技术(电工学Ⅰ)、电子技术(电工学Ⅱ)和电工电子应用技术(电工学Ⅲ)。

本书为电工技术部分,主要内容包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦周期电流电路、磁路与变压器和安全用电等。每章均附有大量的练习与思考题,书后附有试题和部分答案,便于教师教学和学生自学。

本书在覆盖上述教学基本要求的基础上,根据编者多年来从事教学研究和教学改革的实践体会,对教材内容和结构体系作了适当的整合。本书内容丰富,深浅适度,可供不同非电类专业灵活选用。

本书还配有支持教学的多媒体电子教案,可以免费提供给使用该教材的教师。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术(电工学Ⅰ)/史仪凯主编. —北京:科学出版社,2004
(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-014162-8

I. 电… II. 史… III. 电工技术-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 082651 号

责任编辑:段博原 贾瑞娜 / 责任校对:李奕莹
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年1月第 一 版 开本: B5(720 × 1000)
2005年1月第一次印刷 印张: 19 1/2
印数: 1—6 000 字数: 375 000

定价: 69.00 元(全三册)

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

本书是根据教育部最新颁布的高等工业院校“电工学”课程教学基本要求,并在原《电工技术》(史仪凯主编,1994年出版)的基础上总结提高,重新修订编写的。本教材已被列入西北工业大学2002年校规划重点出版教材。参考学时为40~60学时。

本书编写的指导思想是,在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖了教学基本要求所规定的全部内容,又增添了一些拓宽和加深的内容,可以满足非电类各专业根据具体需要进行取舍。在阐述上由浅入深,循序渐进,使之符合人们认识客观事物的规律,便于自学,适当反映了现代科学技术发展的新成就。在体系上注意各部分章节的有机联系,根据编者的教学实践和体会,对传统的体系结构作了适当的整合,加强了各主要部分内容的逻辑性,便于读者应用和科技创新能力的培养。在教学上配有多媒体电子教案,教师可以对电子教案进行修改,有利于教师组织课堂教学和提高教学质量。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,田梦君任副主编。其中绪论、第4章、第5章由史仪凯编写;第1章、第2章由向平编写;第3章由田梦君编写;第6章由张海南编写;第7章由李启鹏编写;第8章由刘雁编写;附录、电工技术试题(卷)、部分习题答案由袁小庆编写。

本书由西北工业大学陈麟章教授和张家喜教授审阅,并提出了宝贵意见和修改建议。在编写过程中,先后得到西北工业大学电工学课程组同志们的关心和支持。同时,作者借鉴了有关参考资料。在此,对主审、参考资料的作者,以及帮助本书出版的科学出版社、西北工业大学教务处和教材科一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵意见。

编 者

2004年2月于西北工业大学

目 录

前言	
绪论	1
第1章 电路的基本概念与基本定律	3
1.1 电路与电路模型	3
1.1.1 电路的组成和作用	3
1.1.2 电路模型	5
1.2 电流与电压的参考方向	5
1.2.1 电流的参考方向	6
1.2.2 电压的参考方向	6
1.2.3 电功率与电能	7
1.3 电压源与电流源及其等效变换	9
1.3.1 电压源	9
1.3.2 电流源	11
1.3.3 电压源和电流源的等效变换	13
*1.4 受控源	19
1.5 电路的基本联接方式	21
1.5.1 串联电阻分压作用	22
1.5.2 并联电阻分流作用	24
1.6 电源开路、短路与有载工作	27
1.6.1 电源开路	27
1.6.2 电源短路	28
1.6.3 电源有载工作	29
1.7 电路的基本定律	35
1.7.1 欧姆定律	35
1.7.2 基尔霍夫定律	36
1.7.3 电路中电位的计算	42
本章小结	46
习题	47
第2章 电路的分析方法	52
2.1 支路电流法	52

2.2 叠加原理	57
2.2.1 线性电路性质	57
2.2.2 叠加原理	59
2.3 戴维南定理与诺顿定理	63
2.3.1 戴维南定理	63
2.3.2 诺顿定理	68
2.4 结点电压法	70
2.5 非线性电阻电路	75
本章小结	78
习题	79
第3章 电路的暂态分析	84
3.1 电感与电容元件	84
3.1.1 电感元件	84
3.1.2 电容元件	86
3.2 换路定则与初始值的确定	88
3.2.1 换路定则	88
3.2.2 初始值的确定	88
3.3 一阶电路的零输入响应	91
3.3.1 RC 电路的零输入响应	91
3.3.2 RL 电路的零输入响应	95
3.4 一阶电路的零状态响应	99
3.4.1 RC 电路的零状态响应	99
3.4.2 RL 电路的零状态响应	102
3.5 一阶电路的全响应与三要素法	105
3.5.1 一阶电路的全响应	105
3.5.2 一阶线性电路的三要素法	106
3.6 一阶电路的脉冲响应	110
3.6.1 微分电路	110
3.6.2 积分电路	112
本章小结	112
习题	113
第4章 单相正弦交流电路	119
4.1 正弦交流电的概念	119
4.1.1 周期和频率	119
4.1.2 初相角和相位差	121

4.1.3 幅值和有效值	122
4.2 正弦量的相量表示法	124
4.2.1 复数及其基本运算	124
4.2.2 正弦量的相量表示法	127
4.3 单一参数的正弦交流电路	130
4.3.1 电阻元件交流电路	130
4.3.2 电感元件交流电路	132
4.3.3 电容元件交流电路	135
4.4 RLC 串联交流电路	139
4.4.1 电压和电流的关系	139
4.4.2 功率关系	145
4.5 RLC 并联交流电路	149
4.5.1 电压和电流的关系	149
4.5.2 功率关系	151
4.6 电路中的谐振	153
4.6.1 串联谐振	153
4.6.2 并联谐振	158
4.7 功率因数的提高	162
4.7.1 提高功率因数的意义	162
4.7.2 提高功率因数的措施	163
4.8 复杂交流电路的计算	166
本章小结	169
习题	172
第 5 章 三相正弦交流电路	178
5.1 三相正弦交流电源	178
5.1.1 三相交流电动势的产生	178
5.1.2 三相电源的联接	179
5.2 负载星形联接的三相电路	182
5.2.1 对称负载星形联接的三相电路	182
5.2.2 不对称负载星形联接的三相电路	184
5.3 负载三角形联接的三相电路	188
5.3.1 对称负载三角形联接的三相电路	188
5.3.2 不对称负载三角形联接的三相电路	191
5.4 三相电路的功率	192
5.4.1 有功功率	192

5.4.2 无功功率	193
5.4.3 视在功率	193
本章小结	194
习题	195
第6章 非正弦周期电流电路	198
6.1 非正弦周期信号的分解	199
6.2 非正弦周期信号的有效值、平均值与平均功率	203
6.2.1 有效值	203
6.2.2 平均值	204
6.2.3 平均功率	205
6.3 非正弦周期电流电路的计算	207
本章小结	210
习题	211
第7章 磁路与变压器	212
7.1 磁路	212
7.1.1 磁路的基本概念	212
7.1.2 磁路的欧姆定律	214
7.2 磁性材料的磁性能	218
7.2.1 高导磁性	218
7.2.2 磁饱和性	219
7.2.3 磁滞性	220
7.3 铁心线圈电路	221
7.3.1 直流铁心线圈电路	221
7.3.2 交流铁心线圈电路	222
7.3.3 直流和交流铁心线圈电路的比较	224
7.4 电磁铁	226
7.4.1 直流电磁铁	226
7.4.2 交流电磁铁	227
7.5 变压器	230
7.5.1 变压器的基本结构	231
7.5.2 变压器的原理和作用	232
7.5.3 变压器的特性和技术数据	239
7.6 变压器绕组的极性及其测定	243
7.6.1 变压器绕组的极性	243
7.6.2 变压器绕组极性的测定	244

7.7 其他类型变压器	246
7.7.1 自耦变压器	246
7.7.2 三相变压器	248
7.7.3 电压互感器	249
7.7.4 电流互感器	250
7.7.5 R 铁心变压器	251
本章小结	252
习题	254
第 8 章 安全用电	258
8.1 触电事故	258
8.1.1 触电方式	258
8.1.2 电流对人体的危害	259
8.1.3 安全电压	261
8.2 触电急救与防护措施	261
8.2.1 触电急救	261
8.2.2 防护措施	262
8.3 保护接地与保护接零	263
8.3.1 保护接地	263
8.3.2 保护接零	263
8.3.3 工作接地	264
8.3.4 家用电器的接地和接零	264
8.4 电气防火与防爆	265
8.4.1 用电防火和防爆	266
8.4.2 静电防火和防爆	266
8.4.3 雷电防火和防爆	267
8.5 节约用电	268
本章小结	269
习题	269
电工技术试题(卷)	270
部分习题答案	282
电工技术试题(卷)答案	287
中英名词对照	291
参考文献	295
附录 A 本书主要物理量符号及电位	296
附录 B 电阻器、电容器的标称系列值	297
主编简介	298

绪 论

电工学(亦称电气工程学)是一门研究电磁现象及其规律,在工程上应用的学科。18 世纪末以来,电工学在技术上、理论上日益提高,推动社会生产力和科学技术不断发展。尤其是进入了 21 世纪的今天,无论是在工业、农业、国防建设和科学技术的各个方面,还是在人们日常生活的各个领域,电工学都起着十分重要的作用。

电能之所以得以如此广泛的应用,是因为它具有其他形态的能量无可比拟的优越性。主要表现在以下三个方面:第一,转换方便。电能可以方便地转换成机械能(如电动机)、热能(如电炉)、光能(如电灯)、声能(如扬声器)、化学能等形式的能量。同样,原子能(如原子能发电)、化学能(如化学电池)、光能(如光电池)、热能(如火力发电)、水能(如水力发电)等其他形式的能量也可以方便地转换成电能。还可以利用传感器将各种非电量(如温度、流量、压力和位移等)转换成电量,以供测量和控制。第二,输送经济。电能可用比较简单的设备、很低的损耗被输送到较远的地方。例如,可以在储藏大量煤矿的地方附近兴建火力发电厂,在水力资源丰富的河川兴建水力发电厂,并使发电厂尽可能地接近原料基地,而通过远距离的输电线路将电能从发电厂输送到其他工厂。我国 21 世纪的四大工程之一——“西电东送”,就是将西部(贵州、云南、广西和内蒙古等)丰富的电力资源送往东部(珠江三角洲、沪宁杭和京津唐等),其不仅可使工业建设的布局问题得到比较合理的解决,而且体现了资源的优化合理配置,提高社会生产整体的经济效益。第三,控制灵活。电能的充分利用可以达到高度的自动化。例如,实现生产过程的自动控制、最佳状态控制;将检测到生产过程的各种参数转换成一定的电信号,实现自动调节和自动管理。近年来,微电子学与电子计算机技术的迅速发展及其在各个技术领域中的广泛应用,带来了社会生产力和科学技术的新飞跃,迎来了新技术革命的浪潮,开创了人类社会的新纪元。

当前,随着我国改革开放的深入开展,把我国建设成具有中国特色的社会主义现代化强国,关键在于科学技术现代化。电气化和自动化是衡量一个国家科学技术水平的主要标志之一。

电工学是高等工业学校本科非电类专业的一门重要技术基础课程。作为技术基础课,它应具有一定的基础性、应用性和先进性。对未来从事社会主义现代化建设的高级工程技术人员、高级工程研究和高级管理人员来说,必须掌握电工学课程的基本理论、基本知识和基本技能。我国现代化建设对人才要求的不断提高,要求学生具有强烈的紧迫感和现实感,并且增强求职和竞争意识。因此,学生应珍惜来

之不易的学习机会,学好电工学及其他各门功课,努力提高自己的政治和业务素质,在国家的现代化建设事业中为我国科学技术的发展开拓新的领域。

本教材是根据教育部颁布的高等工业学校“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”课程教学基本要求编写的。教材分为三册:《电工技术》(电工学Ⅰ)、《电子技术》(电工学Ⅱ)和《电工电子应用技术》(电工学Ⅲ)。教学参考学时为60~150学时(包括实验学时),各专业可以根据各自专业的培养目标和教学计划选择。

《电工技术》的主要内容包括电路的分析方法、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦周期电流电路、磁路与变压器、安全用电等。《电子技术》的主要内容包括半导体二极管及其应用、三极管与基本放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡电路、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、存储器与可编程逻辑器件、模拟量与数字量的转换等。《电工电子应用技术》的主要内容包括交流电动机、直流电动机、继电器接触器控制系统、可编程序控制器、电气控制基础、电气电测技术、信号处理与数据采集系统、现代通信技术等。

本课程的作用与任务是:通过本课程的学习使学生获得电工学基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程以及今后从事科学技术研究工作打下一定的基础。

为了学好电工学课程,我们提出以下几点看法:

首先,要有较强的自觉学习意识。课前应作适当的预习,课堂认真听讲,课后及时总结复习。抓住物理概念、基本理论、电路的工作情况和分析方法。努力提高自学能力,养成独立思考的习惯。在加深理解的基础上,注意教材中各部分内容之间的联系,区分哪些是基本内容,哪些是前者的扩展或派生,找出来龙去脉。结合自己的学习和理解,做出阶段性的总结,切忌死记公式和结论,并且要多看参考书。

其次,要独立认真完成作业。习题是用于检验基本理论和分析计算方法的掌握程度,锻炼和提高自己独立分析问题和解决实际问题能力的工具。解题前,先对所学有关内容进行复习;解题过程中,判断和选择合理的方法,独立解题,并检查结果。书后所附部分答案仅供参考,切忌以乱套公式、凑答案的方法做习题。作业要书写整洁,电路图要标绘清楚,且要注明单位。

最后,要重视实验。电工学是一门实践性很强的技术基础课,实验学时约占总学时的30%。它不仅起着理论联系实际的作用,而且是培养实践动手能力和科学作风的重要环节。实验前应认真预习,熟悉有关理论内容,对实验电路、实验方法和实验预期结果等都应做到心中有数;实验过程中,要求必须正确联接电路、正确使用仪器仪表和正确读取实验数据;实验结束后,能正确处理实验所得数据,分析观察到的现象,独立完成实验报告。这是科技人员的基本功,千万不可等闲视之。

我们殷切希望学生通过本课程的学习和实践,不断提高自己运用基本理论分析问题和解决问题的能力以及实际动手能力。

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章首先讨论电路的基本概念,其中包括电路的组成与作用、电路模型、电路中电压和电流的参考方向、电压源与电流源及其等效变换、电路的工作状态;其次讨论基尔霍夫两个定律以及电路中电位的概念和计算;最后简要阐述电路的基本连接方式。

本章讨论的基本概念和定律,虽然是从直流电路角度出发的,但只要加以适当扩展,也适用于后面将要讨论的交流电路及其他电路。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成和作用

电路是电流所通过的路径,由电路元件按一定方式组合而成。图 1.1.1(a)所示是一个简单的实际电路,它由供给电能的电源、取用电能的负载和中间环节(包括连接导线和开关)三部分组成。在电路中随着电流的流动,进行着不同形式能量之间的交换。

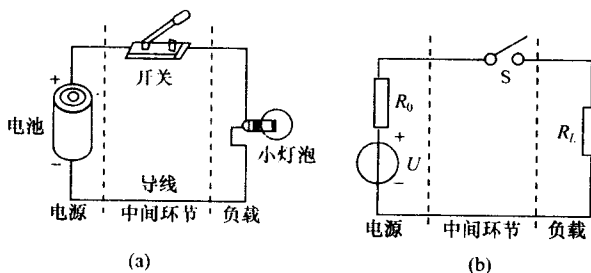


图 1.1.1 电路组成和电路模型

(a) 电路组成; (b) 电路模型

电源是将非电能转换成电能的装置。如干电池和蓄电池是将化学能转换成电能,而发电机是将水能、热能、机械能、原子能等转换成电能。所以,电源是电路中的能量来源,是推动电流运动的源泉,在其内部进行着由非电能到电能的转换。负载是将电能转换成非电能的用电设备。如电灯是将电能转换成光能,电炉是将电能转换成热能,电动机是将电能转换成机械能。所以负载是电路中取用电能的装置,在其内部进行着由电能到非电能的转换。

中间环节是把电源与负载连接起来的部分,起着传输和分配电能的作用。

电路的种类很多,功能各异。按电路连接目的和使用需要的不同,电路的功能大致可分为以下两种:

1. 电能的传输和转换

例如在图 1.1.2(a)所示的电力系统电路中,发电机是电源,是供给电能的设备。在发电厂内可把热能、水能、原子能等非电能形式的能量转换为电能。电灯、电动机、电热设备等是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等其他形式的能量,以满足人们生活生产的需要。变压器、输电线,以及开关、保护装置等是中间环节,是连接电源和负载的部分,起传输和分配电能,保证安全供电的作用。

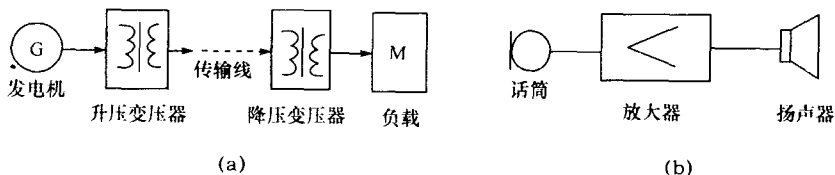


图 1.1.2 电路示意图

(a) 电力系统;(b) 扩音机

这类电路中,通常电流大,电压高(有时称“强电”电路)。因而要求在电能的输送和转换中,电路的能量损耗尽可能小,效率尽可能高。

2. 信号的传递和处理

图 1.1.2(b)所示为扩音机的结构示意图。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压或电流,它们就是电信号。然后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于话筒输出电信号较弱,不足以推动扬声器发音,因此,中间还要用放大器放大。信号的这种转换和放大,称为信号处理。信号处理系统中负载也是各式各样的。例如,电视机中的显像管将电信号转换为可见图像;自动控制系统中步进电机将电信号转换为机械操作等。根据各种不同负载的要求,对信号需作不同的处理,因此有不同的中间环节。

通常传递信号不需要太大功率,信号功率多以毫瓦或微瓦计算,故称这种电压、电流都比较小的信号电路为“弱电”电路。对这类电路主要考虑如何改善电路传递和处理信号的性能,如失真、稳定性、放大倍数、级间配合等问题。由于传输的功率小,一般不注重传输效率的高低。另外,在信号的传输过程中,常常对信号进行转换、放大、存储、运算等多种处理,因而信号电路的传输设备比较复杂。

由上述分析可见,一个完整的电路都是由电源、负载和中间环节三个部分组成的。由负载、中间环节构成的电流通路称为外电路;电源或信号源内部的电流通路称为内电路。电源既指发电机、蓄电池、整流装置等设备,也指各种各样的信号发生装置。负载也是一个广泛而相对的概念,例如一台收音机或电视机可看作是强电系统的负载。在直流电路中,负载一般用电阻元件表示。中间环节既可指输电线、开关、熔断器等传输、控制和保护装置,又可指放大器等信号处理电路。

1.1.2 电路模型

电路的功能虽然只有两种,但实际电路的类型以及工作时所发生的物理现象则千差万别。因此,为了研究电路的普遍规律,没有必要也不可能探讨每个实际电路。为了便于对实际电路进行分析和数学描述,在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,将实际元件或器件理想化,组成的电路称为电路模型,简称为电路。以后所接触的电路元件,如电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件,目的在于使电路的分析与计算得到简化。在没有特殊说明的情况下,这些元件分别由相应的参数来描述,并用规定的图形符号表示。

图 1.1.1(b)是图 1.1.1(a)电路的模型,当电池的内阻 R_0 可以忽略不计时,可将其视为一个能够提供恒定电压的理想电压源 U ;小灯泡的电感极其微小,可将小灯泡看作一个理想的电阻元件 R_L ;当导线很短,其电阻可以忽略不计时,视其为无电阻导体。

练习与思考

- 1.1.1 何谓电路?它由哪几部分组成?每个部分作用如何?
- 1.1.2 什么是电路模型?为什么实际电路要用模型代替?
- 1.1.3 试列举日常生活中遇到的一个电路实例。

1.2 电流与电压的参考方向

无论是电能的转换和传输,还是信号的传递和处理,都体现在电路的电压、电流和电动势的大小及它们之间的关系上。因此在分析电路时,当电路元件中有电流通过,电流流动的方向总是从高电位端流向低电位端,这是电流的实际方向。当然,根据电流的实际方向,也能够分析出电路中各元件两端的电位高低。但是,当分析的电路较为复杂时,往往很难判断电流的实际方向,尤其是较为复杂的交流电路。由于交流电路中电流的实际方向是随时间变化的,难以在电路中标注。因此,引入了参考方向(也称正方向)的概念,这是分析和计算电路的基础。

1.2.1 电流的参考方向

电流的实际方向是指正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。在分析计算较为复杂的电路时,任意假定某一方向作为电流的参考方向。所选电流的参考方向是任意假定的,并不一定与电流的实际方向一致。规定:若电流参考方向与电流的实际方向一致,则电流为正值($I > 0$),如图 1.2.1(a)所示;若电流参考方向与电流的实际方向相反,则电流为负值($I < 0$),如图 1.2.1(b)所示。图中实线代表电流的参考方向,虚线代表电流的实际方向。

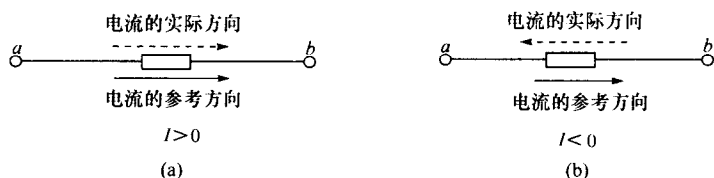


图 1.2.1 电流参考方向与实际方向

在分析计算电路时,只有假定电流的参考方向后,电流的值才有正负之分。

1.2.2 电压的参考方向

电压也有方向性。通常将电压的方向规定为从高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即电位降低的方向。在电路的分析和计算中,电压的实际方向也很难确定。因此,电压同电流一样,也要任意假定某一方向是电位降低的方向,即电压的参考方向。若电压参考方向与实际方向一致,则电压为正值($U > 0$),如图 1.2.2(a)所示;若电压参考方向与实际方向相反,则电压为负值($U < 0$),如图 1.2.2(b)所示。

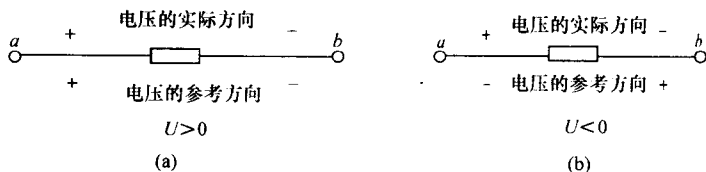


图 1.2.2 电压参考方向与实际方向

在分析计算电路时,只有假定电压的参考方向后,电压的值才有正负之分。

综上所述,在分析计算电路时,应首先规定电路中电压和电流的参考方向。这样,电流、电压就变成了既有数值又有正负号的代数量。否则,不能正确列写方程,而且电压和电流的正负也无意义。如果没有规定参考方向,电流电压仅有数值上

的大小,其正负也是没有意义的。根据参考方向和分析计算结果中的符号,就可以知道电流和电压的实际方向。

顺便指出,参考方向是任意指定的。但有时为了分析计算方便,常将元件上电压与通过其中的电流取一致的参考方向,称为关联参考方向,图 1.2.3(a)所示电路,电压 U 和电流 I 参考方向一致,则其电压与电流的关系为 $U = RI$;而在图 1.2.3(b)所示电路中,电压 U 和电流 I 参考方向不一致,则电压与电流的关系为 $U = R(-I) = -RI$ 。可见在列写电路中电压和电流关系式时,式中的正负号由它们的参考方向是否一致确定。

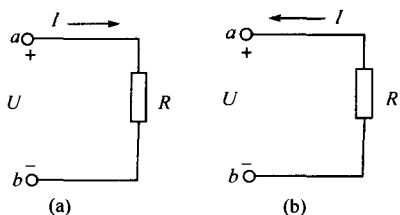


图 1.2.3 U 与 I 参考方向的选择

1.2.3 电功率与电能

电路的功能之一是实现电能和其他形式能量的相互转换,电源中产生的电能经负载等转换为非电能。为了描述能量的转换速率,经常用到另外一个物理量——电功率。电场力在单位时间内所作的功称为电功率,简称功率。

在图 1.2.3(a)所示电路中, a 、 b 两点的电压为 U ,电路中的电流为 I ,则由电压定义知,在 t 时间内,电场力将正电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功为

$$A = Uq = UIt \quad (1.2.1)$$

根据功率的定义,则有

$$P = \frac{A}{t} = UI \quad (1.2.2)$$

在国际单位制中,功率的单位为瓦特(W),比瓦特大的单位为千瓦(kW),比瓦特小的单位是毫瓦(mW)。它们之间的关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

在分析计算电路时,不仅要计算功率的大小,有时还要判断功率的性质,即元件是产生(或发出)功率还是消耗(或吸取)功率。由于在分析电路时,电压、电流的实际方向是未知的,在研究电路的功率问题时,一律以电压、电流的参考方向为准。

若电路元件上的电压 U 和电流 I 的参考方向一致,元件上的功率为

$$P = UI$$

当功率 P 值为正数,说明元件为负载;反之,功率 P 值为负数,则说明元件为电源。

若电路元件上的电压 U 和电流 I 的参考方向相反,元件上的功率为

$$P = -UI$$

当功率 P 值为正数,说明元件为负载;反之,功率 P 值为负数,则说明元件为电源。

对于有电动势的设备,若 U_S 和 I 的参考方向一致,元件上的功率为

$$P = U_S I$$

若 U_S 和 I 的参考方向相反,则元件上的功率为

$$P = -U_S I$$

无论是 $P = U_S I$ 还是 $P = -U_S I$,功率 P 值为正数时,说明设备为电源;反之,功率 P 为负数时,说明设备为负载。

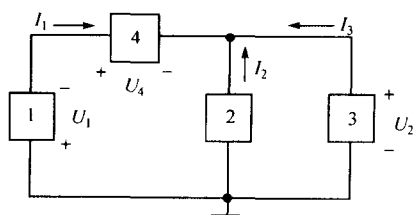


图 1.2.4 例 1.2.1 电路

例 在图 1.2.4 所示电路中,方框代表电路元件(电源或负载),各个元件的电压、电流参考方向如图所示。已知 $I_1 = -4\text{A}$, $I_2 = 5\text{A}$, $I_3 = 9\text{A}$, $U_1 = -6\text{V}$, $U_2 = 10\text{V}$, $U_4 = 4\text{V}$ 。试求:

(1) 各个元件的功率大小,并判断其功率性质;

(2) 该电路功率是否平衡?

解 (1) 计算并判断各元件功率。

U_1 和 I_1 参考方向一致,则

$$P_1 = U_1 I_1 = -6 \times (-4) = 24(\text{W}) \quad (\text{元件 1 为负载})$$

U_2 和 I_2 的参考方向一致,则

$$P_2 = U_2 I_2 = 10 \times 5 = 50(\text{W}) \quad (\text{元件 2 为负载})$$

U_2 和 I_3 的参考方向相反,则

$$P_3 = -U_2 I_3 = -10 \times 9 = -90(\text{W}) \quad (\text{元件 3 为电源})$$

U_4 和 I_1 的参考方向一致,则

$$P_4 = U_4 I_1 = -4 \times (-4) = 16(\text{W}) \quad (\text{元件 4 为负载})$$

(2) 该电路功率是平衡的,因为负载消耗的功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_4 = 90(\text{W})$$

等于电路产生的功率

$$P_E = P_3 = 90(\text{W})$$

除功率外,经常需要计算一段时间内电路所消耗(或产生)的电能。因为功率也可以定义为单位时间内所消耗(或产生)的电能,即

$$W = Pt \quad (1.2.3)$$

式中,若时间 t 的单位为小时(h),功率 P 的单位为瓦(W),电能的单位为焦耳