

普通高等教育“十三五”规划教材

电路和电子技术（上册）

（第3版）：电路基础

郜志峰 主 编

李燕民 副主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书依据教育部高等学校教学指导委员会最新发布的《“电工学”课程教学基本要求》，根据多年的教学实践经验和教学改革的需求，在第2版的基础上，经过调整、精练、补充、修订而成。

本书涵盖了“电工学”课程中电路理论教学模块中的全部基本内容和全部可选内容。全书包含6章内容：电路的基本概念和基本定律；电路的分析方法；电路的暂态分析；正弦交流电路；三相交流电路；非正弦周期信号电路和双口网络。

本书可作为高等学校本科生“电工学”“电工和电子技术”“电路和电子技术”“电工技术与电子技术”“电工电子学”等课程的教材，或供相关专业选用，也可供有关的工程技术人员自学和参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

电路和电子技术. 上册, 电路基础 / 郜志峰主编. —3版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.5

ISBN 978-7-5682-7021-2

I. ①电… II. ①郜… III. ①电路理论-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM13②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 092601 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 329 千字

版 次 / 2019 年 5 月第 3 版 2019 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 46.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

第3版前言

“电工学”课程是高等学校本科非电类专业的一门重要的技术基础课程，涵盖了电气工程和电子信息工程两大学科的最基本内容。随着高等教育的发展，为适应教育改革与发展的需要，中国高等学校电工学研究会《“电工学”课程教学基本要求》进行了修订，并由教育部高等学校教学指导委员会发布。

“电工学”课程的教学内容包括理论教学部分和实践教学部分。理论教学部分包括电路理论、模拟电子技术、数字电子技术、电机与控制四个教学模块。实践教学部分包括电工测量等内容。由于高等学校各专业培养方案的不同，其对“电工学”教学内容的要求也不尽相同，教学基本要求确定电路理论、模拟电子技术、数字电子技术三个模块为基本教学模块，电机与控制为可选教学模块。每个教学模块中又分为基本内容和可选内容两大部分，供各高等学校根据专业培养方案，选择教学模块和教学内容组织课程，制定各自切实可行的教学大纲。由于历史沿革和各高等学校各专业选择的教学模块和内容的不同，“电工学”课程又有“电工和电子技术”“电路和电子技术”“电工技术与电子技术”“电工电子学”等不同的课程名称。

《电路和电子技术（上）》（第2版）出版以来，作为“电工学”课程中电路理论教学模块的基本教材已使用数年，从教学实际效果来看，该书在内容取材和组织上可适应高等学校“电工学”课程的教学基本需要。但是最新修订发布的《“电工学”课程教学基本要求》的电路理论教学模块部分增加了静电保护和电气防火、防爆等内容，第2版教材没有这方面的内容。

《电路和电子技术（上册）（第3版）：电路基础》依据高等学校教学指导委员会最新发布的《“电工学”课程教学基本要求》，根据多年的教学实践经验和教学改革的需求，在《电路和电子技术（上）》（第2版）的基础上，对教材的内容进行了整合、补充、修订，涵盖了“电工学”课程中电路理论教学模块中的全部基本内容和全部可选内容，以适应高等教育的发展对“电工学”课程的新要求。期望使课程内容与时俱进，知识面宽，实践性强，突显具有综合性的优势，为高等学校本科非电类的学生提供必要的电气工程和电子信息工程的基本知识，使学生具有分析和解决基本的技术问题的能力，使学生建立基本的工程意识，为学生进一步的专业学习和相关的研究、开发起到知识储备和促进作用。

参与本书编写修订的教师: 郜志峰编写修订了第1章至第4章、第5章的5.1至5.3节、5.4.3和5.4.4、第6章的内容; 李燕民编写了全部仿真习题; 王勇编写了第5章的5.4.1和5.4.2。本书由郜志峰担任主编, 负责全书的统稿工作。

北京理工大学信息与电子学院教师温照方、傅雄军、高玄怡、叶勤、谢民、马玲、孙林等老师在本书编写过程中, 给予了很多支持和帮助, 在本书的使用以及与实验教学的有机结合方面, 提出了很多建设性意见。在此, 表示衷心的感谢!

由于编者水平和能力有限, 书中可能存在一些疏漏、错误或不严谨之处, 敬请读者批评指正。

编 者

第2版前言

《电路和电子技术》(上)第1版经过六年的使用,随着电工和电子技术的发展、理论课学时的一再压缩,教材的有些内容已经不能很好地适应现在的教学要求,因此我们对第1版教材进行了修订。《电路和电子技术》(上)(第2版)[与《电机与控制》(第2版)配套]仍是为“电工电子技术”课程编写的教材。

《电路和电子技术》(上)(第2版)是按照教育部高等学校教学指导委员会2009年颁布的“电工学”课程教学基本要求,根据多年的教学实践经验和教学改革的需求,在《电路和电子技术》(上)第1版的基础上,经过调整、精练、补充、修订而成。我校的“电工电子技术”课程仍沿用电路基础—元件—线路—系统的总体框架,内容和篇幅与第1版基本相同,但力求将一些新器件、新技术反映在新版教材中。在第2版中做了以下几个方面的修订:

① 修订版在原来注重知识体系的基础性上,又进一步加强了应用性,精减了部分比较繁复的理论分析和概念性的叙述。例如适当简化了分立件放大电路的分析,删去了交流稳压电源和UPS电源简介,精简了A/D变换器内部电路的分析等。

② 结合本课程的特点,适当增加了一些较新的器件,如发光二极管、光敏二极管、光电隔离器等。增加了电子技术在实际中应用的例子,如利用光电二极管、运算放大器在CD-ROM的激光拾音器中实现光电信号的转换,并增加了仿真例子及结果等。

③ 修订版教材体现了一定的先进性。在原来引入EDA技术的基础上,提高起点,删去早期可编程逻辑器件的介绍,将原书中可编程逻辑器件的开发环境MAX+PLUS II升级,改为Altera公司现在主推的Quartus II。它所提供的开发设计的灵活性和高效性、丰富的图形界面,辅之以完整的、可即时访问的在线文档等,使学生能够轻松、愉快地掌握PLD的设计方法。

④ 注重提高学生学习的自主性。为了使学生更好地使用现在非常流行的Multisim仿真设计软件,以便更深刻地理解和掌握电工电子的基础知识,在本书各章安排的习题后增加了仿真的习题,而且不仅提出了要求,还给出了分析方法的提示。引导学生结合各章内容的特点,由浅入深地了解工作界面、元器件库、常用仪器仪表,并能够逐步掌握瞬态分析、交流分析、参数扫描分析、傅里叶分析等分析方法的应用。

参与本书编写的教师:郜志峰修订了第1、2章,编写了第3章和第4章1~3节;王勇编写了4.4节;李燕民编写了1~4章后面的仿真习题。本书由李燕民担任主编,负责全书的统稿工作。

在本书第1版被评为北京市精品教材的过程中,北京工商大学孙骆生教授、北京理工大学刘蕴陶教授认真审阅了本书,给出了很高的评价,并提出了许多中

肯的意见和宝贵的建议,也为我们修订第2版教材提供了很多有益的启发。电工教研室的庄效桓、吴仲、许建华、高玄怡、叶勤等老师在本书编写过程中,给予了很多帮助,在本书的使用以及与实验教学的有机结合方面,提出了很多建设性意见。在此,一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平和能力有限,加之编写时间较短,书中难免存在一些疏漏、错误或不严谨之处,恳请读者批评指正,以便今后加以改进。

编者

第1版前言

《电路和电子技术》分为上、下两册，是按照教育部（前国家教育委员会）1995年颁发的高等工业学校：“电工技术（电工学Ⅰ）”和“电子技术（电工学Ⅱ）”两门课程的教学基本要求，根据作者多年的教学实践经验编写的。

“电工和电子技术”课程是面向高等工科大学本科生非电类专业开设的电类技术基础课。根据目前高等学校对学生进行全面素质教育的要求，这门课程的改革势在必行且至关重要。几年来，我们对“电工和电子技术”课程内容、体系、方法及手段进行了改革与实践，并取得了一定的成效。通过多年来的教学实践，尤其是近几年的教学改革和探索，我们按照新的课程体系，编写了《电路和电子技术》（与《电机与控制》配套），作为“电工和电子技术”课程的教材。

“电工和电子技术”课程的总体框架是：电路基础—元件—线路—系统。《电路和电子技术》教材在实现以上教学思想方面做了一些尝试，本教材的特点是：

① 打破了原“电工和电子技术”课程中电路、电子、电机与控制相对独立的格局，加强了电路、电子、电机与控制的内在联系，并突出了系统性。改变了通常将“电工和电子技术”课程分为“电工技术”和“电子技术”两大部分的做法，将电路基础部分的内容适当压缩，电子技术部分的内容提前，以便在电机和控制部分之后，能够增加系统的知识。我们将电工电子技术的新发展引入教学，如CPLD等新技术的基础知识，这是编写本套教材的宗旨。

② “电工和电子技术”课程的新体系体现了一定的基础性和先进性。使学生通过本课程的学习，能够具有较为宽厚的基础理论和基础知识，具有可持续发展和创新的能力。为此，我们在《电路和电子技术》教材中强调了课程内容的基础性，以元件—线路—系统为脉络，集中给出基本电子元件及特性，在介绍基本单元电路的基础上，适当给出一些应用实例，以培养学生对新技术的浓厚兴趣，引导他们积极主动地学习。

③ 新体系的课程内容注重培养学生分析问题和解决问题的能力、综合运用所学知识的能力以及工程实践能力。《电路和电子技术》教材中加入了元器件的选择和性能比较，并举出一些较为综合的系统实例，帮助学生了解电工技术和电子技术在工程实际中的应用。并注意将经典的电路及电子的基础理论与电子技术的最新发展相结合，用EDA的设计方法去设计组合逻辑电路和时序逻辑电路等。在第12章“PLD技术及其应用”中，介绍了工程设计软件，使非电类学生具有一定的电子线路的设计能力。

④ 在选材和文字叙述上力求符合学生的认知规律，由浅入深、由简单到复杂、由基础知识到应用举例。本书配有丰富的例题和习题，并在书后给出了部分习题的参考答案。

《电路和电子技术》由北京理工大学信息科学技术学院的部分教师编写,其中,张振玲编写了第1、2章;郇志峰编写了第3章、第4章1~3节;王勇编写了4.4节,温照方编写了第5、8、11章;李燕民编写了6、7、9、10章;姜明编写了第12章。由李燕民担任主编,负责全书的统稿工作。

北京理工大学庄效桓副教授对本书进行了认真的、逐字逐句的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议。此外,北京理工大学信息学院电工教研室的各位老师在本书编写过程中,也给予了很大的帮助。在此,一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平和能力有限,加之编写时间较为仓促,书中难免存在一些疏漏和错误之处,恳请读者批评指正,以便今后加以改进。

编 者

目 录

CONTENTS

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	001
1.1 实际电路和电路模型	001
1.2 电流和电压的参考方向	002
1.2.1 参考方向	002
1.2.2 关联参考方向	003
1.3 电阻元件和欧姆定律	004
1.4 电功率的计算	005
1.5 电压源和电流源	008
1.5.1 电压源模型	008
1.5.2 电流源模型	009
1.6 基尔霍夫定律	009
1.6.1 基尔霍夫电流定律	010
1.6.2 基尔霍夫电压定律	011
1.7 电路中电位的概念及计算	013
1.8 电气设备的额定值和工作状态	016
习题	017
第 2 章 电路的分析方法	022
2.1 支路电流法	022
2.2 节点电位法	024
2.3 叠加定理	028
2.4 无源二端网络的等效变换	031
2.4.1 等效二端网络的概念	031
2.4.2 电阻串联和电阻并联电路的等效变换	031
2.4.3 电阻混联电路的等效变换	033
2.4.4 利用外加电源法求无源二端网络的等效电阻	035
2.5 电源模型的等效变换	036
2.6 戴维宁定理和诺顿定理	039
2.6.1 戴维宁定理	040
2.6.2 诺顿定理	044
2.7 含受控源电路的分析	045

2.7.1 受控源的类型和符号	045
2.7.2 含受控源电路的分析	046
2.8 电阻星形连接与三角形连接的等效变换	050
2.8.1 电阻三角形连接等效变换为星形连接	051
2.8.2 电阻星形连接等效变换为三角形连接	051
2.9 非线性电阻电路的分析	052
习题	054
第3章 电路的暂态分析	066
3.1 电容元件和电感元件	067
3.1.1 电容元件	067
3.1.2 电感元件	068
3.2 换路定律与暂态过程初始值的确定	070
3.2.1 电路产生暂态过程的原因	070
3.2.2 换路定律	071
3.2.3 暂态过程初始值的确定	072
3.3 RC 电路的响应	074
3.3.1 RC 电路的零输入响应	074
3.3.2 RC 电路的零状态响应	077
3.3.3 RC 电路的全响应	080
3.4 RL 电路的响应	083
3.4.1 RL 电路的零输入响应	083
3.4.2 RL 电路的零状态响应	084
3.4.3 RL 电路的全响应	086
3.5 一阶电路暂态分析的三要素法	087
3.6 RC 电路对矩形波激励的响应	092
3.6.1 RC 微分电路	093
3.6.2 RC 耦合电路	094
3.6.3 RC 积分电路	095
习题	096
第4章 正弦交流电路	106
4.1 正弦交流电的基本概念	106
4.1.1 正弦交流电的三要素	106
4.1.2 有效值	108
4.1.3 相位差	109
4.2 正弦交流电的相量表示法	110
4.3 单一参数电路元件的交流电路	114
4.3.1 电阻元件的交流电路	114
4.3.2 电感元件的交流电路	116
4.3.3 电容元件的交流电路	118

4.3.4 相量模型	121
4.4 正弦交流电路的分析	123
4.4.1 基尔霍夫定律的相量形式	123
4.4.2 串联交流电路	124
4.4.3 并联交流电路	130
4.5 正弦交流电路的功率	134
4.5.1 瞬时功率	134
4.5.2 有功功率、无功功率和视在功率	135
4.5.3 功率因数的提高	138
4.6 交流电路的谐振	141
4.6.1 串联谐振	141
4.6.2 并联谐振	146
4.7 交流电路的频率特性	149
4.7.1 低通滤波电路	149
4.7.2 高通滤波电路	151
4.7.3 带通滤波电路	152
习题	154
第 5 章 三相交流电路	165
5.1 三相电源	165
5.1.1 三相正弦交流电的产生	165
5.1.2 三相电源的星形连接	166
5.1.3 三相电源的三角形连接	168
5.2 三相交流电路的分析	168
5.2.1 负载的连接	168
5.2.2 负载星形连接的三相电路	169
5.2.3 负载三角形连接的三相电路	173
5.3 三相电路的功率	175
5.3.1 一般三相电路的功率	175
5.3.2 对称三相电路的功率	175
5.4 安全用电和静电防护	177
5.4.1 触电方式和预防触电	177
5.4.2 电气设备的保护接地和保护接零	179
5.4.3 电气防火和防爆	181
5.4.4 静电的危害和防护	183
习题	186
第 6 章 非正弦周期信号电路和双口网络	193
6.1 非正弦周期信号电路	193
6.1.1 非正弦周期信号的分解	193
6.1.2 非正弦周期信号电路的谐波分析法	196

6.2 双口网络	198
6.2.1 双口网络及其端口条件	198
6.2.2 双口网络参数方程及其等效电路	199
习题	205
参考文献	208

第1章

电路的基本概念和基本定律

本章介绍电路的基本概念，电路的作用与组成，实际电路与电路模型，电压、电流的参考方向，电阻元件及其伏安特性。讨论电功率的计算，介绍电压源和电流源。阐述电路理论中的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律，讨论电路中电位的概念及计算、电气设备和元器件的额定值。

1.1 实际电路和电路模型

实际电路是由各种电气部件（如电池、电阻器、电容器、电感器、半导体器件等）为完成某些特定的功能按一定方式连接起来的电流流过的全部通路。

电路的作用可归纳为两个方面，一方面是电能的传输与转换，如电力系统、照明系统的电路；另一方面是信息的传递与处理，如手机、数码相机、计算机中的电路。

电路的结构是多种多样的，组成电路的电气部件也是种类繁多，通常将电路中能将其他形式的能量（如机械能、化学能等）转换为电能的电气部件称为电源，而将由电能转换为其他形式能量的电气部件称为负载。电路的基本组成部分通常有电源、负载和连接导线。为了实现电路的接通、切断和各种保护措施，电路中还需要有一些辅助部件，如开关、熔断器等。

在电路中，把推动电路工作的电源或信号源的电压或者电流称为激励，而把由于激励的作用在电路中所产生的电压或电流称为响应。

研究电路问题有两个方面：一是如何设计一个电路来达到某一特定要求；二是电路已经构成，如何分析计算电路中的电压、电流以及功率。前者属于电路设计范畴的内容，本书电路部分主要讨论后者，即电路分析的内容。

当电流流过实际的电气部件时，电能的消耗与电磁能往往同时存在。例如手电筒电路，当有电流通过灯泡时，灯泡不仅发热到白炽状态发光消耗电能，而且还会产生磁场，因而灯泡不仅具有电阻的作用，还兼有电感的性质；而电池两端的电压也只能当输出电流在某一范围内才近似为一定值，同时，导线上也有电压降。因此，如果直接分析一个由实际部件组成的电路将是十分复杂的。为便于电路的分析，可以设想用理想电路元件来近似表征实际部件。所谓理想电路元件，是指只显示单一电磁现象且可以用数学方法精确定义的电路元件。由于不可能制造出只具有单一性质的部件，所以理想电路元件是不存在的。但是在一定的条件下，可以用理想电路元件近似表征实际电路部件。如在水电筒电路中，电池的内阻与灯丝电阻相比是很小的，若电池的内阻可以忽略不计，就可以把电池看作是能够提供恒定电压的理想

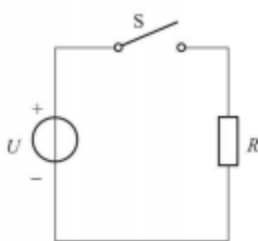


图 1.1 手电筒电路

电压源；在连接导线的电阻与灯丝的电阻相比可以忽略不计时，则可认为连接导线是没有内阻的理想导线；当灯丝被认为只是一个消耗电能的元件时，就可以用一个理想电阻元件来表示。这样，手电筒电路就可以用一个理想电压源、理想电阻元件、理想导线及开关组成的电路来表示，如图 1.1 所示。

由理想电路元件组成的电路称为电路模型。在一定条件下，电路模型能够表征实际电路表现出来的电磁现象，所以通过分析电路模型，就可以知道实际电路的性能。本书所研究的电路都是由理想电路元件构成的电路模型。

若电路中的电流和电压的大小与方向均不随时间变化，则称它们为恒定电流和恒定电压，分别用大写字母 I 和 U 表示，通常称为直流电流和直流电压。而通常用小写字母 i 和 u 来表示随时间变化的，任意波形的电流和电压。

1.2 电流和电压的参考方向

1.2.1 参考方向

电路中能量的传递与转换，不仅与电流、电压、电动势的大小有关，还与它们的方向有关。通常，电流的方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向；电压的方向规定为由高电位端指向低电位端，即电位降的方向；电动势的方向规定为由低电位端指向高电位端，即电位升的方向。这样规定的电流、电压、电动势的方向又称为实际方向或真实方向。

由于在分析复杂的直流电路时，人们很难预先判断出电路中电流、电压、电动势的实际方向，而在交流电路中，电流、电压、电动势的实际方向又随时间不断变化。为此，需要引入参考方向这一概念。

在分析计算电路时，电流、电压、电动势的参考方向可以任意假定，任意假定后，要在电路图中标示出电流、电压、电动势的参考方向。在确定参考方向后，做如下规定：当实际方向与参考方向相同时，电流、电压、电动势的数值取正值；反之，当实际方向与参考方向相反时，电流、电压、电动势的数值取负值。这样就可以利用电流、电压、电动势的正负值，结合电路图中标示的参考方向，来确定它们的实际方向。

在电路图中，电流的参考方向通常用箭头表示，如图 1.2 (a) 所示。电压或电动势的参考方向通常用符号“+”“-”表示，“+”表示假定的高电位端，“-”表示假定的低电位端，如图 1.2 (b) 所示。电压的参考方向也可用双下标表示，如图 1.2 (b)，电压 U_{CD} 则表示该电压的参考方向为由 C 指向 D ，即 C 点的参考极性对应为“+”， D 点的参考极性对应为“-”。对应图 1.2 (b)，则 $U_{CD}=U$ ； $U_{DC}=-U_{CD}=-U$ 。另外，电压或电动势的参考方向还可以用箭头表示。表示电压参考方向的箭头由高电位端“+”指向低电位端“-”；表示电源电动势参考方向的箭头由低电位端“-”指向高电位端“+”。

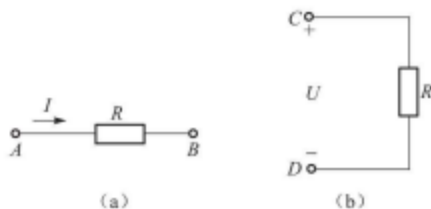


图 1.2 电流、电压参考方向

(a) 电流参考方向；(b) 电压参考方向

在图 1.2 (a) 中, 箭头表示电流 I 的参考方向, 假如其值为 1 A , 则表示电流的参考方向与实际方向相同, 即电流的实际方向也是由 A 流向 B 。在图 1.2 (b) 中, 已假定电压的参考方向由 C 指向 D , 若当 $U = -2\text{ V}$ 时, 表明电压的实际方向与参考方向相反, 即实际上 C 点电位比 D 点电位低 2 V 。可见, 如果离开了参考方向来谈电流、电压的正负值是没有意义的。电流、电压的参考方向也称为电流、电压的正方向。电压的参考方向也称为电压的参考极性。

电流、电压的参考方向原则上可以任意假定, 但为了计算方便, 在分析电路时, 常采用关联参考方向。

1.2.2 关联参考方向

一个元件的电压、电流的参考方向可以分别任意假定。

如果假定流过元件的电流的参考方向是从标以电压的正极性的一端指向负极性的一端, 即元件的电压的参考方向与电流的参考方向相同, 则将元件电压、电流的这种参考方向称为关联参考方向, 如图 1.3 所示。

如果假定流过元件的电流的参考方向是从标以电压的负极性的一端指向正极性的一端, 即元件的电压的参考方向与电流的参考方向相反, 则将元件电压、电流的这种参考方向称为非关联参考方向, 如图 1.4 所示。

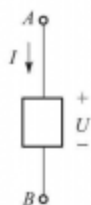


图 1.3 关联参考方向

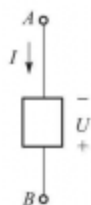


图 1.4 非关联参考方向

图 1.3 和图 1.4 中的方框代表任何二端电路元件, 既可以是无源电路元件 (如电阻、电容和电感), 也可以是电源元件 (如理想电压源、理想电流源)。

电路中某一部分电路, 若只有两个端钮与外部电路相连接, 那么由这一部分电路构成的整体称为二端网络, 二端网络通常用一个如图 1.5 所示的方框 N 来表示。二端网络又称为一端口网络, 也称为单口网络。两个端钮之间的电压 u 称为端口电压, 电流 i 称为端口电流。

如果假定流过二端网络的电流的参考方向是从标以电压的正极性的一端经过二端网络流向负极性的一端, 则将二端网络端口电压、电流的这种参考方向称为关联参考方向, 如图 1.5 (a) 所示。

如果假定流过二端网络的电流的参考方向是从标以电压的负极性的一端经过二端网络流向正极性的一端, 则将二端网络端口电压、电流的这种参考方向称为非关联参考方向。如图 1.5 (b) 所示。

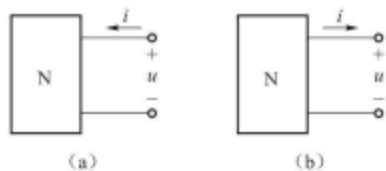


图 1.5 二端网络

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

例 1.1 在图 1.6 中, 已知 $R = 5\ \Omega$, 试判断电路中电压 U 和电流 I 是关联参考方向, 还是非关联参考方向。

解 电压和电流是否是关联参考方向是针对某一个二端元件两端的电压和电流而言的,

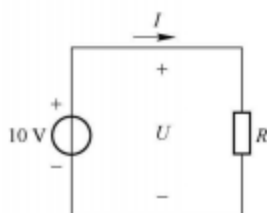


图 1.6 例 1.1 的电路图

因此,不能笼统地判断电路中电压 U 和电流 I 是关联参考方向,还是非关联参考方向,一定要针对具体的二端元件进行判断。

具体到本例题,对于电阻 R 而言,电压 U 和电流 I 是关联参考方向。因为从电阻两端看,流过元件 R 的电流 I 的参考方向是从标以电压 U 的正极性的一端指向负极性的一端。对于电阻 R 而言,电压 U 的参考方向与电流 I 的参考方向相同。

对于电源而言,电压 U 和电流 I 是非关联参考方向,因为从电源两端看,电流 I 的参考方向是从标以电压 U 的负极性的一端指向正极性的一端的。对于电源而言,电压 U 的参考方向与电流 I 的参考方向相反。

1.3 电阻元件和欧姆定律

凡是对电流具有阻碍作用并把电能不可逆转地转换为其他形式的能量的二端元件称为电阻元件。

在电阻元件两端加上电压,则有电流通过。电阻元件两端的电压与通过它的电流之间的关系可在 $u-i$ 平面上用一条曲线表示,该曲线称为电阻元件的伏安(V-A)特性曲线。

若电阻元件的伏安特性曲线通过坐标原点且为一条直线,如图 1.7 所示,则称该电阻元件为线性电阻元件。其电路符号如图 1.8 所示。

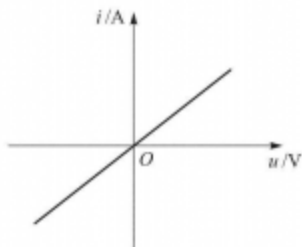


图 1.7 线性电阻元件的伏安特性曲线

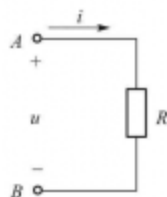


图 1.8 线性电阻元件的电路符号

线性电阻的特点是电阻值为一常数,与通过它的电流和作用在它两端电压的大小无关。

线性电阻中通过的电流与它两端的电压成正比,即遵循欧姆定律。当 u 、 i 取关联参考方向时(见图 1.8),欧姆定律的形式为

$$u = Ri \quad (1.1)$$

式中 u ——电压,单位为伏特(V);

i ——电流,单位为安培(A);

R ——电阻,单位为欧姆(Ω)。阻值高的电阻可用 $k\Omega$ ($10^3 \Omega$) 或 $M\Omega$ ($10^6 \Omega$) 为单位。

若令 $G = 1/R$, 则式(1.1)可写成

$$i = Gu \quad (1.2)$$

式中 G ——电阻元件的电导,单位为西门子(S)。

如图 1.9 所示,当电阻元件两端电压与电流参考方向相反,即电

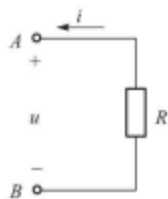


图 1.9 非关联参考方向

压、电流为非关联参考方向时，欧姆定律的形式为

$$u = -Ri$$

或

$$i = -Gu$$

由式(1.1)可知电阻元件两端电压与通过它的电流总是同时存在并成比例，因此电阻元件被称为“无记忆”元件，即电阻元件中电流大小和方向只由同一时刻加于该电阻上的电压大小和方向所决定，而与该时刻以前的电流和电压无关。

若电阻的电压和电流为关联参考方向时(见图1.8)，将式(1.1)两边同乘以 i ，得瞬时功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1.3)$$

式中 p ——瞬时功率，单位为瓦特(W)。

若电阻的电压和电流为非关联参考方向时(见图1.9)，瞬时功率为

$$p = -ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1.4)$$

由于 p 与 i^2 或 u^2 成正比，故电阻上的瞬时功率 $p \geq 0$ ，这说明电阻元件是消耗电能的。在0到 T 这段时间内电阻消耗的电能为

$$w = \int_0^T p dt = \int_0^T u i dt \quad (1.5)$$

实际中用到的白炽灯、电阻炉、电阻器等，虽然它们的用途、结构各不相同，但在通常条件下，它们在电路中表现出的电特性却是相同的，即都具有阻碍电流通过的作用且只消耗电能，而且它们的伏安特性曲线都近似为通过坐标原点的一条直线。所以，它们均可用线性电阻元件作为模型，可以用欧姆定律表示它们的电压和电流之间的关系。

伏安特性曲线不是直线的电阻元件称为非线性电阻元件，其电路符号如图1.10所示。非线性电阻元件的电压与电流之间的关系不遵循欧姆定律，其阻值不是常数，阻值随着电阻两端电压或电流值的不同而变化。

后面本书中凡未加说明的电阻元件均指线性电阻元件。



图1.10 非线性电阻元件的电路符号

1.4 电功率的计算

当一段电路(可以由一个或多个元件组成，可以是电源，也可以是负载)两端的电压 u 和电流 i 取关联参考方向时，这段电路的功率 p 等于 u 与 i 的乘积，即

$$p = ui \quad (1.6)$$

依据式(1.6)计算功率，若计算得出 $p > 0$ ，则可判断出该段电路是消耗功率或吸收功率；若计算得出 $p < 0$ ，则可判断出该段电路是产生功率或提供功率。

得到这一判断是吸收功率还是提供功率的结论的原因如下：

① 当一段电路两端的电压和电流取关联参考方向，而功率又大于零时，因为 p 是 u 与 i