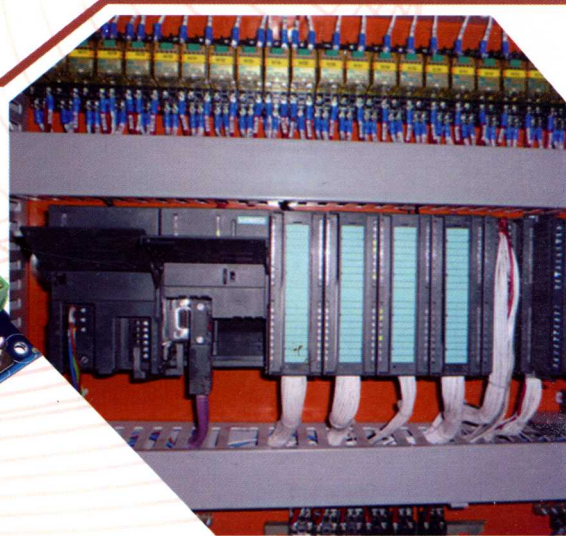
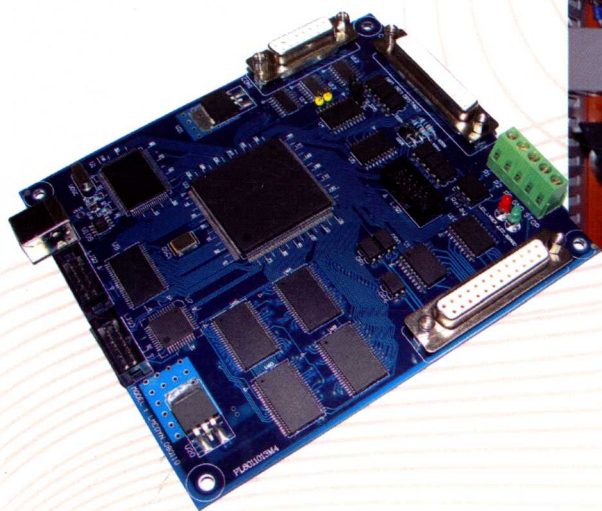


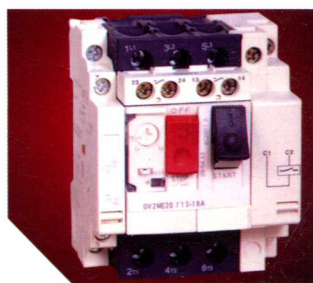
电路与电工技术项目教程

——教、学、做一体化

顾 阳 主 编
苏家健 康 亮 副主编



- 根据高职学生的特点、学科知识的逻辑顺序，以及教材的各个组成部分之间的相互关系，建立了科学合理的教材结构，易教易学。
- 每个重要知识点均配有例题、随堂练习及习题。
- 结合电工维修技能考试，编排了电工维修应知考试练习题。



全国高等职业教育电子信息类专业规划教材

电路与电工技术项目教程

——教、学、做一体化

顾 阳 主 编

苏家健 康 亮 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据高职高专培养技术应用型人才的特点,并参考目前多数高职高专院校电子电气类专业的教学计划,以培养技术应用型人才为目标而制定编写的。主要内容包括电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法和定理、一阶动态电路分析、正弦交流电路的基本概念和基本定律、三相交流电路、磁路与变压器、三相异步电动机,以及继电器-接触器控制电路。

本书在编写过程中贯彻理论知识适度、够用的原则,精选内容,抓住各章节的有机联系循序渐进,理论知识由浅入深,力求做到概念明确、原理清晰。

本书不仅可以作为高职高专院校电气类、机电类、计算机类专业的电路与电工课程的基本教材,也可以作为电工的培训教材或工程技术人员的自学用书。

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

电路与电工技术项目教程:教、学、做一体化/顾阳主编. —北京:电子工业出版社, 2014.3

全国高等职业教育电子信息类专业规划教材

ISBN 978-7-121-22616-8

I. ①电… II. ①顾… III. ①电路—高等职业教育—教材②电工技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第044335号

策划编辑:王昭松

责任编辑:桑 昀

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市皇庄路通装订厂

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:16.75 字数:432千字

印 次:2014年3月第1次印刷

印 数:3000册 定价:36.00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。

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

服务热线:(010)88258888。

前言

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分,结合国家对高等职业教育发展的要求,坚持以就业为导向的职业教育办学方针,推进高等职业技术学院课程和教材改革,特编写《电路与电工技术项目教程——教、学、做一体化》教材。

实现人才培养目标必须要求学生有适当的理论知识作指导。学生通过掌握适量、够用的理论知识,才能在工作中不断巩固和加深专业知识,提高独立工作的能力和创新能力。

电路与电工基础是电类专业的技术基础课程,也是一切先进自动化技术的基础课程。通过本课程的学习,使学生学到电路与电工技术必要的基本理论知识与基本技能,为后续课程的学习及电工操作技能的培养打下基础。

本书是根据高职高专应用技术型人才培养的特点,并参考目前多数高职高专院校电子电气类专业的教学计划,结合编者多年教学 and 实践经验编写而成的。在编写的过程中贯彻理论知识适度、够用的原则,精选内容,抓住各章节的有机联系循序渐进,理论知识由浅入深,力求做到概念明确、原理清晰。

本书的特点:

(1) 根据高职学生的特点、学科知识的逻辑顺序,以及教材的各个组成部分之间的相互关系,建立了科学合理的教材结构,易教易学。

(2) 每个重要知识点均配有例题、随堂练习及习题。

(3) 结合电工维修技能考试,编排了电工维修应知考试练习题。

全书共分为八个项目,其中项目一、项目二以直流电路为对象,介绍了电路的基本概念、基本连接方法及基本分析方法;项目三介绍了直流电路中一阶线性动态电路的时域分析;项目四介绍了单相正弦交流电路、谐振电路;项目五介绍了三相电路的分析方法;项目六简单介绍了磁路与变压器的工作原理;项目七介绍了电动机工作原理及其使用;项目八介绍了低压电器及电气控制系统的基本电路。

本书由上海第二工业大学顾阳副教授担任主编，上海震旦职业学院苏家健教授和上海第二工业大学康亮副教授担任副主编。其中，顾阳副教授编写项目一、项目二和项目六；苏家健教授编写项目四和项目五；康亮副教授编写项目三、项目七和项目八。全书由顾阳副教授统稿。

本书不仅可以作为高职高专院校电气类、机电类、计算机类专业的电路与电工课程的基本教材，也可以作为电工的培训教材或工程技术人员的自学用书。

编者

目 录

项目一 电路的基本概念和基本定律	(1)
任务一 分析灯泡发光机理	(1)
一、电路组成和电路功能	(1)
二、电路中的基本物理量	(2)
三、电路元件	(7)
任务二 分析电路中电压、电流基本分配规律	(18)
一、电路的工作状态	(19)
二、基尔霍夫定律	(20)
三、电位	(27)
任务三 讨论电阻电路的等效规律	(30)
一、电阻的串联和并联	(31)
二、电阻星形连接和三角形连接的等效变换	(35)
三、实际电压源和实际电流源的等效变换	(37)
小结	(42)
中级电工练习题	(42)
思考题与习题	(44)
项目二 电路的基本分析方法和定理	(49)
任务一 讨论普通电路所对应的分析方法	(49)
一、支路电流法	(49)
二、网孔电流法	(51)
三、节点电压法	(54)
任务二 特定电路所对应的分析方法	(60)
一、叠加定理	(60)
二、戴维南定理	(63)
三、最大功率传输定理	(67)
任务三 含受控源电路所对应的分析方法	(70)
一、含受控源电路的等效变换	(71)
二、含受控源电路的支路电流法	(73)
三、含受控源电路的网孔电流法与节点电压法	(74)
四、含受控源电路的叠加定理	(75)
五、含受控源电路的戴维南定理	(76)
小结	(78)
中级电工练习题	(78)
思考题与习题	(81)

项目三 一阶动态电路分析	(86)
任务一 动态电路的基本概念	(86)
一、电路的暂态与稳态	(86)
二、换路定律及初始值的计算	(88)
任务二 一阶动态电路响应	(92)
一、一阶 RC 电路的响应	(92)
二、一阶电路的三要素分析	(99)
三、一阶 RL 电路的响应	(105)
小结	(109)
中级电工练习题	(110)
思考题与习题	(111)
项目四 正弦交流电路的基本概念和基本定律	(116)
任务一 认识正弦交流电	(116)
一、正弦电流与正弦电压	(116)
二、复数	(120)
三、用复数表示正弦量(相量法)	(125)
四、相量形式的基尔霍夫定律	(126)
任务二 正弦交流电路中的电压、电流及功率	(128)
一、单一参数的交流电路	(128)
二、RLC 串联电路	(138)
三、复阻抗的串联与并联	(142)
四、功率因数的提高	(146)
任务三 交流电路的频率特性	(149)
一、RC 电路及其频率特性	(149)
二、LC 谐振电路及其频率特性	(152)
小结	(157)
中级电工练习题	(158)
思考题与习题	(160)
项目五 三相交流电路	(165)
任务一 认识三相对称电源	(165)
一、三相对称电源	(165)
二、三相对称电源的连接	(167)
任务二 三相负载及其工作方式	(170)
一、三相对称负载的星形连接(Y形)	(170)
二、三相负载的三角形连接(Δ 形)	(173)
三、三相不对称电路的概念	(176)
任务三 三相对称电路功率	(179)
一、三相电路功率的计算	(179)
二、三相电路功率的测量	(182)

任务四 安全用电技术简介	(183)
一、触电形式	(183)
二、触电的防止与相关的安全技术	(184)
三、电气火灾及防火措施	(186)
小结	(188)
中级电工练习题	(188)
思考题与习题	(190)
项目六 磁路与变压器	(192)
任务一 磁路与铁磁材料的认识	(192)
一、磁路的基本物理量	(192)
二、铁磁材料性能	(194)
三、磁性物质的分类	(194)
四、磁滞损耗和涡流损耗	(195)
五、磁路定律	(195)
六、交流铁芯线圈	(196)
任务二 变压器	(197)
一、变压器的基本结构	(198)
二、变压器的工作原理	(199)
三、实际变压器的外特性与效率	(201)
四、变压器同名端的判断	(202)
五、特殊变压器	(203)
小结	(205)
中级电工练习题	(205)
思考题与习题	(207)
项目七 三相异步电动机	(208)
任务一 认识三相异步电动机	(208)
一、三相异步电动机的结构	(208)
二、异步电动机的转动原理	(210)
三、三相异步电动机的特性	(213)
任务二 三相异步电动机的使用	(217)
一、三相异步电动机的启动	(217)
二、三相异步电动机的调速	(222)
三、三相异步电动机的制动	(224)
四、三相异步电动机的铭牌和技术数据	(225)
小结	(228)
中级电工练习题	(229)
思考题与习题	(232)

项目八 继电器-接触器控制电路	(234)
任务一 认识常用低压控制电器	(234)
一、低压电器及其分类	(234)
二、常用低压电器	(235)
任务二 电动机的常用控制电路	(242)
一、电动机的单向运行控制	(242)
二、电动机的正反转运行控制	(245)
三、行程控制电路	(247)
四、时间继电器控制电路	(249)
五、顺序控制电路	(251)
六、多点启动、停止控制电路	(254)
七、制动控制电路	(254)
小结	(257)
中级电工练习题	(257)
思考题与习题	(258)
参考文献	(260)
项目九 正弦交流电路	(126)
任务一 正弦交流电	(128)
一、正弦交流电的基本概念	(128)
二、RLC 串联电路	(138)
三、复阻抗的串联与并联	(142)
四、功率因数的提高	(146)
任务二 交流电路的频率特性	(149)
一、RC 电路及其频率特性	(149)
二、LC 谐振电路及其频率特性	(152)
小结	(155)
中级电工练习题	(158)
思考题与习题	(160)
项目五 三相交流电路	(165)
任务一 认识三相对称电源	(165)
一、三相对称电源	(165)
二、三相对称电源的连接	(167)
任务二 三相负载及其工作方式	(170)
一、三相负载星形的连接	(170)
二、三相负载的三角形连接	(173)
三、三相不对称电路的功率	(176)
任务三 三相对称电路功率	(179)
一、三相电路功率的计算	(179)
二、三相电路功率的测量	(182)

项目一 电路的基本概念和基本定律

任务一 分析灯泡发光机理

【学习目标】

- (1) 了解电路的概念;
- (2) 掌握电流、电压、功率等电路变量的参考方向及其意义;
- (3) 掌握常用电路元件的伏安特性。

【任务导入】

如图 1-1 所示电路是由一节干电池、一个小灯泡、一个开关和若干导线组成的。当将开关闭合时,灯泡发光,而灯泡的亮度与哪些量有关?各量该如何表达?本节将进行介绍。

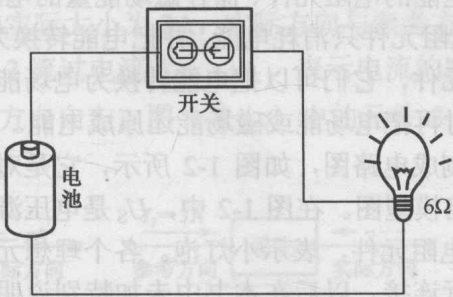


图 1-1 手电筒实际电路图

【知识链接】

一、电路组成和电路功能

将所需要的电气元件或设备,按一定方式连接起来以备电流流通的集合称为电路。

实际电路是为达到某种预期的目的而设计、安装、运行的,具有电能传输、信号测量、控制、计算等功能。在收音机、电视机、录像机、音响设备、计算机、手机、通信系统和电力网中可以看到各种各样的电路。有些电路非常简单,但有些实际电路十分复杂,如电力系统中电的产生、输送和分配是通过发电机、变压器、输电线等电气设备共同完成的,这就形成了一个庞大和复杂的电路或系统,而集成电路芯片内部有成千上万个晶体管,它们相互连接成为一个电路或系统,芯片大小却与指甲相当。

在实际电路中,不论电路的结构是简单还是复杂,都可分为电源、负载和中间环节三大部分。图 1-1 所示电路就是一个最简单的手电筒电路,其中电路左边的电池是电源,它是提供电能或电信号的装置;电路右边的小灯泡是负载,它是用电设备,即消耗电能的装置;电路其他的部分称为中间环节,它是连接电源和负载的部分,具有输送、分配、控制电路通断的功能。

中间环节的结构根据实际需要既有简单的,也有复杂的,如手电筒电路的中间环节由一个开关和导线组成,而收音机的中间环节由调谐、调频、中频放大、检波、低频放大、功率放大等几部分组成。

电路根据其作用可分为两大类:一是实现电能的传输和转换,如电力网实现电能的传输,日光灯、白炽灯把电能转换成光能,电动机把电能转换成机械能,而发电机则把机械能转换成电能等;二是实现信号的传递和处理,如电视机,首先将其接收到的有线电视信号进行选择,得到所需的频率信号,其次再经过多级放大等处理,最后使图像、声音分别从不同的输出设备输出。

实际电路在分析元件的接法、功能与作用时是很有用的,但由于实际电路的几何形态差异很大,且实际电路元件的电磁性质较为复杂,使得人们直接对实际电路进行定量分析和计算非常困难。

为了便于对电路进行分析和计算,在一定假设条件下,用足以反映实际元件电磁性质的假想理想电路元件或理想电路元件的组合,模拟实际电路中的器件,再把各理想元件的端子用“理想导线”连接起来,这样的电路称为电路模型。由于这种电路模型表征了这些设备在电路中所表现出的主要电气特性,所以由电路模型构成的电路原理图能够代表实际电路图,而从电路原理图中得到的分析结论也适用于实际电路,这样实际电路的分析就得到了简化。

常用的理想元件有消耗电能的电阻元件、储存磁场能量的电感元件、储存电场能量的电容元件及提供电能的电源等。电阻元件只消耗电能,并把电能转换为热能、光能、化学能等能量。电容元件和电感元件是储能元件,它们可以把电能转换为电场能或磁场能储存起来,在条件满足时再把电场能或磁场能还原成电能。

将图 1-1 用理想元件绘制成电路图,如图 1-2 所示,它是对手电筒实际电路进行抽象后的电路模型图。在图 1-2 中, U_S 是电压源,表示电池; S 表示开关; R_L 是电阻元件,表示小灯泡。各个理想元件之间用理想导线(零电阻)进行连接。以后在本书中未加特别说明时,所说的元件均指理想电路元件,所说的电路均指抽象的电路模型。

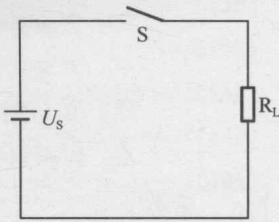


图 1-2 手电筒电路模型

二、电路中的基本物理量

电路分析中常用的物理量有电流、电压、电位和功率等,本节就这些物理量及其概念进行介绍。

1. 电流

带电粒子的定向移动形成电流。例如,导体中自由电子、电解液和电离的气体中的自由离子、半导体中的电子和空穴,都属带电粒子,或称载流子。

习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的实际方向,但在实际中,有时电流并不是由正电荷移动而形成的。例如,在金属导体中,实际上是带负电的电子在定向流动,从而形成了电流,这时规定负电荷定向流动的反方向为电流方向,它等效于正电荷的流动(不影响问题的解决)。在电解质溶液中,正、负离子均存在,此时,电流等效于正、负离子单独存在时形成电流的和。

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,并用它来衡量电流的大小,用 i 表示,即

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

式中 dq —— dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

在直流电路中,单位时间通过导体横截面的电荷量是恒定不变的,用大写字母 I 表示,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

本书约定,凡直流电压 (U) 与直流电流 (I) 均用大写字母表示。国际单位制中,电荷量的单位为库仑 (C),时间单位为秒 (s),电流单位为安培 (A),简称安。常用的单位还有毫安 (mA)、微安 (μA),其中: $1\text{mA}=1\times 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A}=1\times 10^{-6}\text{A}$ 。

由于有些实际电路十分复杂,在分析电路时,电路中某一段电流的实际方向很难判定,甚至电流的实际方向还在不断改变,因此,在电路中很难标明电流的实际方向。为了方便分析和计算电路,通常如图 1-3 所示任意选定一个方向作为电流 i 的参考方向,即假定该方向为电流的正方向,然后根据选定的参考方向列出分析计算电路的方程,最后从计算结果中判断电流的实际方向与大小。若计算结果为正值 ($i>0$),则说明电流参考方向与实际方向一致;若计算结果为负值 ($i<0$),则说明电流参考方向与实际方向相反。

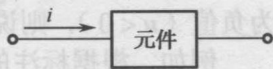


图 1-3 电流的参考方向

如图 1-4 所示,实线箭头标注的方向为电流的参考方向。其中,图 1-4 (a) 中的元件 1 流过电流 $I_1=2\text{A}$,表示电流的实际大小为 2A,实际方向与参考方向相同,即电流的实际方向也向右;图 1-4 (b) 中的元件 2 流过电流 $I_2=-3\text{A}$,表示电流的实际大小为 3A,实际方向与参考方向相反,即电流的实际方向向左;图 1-4 (c) 中的元件 3 未标注电流的参考方向,所以电流 I_3 的意义就不够明确。

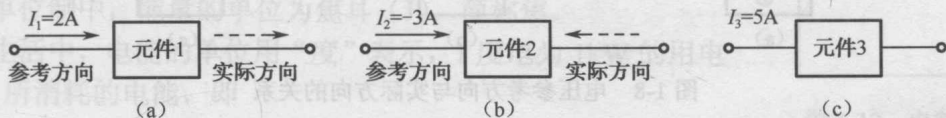


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系

在电路中,如没有特别说明,用实线箭头表示的电流方向均为电流参考方向。在文字叙述时也可用电流符号 i 加双下标表示,如图 1-5 所示,图中 i_{AB} 表示电流参考方向由 A 流向 B, i_{BA} 表示电流参考方向由 B 流向 A,并有 $i_{AB}=-i_{BA}$ 。当电路中确实需要标注电路实际方向时,可用如图 1-4 中所示的虚线表示。

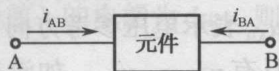


图 1-5 参考方向表示

2. 电压与电动势

电压也称为电势差或电位差,是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。此概念与水位高低所造成的“水压”相似,水在管中之所以能流动,是因为有着高水位和低水位之间的差别而产生的一种压力,使水从高处流向低处。电也是如此,电流之所以能够在导线中流动,也是因为在通电导线中存在高电位和低电位之间的差别,这种差别称为电位差,也称为电压,如图 1-6 所示。换句话说,在电路中,任意两点之间的电位差称为这两点的电压。

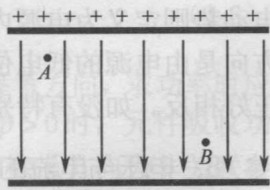


图 1-6 电压

电压大小等于电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功，即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

电压的正方向规定为从高电位指向低电位。电压的国际单位制为伏特 (V)，常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等。其中 $1\text{kV}=1\times 10^3\text{V}$, $1\text{mV}=1\times 10^{-3}\text{V}$, $1\mu\text{V}=1\times 10^{-6}\text{V}$ 。

与电流一样，由于有些实际电路十分复杂，电路中电压的实际方向也无法确定，在分析电路时，引进电压参考方向的概念。通常如图 1-7 所示用“+”、“-”号选定一个方向作为电压的参考方向，其中，标注“+”号的一端电位比标注“-”的一端电位高，电压方向由高电位指向低电位，此即为假定的电压参考方向，然后根据选定的电压参考方向列出分析计算电路的方程，最后根据计算结果判断电压的实际方向与大小。若计算结果为正值 ($u > 0$)，则说明电压参考方向与实际方向一致，即标注“+”的端子电位比标注“-”的端子电位高；若计算结果为负值 ($u < 0$)，则说明电压参考方向与实际方向相反，实际是“-”端电位比“+”端电位高。

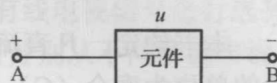


图 1-7 电压的参考方向

例如，根据标注的电压参考方向，图 1-8 (a) 中的元件 1 两端电压 $U_1 = 6\text{V}$ ，表示元件 1 两端电压大小为 6V，实际电位左边比右边高，即实际电压方向为向右，参考方向与实际方向相同。图 1-8 (b) 中的元件 2 两端电压 $U_2 = -8\text{V}$ ，表示元件 2 两端电压大小为 8V，实际电位右边比左边高，即实际电压方向为向左，参考方向与实际方向相反。图 1-8 (c) 中的元件 3 两端电压 $U_3 = 10\text{V}$ ，表示元件 3 两端电压大小为 10V，实际电位右边比左边高，即实际电压方向为向左，参考方向与实际方向相同。

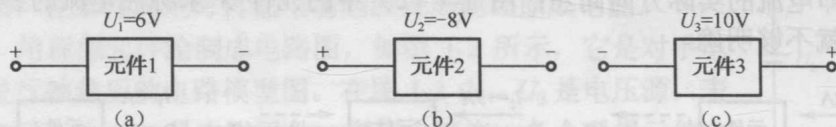


图 1-8 电压参考方向与实际方向的关系

常用的电压表示方法共 3 种，除用“+”、“-”号外，还可用箭头表示，在文字叙述时也可用电压符号 u 加双下标表示。如图 1-9 所示， u_{AB} 表示电压参考方向由 A 指向 B， u_{BA} 表示电压参考方向由 B 指向 A，且有 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。如没有特别说明，在电路中电压、电流方向均为参考方向。

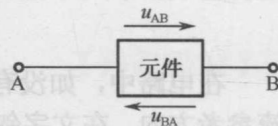


图 1-9 参考方向表示

在如图 1-10 所示电路中，正电荷在电场力作用下不断从电源正极经过电路流向电源负极，形成电流，如果没有外作用力，电源正极正电荷的减少会使正极电位逐渐降低，而负极则因正电荷的增多使电位逐渐升高，由此导致两极之间的电位差减小，最后为零，电荷不再移动。为了维持电流，需要借助电源力（如电池的化学力）使移到负极的正电荷经电源内部移到正极。电动势则定义为电源内部电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功。所以，电动势的方向是由电源的低电位端指向高电位端，对于同一电源，电动势的方向与电源外部电压的方向正好相反。如没有特别说明，电源两端标注的一般为电源两端电压的方向。

3. 电压与电流的关联方向

一个元件的电流参考方向与电压参考方向可以单独任意指定。当指定元件的电流参考方向是从电压参考方向正极性的一端流向负极性的一端（如图 1-11 (a) 所示），即电流参考方向与

电压参考方向一致时，称为关联参考方向；当指定元件的电流参考方向是从电压参考方向负极性的一端流向正极性的一端（如图 1-11 (b) 所示），即电流参考方向与电压参考方向不一致时，称为非关联参考方向。为使计算简单，建议对电阻、电感、电容元件尽量选用关联参考方向。

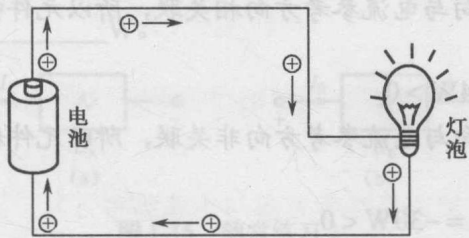


图 1-10 电荷移动

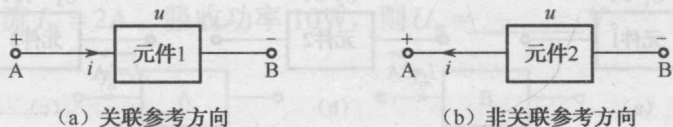


图 1-11 关联参考方向与非关联参考方向

4. 能量与功率

如图 1-12 所示，在电场力作用下，当电阻内部正电荷从实际电压的“+”极移到电压的“-”极时，电阻吸收能量；反之，当电源内部正电荷克服电场力作用，从实际电压“-”极移到电压的“+”极时，为电路提供电能，电源向外释放电能。

国际单位制中，能量的单位为焦耳（J），简称焦。

日常生活中，电能的单位用“度”表示，1 度电为 1kW 的用电器工作 1h 所消耗的电能，即

$$1 \text{ 度} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

在电气工程中，电功率是用来衡量消耗电能快慢的物理量，简称功率，定义为单位时间内元件吸收或发出的电能，用 p 表示。设在极短时间 dt 内元件吸收（或释放）的电能为 dw ，则

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-4)$$

国际单位制中，功率的单位为瓦特（W），简称瓦。常用的单位还有千瓦（kW）、毫瓦（mW），其中 $1\text{kW} = 1 \times 10^3 \text{ W}$ ， $1\text{mW} = 1 \times 10^{-3} \text{ W}$ 。

由于电压 $u = \frac{dw}{dq}$ ，电流 $i = \frac{dq}{dt}$ ，所以电功率可进一步推导为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

可见电功率与电压和电流密切相关。由于在电路中电压、电流都是参考方向，求功率时应当注意：若电压和电流的参考方向为关联参考方向，用公式 $p = ui$ ，当 $p > 0$ 时，元件吸收功率，是负载；当 $p < 0$ 时，元件发出功率，起电源作用。若电压和电流的参考方向为非关联参考方向，用公式 $p = ui$ ，当 $p > 0$ 时，元件实际释放功率，起电源作用；当 $p < 0$ 时，元件实际吸收功率，是负载。

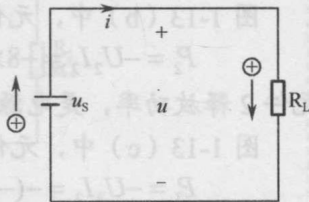


图 1-12 电能转移

【例 1-1】求图 1-13 中各元件吸收或释放的功率，并判断是电源还是负载。

解：图 1-13 (a) 中，有

$$P_1 = U_1 I_1 = 6 \times 2 = 12 \text{ W} > 0$$

由于元件 1 两端电压参考方向与电流参考方向相关联，所以元件吸收功率，是负载。

图 1-13 (b) 中，有

$$P_2 = U_2 I_2 = 8 \times 3 = 24 \text{ W} > 0$$

由于元件 2 两端电压参考方向与电流参考方向非关联，所以元件释放功率，是电源。

图 1-13 (c) 中，有

$$P_3 = U_3 I_3 = (-10) \times 3 = -30 \text{ W} < 0$$

由于元件 3 两端电压参考方向与电流参考方向非关联，所以元件吸收功率，是负载。

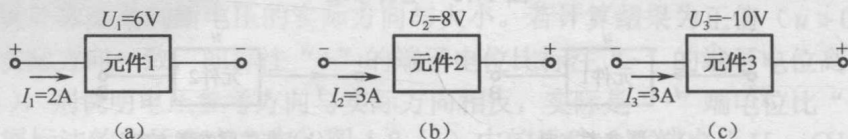


图 1-13 例 1-1 题图

为方便起见，在计算功率时也可在电压和电流的参考方向为关联参考方向时，用公式 $p = ui$ ，而电压和电流的参考方向为非关联参考方向时，用公式 $p = -ui$ 。按此原则选取公式后，若计算结果 $p > 0$ ，则元件吸收功率；若 $p < 0$ ，则元件释放功率。

图 1-13 (b) 中，元件 2 两端电压参考方向与电流参考方向非关联，有

$$P_2 = -U_2 I_2 = -8 \times 3 = -24 \text{ W} < 0$$

元件 2 释放功率，是电源。

图 1-13 (c) 中，元件 3 两端电压参考方向与电流参考方向非关联，有

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-10) \times 3 = 30 \text{ W} > 0$$

元件 3 吸收功率，是负载。

可见两种判断方法结果相同。

【例 1-2】求图 1-14 所示电路中各元件吸收或释放的功率，并计算电路吸收总功率。

解：在图 1-14 所示电路中，电路电流 I 为

$$I = \frac{U_s}{R_L} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$

电源两端电压参考方向与电流参考方向非关联，则电源吸收功率为

$$P_s = -U_s I = -10 \times 2 = -20 \text{ W} < 0$$

R_L 吸收负功率，即释放 20W 功率，是电源。

电阻两端电压参考方向与电流参考方向相关联，则电阻吸收功率为

$$P_L = UI = 10 \times 2 = 20 \text{ W} > 0$$

R_L 吸收 20W 功率，是负载。

电路吸收总功率为

$$P = P_s + P_L = (-20) + 20 = 0 \text{ W}$$

可见，电路中功率是平衡的，即电路中电源发出的功率一定等于电路中负载所消耗的功率，电路总吸收功率为零。

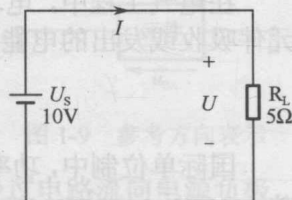


图 1-14 例 1-2 题图

随堂练习

1. 如图 1-15 所示, 已知元件 A 的电压、电流分别为 $U_A = -7V$, $I_A = 6A$, 则元件 A 吸收的功率为 _____ W; 元件 B 的电压、电流分别为 $U_B = 3V$, $I_B = -4A$, 则元件 B 吸收的功率为 _____ W。

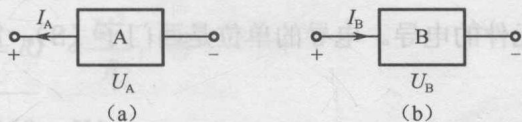


图 1-15 随堂练习 1

2. 如图 1-16 所示, 已知元件 A 的电压 $U_A = -5V$, 提供功率 10W, 则 $I_A =$ _____ A; 元件 B 的电流 $I_B = 2A$, 吸收功率 10W, 则 $U_B =$ _____ V。

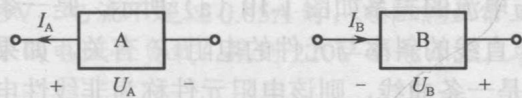


图 1-16 随堂练习 2

3. 电路如图 1-17 所示, 电阻 R_1 吸收功率 $P_1 =$ _____ W, 电阻 R_2 吸收功率 $P_2 =$ _____ W。

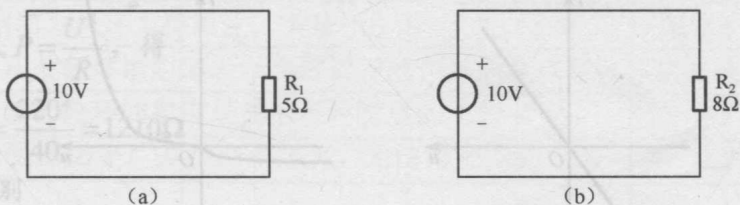


图 1-17 随堂练习 3

三、电路元件

1. 电阻元件

1) 电阻的伏安关系及其消耗功率

在电路理论中, 电阻元件是耗能元件的理想化模型, 它是一个二端元件。电阻器、灯泡、电炉等在一定条件下都可以用二端线性电阻元件作为其模型。在关联参考方向下, 电阻元件的电压与电流的关系 (简称 VCR) 为

$$u = Ri \quad (1-6)$$

此电压与电流关系也称为欧姆定律。线性电阻元件的电路图形符号如图 1-18 所示。式 (1-6) 中 R 是一个正实常数, 称为元件的电阻值。电阻的大小表征了其对电流阻碍作用的大小, 电阻越大则其对电流的阻碍作用越大。当电压单位用伏特 (V), 电流单位用安培 (A) 表示时, 电阻的单位为欧姆 (Ω), 简称欧。

在非关联参考方向下, 线性电阻元件的电压与电流的关系为

$$u = -Ri \quad (1-7)$$

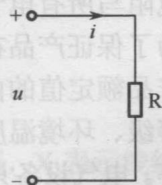


图 1-18 线性电阻元件的电路图形符号

即引入电压、电流的参考方向后,欧姆定律表示为

$$u = \pm Ri \quad (1-8)$$

另外,欧姆定律也可写成

$$i = \pm \frac{1}{R} u = \pm Gu \quad (1-9)$$

式中, $G = \frac{1}{R}$, 称为电阻元件的电导。电导的单位是西门子(S), 简称西。 R 和 G 都是电阻元件的参数。

应用上述欧姆定律时, 若电压参考方向与电流参考方向一致, 则取“+”号; 反之, 取“-”号。

以电压为横坐标, 电流为纵坐标, 画出一个直角坐标, 该坐标平面称为 $u-i$ 平面。在 $u-i$ 平面上, 用一条曲线来表示元件电压与电流的关系, 该曲线称为元件的伏安特性曲线。

如果电阻元件的电压与电流的关系如图 1-19 (a) 所示, 是一条通过原点的直线, 则该电阻元件称为线性电阻元件, 直线的斜率与元件的电阻 R 有关。如果电阻元件的电压与电流的关系如图 1-19 (b) 所示, 是一条曲线, 则该电阻元件称为非线性电阻元件。线性电阻元件的电阻值是个常数, 与元件两端电压或流过的电流无关, 只与元件本身的材料、尺寸有关。今后若未加说明, 本书中所有电阻元件均指线性电阻元件。

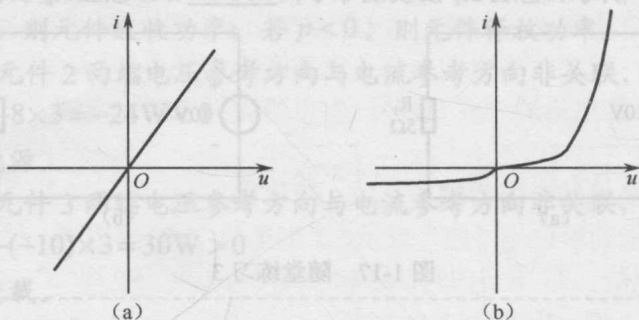


图 1-19 电阻伏安特性

2) 电阻的功率

电阻两端加电压后, 电阻内流过电流, 此时电阻元件消耗的功率为

$$p = \pm ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \geq 0 \quad (1-10)$$

因为 R 是正实常数, 故功率 p 恒为非负值。由此可见, 线性电阻元件是一种无源元件, 只会消耗电能, 不可能产生能量。

电阻与所有电气设备一样, 有其工作额定值。所谓电气设备的额定值, 是指设计者与制造厂商为了保证产品在给定的工作条件下 (包括环境、温度等因素) 正常运行而规定的容许值。各种产品额定值的内容因使用情况不同而各异。主要额定值一般包括电压、电流、功率、频率、绝缘等级、环境温度、冷却方式等。此外, 还有质量、体积 (外形尺寸)、绝缘电阻、耐电压强度等。电气设备只有在额定值范围内使用, 才能保证用电设备安全可靠地运行。如果用电设备经常超负荷运行, 电流超过额定值而引起过热, 就会缩短其使用寿命; 当电压超过额定值时, 绝缘材料就会被击穿。所以, 在正常工作条件下, 电压或电流大于额定值, 在实际工程上是不允许的; 同样, 负载电压电流远远小于额定值, 往往使设备能力不能被充分利用, 在实际工程