

新形态教材

电工基础

席志红 李万臣 主编



科学出版社

电 工 基 础

主编 席志红 李万臣

参编 (以姓氏笔画排序)

王红茹 李鸿林

张忠民 徐 伟

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据当前教学改革的新形势和电工技术的新发展,围绕电工基础的基本理论和典型应用,介绍了电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法和基本定理、正弦交流电路、三相正弦交流电路及安全用电、电路的暂态分析、磁路与变压器、三相异步电动机、直流电动机、常用控制电器及控制线路、现代控制器、Multisim 14 电路仿真软件简介等内容。全书配有章节导读和较丰富的例题与习题,每章均通过二维码链接思考练习、本章小结、阅读与应用、历史人物、历史故事、习题答案等相关内容。

本书可作为高等工科院校非电类专业的本科生教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础 / 席志红, 李万臣主编. —北京: 科学出版社, 2018.8

ISBN 978-7-03-058535-6

I. ①电… II. ①席… ②李… III. ①电工-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 187076 号

责任编辑: 余 江 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 8 月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 377 000

定价: 49.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

本书是在编者所在课程团队出版的《电工技术》和《电工理论基础》两部教材的基础上,结合教学手段多样化的新形势,由多年从事相关课程教学的教师合力编写的一部新形态教材。本书除纸质形式外,还配有二维码链接参考及拓展学习资源。读者可以扫描书中的二维码,获得相关知识信息。本书适用于高等工科院校非电类专业技术基础课程的教学,建议学时为 32~48。

本书前 5 章为电路的基本理论,属于电路的经典理论部分;第 6~9 章介绍基本电磁理论和常用工业电器及控制;第 10 章集中介绍可编程控制器与通用变频器;第 11 章介绍 Multisim 14 计算机辅助分析软件。本书理论深度适中,注重理论连贯、内容紧凑,尽量通过实例引出新概念、新理论;突出应用性,介绍定理、定律时注重应用,尽量与生产生活实践相结合,与后续知识相衔接;为了适于翻转课堂教学,促进学生自主学习,编写时特别注意了教学内容的延展性,例题与习题的难度与复杂度循序渐进,教师可以选择一部分习题作为基础作业,另一部分供不同层次的学生进行延展学习和能力提高训练;每章都设有本章导读和本章小结,便于学生自学掌握和梳理核心知识点;每章都附有“阅读与应用”,将本章的基础理论延展,结合工程应用,反映新技术的发展与应用,为学生的课外学习提供素材;每章还引入在科学发展史上做出突出贡献的历史人物介绍或历史背景故事,提升学生的人文情怀。

全书各章节关键部位均配有二维码,链接思考练习、本章小结、阅读与应用、历史人物、历史故事、习题答案,以及部分定理结论的推导详解与深入介绍等拓展内容。读者可以方便地获得大量感兴趣的、与课程相关的信息与知识,很大程度延展了学习空间。

本书第 1 章部分、第 2 章、第 5 章部分和第 9 章由李万臣编写;第 3 章由李鸿林编写;第 4 章和第 11 章由王红茹编写;第 6 章和第 8 章由席志红编写;第 1 章部分和第 7 章由徐伟编写;第 5 章部分和第 10 章由张忠民编写。本书的编写规则和框架设计由席志红教授和李万臣教授共同负责,第 1~5 章及第 11 章由李万臣统稿,第 6~10 章由席志红统稿。李万臣负责全书二维码内容的组织设计工作。

本书是“哈尔滨工程大学 2018 年本科生教材立项”重点资助教材,与之配套的新形态实验课程教材《电工基础实验》将另行出版,届时可通过网络共享线上线下的课程网络资源。

由于新形态教材可供参考的素材有限,加之编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请读者给予批评指正。

编 者

2018 年 6 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路的组成和作用	1
1.2 电路模型	2
1.3 电路的物理量和参考方向	3
1.3.1 电流	3
1.3.2 电位、电压与电动势	4
1.3.3 电压、电流的关联参考方向	5
1.3.4 功率及能量	6
1.4 电路元件	7
1.4.1 理想无源元件	7
1.4.2 理想电源元件	14
1.5 基尔霍夫定律	16
1.5.1 网络概念或术语	16
1.5.2 基尔霍夫电流定律	17
1.5.3 基尔霍夫电压定律	18
阅读与应用	20
历史人物	21
历史故事	21
习题 1	21
第 2 章 电路的基本分析方法和基本定理	25
2.1 等效的概念	25
2.2 无源电阻电路的等效变换	26
2.2.1 电阻的串联	26
2.2.2 电阻的并联	27
2.2.3 电阻的混联	28
2.2.4 电阻的星形和三角形连接	29
2.3 含源电阻电路的等效变换	30
2.3.1 理想电源的串联和并联	31
2.3.2 实际电源的串联和并联	32
2.3.3 实际电压源和电流源间的等效变换	34
2.4 支路电流法	36
2.5 叠加定理	37
2.6 戴维南定理和诺顿定理	39

2.6.1 戴维南定理	39
2.6.2 最大功率传输定理	42
2.6.3 诺顿定理	43
阅读与应用	44
历史人物	44
历史故事	45
习题 2	45
第 3 章 正弦交流电路	51
3.1 正弦量的基本概念	52
3.2 正弦量的相量表示	54
3.3 基尔霍夫定律和电路元件伏安关系的相量形式	57
3.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	57
3.3.2 电路元件伏安关系的相量形式	58
3.4 复阻抗和复导纳	62
3.4.1 复阻抗和复导纳的概念及其意义	62
3.4.2 复阻抗和复导纳的串并联	64
3.5 正弦电路的分析方法	64
3.6 正弦电路的功率	70
3.6.1 瞬时功率	70
3.6.2 有功功率、无功功率和视在功率	72
3.6.3 功率因数的提高	74
3.7 谐振电路	76
3.7.1 串联电路的谐振	77
3.7.2 并联电路的谐振	80
3.8 非正弦周期信号电路	82
3.8.1 谐波分析的概念	83
3.8.2 非正弦周期信号电路的分析	85
阅读与应用	86
历史人物	87
历史故事	87
习题 3	87
第 4 章 三相正弦交流电路及安全用电	92
4.1 三相电源	92
4.1.1 三相电源的星形连接	93
4.1.2 三相电源的三角形连接	94
4.2 对称三相电路	95
4.2.1 三相负载的星形和三角形连接	95
4.2.2 对称三相电路的分析与计算	97
4.3 三相电路的功率	101

4.4 安全用电	102
4.4.1 电气事故及触电方式	103
4.4.2 接地与接零保护	104
阅读与应用	106
历史人物	106
历史故事	106
习题 4	107
第 5 章 电路的暂态分析	109
5.1 换路定律及电压、电流的初始值	110
5.2 一阶电路的暂态响应	112
5.2.1 一阶电路恒定输入下的全响应	113
5.2.2 一阶电路的零输入响应	116
5.2.3 一阶电路的零状态响应	117
5.3 三要素法	118
5.4 微分电路与积分电路	121
5.4.1 微分电路	121
5.4.2 积分电路	122
阅读与应用	123
历史人物	123
历史故事	123
习题 5	123
第 6 章 磁路与变压器	126
6.1 磁路的基本概念和基本定律	127
6.1.1 磁场的基本物理量	127
6.1.2 铁磁物质的磁化曲线	128
6.1.3 磁路及其基本定律	129
6.2 直流铁心磁路	132
6.3 交流铁心线圈	134
6.3.1 电磁关系	134
6.3.2 电压平衡方程式	136
6.3.3 主磁感应电动势 E 的计算	136
6.3.4 功率关系	136
6.4 变压器	137
6.4.1 变压器的构造	138
6.4.2 铁心变压器的工作原理	139
6.4.3 变压器铭牌参数	141
6.4.4 变压器运行特性	141
6.4.5 变压器的极性	142
6.4.6 三相变压器	144

阅读与应用	145
历史人物	145
历史故事	146
习题 6	146
第 7 章 三相异步电动机	148
7.1 三相异步电动机的构造	148
7.1.1 定子	149
7.1.2 转子	149
7.2 三相异步电动机的铭牌数据	150
7.3 三相异步电动机的工作原理	152
7.3.1 旋转磁场的产生	153
7.3.2 转子的转动原理	155
7.4 三相异步电动机的运行	156
7.4.1 转子转速等于旋转磁场转速	156
7.4.2 转子转速低于旋转磁场转速	157
7.5 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	159
7.5.1 转矩表达式	159
7.5.2 机械特性	160
7.6 三相异步电动机的起动	162
7.6.1 起动性能	163
7.6.2 鼠笼式异步电动机的起动方法	163
7.6.3 绕线式异步电动机的起动方法	165
7.7 三相异步电动机的调速	166
7.7.1 改变磁极对数的调速	166
7.7.2 改变转差率的调速	167
7.7.3 改变供电电源频率的调速	168
7.8 三相异步电动机的反转与制动	169
7.8.1 反转	169
7.8.2 制动	169
阅读与应用	171
历史人物	171
历史故事	171
习题 7	171
第 8 章 直流电动机	174
8.1 直流电机的结构	174
8.1.1 定子部分	174
8.1.2 转子部分	175
8.2 直流电动机的工作原理	176
8.3 直流电动机的分类和机械特性	177

8.3.1 直流电动机的分类	177
8.3.2 他(并)励电动机的机械特性	177
8.4 直流电动机的运行	179
8.4.1 他(并)励直流电动机的起动	179
8.4.2 他(并)励直流电动机的调速	180
8.4.3 直流他励电动机的制动	181
8.4.4 直流他励电动机的反转	182
*8.5 无刷直流电机简介	182
阅读与应用	183
历史人物	184
历史故事	184
习题 8	184
第 9 章 常用控制电器及控制线路	185
9.1 常用控制电器和保护电器	186
9.1.1 手动电器	186
9.1.2 保护电器	188
9.1.3 自动电器	191
9.2 鼠笼式异步电动机的直接起动控制	194
9.2.1 点动控制线路	194
9.2.2 连动控制线路	195
9.2.3 点动与连动复合的控制线路	196
9.3 鼠笼式异步电动机的正反转控制线路	196
9.3.1 接触器常闭触点互锁的控制线路	197
9.3.2 按钮互锁的控制线路	197
9.4 自动往复行程控制	199
9.4.1 往复一次的控制线路	199
9.4.2 往复自动循环的控制线路	199
9.5 异步电动机的时间控制	200
9.5.1 鼠笼式异步电动机 Y- Δ 起动的控制线路	200
9.5.2 鼠笼式异步电动机能耗制动控制线路	201
9.5.3 绕线式异步电动机转子串电阻起动控制线路	201
9.6 异步电动机的顺序控制	202
阅读与应用	203
历史人物	204
历史故事	204
习题 9	204
第 10 章 现代控制器	206
10.1 可编程控制器概述	206
10.1.1 可编程控制器的结构和工作原理	207

10.1.2 可编程控制器的编程元件、梯形图和指令系统	210
10.2 可编程控制器的应用	219
10.3 通用变频器	220
10.3.1 通用变频器的基本结构和主要功能	221
10.3.2 松下 VF0 超小型变频器介绍	222
10.4 VF0 变频器变频控制实例	223
阅读与应用	224
历史人物	224
历史故事	224
习题 10	225
第 11 章 Multisim 14 电路仿真软件简介	227
11.1 Multisim 14 软件功能简介	227
11.2 Multisim 14 电路仿真	233
参考文献	238

第1章 电路的基本概念和基本定律

章节导读

电能在日常生活、生产和科学研究中得到了广泛的应用。在家用电器、电工设备、电子仪器、电力网、通信系统和计算机网络中都可以看到各种各样的电路。本章主要介绍电路的基本概念和基本定律,为进行电路分析奠定重要基础。主要讨论的是电路模型、电压电流参考方向、理想电路元件的伏安关系及在电路中的性质、基尔霍夫定律、电路中电位的概念以及计算等。这些内容均是电工学的重要理论基础。其中参考方向作为极其重要的概念,将贯穿于本课程的始终;电路元件的特性以及基尔霍夫基本定律,均是电路分析的基本依据。

知识点

- (1) 电路的组成、作用和电路模型。
- (2) 电流、电位、电压、电动势、电功率、电能。
- (3) 电阻、电容、电感的特性。
- (4) 理想电流源和理想电压源及特点。
- (5) 基尔霍夫定律。

掌握

- (1) 实际电路的电路模型。
- (2) 电流、电压的参考方向。
- (3) 功率吸收与发出及元件在电路中的性质判断。
- (4) 电阻、电容、电感的电压-电流关系特性。
- (5) 理想电压源和理想电流源的特点。
- (6) 基尔霍夫定律及其适用性。
- (7) 电路中电位的计算。

了解

- (1) 电路的组成及作用。
- (2) 电位、电动势、电能的物理概念。
- (3) 储能元件的储能情况分析。

1.1 电路的组成和作用

就构造性而言,按一定任务将若干电气设备和元器件按一定方式相互连接,构成电流通路的整体称为电路,泛称为网络。电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。

电路的结构是多种多样的,因而它们所完成的任务也是不同的,但归结起来,主要是完成两个方面的作用,下面通过简单照明电路和扩音机电路加以说明。

在图 1-1 所示的简单照明电路中,电池把化学能转换成电能,提供给电灯,电灯再把电能转换成光能作照明之用。其作用可概括为实现电能的传输、分配和转换。

在图 1-2 所示电路中,话筒把声音转换成电信号,而后通过放大电路传递到扬声器,再把电信号还原成声音。其体现的作用是电信号的传递、处理和变换。

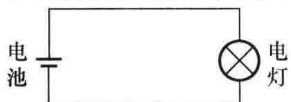


图 1-1 简单照明电路

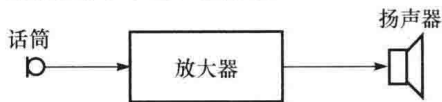


图 1-2 扩音机电路

实际电路无论简单还是复杂,总要包含以下三个基本组成部分。

- (1) 电源:产生并提供电能的设备或器件,其功能是将其他形式的能量转变为电能,为电路提供能源,如电池、发电机等。
- (2) 负载:吸收或消耗电能的设备或器件,如灯泡、电炉、扬声器等,又称用电器或换能器,其功能是将电能转变为其他所需形式的能量。
- (3) 导线:用来连接各种用电设备或器件,使之形成完整的电路,并在其中引导电流,传输能量。

实际电路除了以上三个基本部分以外,还常根据需要增添一些辅助设备,如接通、断开电路的控制电器(如刀开关)、控制环节和保障安全用电的保护电器等。

在电路理论中,通常把电源或信号源称为激励,激励可以是电压激励,也可以是电流激励。激励源推动电路工作,电激励在电路各部分产生的电压和电流统称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路中激励与响应之间的关系问题。

1.2 电路模型

在电工技术中,组成电路的实际元器件种类繁多,其电磁性质往往比较复杂,可能同时发生多种电磁现象,难以用统一的简单的数学公式描述。如白炽灯,除了具有消耗电能的性质(电阻性)之外,通过电流时还会产生磁场,即还具有电感性,尽管电感很微小。为了便于分析和研究,通常采取科学的抽象将实际元件理想化,即在一定条件下,突出其主要电磁性质,忽略次要因素,可近似地看作理想元件。例如,理想电阻元件表示将电能转换成其他形式的能量且不可逆消耗的物理过程。上面讨论的白炽灯、电炉等实际电路器件都可以用理想电阻元件来代替。理想电压源元件表示将其他形式的能量转换成电能并可对外提供确定电压的电路器件。干电池、蓄电池等实际电路器件在不考虑电池内部对电能的消耗的条件下,可以用理想电压源元件代替;否则,用理想电压源元件和理想电阻元件的串联组合来代替。

电路元件理想化之后,实际电路就可用理想电路元件及其组合来代替,这就是实际电路的电路模型,它是对实际电路的电磁性质的科学抽象和概括。对图 1-3(a)所示的实际电路,用理想电阻元件 R 代替电灯,用理想电压源元件 U_S 代替干电池(电池内部对电能的消



耗忽略不计), 用线段代替连接导线(导线电阻忽略不计), 就可以得到与之对应的电路模型。

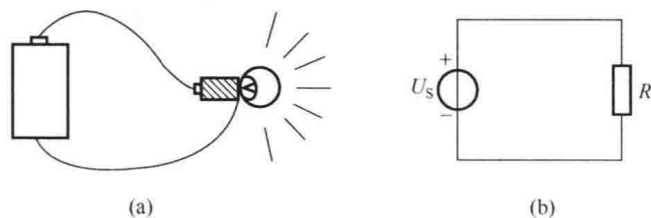


图 1-3 实际电路与电路模型

这种由理想电路元件(简称电路元件)组成、反映实际电路连接关系的电路模型图, 又称电路图, 通常简称为电路, 如图 1-3(b)所示。电路图中, 各种电路元件须用规定的图形符号来表示。

今后在电路的分析与计算中, 直接的对象不是实际的电路, 而是实际电路的理想化模型。



思考练习1.2

1.3 电路的物理量和参考方向

描述电路性能的基本物理量有电流、电压, 复合物理量有功率和能量等。这些物理量是进行电路分析必备的考量依据。

1.3.1 电流

电荷(带电粒子)有规则的定向运动就形成电流。习惯上把电流的方向规定为正电荷运动的方向。电流的大小用电流强度来表示。在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量, 设在极短的时间 dt 内通过导体横截面 S 的微小电荷量为 dq , 则电流为

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

式中, 电荷量 q 的单位为库仑(C); 时间 t 的单位为秒(s); 电流强度 $i(t)$ (简记 i) 的单位为安培(A), 也可以用千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)作为电流单位, 其换算关系如下:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} = 10^6\text{mA} = 10^9\mu\text{A}。$$

式(1-1)表示的电流是随时间变化的, 是时间的函数, 称为瞬时电流。若电流不随时间变化, 即 dq/dt 为常数, 则这种电流称为恒定电流, 简称直流, 用大写字母 I 表示。式(1-1)可改写为

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

电荷在电场力作用下运动形成电流。电荷本身既不能被创造也不会被消灭, 这种特性称为电荷守恒性。

电流的方向是客观存在的。在分析较复杂的电路时, 往往事先难以判定具体一段电路电流的实际方向。为便于分析, 事先指定一个电流方向, 当然这一方向不一定是电流的实际方向。这一事先任意指定的电流方向称为电流的参考方向。电流的参考方向一般用有箭

头的线段及相应的代表符号直接标注在电路上,如图 1-4 所示的 i ,其中图 1-4(a)所示的 i 表示电流的参考方向是由 A 指向 B ;图 1-4(b)所示的 i 表示电流的参考方向是由 B 指向 A 。图 1-4 中的框图表示任意的电路元件。

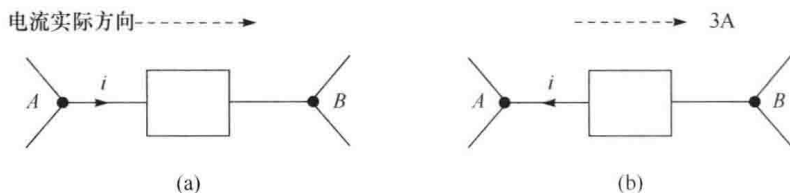


图 1-4 电流的参考方向与实际方向的关系

电流的参考方向指定后,电流的数值将有正负之分,电流被视为代数量。当电流的实际方向与参考方向一致时,计算出的电流值为正值;电流的实际方向与参考方向相反时,电流值为负值。图 1-4 所示的一段电路,电流的实际方向如虚线箭头所示,由 A 流向 B 。若指定的参考方向如图 1-4(a)所示,则电流 $i > 0$;若指定的参考方向如图 1-4(b)所示,则电流 $i = -3A$ 。

1.3.2 电位、电压与电动势

电路的电位、电压、电动势是既彼此关联又有区别的物理量。

1. 电位

单位正电荷在电路中某点所具有的电位能,称为该点的电位。

电位用字母 v 表示,如 A 点的电位用 v_A 来表示。电位的数值是相对于所选定的参考点而言的。电位参考点是规定其电位能为零的点,可以任意指定。通常都是选取电路中接地或接机壳的公共端为参考点。当 A 点的电位高于参考点时, $v_A > 0$;反之, $v_A < 0$ 。电路中某点的电位将随参考点的不同而不同。但参考点一旦确定,电路中各点的电位便都有了唯一的确定值,具有单值性。参考点在电路图中标上接地“ $\perp$ ”符号。所谓接地,并非真与大地相接,仅代表电路的零电位点。

2. 电压

电路中某两点之间的电位差,称为这两点之间的电压。在一般情况下,电压是任意的时间函数,用小写字母 $u(t)$ 表示两点间的瞬时电压。如果电压的大小和方向均与时间无关,为一恒定量,则称为直流电压,可用大写字母 U 表示。

电压的方向规定为从高电位端指向低电位端的方向,即两点间的电压就是指这两点之间的电位降落。习惯上用“+”“-”极性表示电压的方向,即规定电压方向由“+”指向“-”。如图 1-5(a)中表示 A 点的电位高于 B 点的电位,电压方向由 A 点指向 B 点,数值为 $u = v_A - v_B$ 。当电荷在电路中运动时,电场力将对这些电荷做功,电压实际是电场力做功本领的量度。因此,电路中某两点之间的电压在数值上等于将单位正电荷由一点移到另一点电场力所做的功,即

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

式中,电位能 w 的单位为焦耳(J),电荷量 q 的单位为库仑(C),电压 u 的单位为伏特,简

称伏(V)。电位和电压的单位相同。

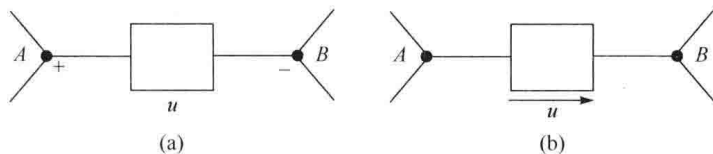


图 1-5 电压参考方向示意图

实际计算中,也可以用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)作为电压的单位,其换算关系如下: $1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$ 。

需要注意电位和电压的相互区别。电位是对电路中某点而言的,其值与参考点的选取有关。参考点选取不同,电路中各点的电位值会随之改变。电压则是对电路中某两点而言的,其值与参考点的选取无关。参考点选取不同,但电路中任意两点的电压是不变的。因此电路中各点电位的高低是相对的,而两点间的电压是绝对的。电路中某点的电压,实际上是指该点与参考点之间的电压,此时它与该点的电位是一致的。

与电流相似,电路中某两点间电压的实际方向有时也很难判别。为分析方便,可以事先指定任一方向为电压的参考方向;当电压的实际方向与参考方向一致时,电压值为正;反之,电压值为负。在指定参考方向下,根据电压数值的正或负,就可以确定电压的实际方向。

电压的参考方向可用参考极性,即“+”“-”极性来标示;也可以如图 1-5(b)所示,在两点间的电路旁用箭头标示;还可以用符号双下标来表示,如 u_{AB} 表示该电压的参考方向为由 A 指向 B。显然 u_{AB} 与 u_{BA} 是不同的,虽然它们都表示 A、B 两点间的电压,但由于参考方向不同,两者之间相差一个负号,即 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。

3. 电动势

电动势只存在于电源内部,其数值等于将单位正电荷由低电位端经电源内部移动到高电位端时电源所做的功,它将非电能转化为电能,方向由低电位指向高电位。

电动势用 $e(t)$ 表示,直流电动势也可用 E 表示。与电压用来描述电源之外的电路中正电荷的电位降落相反,电动势一般用来描述电源内部正电荷电位的升高。其方向为由低电位指向高电位。对电源来讲,其外部的电压和内部的电动势大小相等而方向相反。例如,图 1-5(a)的方框中的元件若为电源元件,则 A、B 两点之间的电动势为 $e_{AB} = v_B - v_A = -u_{AB}$ 。电动势和电压的单位相同。

1.3.3 电压、电流的关联参考方向

在对任何具体电路进行实际分析之前,都应先指定各相关电流和电压的参考方向,否则分析将无法进行。这充分表明电流和电压的参考方向在电路分析中的重要作用。由于电流与电压的参考方向可以各自独立地任意指定,电路的电流和电压会出现相互一致的参考方向,如图 1-6 所示,我们称这样选取的参考方向为关联参考方向。若两者方向选取不一致,则称为非关联参考方向,如图 1-7 所示。一般而言,习惯上电压和电流常常选取关联参考方向。电源由于其特性,在电路分析中,电源两端的电压和电流一般是非关联方向。

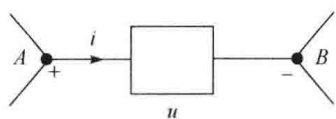


图 1-6 关联参考方向

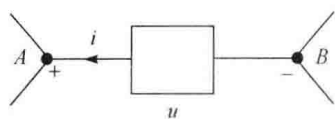


图 1-7 非关联参考方向

需要强调的是,后面在提到电流和电压的方向时,如无特别声明,图中标示的方向均指参考方向,而不是实际方向。特别对初学者而言,这一点必须要逐步加以适应。

1.3.4 功率及能量

一段电路上电压、电流取关联参考方向时,正电荷在电场力的作用下由高电位端移动到低电位端,通过这段电路将失去一部分电位能,这部分能量被这段电路所吸收。把单位时间内这段电路吸收的能量定义为电功率(简称功率)。功率的符号为 $p(t)$,简写成 p 。

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

功率的单位为瓦特,简称瓦(W),也可以用千瓦(kW)、毫瓦(mW)。其换算关系如下:
 $1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$ 。直流时的功率常用 P 来表示。

式(1-4)说明,在关联参考方向下,一段电路吸收的功率等于其电压和电流的乘积。

当电压和电流为非关联参考方向时(图 1-7),这段电路吸收的功率应为

$$p = -ui$$

显而易见,功率的计算结果就有了正、负值。若计算结果为 $p > 0$,表明这段电路的确是吸收功率的,在电路中实际起负载的作用;若 $p < 0$,则表明这段电路实际上是发出功率的,在电路中实际起电源的作用。这就是从电压和电流参考方向出发,进行功率计算及判断某段电路或元件在电路中实际性质的原则。

实际用电设备或元器件都有额定功率标在铭牌上或写在参数说明中。额定功率是指用电器在额定电压与额定电流条件下工作时的功率。若用电器的实际功率大于额定功率,则用电设备或元器件可能会损坏;反之,则得不到正常合理的工作,用电设备的能力也得不到充分的利用。

图 1-6 所示的一段电路在时间区间 $t_0 \sim t$ 内从外界吸收的电能为

$$w = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \quad (1-5)$$

若 $w > 0$,表明这段电路的确是吸收电能的;若 $w < 0$,则表明该段电路实际是发出电能的。

电能的单位为焦耳(J)。工程上常用瓦秒或千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作电能的单位,千瓦时又称度, $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 俗称一度,即一个电字。

例 1-1 图 1-8 所示为一个完整电路,其中各元件电流、电压分别为 $I_1 = -4\text{A}$, $I_2 = 10\text{A}$, $I_3 = -6\text{A}$, $U_1 = 14\text{V}$, $U_2 = 6\text{V}$, $U_3 = -9\text{V}$, $U_4 = -8\text{V}$, $U_5 = 3\text{V}$,试求各元件吸收或发出的功率。

解 根据功率判断原则,

元件 1: U_1 、 I_1 参考方向关联, 其吸收的功率为

$$P_1 = U_1 I_1 = 14 \times (-4) = -56(\text{W}) < 0, \text{实际发出 } 56\text{W}$$

元件 2: U_2 、 I_2 参考方向关联, 其吸收的功率为

$$P_2 = U_2 I_2 = 6 \times 10 = 60(\text{W}) > 0, \text{实际吸收 } 60\text{W}$$

元件 3: U_3 、 I_3 参考方向非关联, 其吸收的功率为

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-9) \times (-6) = -54(\text{W}) < 0, \text{实际发出 } 54\text{W}$$

元件 4: U_4 、 I_1 参考方向关联, 其吸收的功率为

$$P_4 = U_4 I_1 = (-8) \times (-4) = 32(\text{W}) > 0, \text{实际吸收 } 32\text{W}$$

元件 5: U_5 、 I_3 参考方向非关联, 其吸收的功率为

$$P_5 = -U_5 I_3 = -3 \times (-6) = 18(\text{W}) > 0, \text{实际吸收 } 18\text{W}$$

观察各元件的功率情况, 可以发现, 电路总发出功率

$$P_{\text{发出}} = P_1 + P_3 = 56 + 54 = 110(\text{W})$$

电路总吸收功率

$$P_{\text{吸收}} = P_2 + P_4 + P_5 = 60 + 32 + 18 = 110(\text{W})$$

因此, 对于一个完整电路有 $P_{\text{发出}} = P_{\text{吸收}}$, 称为电路的功率平衡。

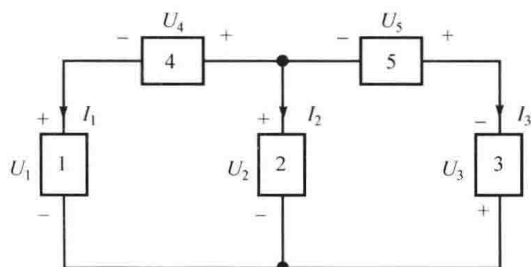


图 1-8 例 1-1 图

1.4 电路元件

实际电路元件的物理性质, 从能量转换的角度来看, 有电能的产生、电能的消耗以及电场能量和磁场能量的储存。理想元件就是用来表征上述这些单一物理性质的元件, 它有理想无源元件和理想电源元件两类。

1.4.1 理想无源元件

理想无源元件包括理想电阻元件、理想电容元件及理想电感元件三种, 简称电阻元件(电阻)、电容元件(电容)、电感元件(电感)。

1. 电阻元件

电阻元件是电路中最广泛、最基本的组成元件, 许多实际的电路器件(如电阻器、电热器、电灯泡、扬声器等)都可以用电阻元件来表示。电阻元件的确切定义为其电压和电流的关系(简称为伏安关系)可用代数函数表示的元件。也可表述为电阻元件是其特性可以用 $u-i$ 平面上的一条曲线来表示的二端电路元件。在 $u-i$ 平面上表示电阻元件特性的曲线称为电阻元件的伏安特性曲线, 简称伏安特性。图 1-9(a)是某电阻元件的伏安特性曲线, 这种元件称为非线性电阻元件; 如果元件的电流与电压成正比, 其伏安特性曲线是一条通过原点的直线, 如图 1-9(b)所示, 则该元件称为线性电阻元件, 简称电阻元件。线性电阻元件的符号可用图 1-10 表示。图 1-11 为多种类型电阻的实物图。

