

21世纪

高等学校本科电子电气专业系列实用教材

电工基础教程

王其红 主编

陈德伟 易 风 副主编

华容茂 主审

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

TM1

159

2007

21 世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材

电工基础教程

王其红 主 编

陈德伟 副主编

易 风

华容茂 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是在面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究的基础上,根据教育部颁发的“高等学校工科电工技术课程教学基本要求”编写的,内容包括直流电路、正弦交流电路、三相电路、一阶暂态电路、变压器、交/直流电机、电器控制电路、PLC 和 PSPICE 及其应用,共 10 章。

本书可作为应用型本科和高等职业院校非电类专业师生的教材或参考书,也可供有关技术人员自学或参考。

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

电工基础教程/王其红主编. —北京:电子工业出版社,2007.3

(21 世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材)

ISBN 978-7-121-03401-5

I. 电... II. 王... III. 电工学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 015319 号

责任编辑:刘继红

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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:428.8 千字

印 次:2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:24.00 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,联系电话:(010)68279077;邮购电话:(010)88254888。

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

服务热线:(010)88258888。

编委会名单

主任委员：过 军

副主任委员：张建生 堵 俊 范剑波 吴晓渊 郭正义
潘 毅 华容茂

委 员：(以姓氏笔画为序)

万国庆 王其红 冯泽民 史建平 左全生
何一鸣 余辉晴 吴志祥 吴建国 吴 晓
吴雪芬 张立臣 杨 奕 羌予践 肖闽进
陆国平 陈丽兰 荣大龙 徐 维 蒋渭忠
鲍吉龙

序 言

随着世界经济一体化的进程,我国已成为世界最大的加工基地和制造基地,尤其是长江三角洲地区更为突出,已有近百家名列世界五百强的企业落户该地区,带动了该地区经济突飞猛进的发展,同时也为就业创造了广阔的前景。企事业单位对应用型本科人才的需求多了,但要求也提高了。这就对工程教育的发展提出了新的挑战,同时也提供了新的发展机遇。

在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养应用型本科人才为宗旨的高等院校,同时举办了多次“应用型本科人才培养模式研讨会”,对应用型本科教育的办学思想和发展定位进行初步探讨。并于2002年在全国高等院校教学研究中心立项,成立了21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践课题组,有十几所应用型本科院校参加了课题组的研究,取得了多项研究成果,并于2004年结题验收。我们就是在这种形势下,组织了多所应用型本科院校编写本系列教材,以适应国家对工程教育的新要求,满足培养素质高、能力强的应用型本科人才的需要。

工程强调知识的应用和综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和合理应用。这就要求我们对应用型本科人才的培养需实施与之相配套的培养方案和培养模式,采用具有自身特点的教材。同时,避免重理论、轻实践、工程教育“学术化”的倾向;避免在工程实践能力的培养中,轻视学生个性及创新精神的培养;避免工程教育在实践中与社会经济、产业的发展脱节。为使我国应用型人才适应社会发展的新形势,我们必须开拓进取、努力改革。

组织编写本系列教材,有利于应用型人才所需要的、富有特色的本科教材的建设。本系列教材的编写原则如下。

1. 确保基础

在内容安排上,本系列教材确保学生掌握基本的理论基础,满足本科教学的基本要求。

2. 富有特色

围绕培养目标,以工程应用为背景,通过理论与实践相结合,构建应用型本科教育系列教材特色。在融会贯通本科教学内容的基础上,挑选最基本的内容、方法和典型应用,将有关技术进步的新成果、新应用纳入教学内容,妥善处理传统内容的继承与现代内容的引进;在保持本科教学基本体系的前提下,处理好与交叉学科的关系,并按新的教学系统重新组织;在注重理论与实践相结合的基础上,注入工程概念,包括质量、环境等诸多因素对工程的影响,突出特色、强化应用。

3. 精选编者,保证质量

参编院校根据编委会要求推荐了一批具有丰富工程实践经验和教学经验的教师参加编写工作。本系列教材的许多内容都是在优秀教案、讲义的基础上编写的,并由主编全文统稿,以确保教材质量。

本系列教材的编写得到了电子工业出版社的大力支持。他们为编好这套教材做了大量认真细致的工作,为教材的出版提供了许多有利条件,在此深表感谢!

编 委 会

前 言

本书是在面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究的基础上,根据教育部颁发的“高等学校工科电工技术课程教学基本要求”编写的。

本书可作为应用型本科和高等职业院校非电类专业师生的教材或参考书,也可供有关技术人员自学或参考。该课程总学时为 80 学时左右。

本书内容深入浅出,重点突出,概念清楚,立足应用,保证基础,而且各章配有适量的例题及习题,方便学生自学及课后复习巩固。

本书由常州信息职业技术学院王其红主编和统稿,由常州工学院陈德伟和常熟理工学院易风任副主编。其中王其红编写第 1、2、3 章,易风编写第 4、6 章,刘龙飞编写第 5 章,陈德伟编写第 7、8、9、10 章。

本书由常州工学院华容茂教授担任主审。在本书的编写过程中,作者借鉴了有关参考资料。在此,对主审、参考资料的作者及帮助本书出版的电子工业出版社一并表示衷心感谢。

由于时间仓促及作者水平所限,经验不足,书中有些内容难免不够完善,难免有疏漏和不妥之处。希望使用本书的教师和同学及广大的读者积极提出宝贵意见,以便今后不断改进。

编 著 者

目 录

第 1 章 电路的基本概念、定律和分析方法	1
1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的组成及功能	1
1.1.2 电路的基本物理量	2
1.1.3 电路的工作状态	8
1.2 电路的基本定律	11
1.2.1 欧姆定律	11
1.2.2 基尔霍夫定律	11
1.3 电路的等效变换	14
1.3.1 电阻的串、并联及等效变换	14
1.3.2 电压源、电流源及等效变换	19
1.4 电路的分析方法	24
1.4.1 支路电流法	24
1.4.2 结点电压法	26
1.4.3 叠加定理	28
1.4.4 等效电源定理	31
小结	35
习题	36
第 2 章 正弦交流电路	41
2.1 正弦交流电的基本概念	41
2.1.1 正弦量的三要素	41
2.1.2 同频率正弦量的相位差	43
2.1.3 正弦量的有效值	45
2.2 正弦量的表示方法	46
2.2.1 复数的概念及其运算	46
2.2.2 正弦量的相量表示	49
2.2.3 相量形式的基尔霍夫定律	51
2.3 单一参数的交流电路	51
2.3.1 电阻电路	52
2.3.2 电感电路	54
2.3.3 电容电路	57
2.4 RLC 串联交流电路	60
2.4.1 广义欧姆定律和复阻抗	60
2.4.2 各电物理量之间的关系	60
2.5 RLC 并联交流电路	65

2.5.1	RLC 并联交流电路的相量分析	65
2.5.2	复导纳	66
2.5.3	功率因数的提高	67
2.6	电路的谐振	69
2.6.1	串联谐振	70
2.6.2	并联谐振	73
2.7	复杂正弦电路的相量分析	75
2.7.1	复阻抗的串联	75
2.7.2	复阻抗的并联	77
2.7.3	复阻抗的混联	77
小结		80
习题		81
第 3 章	三相交流电路及安全用电知识	85
3.1	三相交流电路	85
3.1.1	三相交流电源	85
3.1.2	负载星形连接的三相电路	88
3.1.3	负载三角形连接的三相电路	94
3.1.4	三相电路的功率	96
3.2	安全用电知识	98
3.2.1	触电方式及电流对人体的危害	98
3.2.2	接地与接零	99
小结		100
习题		101
第 4 章	直流激励下电路的暂态分析	103
4.1	换路定则和储能元件初始值的确定	103
4.1.1	换路定则	103
4.1.2	储能元件初始值的确定	104
4.2	RC 电路的暂态分析	105
4.2.1	RC 电路的零输入响应	105
4.2.2	RC 电路的零状态响应	107
4.2.3	RC 电路的全响应	108
4.3	RL 电路的暂态分析	110
4.3.1	RL 电路的零输入响应	110
4.3.2	RL 电路的零状态响应	111
4.3.3	RL 电路的断开	112
4.4	一阶电路暂态分析的三要素法	113
小结		115
习题		116
第 5 章	交流铁心线圈与变压器	118
5.1	磁路的基本概念	118
5.1.1	磁路的基本物理量	118
5.1.2	磁路的欧姆定律	119

5.1.3 铁磁物质的磁化曲线	121
5.2 交流铁心线圈	122
5.3 变压器的基本结构	124
5.4 变压器的工作原理	126
5.4.1 变压器空载运行及电压变换	127
5.4.2 变压器负载运行及电流变换	128
5.4.3 变压器的阻抗变换	131
5.4.4 变压器绕组的极性	132
5.5 变压器的运行特性	133
5.5.1 变压器的外特性	133
5.5.2 变压器的损耗与效率	134
5.6 三相变压器与特殊变压器	135
小结	138
习题	139
第6章 电动机	142
6.1 三相异步电动机的结构	142
6.1.1 定子	142
6.1.2 转子	143
6.2 三相异步电动机的工作原理	144
6.2.1 三相异步电动机的旋转磁场	144
6.2.2 三相异步电动机的转动原理	146
6.3 三相异步电动机的电路分析	147
6.3.1 定子电路	147
6.3.2 转子电路	147
6.4 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	148
6.4.1 电磁转矩	148
6.4.2 机械特性	149
6.5 三相异步电动机的使用	151
6.5.1 铭牌	151
6.5.2 三相异步电动机的启动	152
6.5.3 三相异步电动机的反转	154
6.5.4 三相异步电动机的制动	154
6.5.5 三相异步电动机的调速	155
6.6 三相异步电动机的选择	156
6.6.1 类型的选择	156
6.6.2 结构形式的选择	157
6.6.3 转速的选择	157
6.6.4 容量的选择	157
6.7 单相异步电动机	158
6.7.1 结构特点和基本原理	158
6.7.2 电容分相式异步电动机	158
6.7.3 罩极式单相异步电动机	159
小结	159

习题	160
第 7 章 直流电机	162
7.1 直流电机的构造和工作原理	162
7.1.1 直流电机的构造	162
7.1.2 直流电机的工作原理	164
7.2 直流电机的电动势和电磁转矩	165
7.2.1 电动势	165
7.2.2 电磁转矩	166
7.3 直流电机的励磁方式	168
7.3.1 他励电机	169
7.3.2 并励电机	170
7.3.3 串励电机	172
7.3.4 复励电机	172
小结	173
习题	174
第 8 章 电器控制电路	175
8.1 常用控制电器	175
8.1.1 开关和熔断器	175
8.1.2 主令电器	177
8.1.3 交流接触器	178
8.1.4 控制继电器	182
8.2 继电器接触控制基本电路	185
8.2.1 三相异步电动机直接启停的控制电路	185
8.2.2 三相异步电动机正/反转的控制电路	186
8.2.3 点动控制电路	187
8.2.4 次序控制电路	188
8.3 电力拖动的基本控制方法	188
8.3.1 行程控制	188
8.3.2 时间控制	189
8.3.3 速度控制	190
8.4 控制电路应用举例	191
8.4.1 车床控制电路	191
8.4.2 船舶交流起锚机电器控制电路	193
小结	195
习题	195
第 9 章 可编程控制器	198
9.1 PLC 的结构和内部器件	199
9.1.1 PLC 的结构	199
9.1.2 PLC 的内部器件	199
9.1.3 PLC 的工作方式	202
9.2 PLC 的程序编制	205
9.2.1 PLC 的编程语言	206

9.2.2 PLC 的常用基本指令	208
9.2.3 PLC 的指令系统	211
9.3 PLC 的应用程序编程原则和方法	218
9.4 PLC 的应用实例	220
小结	223
习题	223
第 10 章 电路模拟软件 PSPICE7.1 及其应用	224
10.1 PSPICE7.1 软件简介	224
10.1.1 PSPICE7.1 的组成	224
10.1.2 PSPICE7.1 的功能	226
10.1.3 PSPICE7.1 Schematics 的使用	227
10.2 用 PSPICE7.1 软件分析电路	232
10.2.1 直流电路的分析	232
10.2.2 交流电路的分析	237
10.2.3 一阶暂态电路的分析	241
小结	246
习题	246
部分习题答案	249
参考文献	254

第1章 电路的基本概念、定律和分析方法

本章内容的介绍是在物理学和电学部分的有关内容的基础上进行的。从工程技术的观点考虑,首先讨论电路的基本概念,明确电路中的几个基本物理量,即电压、电流、电动势及其正方向的意义,提出了电路的几种工作状态和额定值,并介绍了电源的电路模型及其等效等基本概念。然后针对电工、电子技术课程的要求,重点讨论电路的基本定理、基本定律和基本分析方法。

虽然本章讨论的是直流电路,但这些基本规律和分析方法只要稍加扩展,对交流电路也是适用的。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及功能

电路(网络)是由若干电工设备或电器元件组成的电流通路,为电流所通过的闭合路径。在现代生活和生产实际的各个领域,人们常接触到许多形式和功能各异的具体电路。例如,手电筒电路、电视机电路、收音机电路和各种自动控制电路。

图 1-1 为手电筒电路,由干电池、灯泡和电线、开关等组成。

任何一个实际电路,无论其复杂程度如何,都无一例外地包含电源、负载和中间环节这三个组成部分。

电源是电路中能量的来源,是把非电能转换成电能的供电设备,如发电机把机械能转换成电能,电池把化学能转换成电能等。

负载是电路中接受电能、吸收电能并把电能转换成热能、光能、机械能等非电能或信号(电压、电流)的元件或设备,如电动机、电炉、电灯等。在直流电路中,负载主要是电阻性的,其本质是当电流流过时呈现一定的阻力,即有一定大小的电阻,并将电能转换成热能。

中间环节主要包括连接导线和一些控制电器。它们连接于电源和负载之间,在电能的传送过程中起沟通、调整、分配和保护电路的作用。

电路的功能包括以下两个方面。

(1) 实现能量的输送和转换

常见的各种照明和动力电路就是用来输送和转换能量的。例如,手电筒电路中,电池把化学能转换成电能供给小灯泡,小灯泡再把电能转换为光能作照明之用。这一类电路要求能量损耗小、效率高。

(2) 实现信号的传递和处理

在电子技术和非电量测量中,电路的主要目的是实现信号的传递和处理。如在电视机和收音机电路里,把接收到的无线电信号转换成声音信号和图像信号。这一类电路虽然也有能

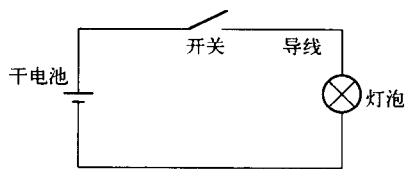


图 1-1 手电筒电路

量的输送和转换,但一般所关注的是如何准确、迅速地传递和处理信号。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电路模型

为了研究电路的基本规律,掌握电路元件的最本质的物理特性,就必须对电源、负载和中间环节中的各种实际电路元件,进行科学概括与抽象,也就是说要用一些模型(理想电路元件)来代表实际电路元件的外部功能,并将这些模型元件按照一定的规则进行组合,使它在主要电磁性能上与实际电路元件或装置相同。需要指出的是,模型元件仅是实际电路元件的近似模拟,并不是实际电路元件本身,而电路理论要研究的正是这些经过抽象化或理想化的电路模型。

模型元件一般可分为两类。第一类是具有实际的电路元件与其对应,它是实际电路元件的理想化,如只表示消耗电能的理想电阻元件 R (如白炽灯、电阻炉等);只表示存储磁场能量的理想电感元件 L ;只表示存储电场能量的理想电容元件 C ;另外,还有理想电压源和理想电流源等。第二类是没有与其对应的实际电路元件,但将其组合后,却能反映一些比较复杂电路元件的主要特性及其外部功能,如分析电子线路的受控源元件。

模型元件在电路中用相应的符号来表示。电阻、电感、电容这些读者已熟悉。干电池的符号如图 1-2(a)所示,理想电压源的符号如图 1-2(b)所示,理想电流源的符号如图 1-2(c)所示。



图 1-2 电源模型的符号

实际上,图 1-1 中的手电筒电路就是用电路模型代替实际电路绘制的。

2. 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压、电位、电动势等。下面分别予以介绍。

(1) 电流

① 电流的大小

电流的大小用电流强度来表示。电流强度简称电流,它是指单位时间流过导线横截面的电荷量,表示为

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

假如电流为恒定不变的,即式(1-1)的比值为常数,就称为直流电,式(1-1)就改写为

$$I = \frac{q}{t}$$

② 电流的单位

在我国法定计量单位中电流的单位是安培(A),简称安。较小的电流可采用毫安(mA)和微安(μA)等作单位。它们之间的关系为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ mA} = 10^{-6} \text{ A}$$

③ 电流的方向

电荷的定向运动形成电流。习惯上规定正电荷运动的方向作为电流的实际方向。电流的方向是客观存在的,但在分析比较复杂的电路时,往往难以判断某支路电流的实际方向,而且有时电流的方向还随时间交变(如正弦交流电),更难于表示出实际方向。为了解决这一困难,我们引入正方向(参考方向)的概念。即在分析电路前,完全不考虑实际方向,而假设一个电流方向,这个假定的电流方向称为电流的正方向,或称参考方向。

正方向可以任意选定,在电路中用箭头或用双下标的变量表示,如图 1-3 所示。图 1-3 (a)中,电流的正方向可写为 I_{ab} ,表示电流从 a 点流向 b 点,显然 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。



图 1-3 用箭头表示电流的正方向

我们规定:如果电流的正方向与实际方向相同,则电流为正值;如果电流的正方向与实际方向相反,则电流为负值。这样就可利用电流的正负值并结合正方向来确定电流的实际方向。在图 1-4 中,电流的正方向为 a 指向 b 且为负值,即 $I_{ab} < 0$,则说明电流的正方向与实际方向相反,那么实际电流的流向为从 b 流向 a。

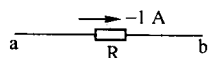


图 1-4 电流实际方向的确定

在这里,对有关电流的正方向进行总结。

- ☆ 在分析电路前,尽可能假设一个正方向。
- ☆ 正方向可以任意选择,但正方向一经选定,电流就成为一个代数量,即有正、负之分。
- ☆ 在未标定正方向的情况下,电流的正负值是毫无意义的。
- ☆ 今后电路中所标注的电流方向都是正方向,不一定是电流的实际方向。

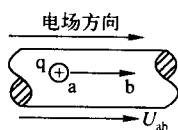


图 1-5 电压的概念示意图

(2) 电压与电位

① 电压

在图 1-5 中,设正电荷 q 从 a 点移到 b 点时,电场力所做的功为 W ,则 a、b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

可见,电压从能量方面表示了电场力做功的能力,它总是和电路中的某两点相联系,即 a、b 两点间的电压,在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。在我国法定计量单位中,电荷量的单位是库仑(C),功的单位是焦耳(J),电压的单位是伏特(V),简称伏,还可用微伏(μV)、毫伏(mV)和千伏(kV)。它们之间的关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

② 电位

在分析和计算电路时,特别是电子电路时,常常将电路中某一点选作参考点,并规定其电位为零。电路中其他任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。它是表示电场或电路中某点性质的物理量。对电位这个概念而言,参考点是很重要的,因为参考点不同,电路中同一点的电位就不一样。原则上,参考点可以任意选择。但在一个电路中,参考点只能选择一个。参考点的选用通常有两种方式:在电力工程上,常选大地作参考点,用符号“ $\perp$ ”表示;在电子电路中,常把若干导线的连接点或机壳选作电位的参考点,用符号“ $\perp$ ”表示。人们规定参考点的电位为零,从这个意义上参考点又称零电位点。

电路中任何一点的电位值是与参考点相比较而得出的,比其高者为正,比其低者则为负。电位与电压的单位相同,也是伏特(V)。

在电子电路中,习惯上电源符号常常省去不画,而在电源非接地端注明其电位的数值和极性,将电路简化。

电位与电压在表达形式上虽有区别,但从本质上来讲是相同的。电路中两点间的电压就是这两点的电位差值,而电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。电位从形式上是指一点,实质上仍然是两点,不过另一点是参考点而已。如图 1-6 中,选取电源的负极(C点)作为参考点,那么 A、B 两点的电位对 C 点而言,分别为 U_A 和 U_B ,而且 A 点的电位 U_A 还高于 U_B ,A、B 两点的电压 U_{AB} 就是 U_A 与 U_B 之差,即 $U_{AB} = U_A - U_B$ 。所以电压又叫电位差。电位是一个相对量,它与参考点的选取有关,而电压是一个绝对量,电路中任意两点间的电压是唯一确定的数值;它与参考点的选取无关。

③ 电压的正方向

电压与电流一样,也同样存在一个方向问题。电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端,即为电位降的方向。在分析和计算某一段电路时,电压的实际方向有时很难确定,因此同样可以任意选定该段电路电压的正方向。如图 1-7 所示的电路中,若选 A 点为高电位点,标以“+”号,则 B 点相对 A 点为低电位点,标以“-”号,也就是说,这段电路电压的正方向是从 A 点指向 B 点。当电压的正方向与实际方向一致时,为正值;反之为负值。因此,当电压的正方向选定后,电压就成为代数量。

电压的正方向有三种表示方法,如图 1-8 所示。图 1-8(a)用“+”、“-”标号分别表示假定的高电位端和低电位端;图 1-8(b)则用箭头的指向表示,箭头由高电位端指向低电位端;图 1-8(c)用双下标来表示,电压的正方向即从下角标的第一个字母指向第二个字母,如 U_{AB} ,即 A 点表示高电位点,B 点表示低电位点。

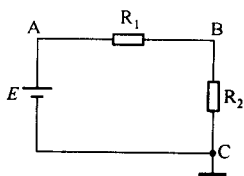


图 1-6 电位与电压的比较

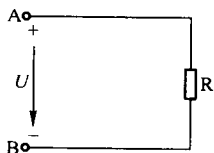


图 1-7 电压的正方向

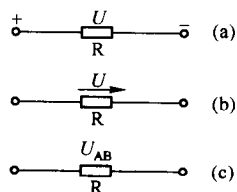


图 1-8 电压正方向的表示方法

以上三种表示方式其意义是相同的,可以互相代用。

④ 电动势

图 1-9 中,从电源的外电路看,正电荷的移动是在电场力的作用下,从电源的高电位端 A (正极)经过负载 R ,移向电源的低电位端 B (负极),即按照电位降低的方向移动,这是电场力推动电荷做功的结果。为了保持正电荷连续不断地作定向移动,使电路中的电流维持恒定,就必须依靠其他非电场力(如化学力、机械力)把正电荷从电源的低电位端 B (负极),经过电源内部,移到电源的高电位端 A (正极),这是非电场力做功,以使得电源两端的电压保持定值。电动势这个物理量就是用来衡量电源内部非电场力对正电荷做功的能力的。在非电场力作用下,电源将其他形式的能量转换为电能,所以电动势是表示电源性质的物理量。

在数值上,电动势等于非电场力把单位正电荷从负极经电源内部移动到电源正极所做的功。据此,电动势的单位也是伏特(V)。

电动势的实际方向规定为电源力推动正电荷运动的方向,即电位升高的方向,所以电动势与电压的实际方向相反,如图 1-10 所示。直流电源的正、负极分别用“+”、“-”表示。

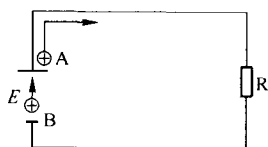


图 1-9 电动势的作用

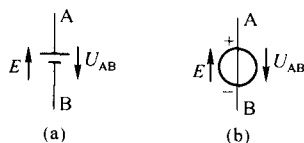


图 1-10 电动势的实际方向

若电路中各物理量(电流、电压、电动势)在任何时间都不随时间变化,定义为直流电(DC),用大写字母 I 、 U 、 E 表示。

若电路中各物理量(电流、电压、电动势)随时间按周期变化,定义为交流电,若按正弦规律变化,定义为正弦交流电(AC),用小写字母 i 、 u 、 e 表示。

⑤ 关联正方向

电压、电流的正方向在标定时都具有任意性,从两者之间的关系来说,应该是彼此独立的,没有其他限制。但为了处理问题方便,在同一段电路中,尽可能使电流的正方向与电压的正方向取为一致,称为关联正方向。如图 1-11 所示,图中电流的正方向与电压从“+”极到“-”极的方向一致,即电流与电压降正方向一致。如若电流与电压正方向不一致,则称非关联正方向,如图 1-12 所示。

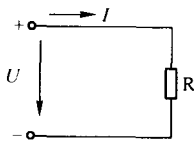


图 1-11 关联正方向

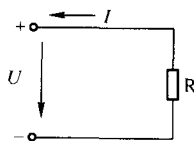


图 1-12 非关联正方向

关联正方向是一个很重要的概念,因为在电路分析中许多公式都是在关联正方向下得到的。下面结合读者熟悉的欧姆定律进行说明。

在关联正方向条件下,欧姆定律的表示式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-3)$$

若选择电压、电流的参考方向不一致,即非关联正方向时,欧姆定律的表示式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -IR$$

负号表示当电压的正方向与实际方向一致时,图 1-12 所示的电流的正方向与电流的实际方向相反。

欧姆定律只适用于线性电阻电路,一般不适用于非线性电阻电路,因为非线性电阻元件的阻值是随电压、电流变化的。

从上面讨论可知,欧姆定律的每一种表达形式是对应于一定的正方向的,有关电路的其他定律的表达式也是如此。因此,对于每一个公式,除了正确理解它的意义和使用条件外,还必须记住关联正方向的要求,绝不能生搬硬套。

【例 1-1】 求图 1-13 中所示电路的电流 I 。

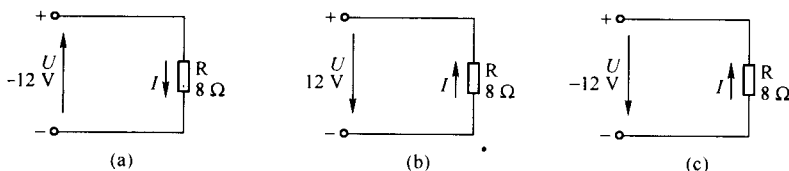


图 1-13 例 1-1 图

解:在图 1-13(a)中, U 、 I 为非关联正方向

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{-12}{8} = 1.5 \text{ A}$$

注意,公式中的正、负号与电物理量本身的正、负号不要相混淆。

在图 1-13(b)中, U 、 I 为非关联正方向

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{12}{8} = -1.5 \text{ A}$$

在图 1-13(c)中, U 、 I 为关联正方向

$$I = \frac{U}{R} = \frac{-12}{8} = -1.5 \text{ A}$$

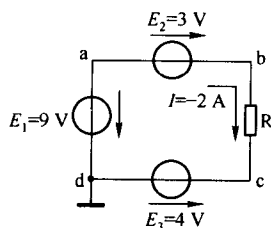


图 1-14 例 1-2 图

【例 1-2】 求图 1-14 中所示电路中 a、b、c 点的电位及电阻 R 的值。

解:根据图示电路,设 d 为参考点

$U_a = -9 \text{ V}$, 即 a 点电位比 d 点低 9 V;

$U_b = U_a + E_2 = -9 + 3 = -6 \text{ V}$, 即 b 点电位比 d 点低 6 V;

$U_c = E_3 = 4 \text{ V}$, 即 c 点电位比 d 点高 4 V;

$U_{bc} = U_b - U_c = -6 - 4 = -10 \text{ V}$

$$R = \frac{U_{bc}}{I} = \frac{-10}{-2} = 5 \Omega$$

【例 1-3】 分别计算图 1-15(a) 电路中开关 S 打开时和闭合时, b 点和 c 点的电位。