

高等职业技术教育电工电子类专业“十三五”规划教材

电路分析

项目化教程

主编 侯艳红 马艳阳



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专教育改革成果教材

电路分析项目化教程

主编 侯艳红 马艳阳

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以“教、学、做、练”一体的形式展开内容。全书共包括4个学习情境,每个学习情境下对应若干个任务。其中,学习情境1“直流电路分析与测试”包含电路分析基础知识、电路分析方法介绍及应用、电路分析中的常用定理及应用三个任务;学习情境2“交流电路分析与测试”包含单相交流电路的分析与测试、三相交流电路的分析与测试两个任务;学习情境3“互感电路分析与测试”包含互感电路分析、变压器两个任务;学习情境4“动态电路分析与测试”包含一阶动态电路的分析与测试、二阶动态电路的分析与测试(选学)两个任务。

本书可作为高职高专(大专层次)电类专业学生的教材,对相关专业的工程技术人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析项目化教程/侯艳红,马艳阳主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2015. 12

高等高专教育改革成果教材

ISBN 978-7-5606-3891-1

I. ① 电… II. ① 侯… ② 马… III. ① 电路分析—高等职业教育—教材 IV. ① TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 276731 号

策划编辑 胡华霖

责任编辑 许青青 唐小玉

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13.5

字 数 315千字

印 数 1~3000册

定 价 23.00元

ISBN 978-7-5606-3891-1/TM

XDUP 4183001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,高等职业教育的教学模式、教学方法在不断改革,高职教材也必须与之相适应,进行重新调整和定位,突出自身的职业教育特色。本教材正是在高职高专教学改革的基础上编写的集“教、学、做、练”为一体的项目化高职高专电类专业电路课程通用教材。

作者在编写本教材时,充分研究了高职学生的学习特点、知识认知规律,社会对应用型人才的要求和该课程的知识体系结构等内容,本着理论知识与实践技能并重、注重职业素质培养的原则,认真组织教材内容,努力使该教材符合项目化教学的实际需要,以满足应用型人才培养要求。

本教材具有以下特点:

(1) 以直流、交流、互感电路、动态电路4个情境展开教学,将电路分析的所有知识融入其中,每个情境又分为若干个任务。任务中,理论分析难易度适中,注重应用,实践、仿真指导环节紧扣理论,形成了理实一体、相互融合、相互印证的风格。

(2) 大多数任务后有任务总结及练习与提高,以便于学生复习总结。

(3) 选编了较多的例题和习题,以利于教学过程中灵活选用。

(4) 注意了该课程与相关基础课的衔接,如高等数学中微分方程的讲授一般比较靠后,因此本教材把动态电路的分析放在了最后一个情境。

(5) 编写时注意了电类专业趋向于强弱电不分的特点,使该教材既适用于强电专业,又适用于弱电专业。

本教材由陕西国防工业职业技术学院侯艳红、马艳阳两位同志主编,其中学习情境1由马艳阳同志编写,学习情境2、学习情境3、附录I由侯艳红同志编写,学习情境4由张玲娜同志编写,附录II由王月爱同志编写,全书由侯艳红、马艳阳统稿。在编写过程中,作者也参考了许多专家学者的著作、习题等资料。在此,对这些文献、资料的作者表示衷心的感谢,并对所有帮助和支持本书出版的同事、领导表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,不足之处在所难免,欢迎各位同仁和读者提出宝贵意见与建议,以便再版时修改。

作 者

2015年8月

目 录

学习情境 1 直流电路分析与测试	1
任务 1.1 电路分析基础知识	1
知识储备	1
1.1.1 电路和电路模型	1
1.1.2 电路中的基本物理量	3
1.1.3 电路元件及欧姆定律	8
1.1.4 基尔霍夫定律	11
1.1.5 电路的等效变换	15
1.1.6 受控源	19
1.1.7 电器设备的额定值	21
实践操作	23
1.1.8 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	23
1.1.9 电压源与电流源的等效变换	25
1.1.10 基尔霍夫定律的验证	27
任务仿真	29
1.1.11 Multisim 软件的安装与使用	29
1.1.12 欧姆定律的仿真验证	36
1.1.13 基尔霍夫电压定律的仿真验证	38
任务总结	39
练习与提高	40
任务 1.2 电路分析方法介绍及应用	44
知识储备	44
1.2.1 支路电流法	44
1.2.2 回路电流法	46
1.2.3 节点电位法	50
任务仿真	55
1.2.4 支路电流法的仿真验证	55
1.2.5 网孔电流法的仿真验证	56
任务总结	57
练习与提高	57
任务 1.3 电路分析中的常用定理及应用	59
知识储备	59
1.3.1 叠加定理和齐次性定理	59

1.3.2 置换定理	63
1.3.3 戴维南定理与诺顿定理	66
1.3.4 最大功率传输定理及其应用	69
实践操作	71
1.3.5 叠加定理的验证	71
1.3.6 戴维南定理和诺顿定理的验证	73
任务仿真	76
1.3.7 叠加定理的仿真验证	76
1.3.8 戴维南定理的仿真验证	77
任务总结	78
练习与提高	79
 学习情境 2 交流电路分析与测试	 83
任务 2.1 单相交流电路的分析与测试	83
知识储备	84
2.1.1 正弦交流电的基本概念	84
2.1.2 正弦交流电的相量表示	87
2.1.3 单一参数交流电路的分析	88
2.1.4 交流电路中的谐振	94
2.1.5 感性负载提高功率因数的方法	98
实践操作	100
2.1.6 日光灯功率因数的提高	100
2.1.7 RLC 串联谐振电路的研究	102
任务仿真	104
2.1.8 感抗、容抗的仿真验证	104
2.1.9 RLC 串联电路的仿真验证	106
2.1.10 交流电路中基尔霍夫电压定律的仿真验证	109
2.1.11 交流电路中基尔霍夫电流定律的仿真验证	110
2.1.12 交流电路的功率及功率因数的仿真验证	111
任务总结	115
练习与提高	117
任务 2.2 三相交流电路的分析与测试	119
知识储备	119
2.2.1 三相电源	119
2.2.2 三相负载的连接	121
2.2.3 三相电路的功率	123
实践操作	125
2.2.4 三相交流电路的连接与测试	125
任务仿真	127

2.2.5	三相交流电路的仿真实验验证	127
2.2.6	三相交流电路功率测量仿真实验验证	130
任务总结	.....	134
练习与提高	.....	135
学习情境 3 互感电路分析与测试	.....	137
任务 3.1 互感电路分析	.....	137
知识储备	.....	137
3.1.1 互感电路的基本概念	.....	137
3.1.2 同名端及其判定	.....	139
3.1.3 具有互感的电路的计算	.....	143
实践操作	.....	146
3.1.4 互感电路的观测	.....	146
任务总结	.....	148
练习与提高	.....	149
任务 3.2 变压器	.....	150
知识储备	.....	150
3.2.1 变压器的基本结构	.....	150
3.2.2 单相变压器的工作原理	.....	151
3.2.3 实际变压器	.....	155
实践操作	.....	158
3.2.4 单相铁芯变压器特性的测试	.....	158
任务总结	.....	160
练习与提高	.....	160
学习情境 4 动态电路分析与测试	.....	162
任务 4.1 一阶动态电路的分析与测试	.....	162
知识储备	.....	162
4.1.1 动态元件及其串并联等效	.....	162
4.1.2 动态电路的方程与换路定律	.....	167
4.1.3 一阶电路的零输入响应	.....	171
4.1.4 一阶电路的零状态响应	.....	175
4.1.5 一阶电路的完全响应	.....	178
实践操作	.....	182
4.1.6 RC 一阶电路的响应测试	.....	182
任务仿真	.....	184
任务总结	.....	186
任务 4.2 二阶动态电路的分析与测试(选学)	.....	187
知识储备	.....	187

4.2.1 RLC 串联电路微分方程的建立 187

4.2.2 二阶动态电路的零输入响应 188

任务仿真 192

任务总结 193

练习与提高 194

附录 I 安全节约用电常识 197

附录 II 电路名词英文术语表 203

参考文献 207

学习情境 1 直流电路分析与测试

知识目标

- (1) 了解电路的组成,掌握电路中的基本物理量及其相互关系;
- (2) 能够熟练运用欧姆定律及电阻串并联特征分析简单电路;
- (3) 了解电路等效的概念,掌握实际电压源与实际电流源的相互等效;
- (4) 掌握支路电流法分析电路的原理,能熟练运用支路电流法分析直流电路;
- (5) 掌握网孔电流法分析电路的原理,能熟练运用网孔电流法分析直流电路;
- (6) 掌握节点电位法分析电路的原理,能熟练运用节点电位法分析直流电路;
- (7) 掌握叠加定理的内容,能熟练运用叠加定理分析解决线性电路问题;
- (8) 掌握戴维南定理的内容,能熟练运用戴维南定理分析解决直流电路相关问题;
- (9) 能对给定的电路进行电压、电流及功率等参数的计算。

技能目标

- (1) 能够看懂直流电路图,进行正确连接;
- (2) 掌握简单电工仪器仪表的使用方法;
- (3) 能够对实际直流电路进行正确的操作、测量;
- (4) 了解元器件在电路中的作用,能正确选择元器件并完成电路的安装;
- (5) 了解 Multisim 10.1 仿真软件的用途,会利用 Multisim 10.1 仿真软件对直流电路进行仿真验证。

任务 1.1 电路分析基础知识

电路是电路分析的主要研究对象,任务 1.1 主要学习电路组成、电路模型、电路中的各种物理量及其关系、电路分析的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律、电源及其特性等;学会数字电压表、数字电流表、万用表等常用仪器的使用方法,并会对简单直流电路中的电压、电流进行测试;初步学习用 Multisim 软件对直流电路进行仿真验证。

知识储备

1.1.1 电路和电路模型

近代电气工程包括电力工程、通信工程和控制工程三大部分。各部分又包含许多分

支。例如,通信工程包括计算机通信、无线通信、电视通信等多个分支。电路分析基础是为进一步学习后续课程及具体工程技术而奠定理论与实践基础的一门重要基础课程。

1. 电路组成

电路(又称网络)是各种电路元件和设备按一定方式连接起来为人们生产、生活完成某种功能的整体,或通俗地说,电路是提供电流流通路径的“路”。在人们的日常生活和生产实践中,电路无处不在。从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线等,都体现了电路的存在。

最简单的电路实例是如图 1-1-1 所示的手电筒电路:用导线将电池、开关、白炽灯连接起来,为电流流通提供了路径。电路一般由三部分组成:一是提供电能的部分,称为电源;二是消耗或转换电能的部分,称为负载;三是负载和连接及控制作用的部分,如导线、开关等,称为中间环节。

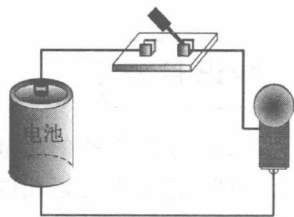


图 1-1-1 手电筒电路

电路按其功能可分为两大类:第一类是用于能量的产生、传输和分配的电路,其典型例子是电力系统的输电线路。在电力电路中,发电厂将各种不同形式的能量(热能、水的势能、原子能、光能等)转变成电能;负载将电能转变为其他形式的能(如机械能、光能、热能等);中间环节(如变压器、高低压输电线路)起控制、传输和分配电能以及保护电路中的电器设备的作用。第二类是信息的传递与处理电路。在这类电路中,起电源作用的叫信号源(又称激励);起负载作用的是各种终端设备(如计算机的打印机、收音机的扬声器、电话系统的电话机等)。在这类电路中,传递的是各种信息,而不特别强调传输系统中的能量大小,电路相对比较复杂。

2. 电路模型

一个实际的元件,在电路中工作时所表现的物理特性不是单一的。例如,一个实际的线绕电阻,当有电流通过时,除了对电流呈现阻碍作用之外,还在导线的周围产生磁场,因而兼有电感器的性质,同时还会在各匝线圈间产生电场,因而又兼有电容器的性质。所以,直接对由实际元件和设备构成的电路进行分析和研究,往往很困难,有时甚至不可能。

为了便于对电路进行分析和计算,我们常常把实际元件加以近似化、理想化,在一定条件下忽略其次要性质,用足以表征其主要特征的“模型”来表示,即用理想元件来表示。例如,在低频电路中,电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件所表现的主要特征是把电能转化为热能,因此我们可用“电阻元件”来作为这类实际电路元器件的理想化模型,以反映这类元件消耗电能的特征,称为理想电阻元件。同样,在一定条件下,“电感元件”是线圈的理想元件,“电容元件”是电容器的理想元件。

由理想电路元件构成的电路叫做实际电路的“电路模型”。用理想电路元件的特定符号来表示实际电路元件而连接成的图形叫做电路图。图 1-1-1 所示电路图的模型如图 1-1-2 所示。图 1-1-2 中, U_s 表示一个理想电压源,给电路提供电能; R 表示理想电阻元件,用来消耗电能; S 表示开关,用来控制电路的接通与断开;连接这三个元件的细实线表示理想导线,起

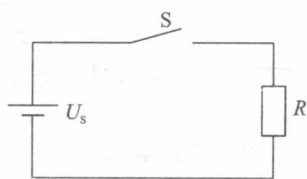


图 1-1-2 手电筒电路模型

传输电能的作用。

具有两个端钮的理想元件,称作二端电路元件。没有说明具体性质的二端电路元件用

方框符号表示,如图1-1-3(a)所示,它只表示抽象的一般二端电路元件,其具体性质可根据该元件上物理量的关系来确定。

图1-1-3(b)是理想电阻元件的一般符号,它在满足允许的工程误差的条件下可表示如白炽灯、电炉、电烙铁等有耗能的电路元件。

图1-1-3(c)是理想电压源的符号,其正负极标在圆圈的外面。

图1-1-3(d)表示电池,长线代表正极,短线代表负极。

图1-1-3(e)是理想电流源的符号,其箭头表示电流的方向。

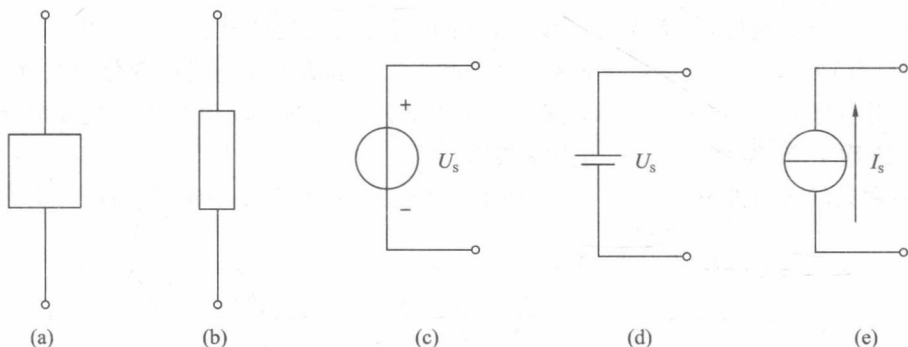


图1-1-3 各种二端电路元件

其它类型电路元件(如电容元件、电感元件、晶体管等)的电路模型符号将在相关的学习情境和课程中介绍。

这里说明一点,我们用图1-1-2所示的电路模型来描述的电路称为集总参数电路。这种电路模型中的各元件被认为没有几何尺寸的大小,就像在运动学中研究物体运动时,在一定条件下将某物体看作质点一样。后续学习中我们还要定义线性电路、非线性电路、时变电路、时不变电路等。

1.1.2 电路中的基本物理量

在电路问题中,分析和研究的物理量很多,但主要的是电流、电压和电功率,其中电流、电压是电路中的基本物理量。

1. 电流

电荷或带电质点有规则的定向运动,形成电流。在金属导体中有大量的带负电荷的自由电子,在常态下,这些自由电子在金属内部作无规则的热运动,不能形成电流。要使电荷或带电质点作定向运动,必须给导体两端加上电源,即施加电场力,在电场力的作用下自由电子逆电场力方向运动而形成电流,更确切地讲,这种电流称为传导电流。

表示电流强弱的物理量称为电流强度,用字母 i 或 $i(t)$ 表示,单位为安培(A)。计算大电流时用千安(kA)作单位,计算小电流时用毫安(mA)或微安(μA)作单位。电流仅仅是一种物理现象,在电路分析和工程实际中常把电流强度简称为电流。电流是电路中既有大小又有方向的基本物理量,其定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量。若在 Δt 时间内通过横截面的电荷量为 Δq ,则

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1-1)$$

在极限情况下,有

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-1-2)$$

式中: $q(t)$ 表示 q 的大小随时间变化; $dq(t)$ 表示 dt 时间内通过导体横截面的电荷量; $i(t)$ 表示电流强度的大小随时间变化。电荷的单位为库仑,时间的单位为秒,则

$$\text{安培(A)} = \frac{\text{库仑(C)}}{\text{秒(s)}} \quad (1-1-3)$$

即 1 秒钟通过导体横截面的电荷量为 1 库仑,则电流强度为 1 安培。

电流主要分为两类:一类为大小和方向均不随时间变化的电流,称为恒定电流,简称直流(简称为 DC),用大写字母 I 表示;另一类为大小和方向均随时间变化的电流,称为变化电流,用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示,其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交流电流,简称交流(简称为 AC),也用 i 表示。

几种常见的电流波形如图 1-1-4 所示,其中图(a)为直流,图(b)、(c)为交流。

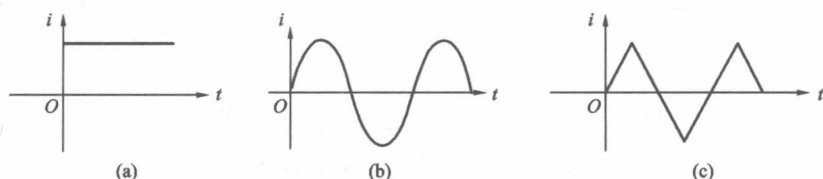


图 1-1-4 几种常见电流波形

电流的方向规定为正电荷运动的方向,这一方向称为电流的实际方向。在简单电路中,电流的真实方向是显而易见的,在电源上从电源的正极流出,从电源的负极流入。在一些复杂的电路中,真实方向不便看出,或电流的实际方向在不断地变化。为了便于分析问题,我们引入了“参考方向”的概念。

参考方向是假定一个方向作为电流方向。在分析电路前,必须先任意规定未知电流的参考方向,并用实线箭头标于电路图上,如图 1-1-5 所示,图中方框表示一般二端元件。特别注意:图中实线箭头和电流符号 i 缺一不可。若计算结果(或已知) $i > 0$,则电流的实际方向与电流的参考方向一致;若 $i < 0$,则电流的实际方向和电流的参考方向相反。这样,我们就可以在选定的参考方向下,根据电流的正负来确定出某一时刻电流的实际方向。



图 1-1-5 电流表示方法

2. 电压、电位、电动势

1) 电压

在电源的外部电路中,要使电荷运动形成电流,电荷上必须有电场力的作用,这时我们称电场力对电荷做功了,通常用电压来衡量电场力做功的这种本领。

A、B 两点的电压用 $u(t)$ 或 u_{AB} 表示,在数值上等于单位正电荷在电场力的作用下,由 A 点经外电路移动到 B 点电场力所做的功。若电场力移动电荷为 $dq(t)$,所做的功为 $dW(t)$,则 A、B 两点的电压 $u(t)$ 为

$$u(t) = \frac{dW(t)}{dq(t)} \quad (1-1-4)$$

在国际单位制(SI)中,电压的单位为伏特,简称伏(V),其与功和电荷量的单位的关系为

$$1 \text{ 伏特(V)} = \frac{1 \text{ 焦耳(J)}}{1 \text{ 库仑(C)}} \quad (1-1-5)$$

式(1-1-5)的含义是1库仑的正电荷在电场力的作用下从A运动到B做了1焦耳的功,则A、B间的电压为1伏特。

在理论计算和工程实际中,较大的电压用千伏(kV)作单位,较小的电压用毫伏(mV)或微伏(μV)作单位。

如果两点间的电压大小随时间发生周期性变化,则为交流电压,用小写字母 $u(t)$ 表示。如果两点间的电压大小不随时间变化,则为直流电压,用大写字母 U 表示,这种不变的电压也称恒定电压。

对外电路,电压的实际方向规定为正电荷的运动方向。在分析电路时,也必须对未知电压任意规定其“参考方向”,电压参考方向的标注方法如图1-1-6所示。其中,图(a)所示的标注方法中,参考方向是由A点指向B点;图(b)所示的标注方法,即参考极性标注法中,“+”号表示参考高电位端(正极),“-”号表示参考低电位端(负极)。在标注参考方向时,常用图1-1-6(b)所示的标注方法。

选定参考方向后,才能对电路进行分析计算。当 $u > 0$ 时,该电压的实际方向与所标的参考方向相同;当 $u < 0$ 时,该电压的实际方向与所标的参考方向相反。

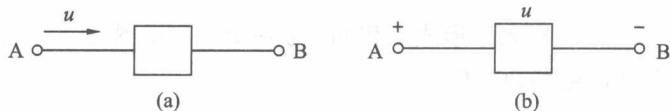


图1-1-6 电压表示方法

2) 电位

在电路中任选一点为电位参考点(即零电位点),则某点到参考点的电压就称为这一点(相对于参考点)的电位。A点的电位记作 V_A ,当选择O点为参考点时,则

$$V_A = U_{AO} \quad (1-1-6)$$

在电路分析中用小写字母 v 或 $v(t)$ 表示变化的电位,用大写字母 V 表示恒定电位,电位的单位为伏特。

电位是针对电路中某一点而言的,电位的大小与参考点的选取有关系。对于同一电路中的同一点而言,参考点发生变化,该点的电位也可能发生变化。电压是针对电路中某两点而言的,与参考点的选取无关。电压与电位的关系为

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-1-7)$$

即A、B两点间的电压等于这两点电位之差。电压又称电位差,引入电位的概念之后,电压的实际方向就是由高电位点指向低电位点的方向。

例1-1-1 图1-1-7所示电路中方框泛指电路中的一般元件,试分别指出图中各电压的实际极性。

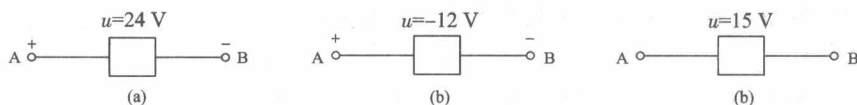


图1-1-7 例1-1-1图

解 各电压的实际极性为

(1) 图(a), A 点为高电位, 因 $u=24\text{ V}>0$, 故所标参考极性与实际极性相同。

(2) 图(b), A 点为高电位, 因 $u=-12\text{ V}<0$, 故所标参考极性与实际极性相反。

(3) 图(c), 不能确定, 虽然 $u=15\text{ V}>0$, 但图中没有标出参考极性。

当元件上的电流参考方向是从电压的参考高电位指向参考低电位时, 称为电压电流取关联参考方向, 反之称为电压电流取非关联参考方向, 如图 1-1-8 所示。

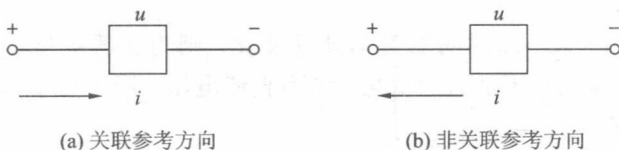


图 1-1-8 电压、电流参考方向的关系

3) 电动势

为了衡量电源对正电荷做功的能力, 我们引入电动势这个物理量, 电动势定义为: 电源力将单位正电荷从电源负极(B 极板)移动到正极(A 极板)所做的功。对于变化的电动势, 用小写字母 e 或 $e(t)$ 表示, 恒定电动势用大写字母 E 表示, 即

$$e(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-1-8)$$

式(1-1-8)与式(1-1-4)在表示形式上相同, 但一定要区分清楚 $e(t)$ 是对电源内部而言的, $u(t)$ 是对电源以外的电路而言的。

电动势的实际方向规定为在电源内部正电荷运动的方向。若用箭头表示其方向, 则由电源负极指向电源正极。电动势的单位与电压相同, 也为伏特(V)。

3. 电功率和电能

1) 电功率

电功率是指单位时间内, 电路元件上能量的变化量。它是具有大小和正负值的物理量。电功率简称功率, 其单位是瓦特(W)。

在电路分析中, 通常用电流 i 与电压 u 的乘积来描述功率。

在 u 、 i 关联参考方向下, 元件上吸收的功率定义为

$$p = ui \quad (1-1-9)$$

在 u 、 i 非关联参考方向下, 元件上吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-1-10)$$

不论 u 、 i 是否是关联参考方向, 若 $p>0$, 则该元件吸收(或消耗)功率; 若 $p<0$, 则该元件发出(或供给)功率。

以上有关元件功率的讨论同样适用于一段电路。

例 1-1-2 试求图 1-1-9 所示电路中元件吸收的功率。

解 (1) 图(a), 所选 u 、 i 为关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P = UI = 4 \times (-3) = -12\text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 -12 W , 即元件发出的功率为 12 W 。

(2) 图(b), 所选 u 、 i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P = -UI = -(-5) \times 3 = 15 \text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 15 W。

(3) 图(c)，所选 u 、 i 为非关联参考方向，元件吸收的功率

$$P = -UI = -4 \times 2 = -8 \text{ W}$$

此时元件发出的功率为 8 W。

(4) 图(d)，所选 u 、 i 为关联参考方向，元件吸收的功率

$$P = UI = (-6) \times (-5) = 30 \text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 30 W。

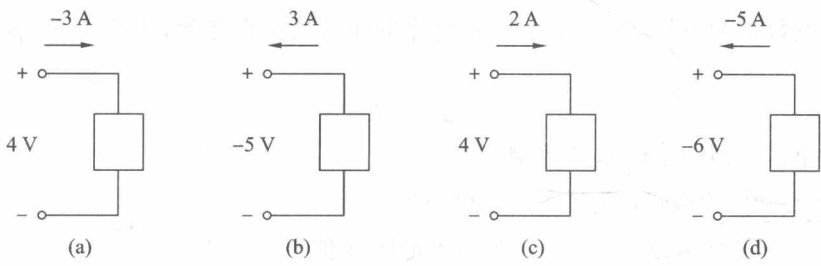


图 1-1-9 例 1-1-2 图

2) 电能

在一段时间 dt 内，电场力移动正电荷所做的功 dW 称为电场能，简称电能，其与电功率的关系为

$$dW = p(t)dt \tag{1-1-11}$$

电能的 SI 单位为焦耳，简称焦(J)，即

$$\text{焦耳(J)} = \text{瓦特(W)} \cdot \text{秒(s)} \tag{1-1-12}$$

日常生活中常用“度”衡量所使用电能的多少。功率为 1 kw 的设备用电 1 小时所消耗的电能为 1 度，即

$$\text{度} = \text{千瓦} \times \text{小时} \tag{1-1-13}$$

以上所涉及的电压、电流和功率的单位都是国际单位制(SI)的主单位，在实际应用中，还有辅助单位。辅助单位的部分常用词头见表 1-1-1。

表 1-1-1 部分常用的 SI 词头

词头名称		符号	因数
中文	英文		
皮	Pico	p	10^{-12}
微	Micro	μ	10^{-6}
毫	Milli	m	10^{-3}
千	Kilo	k	10^3
兆	Mega	M	10^6

1.1.3 电路元件及欧姆定律

1. 电阻元件

1) 电阻和电阻元件

电荷在电场力作用下作定向运动时,通常要受到阻碍作用。物体对电流的阻碍作用称为该物体的电阻,用符号 R 表示,电阻的单位是欧姆(Ω)。电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件的总称,如电炉、白炽灯、电阻器等。

2) 电导

电阻的倒数称为电导,电导是表征材料导电能力的一个参数,用符号 G 表示,其计算式为

$$G=1/R \quad (1-1-14)$$

电导的单位是西门子(S),简称西。

3) 电阻元件上的电压、电流关系及欧姆定律

1827 年德国科学家欧姆总结出:施加于电阻元件上的电压与通过它的电流成正比。这就是欧姆定律的内容。

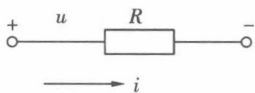


图 1-1-10 u 、 i 取关联参考方向

图 1-1-10 所示电路, u 、 i 为关联参考方向,其伏安关系为

$$u=Ri \quad (1-1-15)$$

若 u 、 i 为非关联参考方向,则伏安关系为

$$u=-Ri \quad (1-1-16)$$

在任何时刻,电阻元件两端电压与流过元件的电流关系都服从欧姆定律的电阻元件称为线性电阻元件。线性电阻元件的伏安特性是一条通过坐标原点的直线(R 是常数),如图 1-1-11 所示。非线性电阻元件的伏安特性是一条曲线。如图 1-1-12 所示的曲线为二极管的伏安特性曲线。

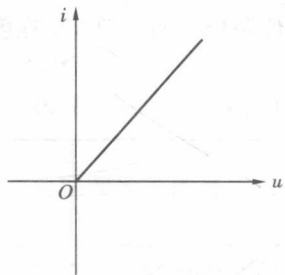


图 1-1-11 线性电阻元件伏安特性曲线

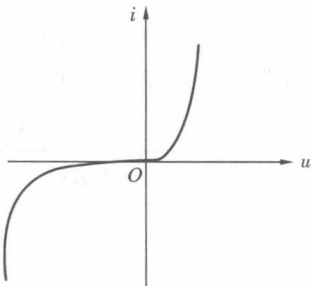


图 1-1-12 非线性电阻元件伏安特性曲线

本书只介绍线性元件及含线性元件的电路。为了方便,常将线性电阻元件简称为电阻,这样,“电阻”一词既代表电阻元件,也代表电阻参数。

对于接在电路 a、b 两点间的电阻 R 而言,当 $R=0$ 时,称 a、b 两点短路;当 $R \rightarrow \infty$ 时,称 a、b 两点开路。

4) 电阻元件上的功率

若 u 、 i 为关联参考方向,则电阻 R 上消耗的功率为

$$p = u i = (R i) i = R i^2 \quad (1-1-17)$$

若 u 、 i 为非关联参考方向, 则

$$p = -u i = -(-R i) i = R i^2 \quad (1-1-18)$$

可见, $p \geq 0$, 说明电阻总是消耗(吸收)功率, 而与其上的电流、电压极性无关。

例 1-1-3 电路如图 1-1-10 所示, 已知电阻 R 的吸收功率为 3 W , $i = -1 \text{ A}$ 。求电压 u 及电阻 R 的阻值。

解 由于 u 、 i 为关联参考方向, 由式(1-1-17)得

$$\begin{aligned} p &= u i = u (-1) = 3 \text{ W} \\ u &= -3 \text{ V} \end{aligned}$$

所以, u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = R i^2$, 故

$$R = \frac{p}{i^2} = \frac{3}{(-1)^2} = 3 \Omega$$

实际使用时应注意两点: ① 电阻值应选用标称系列值; ② 消耗在电阻上的功率应小于所选电阻的额定功率(或标称功率)。

额定功率是指电阻器在一定环境温度下, 长期连续工作而不改变其性能的允许功率, 如 $\frac{1}{4} \text{ W}$ 、 $\frac{1}{8} \text{ W}$ 等。

2. 电源元件

任何实际电路正常工作时必须有电源提供电能, 工程实际中的电源各种各样, 但从其工作特性和提供电能的方式上可以分为两大类: 一类是电压源, 另一类是电流源。下面介绍这两种电源的电路模型和特性。

1) 电压源

电压源是实际电源(如干电池、蓄电池等)的一种抽象。本节内容仅涉及直流电压源(恒压源), 其端电压用符号 U_s 表示。电压源的图形符号及其伏安特性曲线如图 1-1-13 所示。其中图(a)中的“+”、“-”号是 U_s 的极性, 图(b)中的长线表示“+”极性, 短线表示“-”极性。

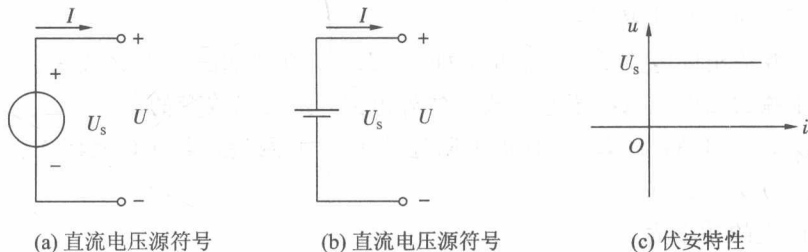


图 1-1-13 直流源的图形符号及其伏安特性曲线

电压源具有如下两个特点:

- (1) 它的端电压固定不变, 与外电路取用的电流 I 无关。
- (2) 通过它的电流取决于它所连接的外电路, 是可以改变的。

电压源与外电路的连接如图 1-1-14 所示。