

面向21世纪高等学校精品规划教材
电子信息类

DIANLU

JICHU

电路

基础

主 编 吴青萍
副主编 董作霖 程立新 沈 凯 蔡建军
主 审 王其红

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

TM13/180

2007

面向 21 世纪高等学校精品规划教材 · 电子信息类

电 路 基 础

主 编 吴青萍
副主编 董作霖 程立新
沈 凯 蔡建军
主 审 王其红

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是电子信息专业的基础理论教材。全书由电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路的分析、线性动态电路的时域分析、正弦交流电路的稳态分析、三相电路、谐振电路、互感耦合电路、非正弦周期交流电路、Multisim2001 在电路分析中的应用共 9 章内容组成。某些带“*”号的章节供学生自学,以帮助学生扩大知识面,增加分析问题和解决问题的能力。

全书基本概念讲述透彻;基本分析方法归类恰当,思路清晰,步骤明确;例题丰富、习题匹配;并引入 Multisim 仿真软件用于电路分析,有利于学生加深对电路知识的理解。

本书可作为电子信息工程、通信工程等相关专业的本科生教材,也可以作为从事电子、通信、电力等行业的工程技术人员参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/吴青萍主编. —北京:北京理工大学出版社, 2007. 6

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1127 - 7

I. 电… II. 吴… III. 电路理论 - 高等学校 - 教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 096209 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 347 千字

版 次 / 2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2500 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

电子信息技术的发展水平是衡量一个国家现代化水平和综合国力的重要标志,是我国今后20年高科技发展的重点。目前,随着我国电子信息技术及理论研究的快速发展,电子信息技术的各个领域急需大量的应用型工程技术人才。他们既掌握着比较丰富的基础理论知识,又具有比较强的动手能力和一定的专业实践经验,能够在实际工作中比较好地分析问题、解决问题;有较高的综合素质,能够在基层一线对自己所从事的工作和工程实际问题进行研究、探索,能够组织工程项目的实施。

近年来新建本科院校大都以应用型为办学定位,形成了一批占全国本科高校总数近30%的、与传统本科院校不同的应用型本科院校。教材是教学的主要依据,也是教学改革的重要组成部分。教学改革的种种设想和试验,大多要通过教材建设来具体体现;教材建设反过来又推动和促进教学改革。面对高等教育对象的扩展、教学模式的变革、教材内容需求的变化,为了更好地适应当前我国高等教育这种发展的需要,满足我国高校对电子信息类应用型人才培养的各种要求,北京理工大学出版社组织知名专家、学者,以培养应用型人才为主题进行深入的研讨,确立了电子信息类应用型本科教材的出版规划。

本套教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 定位明确。针对应用型本科“理论基础扎实,专业知识面广,实践能力强,综合素质高,并具有较强的科技运用、推广、转换能力”的特点,在选择教材内容和确立编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(2) 注重培养学生职业能力。电子信息类专业学生要能紧跟电子信息产业的迅

速发展，要有较强的适应工作的能力，具备使用先进应用软件的能力，在此套教材中强调培养学生利用诸如 protel、maxplusII、multisim、matlab 等工具软件进行电路设计和仿真调试的能力。

(3) 体系完整。此套教材包括了电子信息工程和通信工程的专业基础课和部分专业选修课。

(4) 保证质量。本套教材大多是在已经在学生中用过几轮并且经实际验证比较优秀的课程讲义的基础上形成的。在教材出版后我们将选择并安排一部分比较好的优秀教材修订再版，逐步形成精品教材。

(5) 提供教学软件包。可在北京理工大学出版社网站 [www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn) 下载。

本套教材可作为应用型本科院校电子信息工程、通信工程等专业的课程教学用书，也可以作为电子信息技术的技能培训用书。

前言

电路是电子信息领域中的一门基础课程,只有学好电路基础,才能进一步向应用发展。本书的编写力求突出应用型本科教育的特点,降低理论深度,删除一些数学推导内容,加强基本运算和分析问题、解决问题能力的要求,注重学生实际应用能力的培养。为此,本书在编写中着重考虑了以下几个方面:

(1) 重视基本内容、基本概念,明确本课程主要任务是为后续课程和学生将来工作需要准备必要的基础知识。

(2) 采取学生易于接受的分析和解决问题的方法进行讲授,在理论叙述上,尽可能简明扼要,通俗易懂,并注重从具体的例子中引出结论。

(3) 为突出理论与实践相结合,培养学生解决实际问题的能力,在例题和习题的选择上,尽量列举生活实际中能接触到的一些现实电路问题,以激发学生的学习兴趣。

(4) 为加强实验理论教学,培养学生使用仿真软件的能力,第 9 章较详细地介绍了 Multisim 2001 仿真软件的用法及电路的基本实验内容,教师可根据专业和教学进程的需要作适当的选择,使学生掌握 Multisim 仿真软件在电路分析中的应用。

书中有些带“*”号的章节是在教学基本要求的基础上加深(或加宽)的内容,可作为选讲内容。教师在教学过程中可以跳过去,或简单讲解,也可作为学生的自学内容。这些内容的省略并不影响内容的连贯性。

需要说明的是:在本书第 9 章的一些 Multisim 2001 仿真实验电路图中,有些标识未采用国标,如电阻 R_1 、 L_1 、 C_1 在 Multisim 2001 中用 R1、L1、C1 表示,等等。

本书第 1、5 章由程立新老师编写,第 2 章由沈凯老师编写,第 3、8 章由董作霖老师编写,第 4、9 章由吴青萍老师编写,第 6、7 章由蔡建军老师编写。全书由吴青萍老师统稿并修改。王其红教授对全书进行了认真审阅,并提出了不少宝贵建议。本书在编写过程中参考了不少同行编写的优秀教材,从中得到了不少启发。在此,一并致以诚挚的感谢!

由于时间仓促、编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者和同行给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律.....	(1)
1.1 电路和电路模型.....	(1)
1.2 电路的基本物理量.....	(3)
1.3 电阻元件.....	(8)
1.4 电压源与电流源.....	(11)
1.5 基尔霍夫定律.....	(14)
1.6 电路中各点电位的分析.....	(20)
1.7 小结	(23)
1.8 习题	(24)
第 2 章 直流电阻电路的分析.....	(29)
2.1 电路的等效.....	(29)
2.2 电阻星形与三角形电路的等效变换.....	(34)
2.3 两种电源模型的等效变换.....	(37)
2.4 支路电流法.....	(41)
2.5 节点电位法.....	(43)
2.6 网孔电流法.....	(47)
2.7 叠加定理和齐性定理.....	(49)
*2.8 置换定理	(53)
2.9 等效电源定理——戴维南定理与诺顿定理.....	(55)
2.10 最大功率传输定理.....	(60)
2.11 受控源.....	(62)
2.12 小结	(65)
2.13 习题	(68)
第 3 章 线性动态电路的时域分析.....	(75)
3.1 电容元件.....	(75)
3.2 电感元件.....	(81)



3.3	换路定律与初始值的计算.....	(84)
3.4	一阶电路的零输入响应.....	(88)
3.5	一阶电路的零状态响应.....	(95)
3.6	一阶电路的全响应.....	(101)
3.7	一阶电路的三要素法.....	(103)
*3.8	过渡过程的应用	(105)
3.9	小结	(108)
3.10	习题	(109)
第4章	正弦交流电路的稳态分析.....	(112)
4.1	正弦交流电的基本概念.....	(112)
4.2	正弦量的相量表示及运算.....	(120)
4.3	电阻元件上电压与电流的相量关系.....	(127)
4.4	电感元件上电压与电流的相量关系.....	(130)
4.5	电容元件上电压与电流的相量关系.....	(134)
4.6	相量形式的基尔霍夫定律.....	(138)
4.7	用相量法分析 RLC 串联电路及多阻抗串联电路	(141)
4.8	用相量法分析并联电路.....	(149)
*4.9	用相量法分析复杂正弦交流电路	(155)
4.10	功率因数的提高.....	(158)
4.11	正弦交流电路中负载获得最大功率的条件.....	(161)
*4.12	交流电路的实际元件	(162)
4.13	小结	(163)
4.14	习题	(166)
第5章	三相电路	(171)
5.1	三相电源.....	(171)
5.2	对称三相电路的分析.....	(175)
5.3	三相电路的功率.....	(180)
5.4	小结	(181)
5.5	习题	(183)
第6章	谐振电路	(185)
6.1	串联谐振.....	(185)



6.2 并联谐振电路.....	(191)
*6.3 谐振的应用	(195)
6.4 小结	(197)
6.5 习题	(198)
第7章 互感耦合电路.....	(199)
7.1 互感	(199)
7.2 互感电压.....	(201)
7.3 耦合电感的去耦等效变换.....	(204)
7.4 理想变压器.....	(208)
7.5 小结	(210)
7.6 习题	(211)
第8章 非正弦周期电流电路.....	(214)
8.1 非正弦周期信号.....	(214)
8.2 非正弦周期信号的频谱.....	(216)
8.3 非正弦周期信号的有效值、平均值、平均功率.....	(221)
8.4 线性非正弦周期电流电路的分析与计算.....	(224)
8.5 小结	(226)
8.6 习题	(227)
第9章 Multisim 2001 在电路分析中的应用	(229)
9.1 Multisim 2001 的基本使用方法	(230)
9.2 Multisim 仿真实验内容.....	(238)
部分习题参考答案	(256)
参考文献	(262)

第1章 电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍电路模型的概念，电路的基本物理量——电压、电流以及参考方向的概念，元件吸收、输出功率的表示与计算方法，电阻、电压源、电流源等电路基本元件的约束关系，还介绍元件相互连接的约束关系——基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 实际电路的组成与功能

日常生活和工作中，人们会遇到各种各样的电路。如照明电路，收音机中选取所需电台的调谐电路、电视机中的放大电路，以及生产和科研中各种专门用途的电路等。电路（circuit）是由电气设备和元器件按一定方式连接起来的整体，它提供电流流通的路径。图 1-1 所示的是一个最简单的实际电路——手电筒电路，它由电池、灯、开关及连接导线组成。电源（如电池）、负载（如灯）、导线和控制设备（如开关及连接导线）是电路的基本组成部分。

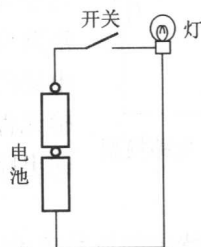


图 1-1 实际电路

随着电流的流动，电路中进行着不同形式能量之间的转换。

电源是对外提供电能的装置，它将其他形式的能量转换成电能。例如，干电池和蓄电池将化学能转换成电能，发电机将热能、水能、风能、原子能等转换成电能。电源是电路中能量的来源，是推动电流运动的源泉，在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如，白炽灯将电能转换成光能，电动机将电能转换为机械能，电炉将电能转换为热能等。

导线和控制设备用来连接电源和负载，为电流提供通路，起传递和控制电能的作用，并根据负载需要接通和断开电路。

电路的功能和作用一般有两类。第一类功能是进行能量的传输、转换和分配。常用于电力及一般用电系统中的电力系统电路就是一个典型的例子，电力机组将其他形式的能量转换成电能，经输电线、变压器传输到各用电部门，在用电部门又把电能转换成光能、热能、机



械能等其他形式的能量而加以利用。在这类电路中，一般要求在传输和转换过程中尽可能地减少能量损耗以提高效率。第二类功能是进行信号的传递与处理（如音乐、图像、文字、温度、压力等）。例如，功率放大器的输入是由传声器将声音转换成电信号，通过晶体管组成的放大电路，输出至音箱的便是放大的电信号，从而实现了放大功能；电视机可将接收到的信号，经过处理、转换，输出图像和声音。对于这一类电路，虽然也有能量的传输和转换问题，但人们更关心的是信号传递的质量，如要求快速、准确、不失真等。

1.1.2 电路模型

实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的，不是单一的。例如白炽灯、电加热器，它们在通电工作时能把电能转换成热能，消耗电能，具有电阻的性质，但其电压和电流还会产生电场和磁场，故也具有储存电场能量和磁场能量即电容和电感的性质。

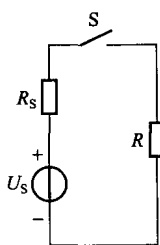


图 1-2 电路模型

在进行电路的分析和计算中，如果要考虑一个器件所有的电磁性质，则将是十分困难的。为此，对于组成实际电路的各种器件，应该忽略其次要因素，只抓住其主要电磁特性，把工程实际中的各种设备和电路元件用有限的几个理想化的电路元件（circuit element）来表示。例如，白炽灯可用只具有消耗电能的性质，而没有电场和磁场特性的理想电阻元件来近似表征；一个电感线圈可用只具有储存磁场能量的性质，而没有电阻及电容特性的理想电感元件来表征。这种由一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型（circuit model），图 1-2 即为图 1-1 的电路模型。

用特定的符号表示实际电路元件而连接成的图形叫作电路图（circuit diagram）。人们在理论分析时所指的电路就是这种电路模型。这种替代会带来一定的误差，但在一定的条件下可以忽略这一微小的误差，待研究清楚基本规律后，在实际工程问题中需要更精密地做研究时，再考虑由于这种替代所带来的误差。根据对电路模型的分析所得出的结论有着广泛而实际的指导意义。

理想电路元件简称电路元件，通常包括电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。前三种元件均不产生能量，称为无源元件；后两种元件是电路中提供能量的元件，称为有源元件。

1.1.3 单位制

1984 年国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，明确规定国际单位制（SI）是我国法定计量单位的基础。在国际单位制中的 7 个基本单位如表 1-1 所示。其他物理量的单位可以根据其定义从这些基本单位中导出。



表 1-1 国际单位制 (SI) 的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长 度	米	m
质 量	千克	kg
时 间	秒	s
电 流	安培	A
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

除了 SI 单位之外, 根据实际情况, 需要使用较大单位和较小单位时, 则在 SI 单位上加词头, 例如: 大的长度单位用千米 (km) 表示, 小的长度单位用毫米 (mm) 表示等。常用的词头如表 1-2 所示, 以后讨论电路物理量的单位时, 均按 SI 单位执行, 若需要采用较大或较小单位, 可在 SI 单位前加上倍数和分数词头。

表 1-2 国际单位制 (SI) 常用倍数和分数词头

倍率	词头名称	词头符号	倍率	词头名称	词头符号
10^{18}	艾	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	拍	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	太	T	10^{-3}	毫	m
10^9	吉	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	纳	n
10^3	千	k	10^{-12}	皮	p
10^2	百	h	10^{-15}	飞	f
10^1	十	da	10^{-18}	阿	a

1.2 电路的基本物理量

在电路理论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。

1.2.1 电流

在物理中已经讲述过, 电荷的定向移动形成电流 (current)。电流的实际方向一般是指正



电荷运动的方向。电流的大小通常用电流强度 (current intensity) 来表示, 电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上简称为电流。

电流主要分为两类: 一类为恒定电流, 其大小和方向均不随时间而变化, 简称为直流 (direct current), 常简写作 dc 或 DC, 其强度用符号 I 表示。另一类为变动电流, 其大小和方向均随时间而变化, 其强度用符号 i 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 (alternating current), 常简写作 ac 或 AC, 其强度也用符号 i 表示。

图 1-3 给出了几种常见电流, 图 1-3 (a) 为直流, 图 1-3 (b)、图 1-3 (c) 均为交流。其中图 1-3 (b) 为正弦交流电流, 图 1-3 (c) 为锯齿波电流。

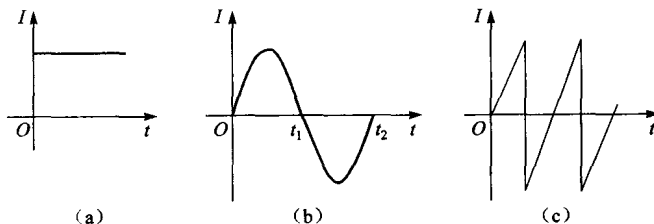


图 1-3 几种常见电流

对于直流电流, 单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的, 其电流强度为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

对于变动电流 (含交流), 若假设在一很小的时间间隔 dt 内, 通过导体横截面的电荷量为 dq , 则该瞬间电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

电流的单位是安培 (ampere), SI 符号为 A。它表示 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑 (C)。有时也会用到千安 (kA)、毫安 (mA) 或微安 (μA) 等, 其关系如下:

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

在分析比较复杂的电路时, 某一段电路中电流的实际方向很难立即判断出来, 有时电流的实际方向还会不断改变, 因此在电路中很难标明电流的实际方向。为了分析方便, 下面引入电流的“参考方向” (reference direction) 这一概念。

在一段电路或一个电路元件中, 事先任意假设的一个电流方向称为电流的参考方向。电流的参考方向可以任意假设, 但电流的实际方向是客观存在的, 因此, 所假设的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。本书中用实线箭头表示电流的参考方向, 用虚线箭头表示电流的实际方向。电流的参考方向与实际方向如图 1-4 所示。



由图 1-4 可以看出, 当 $i > 0$ 时, 电流的实际方向与假设的参考方向一致; 当 $i < 0$ 时, 电流的实际方向与假设的参考方向相反。

当然, 电流的参考方向也可以用双下标表示, 如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b。

电流的参考方向是实际存在的, 它不因其参考方向选择的不同而改变, 即存在 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。本书中不加特殊说明时, 电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

例 1.1 如图 1-5 所示, 电路上电流的参考方向已选定。试指出各电流的实际方向。

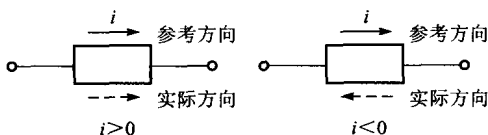


图 1-4 电流的参考方向与实际方向

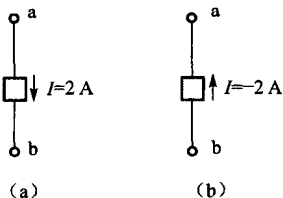


图 1-5 例 1.1 图

解: 图 1-5 (a) 中, $I > 0$, I 的实际方向与参考方向相同, 电流 I 由 a 流向 b, 大小为 2 A。

图 1-5 (b) 中, $I < 0$, I 的实际方向与参考方向相反, 电流 I 由 a 流向 b, 大小为 2 A。

1.2.2 电压

电路分析中另一个基本物理量是电压 (voltage)。

在物理中已经讲述过, 直流电路中 a、b 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用移动的方向。

在直流电路中, 电压为一恒定值, 用 U 表示, 即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.3)$$

在变动电流电路中, 电压为一变值, 用 u 表示, 即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.4)$$

电压的单位是伏特 (volt), 简称伏, SI 符号为 V, 即电场力将 1 库仑 (C) 正电荷由 a 点移至 b 点所做的功为 1 焦耳 (J) 时, a、b 两点间的电压为 1 V。

有时也需用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μ V) 作电压的单位。

像电流需要指定参考方向一样, 在电路分析中, 也需要指定电压的参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。电路图中, 电压的参考方向一般用 “+”、“-” 极性表示 (电压参考方向由 “+” 极性指向 “-” 极性), 如图 1-6 所示。

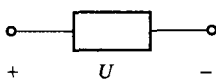


图 1-6 电压的参考方向表示法

当然, 电压的参考方向也可用实线箭头或双下标 u_{ab} (电压



参考方向由 a 点指向 b 点) 表示。

当 $u > 0$, 即电压值为正时, 电压的实际方向与它的参考方向一致; 反之, 当 $u < 0$, 即电压值为负时, 电压的实际方向与它的参考方向相反。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-7 所示。

在电路分析中, 电流的参考方向和电压的参考方向都可以各自独立地任意假设。但为了分析问题的方便, 对一段电路或一个元件, 通常采用关联参考方向 (associated reference direction), 即电压的参考方向与电流的参考方向是一致的。电流从标电压 “+” 极性的一端流入, 并从标电压 “-” 极性的另一端流出, 如图 1-8 所示。

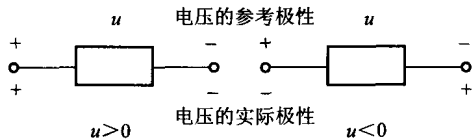


图 1-7 电压的参考方向与实际方向

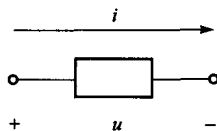


图 1-8 电流和电压的关联参考方向

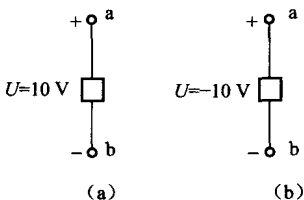


图 1-9 例 1.2 图

例 1.2 如图 1-9 所示, 电路上电压的参考方向已选定。试指出各电压的实际方向。

解: 图 1-9 (a) 中, $U > 0$, U 的实际方向与参考方向相同, 电压 U 由 a 指向 b, 大小为 10 V。

图 1-9 (b) 中, $U < 0$, U 的实际方向与参考方向相反, 电压 U 由 b 指向 a, 大小为 10 V。

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

在电路的分析和计算中, 功率和能量的计算是十分重要的。这是因为: 一方面, 电路在工作时总伴随有其他形式能量的相互交换; 另一方面, 电气设备和电路部件本身都有功率的限制, 在使用时要注意其电流或电压是否超过额定值, 过载会使设备或部件损坏, 或是无法正常工作。

电路吸收 (或消耗) 的功率等于单位时间内电路吸收 (或消耗) 的能量。由此可定义

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1.5)$$

在直流电路中, 电流、电压均为恒定量, 故

$$P = UI \quad (1.6)$$

式 (1.5) 和式 (1.6) 中, 电流和电压为关联参考方向, 计算的功率为电路吸收 (或消耗) 的功率。当某段电路上电流和电压为非关联参考方向时, 这段电路吸收 (或消耗) 的功率为



$$p = -ui \quad (1.7)$$

或

$$P = -UI \quad (1.8)$$

在 SI 中, 功率的单位为瓦特 (Watt), 简称瓦, SI 符号为 W。

根据实际情况, 电路吸收 (或消耗) 的功率有以下几种情况:

- ① $p > 0$, 说明该段电路吸收 (或消耗) 功率为 p ;
- ② $p = 0$, 说明该段电路不吸收 (或消耗) 功率;
- ③ $p < 0$, 说明该段电路吸收 (或消耗) 功率为 p , 而实际上是输出 (或提供) 功率, 输出 (或提供) 的功率为 $-p$ 。

例 1.3 试求图 1-10 中元件的功率。

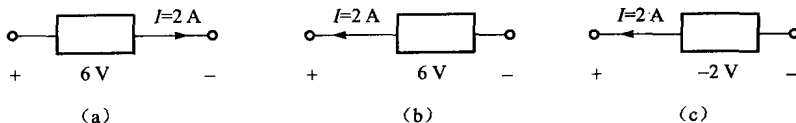


图 1-10 例 1.3 图

解: 图 1-10 (a) 电流和电压为关联参考方向, 故元件吸收的功率为

$$P = UI = (6 \times 2) \text{ W} = 12 \text{ W}$$

此时元件吸收 (或消耗) 的功率为 12 W。

图 1-10 (b) 电流和电压为非关联参考方向, 故元件吸收的功率为

$$P = -UI = (-6 \times 2) \text{ W} = -12 \text{ W}$$

此时元件输出 (或提供) 的功率为 12 W。

图 1-10 (c) 电流和电压为非关联参考方向, 故元件吸收的功率为

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

此时元件吸收 (或消耗) 的功率为 4 W。

2. 电能

从 t_0 到 t 的时间内, 元件吸收的电能可根据电压的定义 (a、b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功) 求得, 即

$$W = \int_{t_0}^t u(i)i(t)dt \quad (1.9)$$

在直流电路中, 电流、电压均为恒定量, 在 $0 \sim t$ 段时间内电路消耗的电能

$$W = UIt = Pt \quad (1.10)$$

若功率的单位为 W, 时间的单位为 s, 则电能的 SI 单位是焦耳, 符号为 J。

在实际生活中, 电能的单位常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)。1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电能通常称作一度电。一度电为



$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = (1\,000 \times 3\,600) \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

1.3 电阻元件

电路元件是构成电路的最基本单元,研究元件的规律是分析和研究电路规律的基础。

1.3.1 电阻与电阻元件

1. 电阻与电阻元件

电荷在电场力的作用下作定向运动时,通常要受到阻碍作用。物体对电子运动呈现的阻碍作用,称为该物体的电阻。电阻用符号 R 表示,其 SI 单位为欧姆 (Ω)。电阻的十进倍数单位有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 等。

当电荷在电场力的作用下,在导体内部作定向运动时,受到的阻碍作用叫电阻作用。由具有电阻作用的材料制成的电阻器、白炽灯、电烙铁、电加热器等实际元件,当其内部有电流流过时,就要消耗电能,并将电能转换为热能、光能等能量而消耗掉。我们将这类对电流具有阻碍作用,消耗电能特征的实际元件,集中化、抽象化为一种理想电路元件——电阻元件。

电阻元件是一种对电流有“阻碍”作用的耗能元件。

2. 电导

电阻的倒数称为电导 (conductance), 用符号 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.11)$$

电导是反映材料导电能力的一个参数。电导的单位是西门子 (simens), 简称西, 其 SI 符号为 S。

1.3.2 电阻元件的伏安特性——欧姆定律

电阻元件作为一种理想电路元件,在电路图中的图形符号如图 1-11 所示。电阻的大小与材料有关,而与电压、电流无关。若给电阻通以电流 i , 这时电阻两端会产生一定的电压 u , 电压 u 与电流 i 的比值为一个常数,这个常数就是电阻 R , 即 $R = u/i$, 这也就是物理中介绍过的欧姆定律 (Ohm's Law), 其表达式可表示为

$$u = Ri \quad (1.12)$$

值得说明的是,式 (1.12) 是在电压 u 与电流 i 为关联参考方向下成立的。若 u 、 i 为非关联参考方向,则欧姆定律表示为

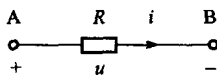


图 1-11 电阻