



电路基础

(第4版)



吴青萍 沈凯◎主编

电 路 基 础

(第4版)

主 编 吴青萍 沈 凯

副主编 夏 莹 蒋 莉 施 静

张慧敏

主 审 王其红

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是电子信息类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、非正弦周期电流电路共 8 章内容及附录 Multisim 10 的基本使用方法组成。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。计划学时数为 80 学时左右。

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 10 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。

本书可以作为高职高专电子信息类专业和其他专业选用，也适合从事电力、电子、通信等行业的工程技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

电路基础 / 吴青萍, 沈凯主编. —4 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.8 (2019.9 重印)
ISBN 978-7-5682-7548-4

I. ①电… II. ①吴… ②沈… III. ①电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 190827 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16.25

字 数 / 385 千字

版 次 / 2019 年 8 月第 4 版 2019 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言（第4版）

本书是电子类基础课新形态一体化教材，本书的第3版为“十二五”职业教育国家规划教材、“十二五”江苏省高等学校重点教材。本版是在第3版的基础上，经过总结提高、删减增加修改而成，可作为高职高专电子信息类各专业“电路基础”课程的教材，也适合从事相关专业工程技术人员学习参考。

经过本次修改，本书具有以下特点：

（1）本书通过实际应用的典型案例引出电路的知识和实践内容，以解决实际电路问题为主线，加强学生对电路理论知识的理解，使学生进一步掌握实际操作能力。

（2）把就业岗位所需知识编入教材，注重新方法、新技术、新工艺的融入，内容取舍得当。教材体现了高职高专教材的职业性和实践性。

（3）教材配有优质丰富的数字化教学资源，学生利用互联网尤其是移动互联网，通过扫码观看资源，将教材的重点、难点可视化，支持教师课内课外教学、学生线上线下学习，满足数字化时代学生的阅读特征，满足个性化学习。

（4）教材引入 Multisim 电路实验仿真软件，融原理演示、仿真验证、电路设计创新为一体，极大地提升了学生对电路现象的认知，有助于提高学生主动学习的积极性和分析解决问题的能力。

（5）教材例题选取注重实用性、典型性，降低计算难度，但涵盖电路基本理论知识与基本分析方法。

需要说明的是：在本书附录和 Multisim 10 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 10 中用 R1、L1、C1 表示等。

本书由常州信息职业技术学院吴青萍、沈凯担任主编；夏莹、蒋莉、施静、张慧敏担任副主编。以上人员还完成了各知识点微视频的拍摄、课件制作等。常州信息职业技术学院的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们编写的优秀教材，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，敬请同行们给予批评指正。

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	4
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	13
1.6 电路中各点电位的分析	19
习题	24
第 2 章 直流电阻电路的分析	29
2.1 电路的等效	30
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	36
2.4 支路电流法	40
2.5 节点电位法	41
2.6 网孔电流法	45
2.7 叠加定理和齐性定理	47
*2.8 置换定理	51
2.9 等效电源定理——戴维南定理与诺顿定理	52
2.10 最大功率传输定理	57
2.11 受控源	58
习题	69
第 3 章 线性动态电路的时域分析	75
3.1 电容元件	76
3.2 电感元件	81

3.3	换路定律与初始值的计算	83
3.4	一阶电路的零输入响应	87
3.5	一阶电路的零状态响应	93
3.6	一阶电路的全响应	98
3.7	一阶电路的三要素法	100
*3.8	过渡过程的应用	102
	习题	111
第 4 章	正弦交流电路的稳态分析	113
4.1	正弦交流电的基本概念	114
4.2	正弦量的相量表示及运算	121
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	133
4.6	相量形式的基尔霍夫定律	137
4.7	用相量法分析 RLC 串联电路及多阻抗串联电路	140
4.8	用相量法分析并联电路	147
*4.9	用相量法分析复杂正弦交流电路	152
4.10	功率因数的提高	155
4.11	正弦交流电路中负载获得最大功率的条件	157
*4.12	交流电路的实际元件	158
	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	179
	习题	185
第 6 章	谐振电路	187
6.1	串联谐振电路	188
6.2	并联谐振电路	194
*6.3	谐振电路的应用	197
	习题	202
第 7 章	互感耦合电路	204
7.1	互感	205
7.2	互感电压	206
7.3	耦合电感的去耦等效变换	209



7.4 理想变压器	213
习题	218
第 8 章 非正弦周期电流电路	221
8.1 非正弦周期信号	222
8.2 非正弦周期信号的频谱	224
8.3 非正弦周期信号的有效值、平均值、平均功率	228
8.4 线性非正弦周期电流电路的分析与计算	231
习题	236
附录 Multisim 10 的基本使用方法	238
部分习题参考答案	247
参考文献	252

第1章

电路的基本概念与基本定律

本章知识点

1. 掌握电路模型的概念及电路基本物理量的概念
2. 掌握电阻元件、电压源、电流源的伏安特性
3. 掌握电路的整体约束关系——基尔霍夫定律
4. 掌握电位的概念及计算方法

先导案例

手电筒（如图 1-1 所示）是日常生活中最常用的照明工具，手电筒电路就是一个最简单的实际电路，如图 1-2 所示。手电筒中的灯泡为何能点亮？它是如何工作的呢？



图 1-1 手电筒

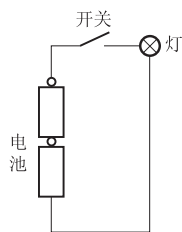


图 1-2 手电筒电路

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，电阻、电压源、电流源等电路基本元件的约束关系——伏安特性，电路整体约束关系——基尔霍夫定律，都是电路的基础知识，是电路分析的基本依据，贯穿于全书。只有掌握了这些基本概念和定律才能进一步学习后续内容。

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



电路和电路模型

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。电路一般由电源、负载、导线和控制设备组成。

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和转换。常用于电力用电系统，其电路示意图如图 1-3(a) 所示，发电机将其他形式的能量转换成电能，经变压器、输电线传输到各用电部门，在用电部门又通过电灯、电动机、电炉等负载把电能转换成光能、机械能、热能等能量而加以利用。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。

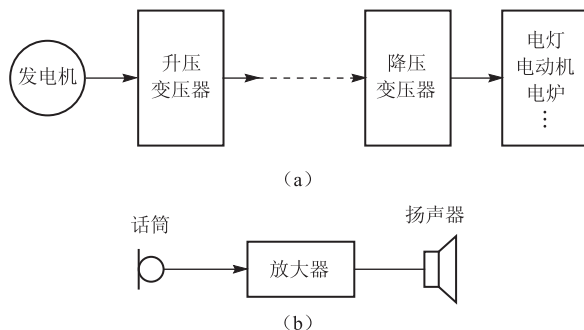


图 1-3 电路示意图

第二类功能是进行信号的传递与处理。常见的例子如扩音器，其电路示意图如图 1-3(b) 所示，话筒作为信号源将声音转换为电信号，扬声器作为负载将电信号还原为声音信号。由于话筒输出的电信号较微弱，不能直接推动扬声器发音，所以通过中间环节放大器来放大电信号，即完成信号的处理。电视机也是一种信号的传递与处理电路，接收天线（信号源）将接收到载有声音、图像的电磁波转换为电信号，经过调谐、变频、检波、放大等中间环节进行信号的处理，然后送到显像管和扬声器还原为图像和声音。对于这一类电路，虽然也有能量的传输和转换问题，但人们更关心的是对信号处理的质量，如要求准确、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。

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 1-4 即为图 1-2 的电路模型。

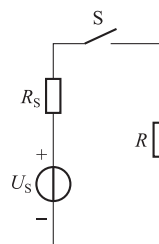


图 1-4 电路模

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)。人们在进行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的实际的指导意义。

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，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，其强度也用符号 i 表示。

图 1-5 给出了几种常见电流，图 1-5 (a) 为直流，图 1-5 (b)、图 1-5 (c) 均为交流。其中图 1-5 (b) 为正弦交流电流，图 1-5 (c) 为锯齿波电流。

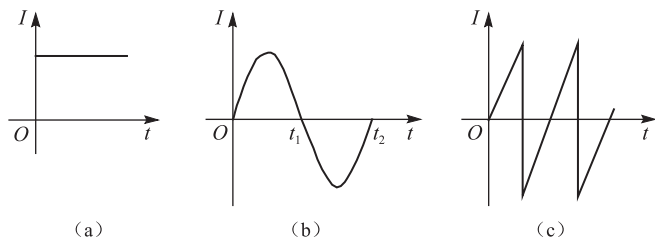


图 1-5 几种常见电流

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



电路的基本物理量
——电流、电压

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

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），简称安，在国际单位制（SI）中符号为 A。1 安培表示 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：

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

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 1-6 所示。

由图 1-6 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。

电流的实际方向是客观存在的，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 1-7 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。

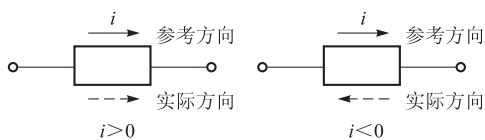


图 1-6 电流的参考方向与实际方向

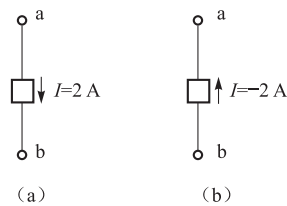


图 1-7 例 1.1 图

解：图 1-7 (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 1-7 (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, 在国际单位制 (SI) 中符号为 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 1-8 所示。

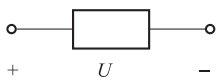


图 1-8 电压的参考方向表示

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 1-9 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 “+” 极性的另一端流入, 并从标电压 “-” 极性的另一端流出, 如图 1-10 所示。

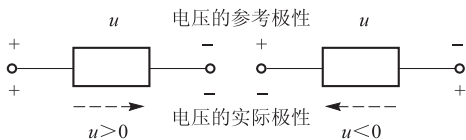


图 1-9 电压的参考方向与实际方向

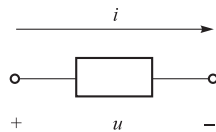


图 1-10 电流和电压的关联参考方向

例 1.2 如图 1-11 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 1-11 (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 1-11 (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。

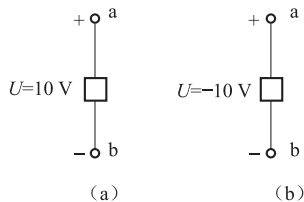


图 1-11 例 1.2 图

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



电路的基本物理量
——电能、电功率

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

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

在国际单位制中，功率的单位为瓦特（Watt），简称瓦，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 $p < 0$ ，说明该段电路输出（或提供）功率，输出（或提供）功率的大小为 $-p$ 。

例 1.3 试求图 1-12 中元件的功率。

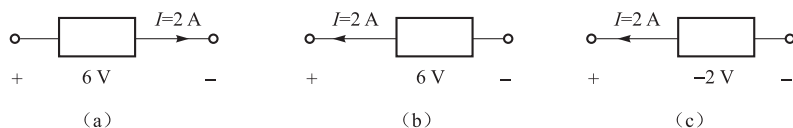


图 1-12 例 1.3 图

解：图 1-12（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 1-12（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 1-12（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

$$W = UI t = Pt \quad (1.10)$$

若功率的单位为 W，时间的单位为 s，则电能的国际单位是焦耳，符号为 J。

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

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



电阻元件

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，其国际单位为欧姆（ 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（siemens），简称西，其国际符号为 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 1-13 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

$$u = -Ri \quad (1.13)$$

当然，欧姆定律也可以表示为

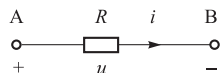


图 1-13 电阻

$$i = Gu \quad (u, i \text{ 为关联参考方向}) \quad (1.14)$$

或

$$i = -Gu \quad (u, i \text{ 为非关联参考方向}) \quad (1.15)$$

式(1.12)~式(1.15)反映了电阻元件本身所具有的规律,也就是电阻元件对其电压、电流的约束关系,即伏安关系(VAR)。

根据电阻值 R 的大小,在电路中有两种特殊工作状态:

① 当 $R=0$ 时,根据欧姆定律 $u=Ri$,无论电流 i 为何有限值,电压 u 都恒等于零,我们把电阻的这种工作状态称为短路。

② 当 $R=\infty$ 时,根据欧姆定律 $i=\frac{u}{R}$,无论电压 u 为何有限值,电流 i 都恒等于零,我们把电阻的这种工作状态称为开路。

如果把电阻元件上的电压取作横坐标,电流取作纵坐标,画出电压与电流的关系曲线,则这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线,如图1-14所示。

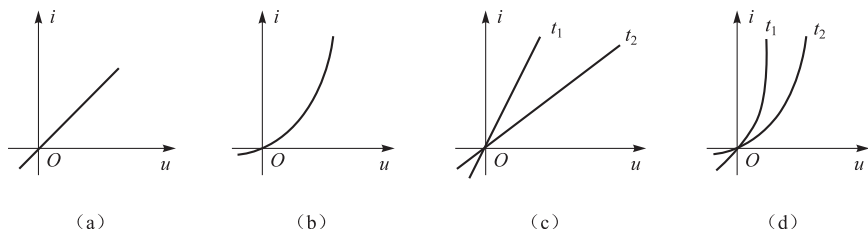


图 1-14 电阻元件的伏安特性曲线

若电阻元件的伏安特性曲线不随时间变化,则该元件为时不变电阻,如图1-14中的图(a)和图(b);否则为时变电阻,如图1-14中的图(c)和图(d)。若电阻元件的伏安特性曲线为一条经过原点的直线,则称其为线性电阻,如图1-14中的图(a)和图(c);否则为非线性电阻,如图1-14中的图(b)和图(d)。

所以,图1-14中,图(a)为线性时不变电阻,图(b)为非线性时不变电阻,图(c)为线性时变电阻,图(d)为非线性时变电阻。

因而,广义的电阻元件定义如下,在任一时刻 t ,一个二端元件的电压 u 和电流 i 两者之间的关系可由 $u-i$ 平面上的一条曲线确定,则此二端元件称为电阻元件。

严格地说,电阻器、白炽灯、电烙铁、电加热器等实际电路元件的电阻或多或少都是非线性的。但在一定范围内,它们的电阻值基本不变,若当作线性电阻来处理,是可以得到满足实际需要的结果。线性电阻在实际电路中应用最为广泛,本书将主要讨论线性元件及含线性元件的电路,以后如果不加特别说明,本书中的电阻元件皆指线性电阻元件。

为了叙述方便,常将线性电阻元件简称电阻。这样,“电阻”及其相应的符号 R 一方面表示一个电阻元件,另一方面也表示这个元件的参数。

例 1.4 如图1-15所示,已知 $R=100 \text{ k}\Omega$, $u=50 \text{ V}$,求电流 i 和 i' ,并标出电压 u 及电流 i 、 i' 的实际方向。

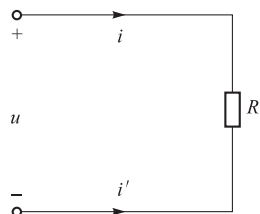


图 1-15 例 1.4 图

解：因为电压 u 和电流 i 为关联参考方向，所以

$$i = \frac{u}{R} = \left(\frac{50}{100 \times 10^3} \right) \text{A} = 0.5 \text{ mA}$$

而电压 u 和电流 i' 为非关联参考方向，所以

$$i' = -\frac{u}{R} = \left(-\frac{50}{100 \times 10^3} \right) \text{A} = -0.5 \text{ mA}$$

或

$$i' = -i = -0.5 \text{ mA}$$

电压 $u > 0$ ，表示其实际方向与参考方向相同；电流 $i > 0$ ，表示其实际方向与参考方向相同；电流 $i' < 0$ ，表示其实际方向与参考方向相反。从图 1-15 中可以看出，电流 i 和 i' 的实际方向相同，这说明电流实际方向是客观存在的，与参考方向的选取无关。

1.3.3 电阻元件上消耗的功率与能量

1. 电阻元件的功率

当电阻元件上电压 u 与电流 i 为关联参考方向时，由欧姆定律 $u = Ri$ ，得元件吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1.16)$$

若电阻元件上电压 u 与电流 i 为非关联参考方向，这时欧姆定律 $u = -Ri$ ，元件吸收的功率为

$$p = -ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1.17)$$

由式 (1.16) 和式 (1.17) 可知， p 恒大于等于零。这说明：任何时候电阻元件都不可能输出电能，而只能从电路中吸收电能，所以电阻元件是耗能元件。

对于一个实际的电阻元件，其元件参数主要有两个：一个是电阻值，另一个是功率。如果在使用时超过其额定功率（是考虑电阻安全工作的限额值），则元件将被烧毁。

例如一个 $1\,000\ \Omega$ 、 $5\ \text{W}$ 的金属膜电阻误接到 $220\ \text{V}$ 电源上，立即冒烟、烧毁。这时金属膜电阻吸收的功率为

$$p = \left(\frac{220^2}{1\,000} \right) \text{W} = 48.4 \text{ W}$$

但这个金属膜电阻按设计仅能承受 $5\ \text{W}$ 的功率，所以引起电阻烧毁。

2. 电阻元件消耗的电能

电阻元件从 t_0 到 t 这段时间内接受的电能 W 为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t Ri^2 dt$$

若电阻通过直流电流时，上式化为

$$W = P(t - t_0) = P^2 R(t - t_0)$$

例 1.5 有 $220\ \text{V}$ ， $100\ \text{W}$ 的灯一个，每天用 $5\ \text{h}$ ，一个月（按 30 天计算）消耗的电能是