

普通高等教育“十一五”规划教材
高等学校电工电子精品教材

十一
五

*DianGong JiChu
ShiYong JiaoCheng*

电工基础实用教程

(机电类)

主 编 陈 宁

副主编 赖旭芝 李 飞 胡燕瑜

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十一五”规划教材
高等学校电工电子系列精品教材

电工基础实用教程

(机电类)

主 编 陈 宁
副主编 赖旭芝 李 飞 胡燕瑜

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电工基础实用教程(机电类)/陈宁 主编.—武汉:华中科技大学出版社,2009年4月
ISBN 978-7-5609-5071-6

I.电… II.陈… III.电工学-高等学校-教材 IV.TM 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 001554 号

电工基础实用教程(机电类)

陈 宁 主 编

策划编辑:李 德

责任编辑:姚 幸

责任校对:刘 竣

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心图文激光照排中心

印 刷:武汉中远印务有限公司

开本:710 mm×1 000 mm 1/16

印张:18.5

字数:388 000

版次:2009年4月第1版

印次:2009年4月第1次印刷

定价:29.80元

ISBN 978-7-5609-5071-6 /TM·107

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

“电工基础实用教程”是工科院校机电专业的一门重要技术基础课的教程。为了适应时代的需要,培养 21 世纪工程技术人才,本书不仅注重电工技术的基础,而且注重电工领域的新技术和新成果,力求做到理论分析透彻,理论联系实际。本书以电路、磁路的基本概念、基本理论和基本分析方法为重点,以这些理论、方法和技术应用为主导,融入电工领域的一些新技术,做到重点突出,承前启后,理论和实际相统一,从而加强学生的综合应用能力和个性化的培养。

全书共 12 章。第 1 章电路模型与电路定理,介绍了电流及电压的参考方向、电路的模型和基尔霍夫定律;第 2 章电阻电路分析,叙述了等效变换和一般电路分析方法、电路定理和非线性电阻电路的分析;第 3 章正弦稳态电路,阐述了正弦稳态电路的相量法、稳态分析、功率计算及串并联谐振、含耦合电感电路的分析以及非正弦周期电流电路的分析;第 4 章三相电路,详细介绍了对称三相电路的分析计算、不对称三相电路的概念及三相电路功率的测量和计算;第 5 章动态电路分析,介绍了动态电路的基本概念、换路定则、一阶二阶动态电路的分析;第 6 章二端口网络,介绍了二端口网络的方程和参数、等效电路和连接;第 7 章磁路与变压器,主要从磁路的概念来介绍交流铁芯线圈和变压器;第 8 章电动机,主要介绍了三相异步电动机的结构和工作原理、电路分析、电磁转矩和机械特性及使用方法,同时也介绍了单项异步电动机和直流电动机;第 9 章控制电机,介绍了伺服电动机、步进电动机和测速发电机;第 10 章继电器接触器自动控制,介绍了手动控制、启停、正反转、顺序、时间和行程控制,并给出应用例子;第 11 章电动机智能控制,介绍了可编程控制电路、单片机控制电路和 PWM 控制电路;第 12 章工业用电和安全用电,介绍了工业配电、用电防护和节约用电等知识。

本书从实用角度出发,全面地介绍了电工技术的基本知识和电工技术的新技术。本书以满足高等工科院校机电类专业的需要为前提,也适用于电工类、电气类、电子与信息类、自动化类、计算机类、仪器仪表类专业的技术基础课,还可作为高等职业技术学院的基础教材,学时数为 48~64 学时。与《模拟电子技术实用教程》和《数字电子技术实用教程》配套使用。

本书由陈宁任主编,赖旭芝、李飞和胡燕瑜任副主编。其中:赖旭芝编写了第 1 章、第 2 章和第 5 章;陈宁编写了第 3 章、第 4 章和第 6 章;胡燕瑜编写了第 7 章、第 8 章和第 9 章;李飞编写了第 10 章、第 11 章和第 12 章。全书由陈宁统稿和定稿。

本书在编写过程中,得到了中南大学信息科学与工程学院电子科学技术系的大力支持,在此表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,殷切期望读者批评指正。

编 者

2008年9月

目 录

第 1 章 电路模型与电路定律	(1)
1.1 电路的作用与组成	(1)
1.2 电流和电压参考方向	(2)
1.3 功率和能量	(3)
1.4 元件模型和电路模型	(4)
1.4.1 电阻元件	(5)
1.4.2 电容元件	(7)
1.4.3 电感元件	(8)
1.4.4 独立电源	(10)
1.4.5 受控源	(11)
1.5 基尔霍夫定律	(12)
1.5.1 支路、节点和回路	(12)
1.5.2 基尔霍夫电流定律	(13)
1.5.3 基尔霍夫电压定律	(14)
1.6 电位的计算	(16)
本章小结	(17)
复习思考题	(18)
第 2 章 电阻电路分析	(20)
2.1 等效电路分析	(20)
2.1.1 无源一端口网络的等效变换	(20)
2.1.2 含源一端口网络的等效变换	(25)
2.2 支路电流法	(28)
2.3 回路电流法	(28)
2.4 节点电压法	(31)
2.5 叠加定理	(34)
2.5.1 齐性原理	(34)
2.5.2 叠加定理	(35)
2.6 戴维南定理和诺顿定理	(36)
2.6.1 戴维南定理	(36)
2.6.2 诺顿定理	(39)

2.6.3 最大功率传输	(40)
2.7 非线性电阻电路分析	(41)
2.7.1 非线性电阻电路的基本概念	(41)
2.7.2 小信号分析法	(42)
本章小结	(44)
复习思考题	(46)
第3章 正弦稳态电路	(50)
3.1 正弦量的基本概念	(50)
3.1.1 正弦量的三要素	(50)
3.1.2 正弦量的有效值	(51)
3.1.3 正弦量的相位差	(52)
3.2 正弦量的相量表示	(53)
3.2.1 相量的概念	(53)
3.2.2 相量的运算	(56)
3.3 相量法的分析基础	(58)
3.3.1 电路元件伏安关系的相量形式	(58)
3.3.2 电路基本定律的相量形式	(61)
3.4 阻抗的串联与并联	(63)
3.4.1 阻抗和导纳的概念	(63)
3.4.2 阻抗的串联和并联	(65)
3.5 正弦稳态电路的分析	(66)
3.6 正弦稳态电路的功率	(68)
3.7 功率因数的提高	(73)
3.8 正弦电路的谐振	(75)
3.8.1 串联谐振	(75)
3.8.2 并联谐振	(77)
3.9 含耦合电感的正弦电路	(81)
3.9.1 耦合电感元件	(81)
3.9.2 含耦合电感电路的计算	(84)
3.9.3 理想变压器	(88)
3.10 非正弦周期电流电路的分析	(90)
3.10.1 非正弦周期信号	(90)
3.10.2 有效值、平均值和平均功率	(91)
3.10.3 非正弦周期电流电路的计算	(93)
本章小结	(94)
复习思考题	(95)

第 4 章 三相电路	(102)
4.1 三相电路	(102)
4.2 对称三相电路的计算	(106)
4.3 不对称三相电路的概念	(108)
4.4 三相电路的功率	(111)
本章小结.....	(115)
复习思考题.....	(116)
第 5 章 动态电路分析	(119)
5.1 动态电路的基本概念及三要素法	(119)
5.2 换路定则及初始值的确定	(120)
5.2.1 独立初始值的确定	(120)
5.2.2 非独立初始值的确定	(121)
5.3 一阶电路的分析	(122)
5.3.1 一阶电路的零输入响应	(122)
5.3.2 一阶电路的零状态响应	(125)
5.3.3 一阶电路的全响应	(127)
5.4 二阶电路的分析	(128)
本章小结.....	(132)
复习思考题.....	(133)
第 6 章 二端口网络	(135)
6.1 二端口网络	(135)
6.2 二端口网络的方程和参数	(136)
6.3 二端口网络的等效电路	(143)
6.4 二端口网络的连接	(144)
本章小结.....	(146)
复习思考题.....	(146)
第 7 章 磁路与变压器	(149)
7.1 磁路	(149)
7.1.1 磁路的概念	(149)
7.1.2 磁场的基本物理量	(149)
7.1.3 磁性材料的磁性能	(150)
7.1.4 磁路的基本定律	(152)
7.1.5 磁路的计算	(154)
7.2 交流铁芯线圈	(155)
7.2.1 电磁关系	(155)
7.2.2 感应电动势与磁通	(156)
7.2.3 电压与电流的关系	(156)

7.2.4	功率损耗	(157)
7.2.5	等效电路	(157)
7.3	变压器	(158)
7.3.1	变压器的结构与工作原理	(158)
7.3.2	变压器的使用	(163)
7.3.3	特殊变压器	(165)
7.3.4	变压器绕组的极性	(166)
	本章小结	(167)
	复习思考题	(168)
第 8 章	电动机	(170)
8.1	三相异步电动机的结构和工作原理	(170)
8.1.1	三相异步电动机的结构	(170)
8.1.2	三相异步电动机的工作原理	(172)
8.2	三相异步电动机的电路分析	(176)
8.2.1	定子电路	(176)
8.2.2	转子电路	(177)
8.3	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(178)
8.3.1	电磁转矩	(178)
8.3.2	机械特性	(178)
8.4	三相异步电动机的使用	(180)
8.4.1	异步电动机的铭牌数据	(180)
8.4.2	三相异步电动机的启动	(183)
8.4.3	三相异步电动机的调速	(186)
8.4.4	三相异步电动机的制动	(188)
8.4.5	三相异步电动机的选择	(189)
8.5	单相异步电动机	(192)
8.5.1	单相异步电动机的工作原理	(192)
8.5.2	电容分相式单相异步电动机	(193)
8.5.3	罩极式单相异步电动机	(194)
8.5.4	单相异步电动机的用途	(195)
8.6	直流电动机	(195)
8.6.1	直流电动机的结构和工作原理	(195)
8.6.2	并励直流电动机	(197)
	本章小结	(202)
	复习思考题	(203)
第 9 章	控制电机	(205)
9.1	伺服电动机	(205)

9.1.1 直流伺服电动机	(205)
9.1.2 交流伺服电动机	(207)
9.1.3 交流、直流伺服电动机性能比较	(209)
9.2 步进电动机	(209)
9.2.1 步进电动机的典型结构和工作原理	(210)
9.2.2 基本特点	(212)
9.3 测速发电机	(214)
9.3.1 交流测速发电机	(214)
9.3.2 直流测速发电机	(216)
本章小结	(218)
复习思考题	(218)
第 10 章 继电器接触器自动控制	(219)
10.1 手动控制	(219)
10.2 启/停自动控制	(222)
10.3 正/反转控制	(228)
10.4 顺序连锁控制	(230)
10.5 时间控制	(230)
10.6 行程控制	(233)
10.7 应用举例	(234)
本章小结	(235)
复习思考题	(237)
第 11 章 电动机智能控制	(240)
11.1 可编程控制器	(240)
11.1.1 可编程控制器原理	(240)
11.1.2 可编程控制器应用	(247)
11.2 单片机控制电路	(251)
11.2.1 单片机原理	(251)
11.2.2 单片机应用	(253)
11.3 PWM 控制电路	(258)
11.3.1 PWM 控制原理	(258)
11.3.2 PWM 控制的实现方法	(261)
11.4 应用举例	(265)
本章小结	(268)
复习思考题	(268)
第 12 章 工业用电和安全用电	(271)
12.1 发电与输电概述	(271)
12.2 工业配电	(272)

12.3 触电防护.....	(273)
12.4 静电防护.....	(276)
12.5 节约用电.....	(277)
本章小结.....	(278)
复习思考题.....	(278)
部分复习思考题答案.....	(279)
参考文献.....	(285)

第 1 章 电路模型与电路定律

本章介绍电路的作用与组成；提出电流和电压的参考方向；讲解吸收、发出功率的表达式和计算方法；介绍常用的电路元件；反映电路连接关系的基尔霍夫定律及电路中电位的基本概念。

1.1 电路的作用与组成

电在日常生活、生产和科学研究中得到了广泛应用。如在收录机、电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力网络中都可以看到各种各样的电路。这些电路的特性和作用各不相同。虽然电路功能不同，实际电路也千差万别，但不同的电路都遵循着同样的基本电路规律。

根据电路的功能将电路分为两种：一种是实现电能传输和分配，并将电能转换成其他形式的能量，如电力系统；电路的另一个作用是对信号进行处理，通过电路把输入的信号（又称为激励）进行变换或加工变为所需要的输出（又称为响应），如放大电路把微弱信号进行放大——收音机、电视机的放大电路，另外还有调谐电路，存储电路，整流滤波电路等。

为了实现电能的生产、传输及使用的任务，把所需要的电路元件按一定的方式连接起来，即构成电路，所以电路是由电器设备构成的总体。它提供了电流流通的路径，在电路中随着电流的通过，进行着能量的转换、传输、分配的过程。一个完整的电路要有三个基本组成部分。第一个组成部分是电源，它是产生电能或信号的设备，是电路中的信号或能量的来源，工作时将其他形式的能量变为电能，如发电机、干电池等，同时电源又被称为激励。第二个组成部分是负载，它是用电设备，是消耗电能的装置，工作时将电能变为其他形式的能量，如电动机、电阻器等。第三个组成部分是电源与负载之间的连接部分，这部分除连接导线外，还可能有控制、保护电源用的开关和熔断器等。在图 1-1 所示的手电筒实际电路中，干电池是电源部分，灯泡是负载部分，而其中的导线和开关就是连接部分。

实际存在的电器装置种类繁多，功能各异，所涉及的物理过程各种各样。但是，电路主要分析实际电器装置中的电磁过程，而描述电路电磁过程的物理量主要是电流、电压、电荷和磁通。而电磁过程分析的最终目标可以归结为计算电器器件端子之间的电压、流过端子的电流以及电路元件的功率。

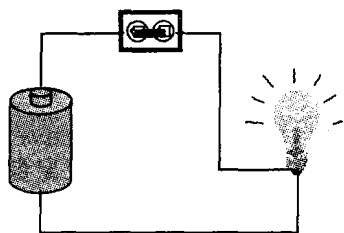


图 1-1 手电筒的实际电路

1.2 电流和电压参考方向

电流又称为电流强度,定义为单位时间内通过电荷的变化率,用符号 i 表示,即

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流叫做恒定电流,简称直流,可用符号 I 表示;如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流。在国际单位制中,电流的单位是安培(A)。

上面已经提到正电荷运动的方向规定为电流的方向,但在实际问题中,电流的真实方向往往难以在电路图中标出。例如,当电路中的电流为交流时,就不可能用一个固定的箭头来表示真实方向,即使电流为直流,在求解较复杂电路时,也往往难以事先判断电流的真实方向。为了解决这种困难,在电路分析中引入电流参考方向这一概念。电流参考方向就是假设电路中元件的电流方向。电流参考方向的表示方法有两种:一种方法是用箭头,如图 1-2(a) 所示;另一种方法是用双下标,如图 1-2(b) 所示。规定:如果电流的真实方向与参考方向一致,电流为正值;如果两者相反,电流为负值。这样,可利用电流的正负值结合参考方向来表明电流的真实方向,例如 $i = -2 \text{ A}$,表示正电荷以每秒 2 C 的速率逆着参考方向移动。在分析电路时,可先任意假设电流的参考方向,并以此为基准进行分析、计算,从最后答案的正、负值来确定电流的实际方向。在未标示电流参考极性的情况下,电流的正负是毫无意义的。

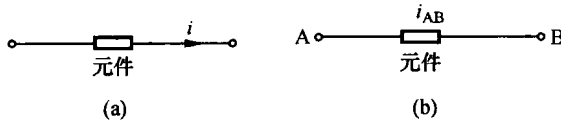


图 1-2 电流参考方向

电压又叫电位差,用符号 u 表示,电压的定义是:电路中 A、B 两点间的电压表明了单位正电荷由 A 点转移到 B 点时所获得或失去的能量,即

$$u = \frac{dW}{dQ} \quad (1-2)$$

式中: Q 为由 A 点转移到 B 点的电荷,单位为库仑(C); W 为转移过程中电荷 Q 所获得或失去的能量,单位为焦耳(J);电压的单位为伏特(V)。

如果正电荷由 A 点转移到 B 点,获得能量,则 A 点为低电位,即负极, B 点为高电位,即正极。如果正电荷由 A 点转移到 B 点,失去能量,则 A 点为高电位,即正极, B 点为低电位,即负极(见图 1-3)。

如同需要为电流规定参考方向一样,同样也需要为电压规定参考方向。电压参考方向的表示方法有三种,第一种方法是用箭头,如图 1-4(a) 所示;第二种方法是用双下标,如图 1-4(b) 所示;第三种方法是在元件或电路的两端用“+”、“-”符号来表示,“+”号表示高电

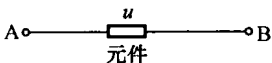


图 1-3 电压的定义

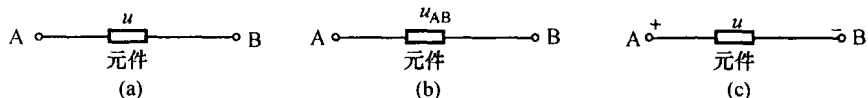


图 1-4 电压的参考方向

位端，“-”号表示低电位端，如图 1-4(c) 所示。

根据电压参考方向的规定，当电压为正值时，该电压的实际方向与参考方向相同；当电压为负值时，该电压的实际方向与所标的参考方向相反。在未标示电压参考极性的情况下，电压的正负也是毫无意义的。

和电流标示参考方向一样，在电路图中，对元件所标的电压参考方向也可以任意选定，参考方向不一定代表电压的实际方向，它们配合着电压的正值或负值，表明电压的真实极性。

在电路分析中，虽然同一段元件的电压和电流的参考方向可以各自选定，不必强求一致。但为了分析方便，常选定元件的电压和电流的参考方向一致，即电流从正极性端流入该元件而从它的负极性端流出，这样假定的电压电流参考方向为关联参考方向，如图 1-5 所示，这种相关联的参考方向的设定为分析计算带来方便。相反，则为非关联参考方向，如图 1-6 所示。

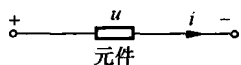


图 1-5 关联参考方向

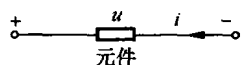


图 1-6 非关联参考方向

1.3 功率和能量

在电路分析中，虽然电压和电流是分析电路的两个重要参数，但是它们不足以表达电路的各种性质。在实际电路中，经常需要了解一个电器设备最大的工作功率是多少；另外，在计算电费时，经常使用的是一段时间内消耗了多少能量的电量。这样功率和能量的计算也是非常重要的。

元件从 t_0 到 t 时间内吸收的能量 W ，可以根据电压的定义求得，即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq \quad (1-3)$$

由于 $i = \frac{dq}{dt}$ ，把它代入式(1-3)，有

$$W = \int_{t_0}^t ui d\tau \quad (1-4)$$

式中： u 和 i 都是时间的函数，因此，能量也是时间的函数。元件的功率是单位时间内所做的功，即

$$P = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-5)$$

式中： P 是功率，单位为瓦特(W)。式(1-5)表示基本电路元件的功率等于流过元件的电

流和元件两端电压的乘积。根据电压和电流参考方向的定义,可知电压和电流可能为正,也可能为负,因此,功率也就可正可负。如何根据功率的正负判断元件是吸收功率还是发出功率,电压和电流参考方向是否关联对判断元件吸收或发出功率起重要的作用。

当元件的电压和电流为关联参考方向时,式(1-5)表示元件吸收功率,即当元件功率大于零时,元件吸收功率,在电路中消耗能量,相当于负载;当元件功率小于零时,元件发出功率,此时,元件在电路中相当于电源,并对外提供能量。

当元件的电压和电流为非关联参考方向时,式(1-5)表示元件发出功率,即当元件功率大于零时,元件发出功率,此时,元件在电路中相当于电源,并对外提供能量;当元件功率小于零时,元件吸收功率,在电路中消耗能量,相当于负载。

例 1-1 图 1-7 所示电路中,各元件电压和电流的参考方向均已设定。已知: $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = -1 \text{ A}$, $I_3 = -1 \text{ A}$, $U_1 = 7 \text{ V}$, $U_2 = 3 \text{ V}$, $U_3 = 4 \text{ V}$, $U_4 = 8 \text{ V}$, $U_5 = 4 \text{ V}$ 。求各元件消耗或向外发出的功率。

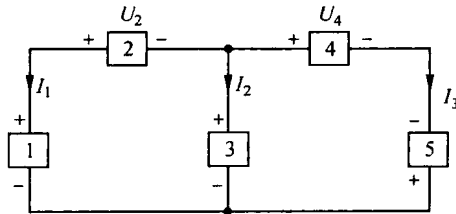


图 1-7 例 1-1 的图

解 元件 1、3、4 为关联参考方向,有

$$P_1 = U_1 I_1 = 7 \times 2 = 14 \text{ (W)}, \text{吸收功率,负载}$$

$$P_3 = U_3 I_2 = -4 \times 1 = -4 \text{ (W)}, \text{发出功率,电源}$$

$$P_4 = U_4 I_3 = -8 \times 1 = -8 \text{ (W)}, \text{发出功率,电源}$$

元件 2、5 为非关联参考方向,有

$$P_2 = U_2 I_1 = 3 \times 2 = 6 \text{ (W)}, \text{发出功率,电源}$$

$$P_5 = U_5 I_3 = -4 \times 1 = -4 \text{ (W)}, \text{吸收功率,负载}$$

由例 1-1 可以看出,整个电路功率守恒,即有

$$P_2 + P_5 = P_1 + P_3 + P_4$$

1.4 元件模型和电路模型

电路是各种各样实际电器的连接体,实际电路是由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器、传输线、电池、发电机和信号发生器等一些电气器件和设备按一定的方式连接的电流的通路。实际电路是为完成某种预期的目的而设计、安装、运行的。在实际电路中,如果电路的器件和部件的外形尺寸,较之电路工作时通过其中的电磁波的波长来说非常小,以致可以忽略不记,这种元件就称为集总元件,由集总元件构成的电路叫集总电路,一般这种电路中的元件是理想化的,是不占有空间尺寸的。实际电路的

电路模型由理想电路元件相互连接而成,理想电路元件是组成电路模型的最小单位,是具有某种确定的电磁性质的假想元件,它是一种理想化的模型并具有精确的数学定义。在一定假设条件下,可以用足以反映其中电磁性质的理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。

电路理论讨论的不是实际电路而是它的电路模型。通过对电路模型的分析计算来预测实际电路的特性,从而改进实际电路的电气特性和设计出新的电路。

实际电路用电路模型表示后,就可绘出用理想电路元件组成的电路图。每个理想电路元件都有一定的符号表示,如电阻元件用长条形符号表示;电容元件用两根平行的直线表示;理想导线用线段来表示等。图 1-1 所示电路是一个简单的手电筒实际电路,干电池可用一个电阻模型与一个电压源模型的组合来构成,灯泡可用一个电阻模型来替代,它的电路模型如图 1-8 所示。

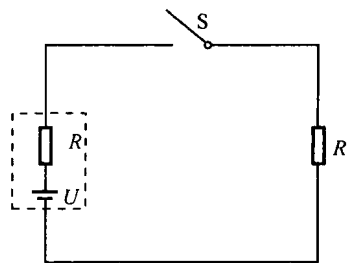
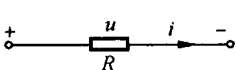


图 1-8 手电筒的实际电路与电路模型

在电路理论中,实际的电路元件是用理想化的电路元件的组合来表示的。理想的电路元件有二端和多端元件之分,又有有源、无源的区别。本章主要介绍在电路分析中所用到的无源理想二端元件,即电阻、电感和电容;有源理想二端元件,即电压源和电流源。

1.4.1 电阻元件

电阻是具有两个端钮的理想元件,它是从实际电阻器抽象出来的模型,其图形符号如图 1-9 所示。



电阻在关联参考方向下,由

$$u = Ri \quad (1-6)$$

图 1-9 电阻元件的图形符号 来定义电阻元件。式中: u 为电阻元件两端的电压,单位为伏(V); i 为流过电阻元件的电流,单位为安(A); R 为电阻,单位为欧(Ω)。 R 为常数,故电阻两端电压和流过它的电流成正比。所以,由欧姆定律定义的电阻元件称为线性电阻。

欧姆定律体现了电阻器对电流呈现阻力的性质。对电流既然有阻力,电流要流过,就必然要消耗能量,因此,沿电流流动方向就必然会出现电压降。欧姆定律表明这一电压降的大小,其值为电流与电阻的乘积。由于电流与电压降的真实方向总是一致的,所以,只有在关联参考方向的前提下,图 1-9 才可运用式(1-6)。如为非关联参考方向,则应改为

$$u = -Ri \quad (1-7)$$

电压与电流是电路的变量,从欧姆定律可知,线性电阻可以用它的电阻来表征它的特性,因此, R 是一种“电路参数”。电阻元件也可用另一个参数——电导来表征,电导用符号 G 表示,其定义为

$$G = \frac{1}{R}$$

在国际单位制中,电导的单位是西门子,简称西(S)。用电导表征线性电阻元件时,在关联参考方向下,欧姆定律可表示为

$$i = Gu \quad (1-8)$$

如果把电阻元件的电压取为纵坐标(或横坐标),电流取为横坐标(或纵坐标),电压和电流的关系曲线称为电阻的伏安特性曲线。

显然,线性电阻元件的伏安特性曲线是一条经过坐标原点的直线,如图 1-10 所示,电阻值可由直线的斜率来确定。如果电阻元件的关系曲线不是经过原点的直线,则是非线性电阻。

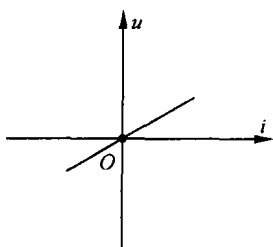


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

不论是从式(1-6)或是从图 1-10 所示的伏安特性曲线都可看到:在任一时刻,线性电阻的电压(或电流)是由同一时刻的电流(或电压)所决定的。这就是说,线性电阻的电压(或电流)不能“记忆”电流(或电压)在“历史”上起过的作用。

电压、电流为关联参考方向时,根据欧姆定律和功率计算,有

$$P_R = ui = Ri^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

在关联参考方向下,根据式(1-9)可知,不管电阻上电流是正还是负,电阻功率 $P_R = Ri^2$ 都大于零,因此电阻吸收功率,是耗能元件;在非关联参考方向情况下,电阻的功率为 $P_R = -Ri^2$,不管电阻上电流是正还是负,电阻功率都小于零,同样,电阻吸收功率,是耗能元件,即电阻元件在任何时刻都只能从外电路吸收能量,它在任何时刻都消耗电路的电能,把它转换为其他形式的能量。

根据能量定义,电阻从 t 到 t_0 时间内,从外界电路输入的总能量 W_R 为

$$W_R = \int_{t_0}^t P_R d\tau \quad (1-10)$$

在关联参考方向情况下,在任何时刻,电阻消耗的功率 $P_R > 0$,根据式(1-10)可知,线性电阻只能从电路中吸收电能量,不能发出电能量,说明电阻是无源元件。

电阻元件的阻值可以从零到无穷大范围内变化,电阻的阻值等于零时,电阻可用一根理想导线来替代,此时电阻处相当于短路;电阻的阻值等于无穷大时,电阻相当于断开,此时电阻处相当于开路。

例 1-2 有一盏“220 V 60 W”的电灯。试求:

- (1) 电灯的电阻;
- (2) 当接到 220 V 电压下工作时的电流;
- (3) 如果每晚用 3 h,问一个月(按 30 天计算)用多少电?

解 (1) 根据 $P = \frac{U^2}{R}$, 得

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{60} = 807 (\Omega)$$