



高职高专“十一五”规划教材

机电类

电工技术

程继兴 刘伟宏 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高职高专“十一五”规划教材·机电类

电工技术

主 编	程继兴	刘伟宏
副主编	王、平	吴元修
	李安生	张晓伟

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

内 容 简 介

全书共分8章。内容包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、磁路和变压器、异步电动机、继电-接触器控制、工厂供电与安全用电、电工测量。各章后面均附有一定的习题,可以帮助学习者及时复习巩固课本知识。

本书内容浅显易懂,文字通俗流畅,章节安排合理,淡化理论,注重结果。适用于高职高专、成人高校、本科院校二级职业学院、职业高中、职业中专等学校等理工科类专业学生,也可以作为教师、工程技术人员人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 程继兴, 刘伟宏主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2007.8

高职高专“十一五”规划教材·机电类

ISBN 978-7-5640-1214-4

I.电… II.①程… ②刘… III.电工技术-高等学校: 技术学校-教材
IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 114414 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(总编室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市业和印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.75

字 数 / 356 千字

版 次 / 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

责任校对 / 张 宏

定 价 / 28.00 元

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

电工技术是高等学校理工科类专业的一门非常重要的专业基础课程,它的主要任务是为学生学习专业技术和从事相关的工程技术工作打下良好的理论基础,并培养学生的基本技能。学习电工技术后,学生应该能够学会分析基本的交、直流电路,能够较好地掌握电路中的基本概念、基本理论和基本定律,并且能够用基本的分析方法去解决各种电路问题;学习完该课程,学生还能够掌握变压器和电动机的基本理论,会正确地选择和使用变压器和电动机;能够学会常见的电动机的控制线路,为以后从事机床电气的安装维修打下良好的基础;能够正确使用各种测量仪表并懂得安全用电的知识。

本书充分考虑到高职高专、职业学校学生的知识水平和现状,在编写教材时,力争做到内容浅显、深度适中,淡化了理论推导,注重了结果使用。为此在编写教材时,压缩、删减了一部分比较陈旧过时的内容,保留了基本的实用的概念、定律和理论。本书也注重与其他课程的分工和衔接,凡是在物理学中学到的知识,本书不做过多的重复,只是为了教材的完整性和连续性,同时也便于学生复习旧知识引入新课而稍作提及。在后续课中专门作为教材的内容,本书也不做深入的讨论和研究,甚至完全删掉。例如,本书就没有介绍电子技术、可编程控制器等内容。学习本书约需 64 学时,各章节参考学时如下,各校各专业可以根据情况进行适当的取舍和调整。

章 节	内 容	学时分配
第 1 章	直流电路	10
第 2 章	正弦交流电路	8
第 3 章	三相交流电路	6
第 4 章	磁路和变压器	8
第 5 章	异步电动机	8
第 6 章	继电-接触器控制	10
第 7 章	工厂供电与安全用电	8
第 8 章	电工测量	6

本书中的全部图形符号、文字符号、电路画法及标注方法都严格按照中国标准出版社 1989 年 2 月出版的《电气制图及图形符号国家标准汇编》中的要求执行。

本书程继兴、刘伟宏担任主编,由王平、吴元修、李安生、张晓伟担任副主编,孙滨、冯燕、秦贞龙参编。全书由程继兴提供大纲并统稿。

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书会存在一些欠妥和错误之处,敬请使用本书的师生和工程技术人员提出批评和改进意见。如果读者在使用本书过程中有任何建议,可与编者(bjzhangxf@126.com)联系。

编 者

目 录

第1章 直流电路	1	第4章 磁路和变压器	79
1.1 电路及电路模型	1	4.1 磁路的基本概念	79
1.2 电路的基本物理量及参考方向	3	4.2 变压器的用途及基本结构	86
1.3 电阻元件及直流电路的欧姆定律	8	4.3 单相变压器	88
1.4 电容元件及电感元件	10	4.4 三相变压器及其铭牌	99
1.5 电压源、电流源及其等效变换	13	4.5 特殊变压器	103
1.6 基尔霍夫定律	17	习题	108
1.7 支路电流法	20	第5章 异步电动机	110
1.8 节点电压法	22	5.1 三相异步电动机的结构和转动原理	110
1.9 叠加定理	24	5.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	116
1.10 戴维南定理	25	5.3 三相异步电动机的启动、调速与制动	121
习题	27	5.4 三相异步电动机的铭牌和技术数据	130
第2章 正弦交流电路	30	5.5 三相异步电动机的选择	133
2.1 正弦量的三要素	30	5.6 单相异步电动机	135
2.2 正弦量的相量表示及同频率正弦量的相加减	34	习题	137
2.3 理想电阻元件交流电路	39	第6章 继电-接触器控制	139
2.4 理想电感元件交流电路	41	6.1 常用低压电器	139
2.5 理想电容元件交流电路	44	6.2 三相异步电动机的基本控制电路	162
2.6 电阻、电感、电容元件串联的交流电路	48	6.3 常用生产机械的电气控制线路	177
2.7 阻抗的串并联	52	习题	183
2.8 正弦交流电路的功率因数及其提高	57	第7章 工厂供电与安全用电	185
2.9 电路中的谐振	59	7.1 发电、输电概述	185
习题	62	7.2 工厂供电	187
第3章 三相交流电路	65	7.3 安全用电	188
3.1 三相电源及其连接	65	7.4 工业企业节约电能的一般措施	197
3.2 三相负载及其连接	69	习题	199
3.3 三相功率的计算	75		
习题	77		

第 8 章 电工测量	200	8.5 电能的测量	215
8.1 常见电工测量仪表的分类	200	8.6 万用表	218
8.2 测量误差及其分类	203	习题	223
8.3 电流与电压的测量	206	参考文献	226
8.4 功率的测量	211		

第1章 直流电路

本章介绍电路、电路模型、电压、电流、参考方向等基本概念和电压源、电流源、电阻、电感、电容等电路元件；并介绍基本的定理和电路分析方法。

基尔霍夫定律是电路的基本定律，包括电流定律和电压定律；常用的电路分析方法，如等效变换、支路电流法、节点电压法、叠加原理、戴维南定理等，这些是分析与计算电路的基础，是本章的重要内容。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的基本概念

电路的定义：为了满足某种需要，由某些电气部件按照一定的方式连接起来，构成的电流的通路叫做电路。

电路的结构：一般包括电源、负载和中间环节(如开关、变压器、输电线、电感器、电容器、晶体管、电子管等)三个部分。

电路的作用：第一是实现电能的传输和转换。如日光灯照明电路，如图 1-1 所示，220V 交流电源供电，日光灯管把电能转化为光能，开关、启辉器、镇流器、导线是中间环节，连接电源和负载，其作用是传输和分配电能。

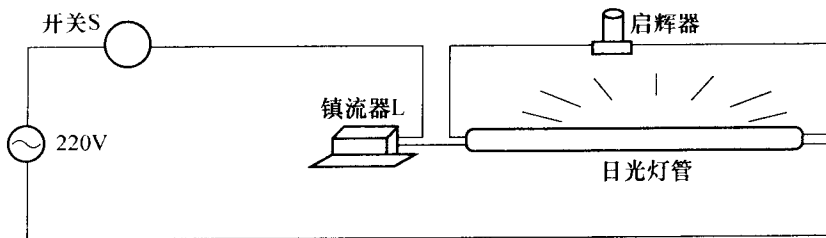


图 1-1 日光灯照明实际电路

电路的另外一个作用是信号传递与处理。如热敏电阻温度测量电路，如图 1-2 所示，通过热敏电阻把温度的变化转化为热敏电阻电阻值的变化，然后由测量电路把电阻值的变化转换为电压或电流，最后通过显示器显示温度值。在这里，热敏电阻是信号源，其阻值取决于温度的变化，温度测量电路是中间环节，作用是对测量信号进行处理，温度显示电路相当于负载。

信号传递和处理的例子比较多，如收音机和电视机，它们的接收天线(信号源)接收载有语言、音乐和图像信息的电磁波，将其转换为相应的电信号，而后通过电路对信号进行传递和处理(调谐、变频、检波、放大等)，将其送到扬声器和显像管(负载)，还原为原始

信息。

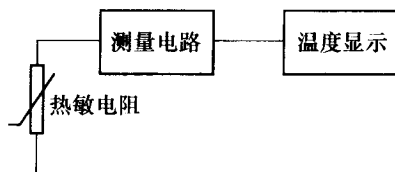


图 1-2 热敏电阻温度测量示意图

电路中电源或信号源的电压或电流称为激励，推动电路工作。激励在电路各部分产生的电压或电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路结构和元件参数的条件下，分析激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

实际电路是由电阻器、电容器、线圈、变压器、半导体器件、电源等实际电气器件组成的，如发电机、变压器、电动机、电池、电阻器等，它们的电磁性质比较复杂。一种实际电气器件往往同时具有多种物理功能。例如，一个线圈在有电流通过时，如图 1-3a 所示，在工作频率比较低时，主要作用是把电能转换为磁场能，此外还消耗一部分电能产生热量；在工作频率比较高时，除了存储磁场能和消耗电能外，还有存储电场能的物理功能。这给电路分析带来困难。

为了便于电路的分析和计算，根据实际电气器件的物理功能，抽象出几种理想的电路元件。常用的理想电路元件有理想电阻元件、理想电容元件、理想电感元件、理想电压源、理想电流源等。实际电气器件消耗电能的物理功能用理想电阻元件来表征；实际电气器件存储电场能的物理功能用理想电容元件来表征；实际电气器件存储磁场能的物理功能用理想电感元件来表征，等等。例如上面提到的线圈，在有电流通过时，既有电阻性能，又有电感性能，如果忽略电阻性能，我们可以把导电线圈抽象为图 1-3(c)所示的理想电感元件。

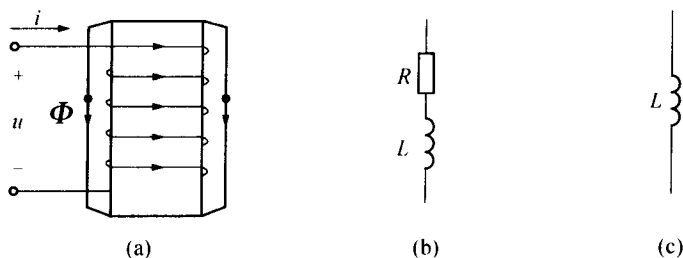


图 1-3 导电线圈抽象为理想电感元件

(a) 电极线圈；(b) 电路模型；(c) 理想电感元件

这样，将电路中的实际元件用理想电路元件表示，称为实际电路的电路模型。电路模型中的连接导线为无阻导线。图 1-1 所示的日光灯照明实际电路可以抽象为图 1-4 所示的电路模型。

本书中所分析计算的电路都是这种电路模型而不是实际电路。实践证明，只要电路模型合理，按电路模型分析计算所得结果与在对应的实际电路中测量所得结果是一致的。本

书把电路模型简称为电路。

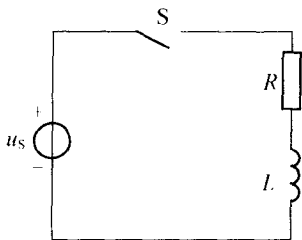


图 1-4 日光灯照明电路模型

1.2 电路的基本物理量及参考方向

1.2.1 电流

电流是由带电粒子(简称电荷)有规则的定向运动形成的,如图 1-5 所示。在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,称为电流强度,简称电流,用以衡量电流的大小。电流用符号 i 表示,即

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

式中, q 为电荷量,基本单位为库仑(C); t 为时间,基本单位为秒(s); i 为电流,基本单位为安培(A), 电流还可以采用毫安(mA)、微安(μ A)、千安(kA)作单位。
 $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^{-3}\text{kA}$ 。

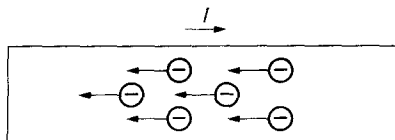


图 1-5 电流的形成及实际方向

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。

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(写作 DC 或 dc),用符号 I 表示;如果电流的大小和方向随时间变化,则称为交变电流,简称交流(写作 AC 或 ac)。

1.2.2 电位和电压

1. 电位

定义: 在电路中任选一个参考点,电场力把单位正电荷从一点移到参考点所做的功,

称为该点的电位。

参考点的电位为零，称为零电位点。习惯上规定电位的正方向是指向参考点的。

电位是一个相对的概念，与参考点的选取有关。在电路中不指明参考点而分析某点的电位是没有意义的。

电路中，电位参考点可以任意选定，但在工程上常选大地作参考点，即认为大地电位为零。在电子电路中则常选一条特定的公共线作为参考点，这条公共线是很多元件引脚的汇集处且与机壳相连，这条线也叫“地线”。在电子电路中，参考点用接地符号“ $\perp$ ”表示。

2. 电压

电压是衡量电场力移动电荷做功本领大小的物理量。用符号 U 或 u 表示。电路中 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 点移动到 b 点所做的功，即

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

式中， W 为电能量，基本单位为焦耳(J)； q 为电荷量，基本单位为库仑(C)； u 为电压，基本单位为伏特(V)，简称伏。

电压的实际方向是从高电位指向低电位。电压的方向可用箭头表示，也可用字母顺序表示(U_{ab})，或用+、-号表示，如图 1-6 所示。

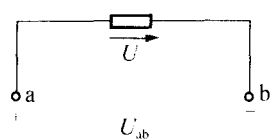


图 1-6 电压的方向

电路中任意两点间的电压是绝对的，仅与这两点在电路中的相对位置有关，与参考点的选取无关。

电位虽是针对一点而言的，但实际上还是指两点之间的电压，是相对于参考点的电压。所以，计算电路中某点电位的方法与计算两点间电压的方法是相同的。电位的单位与电压相同。

为简便起见，电子电路常采用一种简便画法，电源不再用电源符号表示，只标出其极性和电压的数值即可，如图 1-7 所示。

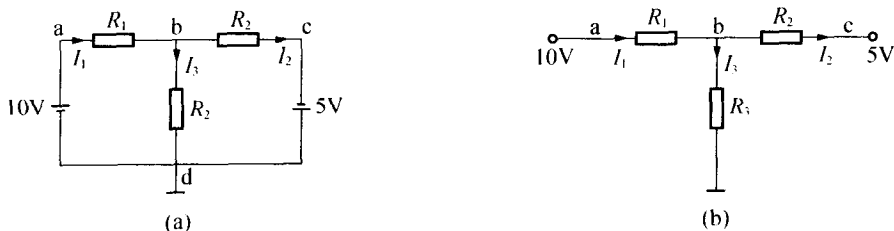


图 1-7 电路图的两种画法

(a) 一般画法；(b) 简化画法

【例 1.1】如图 1-8 所示，计算 a 、 b 、 c 、 d 的电位以及 c 、 d 两点间的电压。

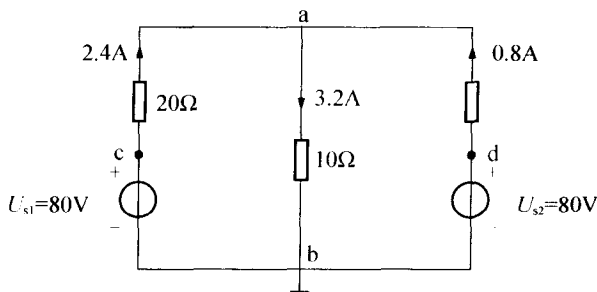


图 1-8 例 1.1 电路图

解: 因为 b 点为参考点
所以

$$U_b = 0V$$

所以

$$U_a = U_a - U_b = U_{ab} = 10 \times 3.2V = 32V$$

$$U_c = U_{cb} = U_{s1} = 80V$$

$$U_d = U_{db} = U_{s2} = 40V$$

$$U_{cd} = U_c - U_d = 80 - 40 = 40V$$

1.2.3 电源的电动势

在以上分析中, 我们知道, 在电场力的作用下, 正电荷是从高电位移向低电位, 在外电路中从正极移向负极。如果只有电场力对电荷作用, 那么随着电荷的移动, 两个电极上的正负电荷中和, 逐渐减少, 它们所产生的电场也逐渐减弱, 直至为零, 从而使电流也逐渐减小, 最后为零。要想维持电流流动, 必须有一种外力把正电荷从低电位处移到高电位处, 即从负极移回到正极。这个任务是由电源来完成的, 在电源内部, 由于其他形式能量的作用产生一种对电荷的作用力, 叫做电源力。正电荷在电源力的作用下, 从低电位移向高电位(不同的电源中, 电源力的来源有所不同。例如, 电池中的电源力是由电解液与极板间的化学作用产生的; 发电机的电源力则是由电磁作用产生的)。在此过程中, 电源力将克服电源内的电场力做功。用来描述电源力克服电场力做功这一特征的物理量, 称为电动势。

电源的电动势 E 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移动到电源正极所做的功, 也就是单位正电荷从电源负极移动到电源正极所获得的电能。

电动势的单位与电压相同, 是伏特(V)。

电源电动势的实际方向由电源负极(低电位)指向电源正极(高电位)。电动势的方向可用+、-号表示, 也可用箭头表示, 如图 1-9 所示。

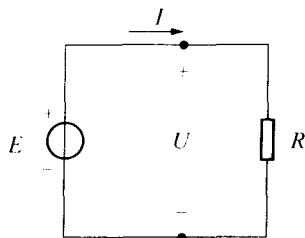


图 1-9 电动势的方向

在电路分析中,我们也常用电压源的电动势来表示端电压的大小。电压源端电压的实际方向和电动势的实际方向是相反的。

1.2.4 参考方向

习惯上规定电压的实际方向由高电位指向低电位。但是针对某一电路,难以事先判断电路元件上电压和电流的实际方向。对于交流电路,也难以判断电压和电流每时每刻的实际方向。而在进行电路析时,需要以电压或电流的方向为前提条件来列写电路方程。为了解决上述矛盾,可以先假定一个电压或电流的正方向,这就是参考方向。电压和电流的正方向是为了分析计算的方便选定的,一旦选定,分析过程中不应改变。

所选的参考方向并不一定与实际方向一致,分析计算得出结果后,如果电压值(或电流值)是正值,表明电压(或电流)的实际方向与选定的正方向一致,如图 1-10 所示;如果电压(或电流)是负值,表明电压(或电流)的实际方向与选定的正方向相反,如图 1-11 所示。

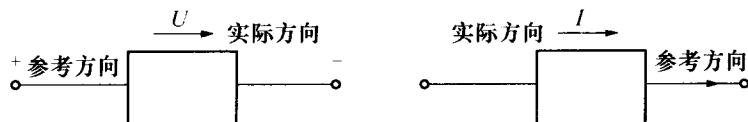


图 1-10 参考方向与实际方向相同

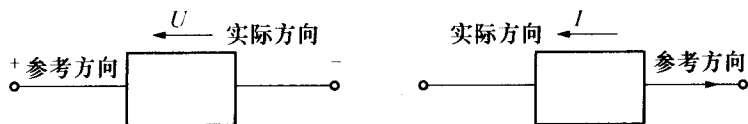


图 1-11 参考方向与实际方向相反

常把同一电路元件或支路上的电压和电流的正方向选取一致,称为关联参考方向。否则称为非关联参考方向,如图 1-12 所示。



图 1-12 关联参考方向与非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

当采取关联参考方向后,在电路元件或支路上只标出电压(或电流)的正方向就可以了。

【例 1.2】 如图 1-13(a)所示元件,正电荷由该元件的 a 端移到 b 端, a、b 两端电压为 10V,若电压选取图 1-13(b)、图 1-13(c)所示的两种正方向,试写出相应的电压表示式。

解：由题意知电压的实际方向由 a 端指向 b 端。

若电压的正方向如图 1-13(b)所示，则

$$U_1 = 10\text{V}$$

若电压的正方向如图 1-13(c)所示，则

$$U_2 = -10\text{V}$$

所以

$$U_1 = -U_2$$

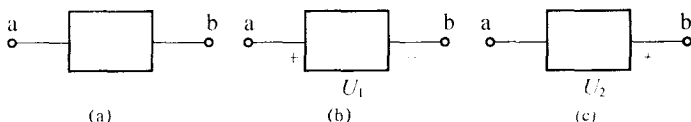


图 1-13 例 1.2 图

1.2.5 电功率

在电路中，电源将其他形式的能转换成电能并输出电能，负载吸收电能并将电能转换成其他形式的能。电源输出电能的本领和负载吸收电能的本领是用电功率来衡量的。所谓电功率，就是单位时间内电源输出或负载吸收电能的多少，也就是单位时间内电流所做的功。电功率常简称为功率。

在直流电路中，如果负载电压 U 和电流 I 采取关联参考方向，电功率用式(1-3)来计算

$$P = UI \quad (1-3)$$

即电功率大小等于电压和电流的乘积。

如果负载电压 U 和电流 I 采取非关联参考方向，电功率用式(1-4)来计算

$$P = -UI \quad (1-4)$$

在国际单位制中，电功率的单位是瓦特(W)，简称瓦。如果某一电路元件两端加的电压是1V，通过的电流是1A，那么该元件吸收(或输出)的电功率是1W。功率的其他单位还有千瓦(kW)、兆瓦(MW)、毫瓦(mW)和微瓦(μW)等。

在电路分析中，我们不仅要计算电功率的大小，而且还要判断哪些元件是电源，输出电功率；哪些元件是负载，吸收电功率。根据能量守恒定律，电源输出的功率和负载吸收的功率应该是平衡的。

根据电压和电流的实际方向可确定某一电路元件是电源还是负载：

电源： U 和 I 实际方向相反， $P < 0$ ，电路实际发出功率。

负载： U 和 I 实际方向相同， $P > 0$ ，电路实际吸收功率。

【例 1.3】 如图 1-14 所示电路, 已知 $U=5\text{V}$, $I=-1\text{A}$, 试求两元件吸收或产生的电功率。

解: 由图可知, 元件 A 上流过的电流和两端电压为关联参考方向, 因此

$$\text{元件 A 的功率: } P_A = UI = 5 \times (-1)\text{W} = -5\text{W}$$

元件 B 上流过的电流和两端电压为非关联参考方向, 因此

$$\text{元件 B 的功率: } P_B = -UI = -5 \times (-1)\text{W} = 5\text{W}$$

由于 $P_A < 0$, 所以元件 A 产生电功率, 为电源; 由于 $P_B > 0$, 所以元件 B 吸收电功率, 为负载。

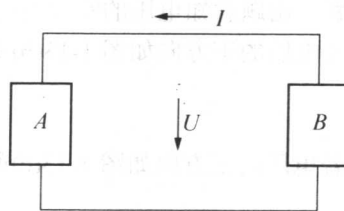


图 1-14 例 1.3 图

1.2.6 电能

上述电功率指 1s 内电流所做的功, 而电能是指一段时间内电流所做的功。如果某用电设备的功率为 P , 使用时间 t , 电压和电流取关联参考方向, 则消耗的电能

$$W = Pt = UIt \quad (1-5)$$

如果电压和电流取非关联参考方向, 则

$$W = -UIt \quad (1-6)$$

功率 P 的单位为瓦特(W), t 的单位为秒(s), 电能 W 的单位为焦(J)。我们还经常用“度”作为电能单位, 即“千瓦·小时”(kW·h)。

$$1\text{度} = 1\text{kW}\cdot\text{h} = 36 \times 10^5 \text{J} \quad (1-7)$$

1.3 电阻元件及直流电路的欧姆定律

1.3.1 电阻元件

电阻器的作用主要是分压、限流和分流等。常用的电阻器有碳膜电阻、金属膜电阻及绕线电阻等, 如图 1-15 所示。工程上还利用电阻器件消耗电能转化为热能的效应, 做成各种电热器, 如电烙铁、电炉等。



图 1-15 常用电阻

电阻元件是从实际电阻器件抽象出来的理想化模型, 像灯泡、电阻炉、电烙铁等这类

实际电阻器件, 在分析电路时, 如果忽略其电感等作用, 可将它们抽象为消耗电能的电阻元件。

用来描述电阻元件特性的基本参数是电阻值 R , 单位为欧姆(Ω)、千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)。

根据电阻元件的电阻值是否可以改变, 电阻元件可分为固定电阻元件和可变电阻元件。图 1-16 所示是几种常用的电阻元件的符号。

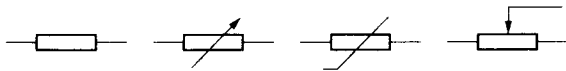


图 1-16 电阻元件的符号

以通过电阻的电压为纵坐标, 以电流为横坐标, 可以画出电压和电流的关系曲线, 称为电阻的伏安特性。

根据电阻的伏安特性, 电阻元件分为线性电阻元件和非线性电阻元件。所谓线性电阻元件, 就是它的伏安特性曲线是一条通过原点的直线, 如图 1-17(a)所示, 其斜率就等于线性电阻的电阻值。所谓非线性电阻元件, 就是它的伏安特性曲线不是线性的, 如图 1-18 所示。本书只讨论线性电阻元件。

以电压为横坐标, 以电流为纵坐标, 可以得到线性电阻的另一条伏安特性曲线, 如图 1-17(b)所示。这也是一条通过坐标原点的直线, 其斜率等于线性电阻的电导值, 电导用字母 G 表示。在国际单位制(SI)中, 电导的单位是西门子, 简称西(符号为 S)。

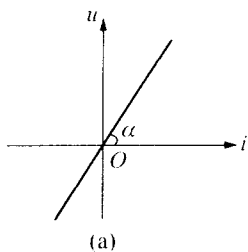


图 1-17 线性电阻的伏安特性

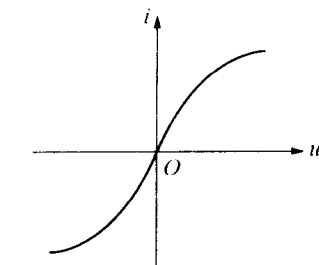
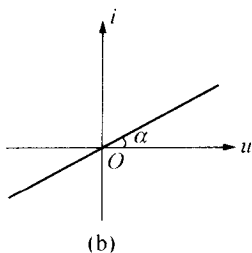


图 1-18 非线性电阻的伏安特性

可见, 同一线性电阻的电阻值和电导值互为倒数, 即

$$R = \frac{1}{G} \quad (1-8)$$

或

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

1.3.2 欧姆定律

定义: 通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这叫做欧姆定律。

当电阻上的电压和电流采取关联参考方向时, 欧姆定律可以用式(1-10)表示。即

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-10)$$

当所加电压一定时,电阻愈大,则电流愈小。所以,电阻对电流起阻碍作用。

在国际单位制(SI)中,电阻的单位是欧姆(Ω)。当电阻两端的电压为 1V,通过的电流为 1A 时,则该电阻的电阻值为 1 Ω 。电阻的其他单位还有千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)等。

当电阻上的电压和电流采取关联参考方向时,由式(1-10)可得

$$U = RI \quad (1-11)$$

当电阻上的电压和电流采取非关联参考方向时,则得

$$U = -RI \quad (1-12)$$

对于电阻负载来说,根据欧姆定律,其功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-13)$$

式(1-13)说明,当电阻中电流一定时,消耗在电阻上的功率与其阻值成正比;当电阻上电压一定时,电阻消耗的功率与电阻成反比。负载电阻越小,它所消耗的功率就越大。平常说“负载大”是指负载元件在电路中消耗的功率大,并非指“负载电阻大”,而是指“负载电流大”。

1.4 电容元件及电感元件

1.4.1 电容元件

实际电容器通常由两块金属板中间充满介质(如空气、云母、绝缘纸、塑料薄膜、陶瓷等)构成。常用电容器如图 1-19(a)所示。电容元件的符号如图 1-19(b)所示。



图 1-19 常用电容器图及其符号

(a) 常用电容器; (b) 电容器的符号

电容器加上电压后,极板上聚集等量的异性电荷,在介质中建立电场,储存能量。当忽略电容器上的漏电阻和引线电感时,可以抽象为只有储存电场能量的电容元件。所以电容元件是从实际电容器中抽象出来的理想化模型。

在 u 和 i 采取关联参考方向时,线性电容元件的特性方程为

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

在 u 和 i 采取非关联参考方向时, 线性电容元件的特性方程为

$$i = -C \frac{du}{dt} \quad (1-15)$$

所以电容元件的电流与其两端的电压对时间的变化率成正比, 比例常数 C 称为电容。当 u 的单位为伏(V)、 i 的单位为安(A)时, C 的单位为法拉(F), 较小的单位为微法(μF)、皮法(pF), $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。习惯上我们常把电容元件简称电容。

从式(1-14)和式(1-15)可以看出, 只有当电容两端的电压发生变化时, 才有电流通过, 电压变化得越快, 电流就越大。当电压不变化时, 电流为零。所以电容元件有隔断直流的作用。

在 u 和 i 采取关联参考方向时, 电容元件功率为

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

电容元件所储存的电场能量为

$$W_c = \int_0^t p dt = C \int_0^{u(t)} u \cdot du = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (1-17)$$

即

$$W_c = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-18)$$

所以当电容元件上的电压升高时, 电容元件从电源吸收能量, 电容电场能量增大, 这个过程称为电容的充电过程。当电压降低时, 电容元件释放能量, 电场能量减少, 这个过程称为电容的放电过程。电容在充放电过程中, 电容本身并不消耗能量, 因此, 电容元件是一种储能元件。

在选用电容器时, 除了选择合适的电容量外, 还需注意实际的工作电压不能高于电容器的额定电压。实际工作电压过高, 介质就会被击穿。

【例 1.4】 电容元件及其参考方向如图 1-20 所示, 已知 $u = -30\sin 100t \text{V}$, 电容储存能量最大值为 9J, 求电容 C 的值及

$t = \frac{\pi}{200} \text{s}$ 时的电流。

解: 电压 u 的最大值为 30V, 所以

$$\frac{1}{2} \times C \times 30^2 = 9$$

所以

$$C = \frac{18}{30^2} = \frac{18}{900} = 0.02\text{F}$$

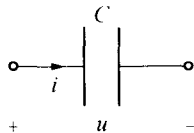


图 1-20 例 1.4 图