



21世纪全国高职高专电子电工类规划教材

电路及磁路

DIANLU JI CILU

焦俊生 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子电工类规划教材

内容简介

电路及磁路

焦俊生 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是适应新形势下高职高专类课程教学基本要求编写的。内容包括电路的基本概念和基本定律、简单电阻电路的分析方法、电路的网络分析方法和网络定理、正弦交流电路、三相交流电路、互感电路、动态电路分析、双端口网络、磁路与变压器。各章均有丰富的例题、习题,并附有部分习题答案供参考。

本书可作为高职高专电类专业教材,也可作为自学考试、成人教育相关专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路及磁路/焦俊生主编. —北京:北京大学出版社, 2007.1

(21 世纪全国高职高专电子电工类规划教材)

ISBN 978-7-301-08955-2

I. 电… II. 焦… III. ①电路理论—专业学校—教材②磁路—专业学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 031811 号

书 名: 电路及磁路

著作责任者: 焦俊生 主编

责任编辑: 胡伟晔 吕冬明

标准书号: ISBN 978-7-301-08955-2/TM • 0004

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 涿州星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 16.25 印张 355 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010—62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是在教育部高职高专培养目标和新形势下高职高专类课程教学基本要求的基础上,为更好地适应高等职业教育迅猛发展的需要,培养面向生产、管理第一线的高级应用型人才,并结合多年教学与实践经验编写的。

电路及磁路是高职高专电类专业的一门技术性基础课程,通过对本教材的学习,学生可掌握电路及磁路方面的基本理论、基本分析方法和基本技能,为后续专业课的学习和参加工作打下良好的理论基础。编写中以高职高专教育为主线,区别于大学本科教材的理论研究能力,而侧重于培养学生解决实际生产问题的能力,以应用为目的,在学生掌握基本知识的基础上,强化操作技能和综合能力的培养。为此,本书避免了一些较烦琐的或过分强调理论的内容,而力图采用比较有效和精炼的方式说明基本概念和基本原理。

在内容安排上,各章在紧扣基本内容的同时,增加一些新技术、新成果。注重“少而精”的原则,力求概念叙述清楚,内容取材得当;注重基础性,增强先进性;注重精选例题和习题,增加学生能力的培养。为了便于教与学,各章后都附有习题,以便学生加深理解,更好地掌握所学知识。本课程的教学参考学时为 70 学时。

本书的第 3 章由江苏大学段大鹏编写,第 4 章由章云峰编写,第 5 章由尹朋军编写,第 7 章由铜陵学院李胜强编写,第 8 章由王俊编写,其余章节由铜陵学院焦俊生编写,全书由焦俊生统稿。硕士生韩松、马国斌、潘颖承担了大部分插图的绘图任务,编者在此对他们表示衷心的感谢。

本书适用于高职高专、成人教育电气工程专业,也适合自动控制、工业电气化、应用电子技术、检测技术、仪器仪表等专业学生使用,并可作为相关的工程技术人员的学习参考书。

限于编者的水平有限,加之时间比较仓促,书中有些内容难免有错误和不妥之处,殷切希望使用本教材的教师和同学给予批评指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第1章 电路基本概念和基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电流参考方向及电压参考方向	2
1.3 电功率和电能	5
1.3.1 电功率	5
1.3.2 电能	6
1.3.3 电流热效应	7
1.4 电阻元件	8
1.4.1 电阻元件的定义	8
1.4.2 线性电阻与非线性电阻	9
1.4.3 电阻消耗功率的计算	10
1.4.4 电阻器的主要技术参数	10
1.4.5 负载的大小	11
1.5 电容元件	12
1.6 电感元件	14
1.7 电压源和电流源	16
1.7.1 电压源	16
1.7.2 电流源	17
1.7.3 电源的功率	17
1.8 受控源	18
1.8.1 定义	18
1.8.2 受控源的性质	19
1.9 基尔霍夫定律	20
1.10 习题	24
第2章 简单电阻电路的分析方法	29
2.1 电路的等效变换	29
2.2 电阻串联电路	30
2.3 电阻并联电路	32
2.4 电阻的星形连接与三角形连接的变换	35

2.5	理想电源的串联和并联.....	39
2.5.1	理想电压源的串联和并联.....	39
2.5.2	理想电流源的并联和串联.....	41
2.6	电压源与电流源的等效变换.....	42
2.7	习题.....	46
第3章	网络分析方法和网络定理.....	49
3.1	支路电流法.....	49
3.1.1	用支路电流法求解电路.....	49
3.1.2	列支路电流方程.....	49
3.2	回路电流法.....	52
3.2.1	回路电流法.....	52
3.2.2	回路电流法的解题步骤.....	54
3.3	节点电压法.....	56
3.4	叠加定理.....	59
3.4.1	叠加定理与线性电路.....	59
3.4.2	运用叠加定理的步骤.....	61
3.4.3	运用叠加定理的注意事项.....	61
3.5	替代定理.....	62
3.6	戴维南和诺顿定理.....	64
3.6.1	戴维南定理.....	66
3.6.2	诺顿定理.....	68
3.6.3	运用戴维南定理和诺顿定理的注意事项.....	68
3.7	习题.....	69
第4章	正弦交流电路.....	72
4.1	正弦交流电路的基本概念.....	72
4.1.1	周期、频率和角频率.....	73
4.1.2	瞬时值、幅值和有效值.....	73
4.1.3	相位、初相位和相位差.....	74
4.2	正弦量的相量表示法.....	76
4.2.1	复数的基本知识.....	76
4.2.2	正弦量的相量表示.....	78
4.2.3	相量形式的基尔霍夫定律.....	80
4.3	电阻元件的正弦交流电路.....	81
4.3.1	电阻元件.....	81
4.3.2	电阻元件的正弦交流电路.....	82

4.4	电感元件的正弦交流电路	84
4.4.1	电感元件	84
4.4.2	电感元件的正弦交流电路	86
4.5	电容元件的正弦交流电路	90
4.5.1	电容元件	90
4.5.2	电容元件的正弦交流电路	91
4.6	RLC 串联电路、复阻抗	94
4.6.1	RLC 串联电路	95
4.6.2	复阻抗	97
4.7	RLC 并联电路、复导纳	100
4.7.1	RLC 并联电路	100
4.7.2	复导纳	102
4.8	功率因数的提高	104
4.9	正弦交流电路的稳态计算	108
4.10	习题	112
第 5 章	三相交流电路	116
5.1	三相电路的基本知识	116
5.1.1	三相电源	116
5.1.2	三相负载	118
5.2	三相电源的连接	119
5.2.1	三相电源的 Y 形连接	119
5.2.2	三相电源的 Δ 形连接	120
5.3	三相负载的连接	121
5.3.1	三相负载的 Y 形连接	121
5.3.2	三相负载的 Δ 形连接	126
5.4	对称三相电路的计算	128
*5.5	不对称三相电路的计算	131
5.6	三相电路的功率与测量	134
5.6.1	三相电路的功率	134
5.6.2	三相电路功率的测量	137
5.7	习题	138
第 6 章	互感电路	141
6.1	互感概念	141
6.1.1	互感现象	141
6.1.2	互感系数	141

6.1.3	耦合系数	142
6.1.4	互感电压	143
6.2	同名端及其判定	143
6.2.1	同名端	144
6.2.2	同名端的测定	145
6.2.3	同名端原则	145
6.3	互感线圈的串联和并联	146
6.4	互感消除法	148
6.5	互感电路的计算	149
6.6	空心变压器	152
6.7	理想变压器	156
6.8	习题	158
第 7 章	动态电路分析	161
7.1	电路的过渡过程的基本概念	161
7.2	一阶电路的零输入响应	165
7.3	一阶电路的零状态响应	170
7.4	一阶电路的全响应	177
7.5	一阶电路分析的三要素法	180
7.6	二阶电路的零输入响应	183
7.7	习题	186
第 8 章	双端口网络	188
8.1	双端口网络的参数方程	188
8.1.1	Y 参数和方程	189
8.1.2	Z 参数和方程	191
8.1.3	T 参数和方程	192
8.1.4	H 参数和方程	194
8.2	双端口网络的连接	195
8.2.1	双端口的级联	195
8.2.2	双端口的并联	196
8.2.3	双端口的串联	197
8.3	双端口网络的等效变换和等效电路	198
8.3.1	双端口网络的 Y 参数等效电路	198
8.3.2	双端口网络的 Z 参数等效电路	199
8.4	习题	199

第9章 磁路与变压器	202
9.1 磁场的基本物理量及其相互关系	202
9.1.1 磁感应强度	202
9.1.2 磁通	202
9.1.3 磁场强度	203
9.1.4 磁导率	203
9.1.5 磁场中的基本规律	203
9.2 磁性材料的磁性能	204
9.2.1 高导磁性	204
9.2.2 磁滞性	206
9.2.3 磁性材料的分类	207
9.3 磁路的基本概念和基本定律	208
9.3.1 磁路	208
9.3.2 磁路分析中的基本物理量	209
9.3.3 磁路的基尔霍夫定律	209
9.4 直流铁芯线圈电路	212
9.5 交流铁芯线圈电路	216
9.5.1 电磁关系	216
9.5.2 功率损耗	218
9.5.3 等效电路	219
9.6 电磁铁	222
9.6.1 直流电磁铁	222
9.6.2 交流电磁铁	222
9.7 变压器	225
9.7.1 变压器的结构	225
9.7.2 变压器的工作原理	226
9.7.3 变压器的额定值、外特性、效率及损耗	231
9.7.4 特殊变压器	233
9.7.5 变压器绕组的极性	235
9.7.6 三相变压器	236
9.8 习题	237
习题答案	239
参考文献	247

第1章 电路基本概念和基本定律

本章介绍电路模型、电压、电流参考方向的概念，计算电能及吸收、发出功率的表达式和计算方法，还将介绍电阻、电容、电感、电压源、电流源和受控电源等电路元件。

不同电路元件的变量之间具有不同的约束。基尔霍夫定律是集总参数电路的基本定律，包括电流定律和电压定律，分别对相互连接的支路电流之间和相互连接的支路电压之间予以线性约束。

1.1 电路与电路模型

为了实现电能或电信号的产生、传输、加工及利用，人们将所需的电器元件或设备按一定方式连接起来而构成的集合体称为**电路**，也称**电网**。

实际的电器元件和设备的种类很多，如各种电源、电阻器、电感器、电容器、变压器、电子管、晶体管、固体组件等，它们中发生的物理过程是很复杂的。因此，为了研究电路的特性和功能，我们必须进行科学的抽象，用一些模型来代替实际电器元件和设备的外部功能，这种模型即称为**电路模型**。构成电路模型的元件称为**理想电路元件**，也称**模型元件**。理想电路元件只是实际电器元件和设备的理想化，它不仅能反映实际元件和设备的主要电磁性能，还能反映实际元件物理规律的数学模型（数学方程）。因此，理想电路元件通常都是用数学模型来定义的，它常被称为实际电路元件的数学模型。

理想电路元件分为两类：一类是直接与其相对应的实际电路元件，如电阻器、电感器、电容器、电压源、电流源等；另一类是没有直接与其相对应的实际电路元件，但是它们的某种组合却能反映出实际电器元件和设备的主要特性和外部功能，如受控电源等。以理想电路元件及其组合作为电路理论的研究对象，即形成了**电路模型理论**。

今后我们研究的电路均是指模型电路。图 1-1 (a) 所示为一个实际的简单电路。它由电源（干电池）、连接导线、负载（小灯泡）三部分组成。电源产生电能或电信号，连接导线传输电能或电信号，负载消耗电能或取得电信号。它的模型如图 1-1 (b) 所示。其中电阻 R 代表负载（小灯泡），干电池则用电压源 u_s 和电阻 R_s 的串联组合表示，电阻 R_l 代表连接导线的总电阻。将电路模型画在平面上所形成的图称为**电路图**。图 1-1 (b) 即为图 1-1 (a) 电路的电路图。电路图只反映各理想电路元件在电路中的作用及其相互连接方式，并不反映实际设备的内部结构、几何形状及相互位置。

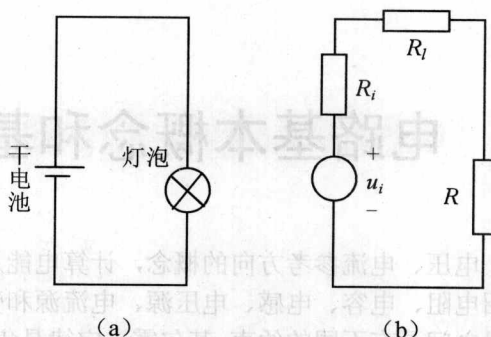


图 1-1 简单实际电路及其电路模型

电路原理课程的主要内容是分析电路中的电磁现象和过程,研究电路定律、定理和电路的分析方法,这些知识是认识和分析实际电路的理论基础,更是分析和设计电路的重要工具。

1.2 电流参考方向及电压参考方向

在电路中,自由电荷在电场力作用下,按照一定秩序定向移动即形成电流。导体中的这种电流称为传导电流。衡量电流强弱的物理量称为电流强度,它表示单位时间内通过导体横截面的电量。电流强度简称电流,用字母 i 或 I 表示。

当通过导体任一横截面的电流随时间变动时,称为变动电流,用小写字母 i 表示,大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。直流电流 I 与电量 Q 的关系为:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中, Q 表示通过导体截面的电量,在国际单位制 (SI) 中,主单位是库仑,记作 C; t 表示通电时间,单位秒 (s); I 表示电流强度,在国际单位制 (SI) 中,电流主单位是安培,记作安 (A),比安培大的单位有千安 (kA),比安培小的单位有毫安 (mA)、微安 (μA),其换算关系为:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

当电流作为信号通过电路时,欲求输入信号和输出信号之间的关系,首先应确定电路

中信号的变动方向,实际电路中信号的变动方向通常有两种可能,如图 1-2 (a) 所示,即正电荷 q 从 A 流向 B,或正电荷 q 从 B 流向 A。我们把正电荷移动的方向称为**电流的实际方向**。电路中电流方向到底是从 A 流向 B,还是从 B 流向 A 呢?这一时很难判断。由于电流方向一时确定不下来,而分析计算电路又必须先知道电流方向,因此引入电流“**参考方向**”概念。**电流参考方向**通常是任意指定的,用箭头表示,如图 1-2 (b) 所示。电流参考方向也可以用双下标表示,如电流从 A 流向 B,可记为 i_{AB} 。

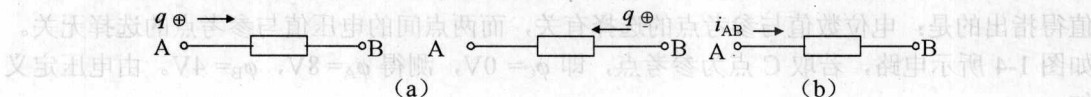


图 1-2 电流参考方向

根据电流参考方向算出电流 i 值后,若 i 值大于零 ($i > 0$),说明电流的参考方向和实际方向一致(即参考方向就是电流实际方向);若 i 值小于零 ($i < 0$),说明电流的参考方向 and 实际方向相反(即参考方向的反方向为电流的实际方向)。

由此可见,电流的正负值正是由于电流的参考方向与其实际方向相同或不同而造成的,若不规定电流的参考方向,电流的正负值也就没有意义了。若用实线表示电流的参考方向,虚线表示电流的实际方向,则电流的正负值同电流的参考方向及电流的实际方向的关系如图 1-3 所示。

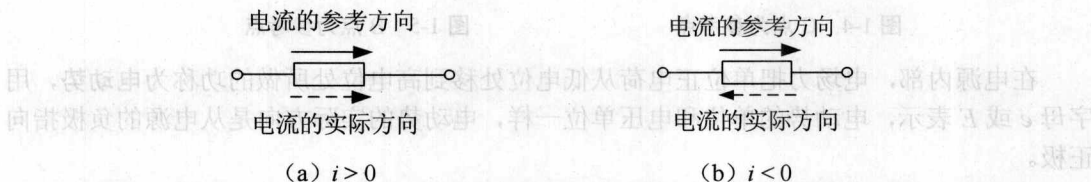


图 1-3 电流的参考方向 and 实际方向

由物理学知,单位电荷 q 在电场力作用下从 A 点移动到 B 点,电场力所做的功称为**电压**。我们把电压从高电位指向低电位的方向,称为**电压的实际方向**。设电场力将电荷 Q 从 A 点移动到 B 点所做的功为 W_{AB} , 则

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

式中, W_{AB} 为电场力做的功,在 SI 制中,主单位焦耳,记作焦 (J); U_{AB} 为 A、B 两点间的电压,在 SI 制中,主单位伏特,记作伏 (V),它表示电场力把 1 库仑电荷从 A 点移动到 B 点所做的功是 1 焦耳。比伏特小的单位是毫伏 (mV),比伏特大的单位是千伏 (kV),其换算关系为:

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

若取 O 点为参考点 (即 $\varphi_O = 0\text{V}$)，单位电荷 q 在电场力作用下由 A 点移动到参考点 O 的电压称为**电位**，用字母 φ 表示，即：

$$\varphi_A = U_{AO} = \frac{W_{AO}}{Q} = \varphi_A - \varphi_O \quad (1-3)$$

从而得电路中任意两点间的电压等于该两点之间的电位差。电位的单位和电压单位一样。值得指出的是：电位数值与参考点的选择有关，而两点间的电压值与参考点的选择无关。如图 1-4 所示电路，若取 C 点为参考点，即 $\varphi_C = 0\text{V}$ ，测得 $\varphi_A = 8\text{V}$ ， $\varphi_B = 4\text{V}$ 。由电压定义知

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4\text{V}, \quad U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8\text{V}$$

若取 B 点为参考点，即 $\varphi_B = 0\text{V}$ ，测得 $\varphi_A = 4\text{V}$ ， $\varphi_C = -4\text{V}$ 。由电压定义得：

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4\text{V}, \quad U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8\text{V}$$

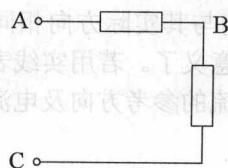


图 1-4 C 点为参考点

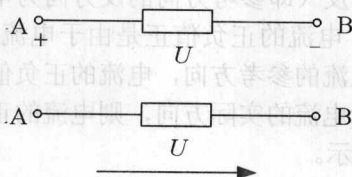


图 1-5 B 点为参考点

在电源内部，电场力把单位正电荷从低电位处移到高电位处所做的功称为**电动势**，用字母 e 或 E 表示，电动势的单位和电压单位一样，电动势的实际方向是从电源的负极指向正极。

电压的参考方向通常也是任意指定的，其标法从高电位到低电位，可用双下标表示，如 U_{AB} 。极性可用“+”、“-”表示，也可用箭头表示（从高电位指向低电位），如图 1-5 所示。对于任意一段电路，任意指定电压参考方向后计算出的电压值（如 U_{AB} ），若 $U_{AB} > 0$ ，说明参考方向和实际方向一致，如图 1-6 (a) 所示；若 $U_{AB} < 0$ ，说明参考方向和实际方向相反，如图 1-6 (b) 所示。

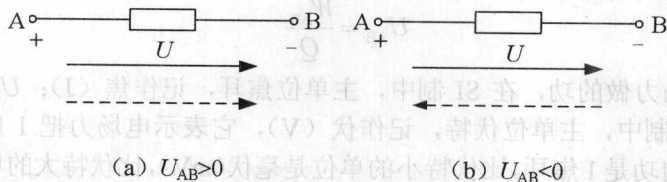


图 1-6 电压参考方向与实际方向的关系

对于任意一段电路或一个元件,其电压的参考方向与电流的参考方向可以独立地任意指定,若指定电流从该段电路(或元件)的电压正极端流入,并从负极端流出,即电路(或元件)的电压参考方向与电流参考方向一致,则称为关联参考方向,如图1-7(a)所示;否则为非关联参考方向,如图1-7(b)所示。

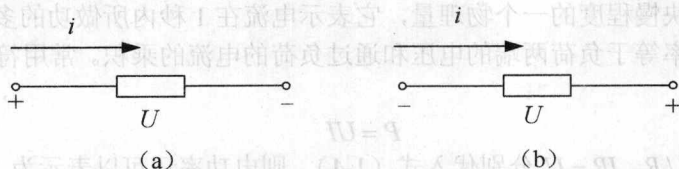


图1-7 关联参考方向与非关联参考方向

[例1-1] 各元件参数及支路电流标在图中,分别以b、a点为参考点,求各点电位及 U_{cd} 。

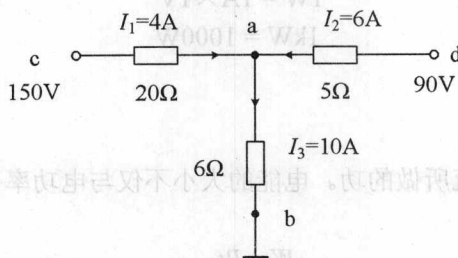


图1-8 例1-1图

解(1) b点为参考点

$$U_a = 6I_3 = 6 \times 10 = 60 \text{ (V)} \quad U_c = 150 \text{ (V)} \quad U_d = 90 \text{ (V)}$$

$$U_{cd} = U_c - U_d = 150 - 90 = 60 \text{ (V)}$$

(2) a点为参考点 $U_b = -6I_3 = -6 \times 10 = -60 \text{ (V)}$

$$U_c = 20I_1 = 20 \times 4 = 80 \text{ (V)} \quad U_d = 5I_2 = 5 \times 6 = 30 \text{ (V)}$$

$$U_{cd} = U_c - U_d = 80 - 30 = 50 \text{ (V)}$$

1.3 电功率和电能

1.3.1 电功率

发电厂发出的电通过输配电线路输给用户,电流通过电动机带动机器转动,这时电流做了功,电动机使电能转化成了机械能。日常生活中还有许多电流做功的例子,如电流通

过电灯时, 电灯发光, 电能转化成了光能; 电流流过电炉时, 产生了大量的热, 电能转化成了热能等。

不同电气设备接上电源时电流都做了功, 但在相等的时间里不同的电气设备因电流的大小不同所做的功也不一样。或者说, 它们做相等的功所用的时间不一样。电功率就是反映这种电流做功快慢程度的一个物理量, 它表示电流在 1 秒内所做功的多少。

负荷的电功率等于负荷两端的电压和通过负荷的电流的乘积。常用符号 P 来代表电功率, 即

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

将欧姆定律 $I = U/R$, $IR = U$ 分别代入式 (1-4), 则电功率还可以表示为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-5)$$

常用的电功率单位是瓦特 (W)、千瓦 (kW)。它们的关系是

$$1\text{W} = 1\text{A} \times 1\text{V}$$

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

1.3.2 电能

电能是一段时间内电流所做的功。电能的大小不仅与电功率有关, 还与做功时间的长短有关, 可用公式表示为

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

式中: P 为电功率 (kW); t 为时间 (h); W 为电能 (kW·h)。1kW·h 是指容量 (功率) 为 1kW 的用电设备, 在 1 小时内所消耗的电能。

要注意电能和电功率的区别。电能是指一段时间内电流所做的功, 或者是指一段时间内负荷消耗的能量; 电功率是指单位时间内电流所做的功, 或者是指单位时间内负荷消耗的电能。电功率用瓦特表测量, 电能用瓦时表 (即电能表) 来计量。

灯泡上标明的 25W 是指灯泡的功率是 25W, 不是指电能。若一只 25W 灯泡点亮 4h, 则消耗的电能是 0.1kW·h。电功率和电能及它们常用的单位瓦 (或千瓦) 和千瓦·小时是不同的概念, 不要混淆。

【例 1-2】 试计算 220V、2A 的单相电能表能带几个 220V、25W 的灯泡。

解 电能表总共能带的瓦数是

$$P = UI = 220\text{V} \times 2\text{A} = 440\text{W}$$

能带 220V、25W 灯泡的数目是

$$\frac{440}{25} = 17.6 \approx 17 \text{ (个)}$$

【例 1-3】 有一额定功率为 1W、阻值为 1kΩ 的金属膜电阻, 工作在额定条件下的电

流和电压是多少?

解 应用公式

$$P = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{10^3}} = 0.032 \text{ (A)}$$

$$U = \sqrt{RP} = \sqrt{1 \times 10^3} = 31.62 \text{ (V)}$$

【例 1-4】 把一个 220V 灯泡接在 220V 电源上, 已知通过电灯的电流是 0.454A, 问 10h 该灯泡消耗的电能是多少?

解 灯泡的功率是

$$P = UI = 220 \times 0.454 \approx 100 \text{ (W)} = 0.1 \text{ (kW)}$$

10h 电灯泡消耗的电能是

$$W = Pt = 0.1 \times 10 = 1 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

【例 1-5】 场院里一盏 100W 的电灯, 平均每天使用 2h, 问一个月 (以 30 天计算) 用电多少? 若不注意节约用电, 有一个晚上通宵没关灯, 多用电时间约 10h, 问浪费多少电?

解 每天用电 2h, 30 天灯泡消耗的电能:

$$W = Pt = 0.1 \times (30 \times 2) = 6 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

一夜未关灯, 多用电 10h, 浪费电能为:

$$W = Pt = 0.1 \times 10 = 1 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

1kW·h 看来数字很小, 但其作用很大。

1.3.3 电流热效应

电动机运行一段时间后, 用手去摸它的外壳, 会感到很热, 甚至烫手。这是因为电动机绕组有电阻, 电流流过电阻时, 电阻吸收的电能转化成了热能, 使电动机的温度逐渐升高, 这种现象叫做电流的热效应。

在生产实践中, 人们制成的电炉、电熨斗、电烙铁等, 就是利用电流的热效应制成的加热设备。由于电流的热效应, 一些电气设备 (如电动机、变压器等) 在运行中会产生温升。温升过高会危害这些设备的安全, 所以应设法把产生的热量及时散出去, 以延长设备的使用寿命。电流通过导体要产生热量, 英国的物理学家焦耳通过大量试验研究证明: 电流流过导体产生的热量与电流的平方成正比, 与导体的电阻成正比, 与通电的时间成正比, 这就是著名的焦耳定律。用公式表示, 即

$$Q = I^2 R t \quad (1-7)$$

式中: Q 为电流在电阻上产生的热量 (J); I 为通过导体的电流 (A); R 为导体的电阻 (Ω);

t 为电流通过的时间 (s)。

如果电流通过金属导体时, 电能全部转化为热能, 而没有转化为其他形式的能, 这时电流产生的热量就等于电流所做的功, 即 $Q = W$, 电流所做的功 $W = UIt$, 根据 $I = \frac{U}{R}$, 于是得到

$$Q = I^2 R t \quad (1-8)$$

或者

$$Q = \frac{U^2}{R} t \quad (1-9)$$

为了使电气设备在正常温度下运行, 避免设备过度发热。对于各种电气设备规定了额定值, 如额定电压、额定电流、额定功率、额定转速等。这些额定值的大小是经过分析计算得出来的, 在额定值条件下工作就能保证电气设备安全、经济地运行, 并保证电气设备有一定的使用寿命, 特别是能保证电气设备的工作温度不超过规定的允许值。在使用电气设备时, 首先要了解设备铭牌上标出的各种数值, 使运行中的实际值不超过额定值。当通过电气设备的电流或所加的电压超过额定值过多时, 会造成电气设备损坏; 反之, 当通过电气设备的电流或所加的电压比额定值小很多时, 会使电气设备工作状况不正常、不合理 (如电压过低, 会使电灯亮度不够, 电动机转速太低或不能启动等), 并且不能充分利用电气设备的工作能力。

1.4 电阻元件

在 1.1 节中, 我们讨论过建立电路元件模型的必要性的问题。本节开始讨论几种基本的电路元件模型。

1.4.1 电阻元件的定义

电阻元件是从物理现象中抽象出来的模型。物理学的研究发现, 电流在物体中流动时, 运动的电荷 (自由电子或正负离子) 与原子晶格或其他原子的相互作用, 阻碍了电荷的移动, 外观表现为电能转化为热能而消耗, 并产生了电压降落。物体对电流的阻碍作用称为**电阻**。严格说起来, 任何导电的物体对电流均有一定的阻碍作用。我们通常把其主要特性呈现为电阻特性的元件称为**电阻元件**, 简称为**电阻**。电阻元件是最重要的电路元件之一, 它是实际的碳膜电阻器、金属膜电阻器、线绕电阻器, 甚至某些半导体器件, 两种导体的接触端性能的一种抽象。

在电路理论中, 是从加在某二端元件的电压 $u(t)$ 和流过该元件的电流 $i(t)$ 关系, 即伏安