



21 世纪全国高职高专电子电工类规划教材

电路与电工技术

DIANLU YU DIANGONG JISHU

焦俊生 倪琳 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

电路与电工技术

焦俊生 倪琳 主编

段大鹏 章云峰 尹朋军 参编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是在新形式下按照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、简单电路的分析方法、电路的网络分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、动态电路分析、磁路基本知识、异步电动机、常用低压电器、电工常用仪表的使用等。各章均有丰富的例题、习题，书后附有部分习题答案供读者参考。

本书可作为高职高专类电类专业教材，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

电路与电工技术/焦俊生 编著. —北京: 北京大学出版社, 2006.9

(21 世纪全国高职高专电子电工类规划教材)

ISBN 7-301-08948-1

I. 电… II. ①焦… ②倪… III. ①电路—专业学校—教材 ②电工技术—专业学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 031818 号

书 名: 电路与电工技术

著作责任者: 焦俊生 倪琳 主编

责任编辑: 温丹丹 赵东辉

标准书号: ISBN 7-301-08948-1/TM · 0003

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 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印刷者: 北京大学印刷厂

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 印张 347 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 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

本书是为了适应新形势下高职高专课程教学基本要求而编写的,可作为高职高专、职工大学电类专业的教材或教学参考用书。

电路及电工技术是高职电类专业的一门技术性基础课程,它的主要任务是为学生学习专业知识和从事工程技术打好电路及电工方面的理论基础。为此,本书避免了一些较繁琐的或过分强调理论的内容,而力图采用比较有效和精练的方式说明基本概念和基本原理。

在内容安排上,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;注重基本概念、基本理论的应用和基本技能的训练。

本书的第3章由江苏大学段大鹏编写,第4章由江苏大学章云峰编写,第5章由江苏大学尹朋军编写,第6、8、9章由铜陵学院倪琳编写,其余章节由铜陵学院焦俊生编写,全书由江苏大学张波统稿。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。

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

编 者

2006年6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	6
1.3.1	电功率.....	6
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.....	9
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.....	11
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.....	18
1.8	受控源.....	18
1.8.1	定义.....	18
1.8.2	受控源的性质.....	20
1.9	基尔霍夫定律	21
1.10	习题	25
第 2 章	简单电阻电路的分析方法.....	30
2.1	电路的等效变换	30
2.2	电阻串联电路	31
2.3	电阻并联电路	33
2.4	电阻的星形连接与三角形连接的变换.....	36

2.5	理想电源的串联和并联	41
2.5.1	理想电压源的串联和并联	41
2.5.2	理想电流源的并联和串联	43
2.6	电压源与电流源的等效变换	44
2.7	习题	48
第3章	网络分析方法和网络定理	52
3.1	支路电流法	52
3.1.1	用支路电流法求解电路的一般步骤	52
3.1.2	列支路电流方程	52
3.2	回路电流法	56
3.2.1	回路电流法	56
3.2.2	回路电流法的解题步骤	58
3.3	节点电压法	60
3.4	叠加定理	63
3.4.1	叠加定理与线性电路	63
3.4.2	运用叠加定理的步骤	66
3.4.3	运用叠加定理的注意事项	66
3.5	替代定理	67
3.6	戴维南和诺顿定理	69
3.6.1	戴维南定理	70
3.6.2	诺顿定理	73
3.6.3	运用戴维南定理和诺顿定理注意事项	73
3.7	习题	74
第4章	正弦交流电路	78
4.1	正弦交流电路的基本概念	78
4.1.1	周期、频率和角频率	79
4.1.2	瞬时值、幅值和有效值	79
4.1.3	相位、初相位和相位差	80
4.2	正弦量的相量表示法	82
4.2.1	复数的基本知识	83
4.2.2	正弦量的相量表示	84
4.2.3	相量形式的基尔霍夫定律	87
4.3	电阻元件的正弦交流电路	87
4.3.1	电阻元件	87
4.3.2	电阻元件的正弦交流电路	88

4.4	电感元件的正弦交流电路.....	91
4.4.1	电感元件.....	91
4.4.2	电感元件的正弦交流电路.....	93
4.5	电容元件的正弦交流电路.....	97
4.5.1	电容元件.....	97
4.5.2	电容元件的正弦交流电路.....	98
4.6	RLC 串联电路、复阻抗.....	101
4.6.1	RLC 串联电路.....	101
4.6.2	复阻抗.....	104
4.7	RLC 并联电路、复导纳.....	107
4.7.1	RLC 并联电路.....	107
4.7.2	复导纳.....	109
4.8	功率因数的提高.....	111
4.9	正弦交流电路的稳态计算.....	115
4.10	习题.....	119
第 5 章	三相交流电路.....	124
5.1	三相电路的基本知识.....	124
5.1.1	三相电源.....	124
5.1.2	三相负载.....	127
5.2	三相电源的连接.....	127
5.2.1	三相电源的 Y 连接.....	127
5.2.2	三相电源的 Δ 连接.....	129
5.3	三相负载的连接.....	129
5.3.1	三相负载的 Y 连接.....	130
5.3.2	三相负载的 Δ 连接.....	135
5.4	对称三相电路的计算.....	137
*5.5	不对称三相电路的计算.....	142
5.6	三相电路的功率与测量.....	144
5.6.1	三相电路的功率.....	144
5.6.2	三相电路功率的测量.....	147
5.7	习题.....	149
第 6 章	动态电路分析.....	151
6.1	电路的过渡过程的基本概念.....	151
6.2	一阶电路的零输入响应.....	155
6.3	一阶电路的零状态响应.....	160

6.4	一阶电路的全响应	168
6.5	一阶电路分析的三要素法	171
6.6	二阶电路的零输入响应	173
6.7	习题	177
第7章	磁路基本知识	180
7.1	磁路的基本概念	180
7.1.1	磁路	180
7.1.2	交流铁芯线圈电路	182
7.1.3	耦合电感	184
7.2	变压器	185
7.2.1	变压器的结构	185
7.2.2	变压器的工作原理	186
7.3	习题	191
第8章	异步电动机	193
8.1	三相异步电动机的结构	193
8.1.1	定子	193
8.1.2	转子	194
8.2	三相异步电动机的转动原理	194
8.2.1	旋转磁场	194
8.2.2	三相异步电动机的转动原理	198
8.3	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	199
8.3.1	转矩公式	199
8.3.2	机械特性	199
8.4	三相异步电动机的使用	201
8.4.1	三相异步电动机的铭牌数据	201
8.4.2	三相异步电动机的启动与制动	202
8.5	习题	203
第9章	继电接触器控制系统	204
9.1	常用低压电器	204
9.1.1	闸刀开关	204
9.1.2	自动空气断路器	205
9.1.3	交流接触器	205
9.1.4	按钮	206
9.1.5	热继电器	206
9.1.6	时间继电器	207

9.1.7 行程开关.....	208
9.1.8 熔断器.....	209
9.2 三相异步电动机控制电路.....	209
9.2.1 三相异步电动机直接启停控制电路.....	209
9.2.2 电动机正反转控制线路.....	211
9.2.3 行程控制.....	213
9.2.4 时间控制.....	214
9.3 习题.....	216
第10章 电工常用仪表的使用.....	218
10.1 电工仪表概述.....	218
10.1.1 电工仪表的分类及符号.....	218
10.1.2 仪表准确度等级.....	219
10.2 指针式万用表的结构和工作原理.....	220
10.2.1 指针式万用表的结构.....	221
10.2.2 指针式万用表的工作原理.....	222
10.2.3 指针式万用表的使用.....	223
10.3 兆欧表.....	225
10.3.1 兆欧表的结构和工作原理.....	225
10.3.2 兆欧表的使用.....	227
10.3.3 兆欧表的测量方法.....	227
10.3.4 兆欧表的注意事项.....	228
10.4 钳形电流表.....	228
10.4.1 钳形电流表的结构和工作原理.....	228
10.4.2 钳形电流表的使用.....	229
10.4.3 钳形电流表的注意事项.....	229
10.5 直流单臂电桥.....	230
10.5.1 直流单臂电桥的结构和工作原理.....	230
10.5.2 直流单臂电桥的使用.....	230
10.5.3 注意事项.....	231
10.6 习题.....	231
习题答案.....	232
参考文献.....	243

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，也称电网络。

实际的电器元件和设备的种类是很多的，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，它不仅能反映出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）。正因为如此，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：一类是有实际的元件与它对应，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它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_1 和电阻 R_1 的串联组合表示，电阻 R_1 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。

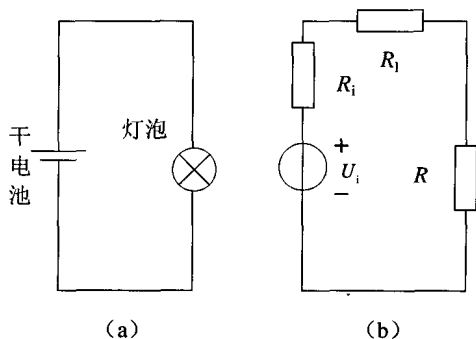


图 1-1 简单实际电路及其电路模型

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 ——通过导体截面的电量，在国际 (SI) 单位制中，主单位是库仑 (C)；

t ——通电时间，单位秒 (s)；

I ——电流强度，在国际 (SI) 单位制中，电流主单位是安培 (A)，比安培大的单位有千安，比安培小的单位有毫安、微安，其换算关系为：

$$1 \text{ 千安 (kA)} = 10^3 \text{ 安培 (A)}$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 安培 (A)}$$

1 微安 (μA) = 10^{-6} 安培 (A)

当电流作为信号通过电路时, 欲求插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? 一时很难判断出来。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} 。

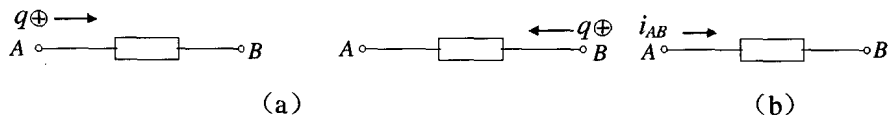


图 1-2 电流参考方向

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和实际方向相反 (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, 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。

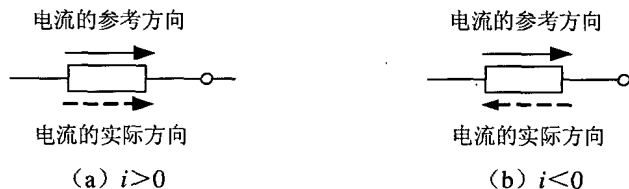


图 1-3 电流的参考方向和实际方向

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} ——电场力做的功, 在 SI 制中, 主单位焦耳, 记作焦 (J);

u_{AB} —— A 、 B 两点间的电压, 在 SI 制中, 主单位伏特, 记作伏 (V)。

式(1-2)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,比伏特大的单位是千伏,其换算关系为

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 10^3 \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 10^{-3} \text{ 伏 (V)}$$

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

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

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。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

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

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 $\mathcal{E}$ 或 $\mathcal{E}$ 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} 或用“+”、“-”表示极性,也可用箭头表示(从高电位指向低电位),如图1-5所示。

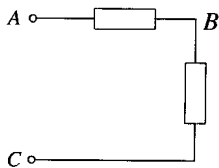


图 1-4 C点为参考点

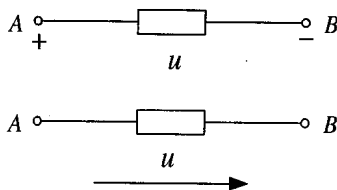


图 1-5 B点为参考点

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。

对于任意一段电路或一个元件,其上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,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。

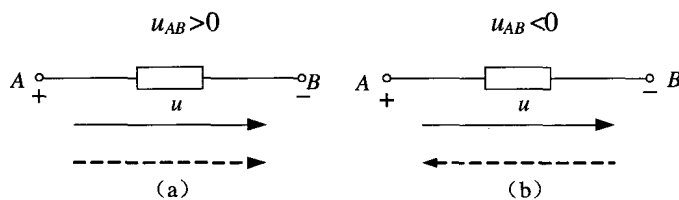


图 1-6 电压参考方向与实际方向的关系

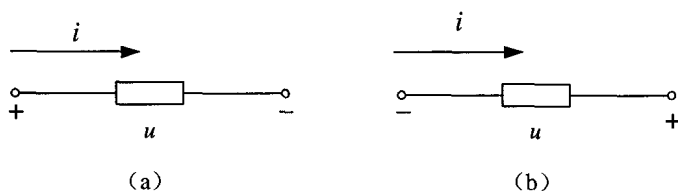


图 1-7 关联参考方向与非关联参考方向

【例 1-1】 已知图 1-8 所示电路, $u_{BC}=30\text{V}$, $\varphi_A=80\text{V}$, $u_{CD}=20\text{V}$, 求 φ_D 和 u_{AB} 之值; 并问 E 点电位如何?

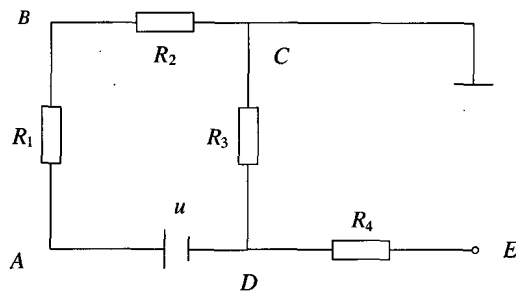


图 1-8 例 1-1 图

解 (1) 由图 1-8 知, $\varphi_C=0\text{V}$, $u_{CD}=\varphi_C-\varphi_D=20\text{V}$, 故 $\varphi_D=-20\text{V}$ 。

(2) 由 $u_{BC}=\varphi_B-\varphi_C$, 故 $\varphi_B=u_{BC}+\varphi_C=30\text{V}$ 。

即 $u_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=80-30=50\text{V}$ 。

(3) 因为 E 点断开, R_4 上无电流通过, 所以 D 、 E 两点间电位相等。即 $\varphi_E=\varphi_D=-20\text{V}$ 。

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送给用户，电流通过电动机带动机器转动，这时电流做了功，电动机使电能转换了机械能。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，电能转换了光能；电流流过电炉时，产生了大量的热，电能转换了热能等。

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 秒内所做的功的多少。

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 $I = \frac{U}{R}$ ， $IR = U$ 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 ——电功率 (kW)；

t ——时间 (h)；

W ——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。或者说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。或者说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，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

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

能带 220V, 25W 灯泡的数目是

$$\frac{440}{25}=17\text{ 个}$$

[例 1-3] 某厂要制造一只 2kW 的电烘箱,若电源电压是 380V,问应选用阻值是多大的电阻丝(不考虑温度对电阻丝的影响)?

解 根据公式

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

所以

$$R=\frac{U^2}{P}=\frac{380^2}{2000}=72.2\Omega$$

[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 10 小时该灯泡消耗的电能是多少?

解 灯泡的功率是

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

3 小时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 2 h,问一个月(以 30 天计算)用电多少?若不注意节约用电,有一个晚上通夜没关灯,多用电时间约 10h,问浪费多少电?

解 每天用电 2 h,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,电阻吸收的电能转换成了热能,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，一些电器设备如电动机、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，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 ——电流在电阻上产生的热量 (J)；

I ——通过导体的电流 (A)；

R ——导体的电阻 (Ω)；

t ——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

$$Q = IUt \quad (1-8)$$

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，要首先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等），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。