

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



电工基础

沈光玲 主 编 高恒志 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

国家示范性高等职业院校规划教材
教育部高职高专规划教材



电工基础

主 编 王 强 副主编 王 强 王 强



中国石化出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



电工基础

主 编 沈光玲
副主编 高恒志
编 写 李新民 陈 巍
主 审 庾朝永



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。

本书的主要内容有电路的基本概念、直流电阻电路的分析、正弦交流电路的分析、三相正弦交流电路、线性动态电路的分析、磁路与变压器、电工基础实验指导。

本书按照高等职业教育的特点,在理论部分的选择上强调适度、够用、相对完整,满足学生后继学习的需要,并突出实用性和实践性。在实验、实训部分注重学生对基本实验仪器的使用和基本实验方法的培养。

本书可作为高等职业院校电气、机电一体化、仪表自动化等专业的电工基础课程教材,也可作为相关岗位培训和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/沈光玲主编. —北京:中国电力出版社,2010.8

高职高专电气自动化技术专业规划教材

ISBN 978-7-5123-0613-4

I. ①电… II. ①沈… III. ①电工学—高等学校:技术
学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 169263 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 8 月第一版 2010 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 329 千字

定价 22.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书为高等职业教育电气自动化及电类相关专业电工基础课程编写。

2001年,河北化工学校经国家教委批准升格为高等职业技术学院——河北化工医药职业技术学院,开始招收高中毕业生起点的三年制专科学生,培养适应生产、建设、管理、服务等生产一线的高等技术应用型人才。在我院职业教育百年历史的基础上,结合近10年新的建设模式对高职院校培养人才的需求,编者通过不断的摸索、实践和总结编写了本教材。

本教材适应当前市场对高等职业教育的要求,突出理论性与实践性、实用性相结合的原则,力求做到以应用为目的,培养学生的科学素质,为学生后继课程的学习打下基础。考虑到高职教育的对学生理论知识要求的特点,本教材着重介绍经典的电路分析方法,以必须够用为度。注重强调物理模型、数学模型和等效概念的应用,以培养学生把实际工程问题概括、简化,以提高解决问题的能力。内容编排上尽力做到精简适度、突出重点。简化一些数学上的推导过程,编写适当的例题、思考题、练习题,以便学生能较系统地掌握所学的基础理论知识。

高职教育的特点之一是实际操作能力的培养,本书分为基础理论和电工基础实验指导两部分。实验指导中的基础实验,注重对学生实验能力和实际操作技能的培养,让学生学会常用电工仪表的使用和测量方法。综合实训注重对学生初步设计、实物安装、分析及解决实际问题能力的培养。通过实践环节能使学生加深对基础理论的理解,逐步养成严谨的学习和工作的作风,培养学生分析问题、解决问题和设计创新的能力。

本教材每章前的小段引言,节后、章后的小结,可以帮助学生理清思路,起到引领思考、巩固概念的作用。书中打*号部分为选讲内容,可根据专业需求和教学时间酌情安排。

本教材由河北化工医药职业技术学院副教授沈光玲任主编,副教授高恒志任副主编,副教授李新民、助讲陈巍参编。具体分工如下:沈光玲编写第二~四章,高恒志编写第五章、第六章,李新民编写第七章,陈巍编写第一章。全书由沈光玲负责统稿。

本书由湖南机电职业技术学院的庾朝永副教授主审。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者指正。

编者

2010年9月

目 录

前言

第一章 电路的基本概念	1
第一节 电路 电路模型	1
第二节 电路中的基本物理量	2
第三节 欧姆定律和电阻元件	5
第四节 电流的热效应	9
第五节 电源与电源的三种工作状态	11
第六节 基尔霍夫定律	15
本章小结	19
习题	20
第二章 直流电阻电路的分析	22
第一节 电阻连接与等效电阻无源二端网络	22
第二节 电能输送与负载获得的最大功率	27
第三节 支路电流法	31
* 第四节 网孔电流法	32
第五节 结点电压法	34
第六节 戴维南定理	37
第七节 叠加定理	39
* 第八节 非线性电阻电路	42
本章小结	45
习题	45
第三章 正弦交流电路的分析	48
第一节 正弦交流电的基本概念	48
第二节 正弦量的表示方法	52
第三节 相量形式的基尔霍夫定律	56
第四节 理想元件交流电路的伏安关系	58
第五节 RLC 串联交流电路及阻抗	66
第六节 RLC 并联交流电路及导纳	72
第七节 阻抗的串并联 等效阻抗 等效导纳	76
第八节 电路元件的平均功率 无功功率 平均储能	81
第九节 正弦交流电路的功率	85
第十节 功率因数的提高	90
第十一节 电路谐振	93

*第十二节 交流电路中的实际元件	99
*第十三节 非正弦交流电路简介	101
本章小结	107
习题	107
第四章 三相正弦交流电路	112
第一节 对称三相交流电源	112
第二节 三相负载的连接	116
第三节 对称三相电路的计算	118
第四节 三相四线制不对称负载电路的计算	123
第五节 三相电路的功率	127
本章小结	129
第五章 线性动态电路的分析	130
第一节 稳态与瞬态	130
第二节 RC 串联电路在直流激励下的响应	134
第三节 RL 串联电路在直流激励下的响应	142
第四节 一阶直流线性电路瞬态过程的三要素法	146
第五节 一阶电路在正弦交流电压激励下的响应	149
*第六节 二阶线性动态电路简介	154
本章小结	157
习题	157
第六章 磁路与变压器	159
第一节 铁磁物质的磁化	159
第二节 磁路和磁路定律	162
第三节 交流铁芯线圈的电压与磁通的关系	168
第四节 磁滞和涡流	169
第五节 变压器的结构和工作原理	171
本章小结	175
第七章 电工基础实验指导	177
第一节 电工基础实验教学要求	177
第二节 基本实验项目	178
第三节 综合实训项目	199
附录 常用铁磁材料基本磁化曲线数据表	207
参考文献	209

第一章

电路的基本概念

电路和磁路是电工技术的主要研究对象，电路的研究起点是元件、模型电路和参数。本章重点讲述电路的基本物理量、电路模型和电路的两个基本定律。

第一节 电路 电路模型

一、电路

1. 概念

电路通常是指电流的通路。电路是各种电气元件按照一定的方式连接起来组成的总体，较复杂的电路称为电网络。

2. 电路的功能

按照工作任务，电路的主要功能分为以下两类：

(1) 完成能量的转化，传输和分配，例如供电系统、照明系统、电制冷系统等。在这样的电路中，完成其他形式能转化为电能设备叫电源；将电能转化为其他形式能的设备叫负载；在电源和负载之间的输电线、变压器、控制电器等是执行传输和分配任务的器件，通常称为线路。

(2) 进行信号的处理。这类电路的输入信号叫激励，输出信号叫响应。如扩音器电路的输入是音频信号（激励），经放大后由扬声器输出（响应）。

3. 理想元件

为了对复杂的实际问题进行研究，在工程中常采用一种科学抽象方法将实际电气元件“理想化”，忽略一些次要因素，突出电气元件单一电或磁的性质，这种处理了的假想元件称为理想元件。在电路分析中常见的理想元件有四类：电阻元件以消耗电能为主要特征；电容元件以储存电场能为主要特征；电感元件以储存磁场能为主要特征；电源包括电压源和电流源，它们以供给电能为主要特征。具有两个端钮的理想元件通常称为两端电气元件。

二、元件符号和电路模型

为分析电路方便，常用特定的符号代表理想元件（见图 1-1），用理想元件替代实际元件构成的电路称为电路模型（见图 1-2）。通过分析电路模型能够预测实际电路的性能，在

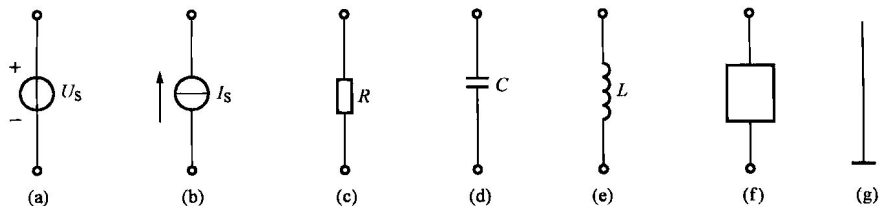


图 1-1 常见电路元件的符号

(a) 电压源；(b) 电流源；(c) 电阻；(d) 电容；(e) 电感；(f) 一般符号；(g) 接地

此基础上可以改进并设计出更先进的电路。

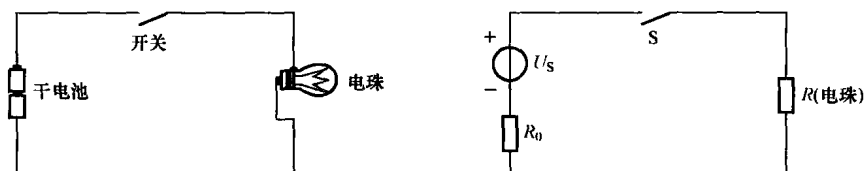


图 1-2 手电筒电路和电路模型



本节小结

1. 电路是指电流的通路，是由各种电气元件按一定方式连接组成的。
2. 建立电路模型是研究电路规律的基本方法，电路模型中取代各种电气设备的是理想元件。
3. 常用的理想元件有电压源、电流源、电阻、电容和电感。



练 习

- 1-1-1 叙述电路的概念及其主要组成。
- 1-1-2 使用电路模型有何意义？常见的理想元件有几种？

第二节 电路中的基本物理量

在电工技术中需要分析研究的物理量很多，如电量、电流强度（简称电流）、电压、电功率、电能和磁通量等。在电路中主要探讨的物理量有电流、电压和电功率 3 个。

物理量的单位使用，我国规定统一使用国际单位制，简称 SI。需要使用较大或较小的单位时，在 SI 单位前加 SI 词头，常用的词头见表 1-1。

表 1-1 常用的词头

数量级	中文词头名称	符号	数量级	中文词头名称	符号
10^6	兆	M	10^{-2}	厘	c
10^3	千	k	10^{-3}	毫	m
10^2	百	h	10^{-6}	微	μ
10^1	十	da	10^{-12}	皮	p

下面来探讨电路中电流、电压和电功率等重要的物理量。

一、电流

电流是电荷的定向移动。电流的大小用电流强度来表示，表示符号 i 。电流强度常被简称为“电流”。所以电流一词有时是指物理现象，有时是指物理量。电流的数值等于单位时间内通过导体某一截面积的电量的代数和。如用 ΔQ 表示在 Δt 时间内通过导体截面积的电量，则

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

式中： i 为 Δt 时间间隔内的平均电流。如需计算某一时刻的电流，应使 Δt 趋于零，则该时刻的电流表示为

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-2)$$

其中各物理量的 SI 单位是：电量 Q 的单位为库 [仑] (C)；时间 t 的单位为秒 (s)；电流 i 的单位为安 [培] (A)。

如果在时间 t 内通过导体截面积的电量不随时间变化，则电流是恒定的，称为直流电流，用 I 表示，此时式 (1-2) 可改写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

一般情况下，随时间变化的物理量用小写字母表示，大写字母表示恒定的物理量。

习惯上规定正电荷的运动方向为电流的方向，在常见的金属导体内，参加导电的只有自由电子，其运动方向与电流方向正好相反。

将电流表串联于电路中，可以测得电流的大小。

二、电压

在组成电路的导体中存在电场时，电荷才能在电场力作用下形成电流。衡量电场力作功本领大小的物理量称为电压。如图 1-3 所示，电场力将正电荷 Q 从点 a 移到 b 点所作的功为 W_{ab} ，则 ab 两点之间的电压 U_{ab} 定义为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

即， ab 两点之间的电压数值上等于电场力把单位正电荷从 a 移至 b 时所作的功。电压的方向由起点指向终点，常用电压符号下的双下标表示起点与终点。电压的 SI 单位是伏 [特] (V)。

电压有时也叫电位差，单位正电荷在电场中某点具有的电位能定义为该点的电位。用符号 V 表示，SI 单位也是伏 [特] (V)。在图 1-3 中 a 、 b 两点的电位分别用 V_a 和 V_b 表示，则

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

在电路中往往规定将其中的任意一点作为参考点，令其电位为零，那么除参考点之外的电路中的其他点与参考点之间的电压就等于该点的电位。但要注意，在一个电路系统中，只能选择一个参考点。

电压的实际方向，习惯上规定由高电位点指向低电位点。即在电源的外部，电压的方向与电流的方向是一致的，所以电压也称为电压降。而在电源内部电流的方向是沿着电位升高的方向。这时电场力作负功，即外力克服电场力作功，实现其他形式的能向电能的转化。

三、电功率与电能

如前所述，带电粒子在电场力作用下有规则的流动形成了电流。根据电压的定义，电场力所作的功为 $W_{ab} = QU_{ab}$ ，单位时间内电场力所作的功被称为电功率，即

$$P = QU/t = UI \quad (1-6)$$

电功率 P 的 SI 单位是瓦 [特] (W)。当已知用电设备的电功率为 P ，则在 t 时间内该设备消耗的电能

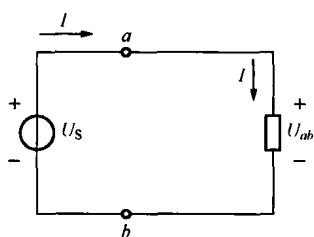


图 1-3 电压的定义

$$W = Pt \quad (1-7)$$

电能的 SI 单位是焦 [耳] (J)。在工程上, 直接用千瓦·时 (kW·h) 为单位, 俗称“度”。

四、电流与电压的参考方向

在求解复杂的电路时, 为了求解电路中未知的电流和电压, 常常需要根据电路的性质列出含有未知量的电路方程, 然后求解。在电路方程中, 电流与电压前面的正负号是至关重要的, 而未知量的实际方向往往不易确定, 这就要先假定一个方向, 称为参考方向。

电路中某一支路或某一元件上电流的参考方向的假设是任意的, 不必考虑它的实际方向。按照假定方向列出方程, 求解电流。如果解出的结果是正值, 说明实际的电流方向与参考方向一致; 如果为负值, 说明实际的电流方向与参考方向相反。

电压的方向, 也可以任意选定, 它与电流参考方向的选定是独立的。但为了方便, 在一段电路上或一个元件上常常选定电压和电流的参考方向一致, 称为关联参考方向。当电压与电流的方向关联时, 任意两端元件的电功率可以表示为

$$P = UI \quad (1-8)$$

当 $P > 0$ 时, 元件是耗能型的; $P < 0$ 时, 元件是供能型的。

当参考方向非关联时, 结论正好相反, 如图

1-4 所示。

【例 1-1】 如图 1-5 所示, 各图中两端元件所标明的电流 (电压) 方向都是参考方向, 已知它们是耗能元件。试选取其电压 (电流) 参考方向, 并说明其实际方向。

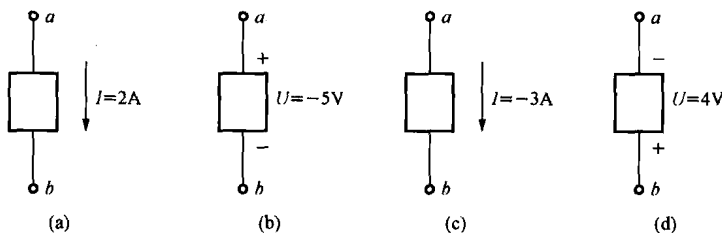


图 1-5 [例 1-1] 图

解 按照电流与电压参考方向关联的选取原则, 由于是耗能元件, 所以 $P > 0$ 。

图 1-5 (a) 所示的选取电压参考方向由 a 指向 b , 因 $I > 0$, 要保证 $P > 0$, 所以 $U > 0$ 。说明实际电压的方向与参考方向一致, 即 V_a 高于 V_b 。

图 1-5 (b) 所示的选取电流参考方向由 a 指向 b , 因 $U < 0$, 要保证 $P > 0$, 所以 $I < 0$ 。说明实际的电压和电流方向应该由 b 指向 a 。

图 1-5 (c) 所示的选取电压的参考方向由 a 指向 b , 因 $I < 0$, 要保证 $P > 0$, 所以 $U < 0$, 说明电流与电压的参考方向都是从 b 指向 a 。

图 1-5 (d) 所示的选取电流的参考方向由 b 指向 a , 因 $U > 0$, 要保证 $P > 0$, 所以 $I > 0$ 。说明电压与电流的实际方向都与参考方向一致。



本节小结

1. 电路中基本的物理量有电压、电流和电功率。
2. 电流、电压在电路中都有自己的大小和方向的定义，在对电路进行分析时，无论电流、电压是已知还是未知都需要在电路中标志出其参考方向，参考方向是任意选定的。
3. 一般情况电压与电流的参考方向的选择和标志遵照关联的原则。

第三节 欧姆定律和电阻元件

一、欧姆定律

日常生活中，所用到的白炽灯、电炉、电烙铁等电器具有相同的物理特征，当电流通过时发热而消耗电能，这些实际电气元件称为电阻器件，反映其能量消耗的理想元件是电阻，是一种两端耗能元件。

1827 年，德国的科学家欧姆总结出：对于线性电阻元件，在任何时刻通过的电流与它两端的电压成正比关系，即

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

这一规律称为欧姆定律。其中 R 表达电阻元件对电流阻碍作用的大小，叫电阻。SI 单位是欧 [姆] (Ω)。电阻的倒数称为电导，是表征元件导电能力的电路参数，用 G 表示，即

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

电导的 SI 单位是西 [门子] (S)。因此，欧姆定律也可以写为

$$I = GU \quad (1-11)$$

以元件上的电压和电流作为横坐标和纵坐标，画出元件的 $U-I$ 函数关系曲线，称为元件的伏安特性曲线。电阻元件的伏安特性曲线如图 1-6 所示，说明该电阻是一常数，这样的电阻叫线性电阻。对于线性电阻，当电压随时间发生变化时，电流也随时间发生变化，它们之间的关系可以表示为

$$u = Ri \quad (1-12)$$

但是，有些元件的伏安特性曲线不是线性的，图 1-7 表示的是二极管的伏安特性。这种元件的电阻称为非线性电阻。

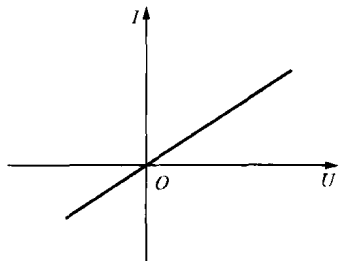


图 1-6 电阻元件的伏安特性

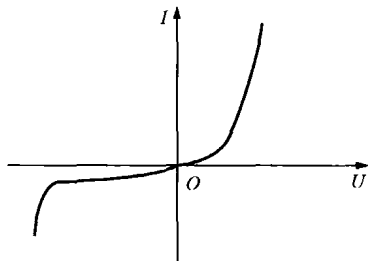


图 1-7 二极管的伏安特性

二、金属导体的电阻

欧姆的实验还指出,对于均匀截面的金属导体,它的电阻与导体的长度成正比,与截面积成反比,还与材料的导电能力有关,即

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-13)$$

式中: l 为导体的长度, SI 单位是米 (m); A 为导体的截面积, SI 单位是平方米 (m^2); ρ 为导体的电阻率, SI 单位是欧 [姆] 米 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻率的倒数电导率,用 γ 表示, SI 单位是西 [门子] 每米 (S/m), 则

$$G = \gamma \frac{A}{l} \quad (1-14)$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (1-15)$$

不同的材料有不同的电阻率,表 1-2 列出了常用电工材料在 20°C 时的电阻率和温度系数。材料的电阻率越小,导电性能越好。

表 1-2 几种常用电工材料在 20°C 时的电阻率与温度系数

材料	电阻率 $\rho(\times 10^{-6})$ ($\Omega \cdot \text{m}$) (20°C)	温度系数 $\alpha(20^\circ\text{C})$	材料	电阻率 $\rho(\times 10^{-6})$ ($\Omega \cdot \text{m}$) (20°C)	温度系数 $\alpha(20^\circ\text{C})$
银	0.0159	0.00380	康铜	0.48	0.000008
铜	0.0175	0.00393	锰铜	0.47	—
铝	0.283	0.00410	黄铜	0.07	0.002
铁	0.0978	0.0050	镍铬合金	1.09	0.00016
钨	0.0578	0.0051	铁铬铝合金	1.26	0.00028
钢	0.13~0.25	—			

【例 1-2】 一台电动机的绕组由直径为 1.13mm 的漆包线绕成,测得在 20°C 时的电阻为 1.64Ω ,求共用多长的导线。

解
$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14}{4} \times 1.13 \times 10^{-6} \approx 1.003 \times 10^{-6} (\text{m}^2)$$

$$l = R \frac{A}{\rho} = 1.64 \times 1.003 \times 10^{-6} / 0.0175 = 94 (\text{m})$$

* 三、温度对电阻的影响

1. 冷导体

一般金属材料的电阻会随着温度的升高而增大,这类材料称为冷导体。例如白炽灯在刚接通时,灯丝的电阻小,电流较大。在正常工作时,灯丝的温度达到 1840°C ,其电阻增大,电流较小。因而白炽灯往往在刚开通时容易烧坏灯丝。一般白炽灯的额定电阻是指正常发光时的热态电阻。这种温度对金属导体的电阻的影响,一般用温度系数 α 来表征。

电阻的温度系数: 温度升高 1°C 时,金属材料电阻值增加的比值用 α 表示。它表明各种材料的电阻对温度的敏感程度。电阻的温度系数与温度有关,表 1-2 表示的是电工材料在 20°C 的 α 值。设温度为 θ 时,某金属材料的电阻值为 R_θ , 温度为 20°C 时的电阻值为 R_{20} , 则

$$R_{\theta} = R_{20} + R_{20}\alpha(\theta - 20) = R_{20}(1 + \alpha\Delta\theta) \quad (1-16)$$

其中

$$\Delta\theta = \theta - 20$$

在实际计算中, 由于金属材料的温度系数随时间变化得并不大, 可以认为 20°C 的 α 值就是这种金属材料的 α 值。如果假设 R_1 、 R_2 分别为温度 θ_1 和 θ_2 时的电阻, 则

$$R_2 = R_1(1 + \alpha\Delta\theta) \quad (1-17)$$

其中

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$$

式中的 α 仍可用 20°C 的 α 值。

【例 1-3】 一台电动机的绕组用铜线绕制, 在 26°C 时, 测得的电阻为 1.25Ω , 运行 1h 后, 测得的电阻为 1.5Ω 。求绕组的温度。

解 已知 $R_1 = 1.25\Omega$, $R_2 = 1.5\Omega$, $\theta_1 = 26^{\circ}\text{C}$, 查表 1-2, 得 $\alpha = 0.003\,93$

解法一: 由式 (1-17) 可得

$$R_{20} = \frac{R_1}{1 + \alpha(26 - 20)} = \frac{1.25}{1 + 0.003\,93 \times 6} \approx 1.2212(\Omega)$$

由式 (1-17) 可得

$$\Delta\theta = (R_2/R_{20} - 1)/\alpha = (1.5/1.2212 - 1)/0.003\,93 \approx 58.1^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_2 = \Delta\theta + 20 = 78.1^{\circ}\text{C}$$

解法二: 由式 (1-17) 可得

$$\Delta\theta = (R_2/R_1 - 1)/\alpha = (1.5/1.25 - 1)/0.003\,93 = 56.9(^{\circ}\text{C})$$

$$\theta_2 = \Delta\theta + 20 = 76.9^{\circ}\text{C}$$

可以看出, 利用式 (1-17) 计算的结果与准确数值相差了 1.2°C , 误差仅 1.5% 。通过本例题可知: (1) 当电流流过电动机等电气设备时, 电阻产生的热量会使电动机的温度升高。(2) 电动机运行时无法测得绕组的温度, 但可以通过测量电阻来间接测量电动机的升温。

2. 热导体

碳等一些半导体材料, 其电阻随材料温度的升高而降低, 这类材料称为热导体。可用于制造热敏电阻和热敏传感器。

3. 超导体

当温度接近绝对零度时, 有些材料的电阻会突然降到零, 这种现象称为超导现象, 处于这种状态的导体称为超导体。导体开始出现超导现象的温度叫临界温度或跳变温度。表 1-3 给出几种材料的临界温度。超导材料用于电工技术可以大大节约能源和材料。但超导临界温度低, 限制了超导材料在现实中的使用。寻求常温呈现超导现象的材料, 延长超导性保持的时间, 是当前超导研究需要解决的问题。

表 1-3 几种材料的临界温度

材料	温度 θ_c (K)	材料	温度 θ_c (K)
铝	1.14	氮化铌	>20.0
铅	7.26	汞	4.17
铌	9.2	锌	3.69

* 四、特殊材料的电阻

1. PTC 电阻材料

PTC (Positive Temperature Coefficient, 正温度系数) 元件又称为 PTC 热敏电阻陶瓷, 它是一类具有正的温度系数的半导体功能陶瓷。PTC 在转变温度之前, 电阻随温度的升高而下降, 温度从转变温度到热失控温度之间, 电阻随温度的升高而显著增长, 如图 1-8 (a) 所示, 具有典型的热导体特征。PTC 元件灵敏度较高, 其电阻温度系数要比金属大 $10\sim 100$ 倍以上, 能检测出 $10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度变化。工作温度范围宽, 常温器件适用的工作温度为 $-55^{\circ}\text{C}\sim 315^{\circ}\text{C}$, 高温器件适用的工作温度高于 315°C (目前最高可达到 2000°C), 低温器件适用的工作温度为 $-273^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ 。PTC 元件体积小、使用方便, 电阻值可在 $0.1\sim 100\text{k}\Omega$ 间任意选择, 能够测量其他温度计无法测量的空隙、腔体及生物体内血管的温度; 另外 PTC 材料易加工成复杂的形状, 可大批量生产, 元件稳定性好、过载能力强、恒温发热、自然寿命长、节能、无明火、安全性能好、发热量容易调节及受电源电压影响小等一系列传统电热元件所无法比拟的优点。现在 PTC 元件已广泛应用于家用电器、电力设施、电子设备以及汽车行业等众多领域。

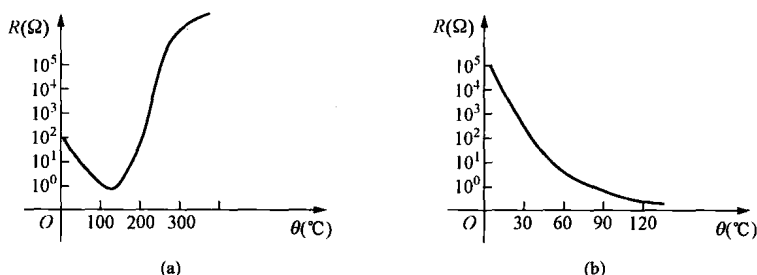


图 1-8 PTC、NTC 电阻特性

(a) PTC 电阻; (b) NTC 电阻

2. NTC 电阻材料

NTC (Negative Temperature Coefficient, 负温度系数) 电阻材料是指随温度上升电阻呈指数关系减小, 是具有负温度系数的热敏电阻材料, 如图 1-8 (b) 所示, 具有冷导体特征。该材料是利用锰、铜、硅、钴、铁、镍、锌等两种或两种以上的金属氧化物进行充分混合、成型、烧结等工艺而成的半导体陶瓷, 可制成具有负温度系数 (NTC) 的热敏电阻。其电阻率和材料常数随材料成分比例、烧结气氛、烧结温度和结构状态不同而变化。现在还出现了以碳化硅、硒化锡、氮化钽等为代表的非氧化物 NTC 热敏电阻材料。利用某些材料对温度特别敏感的特点, 可以制作成热敏电阻, 用来测量与控制温度。它的测量范围一般为 $-10\sim 300^{\circ}\text{C}$, 也可做到 $-200\sim 10^{\circ}\text{C}$, 甚至可用于 $300\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 环境中作测温用。负温度系数热敏电阻温度计的精度可以达到 0.1°C , 感温时间可少至 10s 以下。它不仅适用于粮仓的温度测量, 同时也可应用于食品储存、医药卫生、科学种田、海洋、深井、高空、冰川等方面的温度测量。例如要估计大功率变压器内部的温度, 可以在需要测温的部分介入电阻线, 在外部通过测量该热敏电阻的阻值就可确定温度。目前热敏电阻在测量温度方面替代热电偶的趋势在加快。

① 练习

1-3-1 有一卷铜线，长度为 100m，有哪几种方法可以求出它的电阻（要求三种）？

1-3-2 如图 1-9 所示为一汇流铜条，尺寸如图所示，按图示电流方向，求其电阻值。

*1-3-3 有一只 220V，15W 的钨丝灯泡，在 20℃ 时用万用表测得电阻为 400Ω，求额定工作时温度为多高？

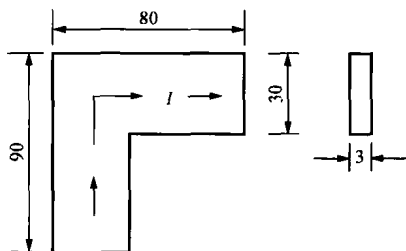


图 1-9 题 1-3-2 图

第四节 电流的热效应

在金属导体中，电流是自由电子的定向运动。自由电子在前进时，由于前进阻力的存在，把一部分电能传给了导体材料的晶格点阵，这使点阵上的原子和分子的不规则运动加剧，这种不规则的运动称为热振动，度量其振动强度的量为温度。

在绝对零度或接近绝对零度时，热振动将停止，温度越高，热振动越剧烈。要加热一个物体，就要对该物体输入能量。

一、电能与热能的转换

在电阻 R 中流过电流 I ，则电阻两端的电压为 $U=RI$ 。在时间 t 内通过电荷 Q 消耗的电能为

$$W = QU = IUt = RI^2t$$

这部分电能全部变成了热能，使物质的温度升高。

【例 1-4】已知有一电炉的电阻为 20Ω，通过 5A 的电流，计算 1h 内电炉产生的热量。

解 电炉在 1h 内消耗的电能就是产生的热量，即

$$E = I^2Rt = 5^2 \times 20 \times 3600 = 1.8 \times 10^6 (\text{J})$$

二、电热元件及其应用

1. 发热

电热元件承担着把电能转换成热的任务。电热元件一般用镍铬合金、铁铬合金等材料制成，形状有管式、盘式等，它是电热设备的核心，典型的电热设备有电炉、家用电热炊具，电热取暖设备、卫生保健器具、电烙铁等。目前 PTC 材料发热元件的应用也在普及。

2. 电气照明

电流热效应的另一个应用是电气照明。

白炽灯是利用电流流过钨丝发热到白炽程度而发光的原理制成的，由于输入的电能大部

分变成了热,所以发光效率较低(10%左右),而且使用寿命较短(1000h),但白炽灯的结构简单、价格低、使用方便、无频闪、显色性好。

荧光灯则是利用灯丝发热发射电子使管内氯气发光,光效率与白炽灯相比提高很多。

卤钨灯利用稀有气体与卤族物质之间的化学作用而发光,进一步提高了灯的效率 and 寿命,使用较为普遍。

3. 熔体

熔体俗称保险丝,一般选用熔点较低的金属材料制成,如铅锡合金、铅锡合金、铅、铜、银等。当流过的电流过大时,由于发热而熔断,可以对电路起到保护作用。

三、电气设备的额定值

任何电气设备都有一个标准规格的问题,在电工术语中称为额定值。一般额定值会标示在电气设备的铭牌上。一般电气设备常用的额定值有额定电压、额定电流和额定功率。

1. 额定电压

在电力系统中,需要制定一系列的电压标准,如220、110kV,380、220、110V等;蓄电池为6、12、24V等,干电池为1.5、3、6V等;电子线路有4.5、6、12、15V等。因此电气设备也相应制定了额定电压标准,并且按照额定电压来选择绝缘材料,使电气设备能够正常工作。

2. 额定电流和额定功率

电气设备在额定电压下运行时,将有一定的电流流过。由于电流的热效应,电气设备会发热升温。

当发热的电气设备的温度高于周围温度时,会对周围散出热量,散热的快慢与温差有关,当每秒钟电气设备产生的热等于向外散发的热量时,达到动态的平衡,此时电气设备的温度就不再升高,这个温度称为稳定温度。电气设备工作时的稳定温度与工作电流有关,也与室温有关。为了保证电气设备安全运行,不致因为过热而烧毁,规定了允许温升和由此而规定的最大工作电流,称为额定电流,其相应的输出功率称为额定功率。

在额定电流状态下工作的电气设备,温升基本上是一定的,但它的稳定温度却与室温有关。例如电动机在夏季使用时的稳定温度将高于冬季使用时的,使用时要注意。

当工作电流超过额定值叫做过载,稳定温度也将升高,长时间过载是不允许的。反之,工作电流低于额定电流叫欠载或轻载。在额定状态下工作叫满载。任何电气设备在使用时,都应注意它的额定值。还要注意额定值的大小会随工作条件的改变而变化,同样的电气设备在高温条件下使用,应适当降低它的额定值。

金属导线在输送电流时也要发热,因此要规定安全载流量,即额定电流。导线截面积大,安全载流量大。输电导线明线敷设时散热好,安全载流量大于穿管敷设,因为护套线不易散热,安全载流量就小。我国规定的导线规格简称线规,用标称截面表示。例如 1mm^2 就是单根直径为 1.13mm 的导线。英美制线规用号码表示,号码越大,直径越小。选择导线时,主要确定导线截面,使通过的电流不超过额定值,以免导线过热。另外还要注意线路压降不能超过容许值,以免负载端电压过低等因素。

练习

1-4-1 一盏白炽灯规格为220V、60W。试问(1)额定电流为多少?(2)若通过1A