



中等职业教育“十一五”规划教材

(电子信息类)

电工基础

王兆义 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是中等职业教育“十一五”规划教材,是参考教育部规划的中等职业教育电子信息类专业教学大纲、参考劳动部门相关工种的技能鉴定要求、吸收了近几年的教学改革成果并在广泛调研的基础上编写的。主要内容有:电路基本概念,直流电路分析,静电与电容,磁场与磁路,电磁感应、自感和互感,正弦交流电路,三相交流电路,非正弦周期电量及过渡过程等。本书可作为电子信息类、电气自动化类以及相关专业的教学用书,也可作为相关专业岗位培训教材及工程技术人员参考用书。

为方便教学,本书配有免费电子教案,凡选用本书作为授课用书的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379195。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/王兆义主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 6
中等职业教育“十一五”规划教材. 电子信息类
ISBN 978-7-111-21713-8

I. 电… II. 王… III. 电工学—专业学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 093239 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:高倩 版式设计:霍永明
责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京双青印刷厂印刷

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.75 印张·240 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21713-8

定价:16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379195

封面无防伪标均为盗版

本书是中等职业教育“十一五”规划教材，是参考教育部规划的中等职业教育电子信息类专业教学大纲、参考劳动部门相关工种的技能鉴定要求、吸收了近几年的教学改革成果并在广泛调研的基础上编写的。可作为电子信息类、电气自动化类以及相关专业的教学用书。

本书在编写过程中，充分考虑到我国的职教特点及学生的接受能力，编写时注意了以下几个方面的问题：

- (1) 根据中等职业教育是以就业为导向，以应用为目的的教学理念，该书在编写过程中，注意到学生的岗位群。理论联系实际，其理论深度以“必需、够用”为度，加强了基本概念的阐述，减少偏深的理论推导。并且在每章中都结合理论的学习给出一些应用实例，突出职业教材之特色。
- (2) 考虑到中职学校生源面比较广，程度不齐，在内容的编排上适当的向下作了延伸，以减少学生的学习障碍。
- (3) 为了适应各学校不同专业和不同的培养目标，教材内容覆盖面宽，一些章节的内容相对独立，便于学校根据其具体情况对教材进行处理，组织教学。
- (4) 为了增强学生学习的兴趣和目的性，每章都辟有引言，在引言中说明为什么要学习本章内容，通过本章内容的学习能够解决哪些工程问题。

本书教学时数为 68 或 96 学时，可安排在一个学期内完成。书中打“*”号的内容可根据各校具体情况选讲。课时安排建议如下：

章 节	内 容	68 学时		96 学时	
		讲授	实验	讲授	实验
1	电路基本概念	6	2	8	2
2	直流电路分析	8	2	12	2
3	静电与电容	8	2	8	2
4	磁场与磁路	6		10	
5	电磁感应、自感和互感	8		8	
6	正弦交流电路	14	4	20	4
7	三相交流电路	6	2	8	2
8	* 非正弦周期电量及过渡过程			6	2
合计		56	12	82	14

本书由廊坊职业技术学院王兆义任主编，莫培玲任副主编，张宏任参编。莫培玲编写了第1、2、3章；张宏编写了第4、5章；其余由王兆义编写。本书承蒙广西机电工业学校黄国良高级讲师主审，主审以严谨的科学态度和高度负责的精神，对书稿进行了认真的审阅，提出了许多宝贵的修改意见，为提高该书的质量起到了关键的作用。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

1.1 引言 1

1.2 电路的基本物理量 1

1.3 电阻 5

1.4 欧姆定律 9

1.5 电功与电功率 12

习题 14

第2章 直流电路分析 17

2.1 引言 17

2.2 电阻的串并联 18

*2.3 电桥电路及其应用 23

*2.4 电池 25

*2.5 电压源和电流源及其等效互换 28

2.6 基尔霍夫定律及支路电流法 31

2.7 叠加原理 33

习题 34

第3章 静电与电容 39

3.1 引言 39

3.2 静电与静电场 40

3.3 静电场中的导体 42

3.4 电容器与电容 45

3.5 电容器的导电特性及储能 46

3.6 电容器的并联与串联 47

3.7 电容器的分类及工程应用 49

习题 51

目 录

4.1 引言 52

4.2 电磁场 52

4.3 磁场的基本物理量 55

4.4 铁磁材料的磁化及磁性材料分类 60

4.5 磁路及磁路欧姆定律 64

4.6 电磁铁 65

习题 67

第5章 电磁感应、自感和互感 69

5.1 引言 69

5.2 电磁感应 70

5.3 自感 74

5.4 互感 77

5.5 涡流 81

习题 82

第6章 正弦交流电路 83

6.1 引言 83

6.2 正弦交流电及正弦交流电的产生 84

6.3 正弦交流电的基本物理量 86

6.4 相位与相位差 89

6.5 交流电量的相量表示及同频率正弦量的加减运算 90

6.6 电阻、电感、电容在交流电路中的特性 93

6.7 滤波电路 98

6.8 RL 串联电路 100

6.9 RLC 串联电路 102

前言

第1章 电路基本概念

1.1 引言 1

1.2 电路的基本物理量 1

1.3 电阻 5

1.4 欧姆定律 9

1.5 电功与电功率 12

习题 14

第2章 直流电路分析

2.1 引言 17

2.2 电阻的串并联 18

*2.3 电桥电路及其应用 23

*2.4 电池 25

*2.5 电压源和电流源及其等效互换 28

2.6 基尔霍夫定律及支路电流法 31

2.7 叠加原理 33

习题 34

第3章 静电与电容

3.1 引言 39

3.2 静电与静电场 40

3.3 静电场中的导体 42

3.4 电容器与电容 45

3.5 电容器的导电特性及储能 46

3.6 电容器的并联与串联 47

3.7 电容器的分类及工程应用 49

习题 51

第4章 磁场与磁路

4.1 引言 52

4.2 电磁场 52

4.3 磁场的基本物理量 55

4.4 铁磁材料的磁化及磁性材料分类 60

4.5 磁路及磁路欧姆定律 64

4.6 电磁铁 65

习题 67

第5章 电磁感应、自感和互感

5.1 引言 69

5.2 电磁感应 70

5.3 自感 74

5.4 互感 77

5.5 涡流 81

习题 82

第6章 正弦交流电路

6.1 引言 83

6.2 正弦交流电及正弦交流电的产生 84

6.3 正弦交流电的基本物理量 86

6.4 相位与相位差 89

6.5 交流电量的相量表示及同频率正弦量的加减运算 90

6.6 电阻、电感、电容在交流电路中的特性 93

6.7 滤波电路 98

6.8 RL 串联电路 100

6.9 RLC 串联电路 102

第 1 章

电路基本概念

基本内容

本章介绍电压、电流和电动势的基本概念；介绍导体的电阻和欧姆定律；介绍直流电路的电功率和电能等基本知识。电压、电流和电动势是电路中最基本的物理量。导体存在电阻是导体的基本特性，其电阻的大小与材料的性质和形状有关。部分电阻电路和全电路的欧姆定律是分析电路中电压、电流及电阻之间关系的基本公式，用途很广。直流电路的电功率和电能的计算也有着广泛的应用。

基本要求

- 理解导体中电流的形成及其相关概念。
- 了解电流、电压、电动势的基本概念，掌握其单位及单位的换算。
- 了解电阻的概念和电阻与温度的关系，掌握电阻率的概念。
- 掌握欧姆定律，熟练应用欧姆定律进行计算。
- 理解电能和电功率的概念，掌握电能、电功率的计算。

1.1 引言

在电工领域中，最普遍和最简单的应用是基本电量的使用和计算。如已知电路中的电压和电阻，计算电路中的电流；已知电路中的电流和电压，计算电路中的电阻；电流、电压和电阻都已知，计算一下电路中的电功率。如在生活中，家中新买了一只电饭煲，已知工作电压为 220V，电功率为 1200W，工作电流为多少？所用插座和导线的容量够不够？在工作中，已知输电线路较长，输电线截面积较小，当负载较大时，能否正常工作？这些问题就是本章所要解决的问题。本章主要认识电路中基本电量、基本概念和基本定理。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流的形成

由物理学可知,导体中存在着大量的自由电子,它们可以在导体中自由运动。通常条件下自由电子处于紊乱的、无规则的热运动状态。当把导体接到电源上形成闭合回路,电源就会在导体内形成电场,自由电子在电场力的作用下朝着一定方向移动便形成了电流。因此,电流就是电荷在电场力作用下有规则的运动。

可见,在导体中形成电流的条件是:有可以移动的电荷和维持电荷作定向移动的电场。

2. 电流强度

单位时间内通过导体截面的电荷量称为电流强度。

它是表征电流大小的物理量。如图 1-1 所示,设在 Δt 时间内,流过截面 S 的电荷量为 ΔQ ,则电流强度为

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

如果电流的大小和方向都不随时间的变化而变化,则称为稳恒直流电,简称直流电,其数学表达式为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 I ——电流,单位为安培,简称安(A);

Q ——电荷量,单位为库仑,简称库(C);

t ——时间,单位为秒(s)。

电流的单位还有 kA(千安)、mA(毫安)和 μA (微安),它们之间的换算关系为

$$1\text{kA} = 1000\text{A}; 1\text{A} = 1000\text{mA}; 1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

3. 电流的正方向

电流既然是电荷的定向流动,就存在流动的方向问题。由于历史的原因,人们起初认为电流是由正电荷的定向流动形成的,因此规定:正电荷的运动方向为电流的正方向。可后来发现,在金属导体中,电流是由负电荷(电子)的定向流动形成的,即电子的流动方向与规定的电流正方向相反,如图 1-1 所示。但这与电流正方向的规定也并不矛盾,根据运动的相对性,如果将电子看作不动,则正电荷沿着与电子运动方向相反的方向运动,符合电流正方向的规定。

在电路的计算中,电流的实际方向有时不好确定,为了计算方便,可先假定一个电流的正方向,这个假定的电流正方向称为参考方向,并在电路用箭头标出,如图 1-2 所示。如果计算值为正,则电流的实际正方向与假定的参考方向相同;如果计算值为负,则电流的实际正方向与假定的参考方向相反。在图 1-2 中,图中实线箭头表示电流的参考方向,虚线箭头表示电流的实际方向。

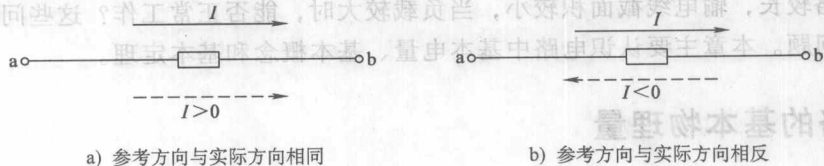


图 1-2 电流的方向

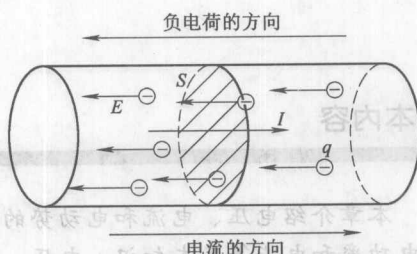


图 1-1 电流及电流的方向

1.2.2 电动势、电压和电位

1. 电动势

电动势是表征电源特征的物理量。在图 1-3 中, A 和 B 是电源的正负极板, 极板 A 带正电, 极板 B 带负电。由于两极板带有等量异号的电荷, 在两极板间形成电场。正电荷在电场力的作用下, 从高电位(极板 A)经过负载(白炽灯)向低电位(极板 B)移动, 形成电流 I 。正电荷由 A 极板移到 B 极板后, 就要与 B 极板上的负电荷中和, 使两极板上的电荷量逐渐减少, 两极板间的电场强度也逐步减弱, 相应的电流也将逐渐减小直到零。为了使电路中的电流能够持续流动, 在 A、B 两极板之间就必须有一种局外力, 将正电荷从低电位(B 极板)逆电场力不断地推向高电位(A 极板), 使 A、B 两电极间的电场强度始终维持在一一定的数值。这个局外力是由电源提供的, 因此局外力又称为电源力。电动势就是表征电源对电荷做功能力的物理量, 其值为电源力将单位正电荷从 B 点移到 A 点所作的功。电动势用符号 E_{BA} 来表示, 数学表达式为

$$E_{BA} = \frac{W_{BA}}{Q} \quad (1-3)$$

式中 E ——电动势, 单位是伏特, 简称伏(V);

W ——电源力做的功, 单位是焦耳, 简称焦(J);

Q ——电荷量, 单位是库仑, 简称库(C)。

电动势的方向规定为由电源的负极指向正极, 用“+”、“-”号来表示, 如图 1-3 所示。

2. 电压

在图 1-3 中, 电动势 E_{BA} 使 A、B 两极板间存在电场。正电荷在电场力的作用下从 A 极板向 B 极板流动, 从而形成电流使白炽灯发光。这个过程中, 电荷的运动消耗了电场能量, 对负载做功。电压就是衡量电场力驱动电荷对负载做功能力的物理量, 其定义为: 电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所作的功 W_{AB} 称为 A、B 两点间的电压。数学表达式为

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

式中电压 U 的单位与电动势的单位相同, 都为伏特, 符号为 V。电压的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V), 它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 1000\text{V}; 1\text{V} = 1000\text{mV}; 1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$$

电压的正方向规定为: 由高电位指向低电位, 即从电源的正极指向负极。电压的方向用“+”、“-”号来表示, 或用电压符号加下标来表示, 在图 1-3 中, 符号 U_{AB} 不仅表示 A、B 两点间电压值的大小, 也表示该电压的方向是从 A 指向 B。

3. 电位

在电路的分析或计算中, 为了方便起见, 常用到电位的概念。电位的定义为: 取电路中

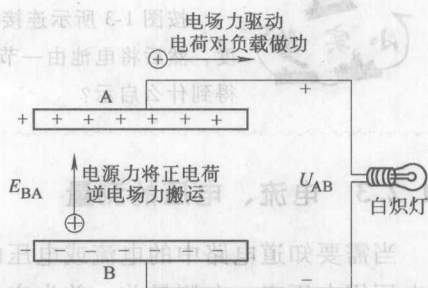


图 1-3 电动势、电压说明图

任一点作为参考点,并规定为零电位,电路中任一点到参考点之间的电压,就称为该点的电位。电位用符号“V”来表示。当某点到参考点的电压为正时,则该点的电位为正;当某点到参考点的电压为负时,则该点的电位为负。电位的单位也是V。

在图1-3中,若设 $U_{AB}=10V$,并设B点为参考点,则A点的电位为 $+10V$;若设A点为参考点,则B点的电位为 $-10V$ 。



常见电压的数量级

电视信号在天线上感应的电压	约0.1mV
维持人体生物电流的电压	约0.1mV
干电池电压	1.5V
电子手表用氧化银电池电压	1.5V
手持移动电话的电池电压	3.6V
对人体安全的电压	24~36V
家用电器电源电压	220V
无轨电车的电源电压	350V
电视机、计算机显示器中显像管的工作电压	20kV以上
发生闪电时的云层间电压	可达1000kV



小实验 按图1-3所示连接电路。图中电源为干电池,先接入一节电池,观察灯泡的亮度,然后将电池由一节增加为两节,观察灯泡亮度是否变化。你从看到的现象中得到什么启示?

*1.2.3 电流、电压的测量

当需要知道电路中的电流或电压的大小时,就要对其进行测量。测量电流用电流表;测量电压用电压表。在测量前,首先应根据预估的电量值选择合适容量的测量仪表,或仪表的合适量程,以免损坏仪表。

1. 电流的测量

图1-4所示为用指针式电流表测量电流接线图,测量时将表的两个接线端串联在电路中(千万不可并联在电路上),表的“+”端为电流的流入端;表的“-”端为电流的流出端。根据表针所指示的刻度,读出电流的大小。如果测量时发现表针反偏,则表示电流表接线端子的极性与电路中电流的方向相反,应交换接线端子重测。

2. 电压的测量

电压的测量用电压表。测量时将表的两个接线端并联在被测电压的两端。图1-5所示为指针式电压表测量电压接线图,测量时表的“+”接线端接被测电压的正极,“-”接线端接被测电压的负极。根据表针所指示的刻度,读出电压的大小。如果测量时发现表针反偏,则表示接线端子的极性与电路中电压的方向相反,应交换接线端子重测。

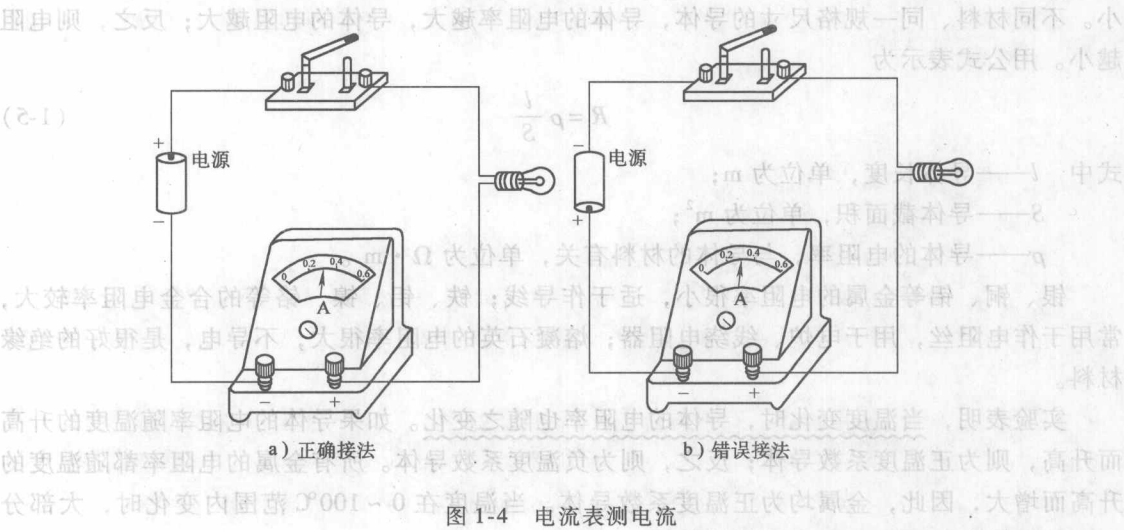


图 1-4 电流表测电流

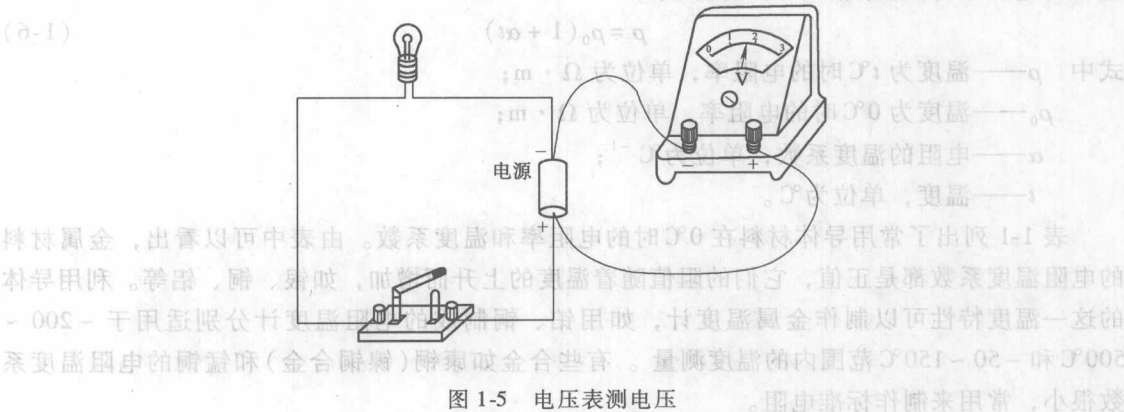


图 1-5 电压表测电压

1.3 电阻

1.3.1 导体的电阻

1. 导体电阻的概念

任何导体对电流都具有阻碍作用，即导体都具有电阻。如电动机的线圈、输电导线等。导体呈现电阻的原因是：电荷在作有规律的定向运动时，要与其他作热运动的带电粒子（导体中的质子、正、负离子）发生碰撞，因而阻碍了电荷的运动。导体对电流的阻碍作用称为导体的电阻。电阻用符号 R 来表示，其基本单位为欧姆，符号为 Ω 。较大的单位有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ），其换算关系为

$1M\Omega = 1000k\Omega; 1k\Omega = 1000\Omega$

2. 导体的电阻率与温度系数

导体电阻的大小与导体的长度 l 成正比，与导体的横截面 S 成反比，并与导体材料的电阻率有关。即同一导体的横截面 S 越小、长度 l 越长，导体的电阻越大；反之，则电阻越

小。不同材料、同一规格尺寸的导体，导体的电阻率越大，导体的电阻越大；反之，则电阻越小。用公式表示为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 l ——导体长度，单位为 m ；

S ——导体截面积，单位为 m^2 ；

ρ ——导体的电阻率，与导体的材料有关，单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

银、铜、铝等金属的电阻率很小，适于作导线；铁、铝、镍、铬等的合金电阻率较大，常用于作电阻丝，用于电炉、线绕电阻器；熔融石英的电阻率很大，不导电，是很好的绝缘材料。

实验表明，当温度变化时，导体的电阻率也随之变化。如果导体的电阻率随温度的升高而升高，则为正温度系数导体；反之，则为负温度系数导体。所有金属的电阻率都随温度的升高而增大，因此，金属均为正温度系数导体。当温度在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内变化时，大部分金属的电阻率与温度成如下的线性关系：

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (1-6)$$

式中 ρ ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻率，单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ ；

ρ_0 ——温度为 0°C 时的电阻率，单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ ；

α ——电阻的温度系数，单位为 $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

t ——温度，单位为 $^\circ\text{C}$ 。

表 1-1 列出了常用导体材料在 0°C 时的电阻率和温度系数。由表中可以看出，金属材料的电阻温度系数都是正值，它们的阻值随着温度的上升而增加，如银、铜、铝等。利用导体的这一温度特性可以制作金属温度计，如用铂、铜制成的电阻温度计分别适用于 $-200 \sim 500^\circ\text{C}$ 和 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 范围内的温度测量。有些合金如康铜（镍铜合金）和锰铜的电阻温度系数很小，常用来制作标准电阻。

表 1-1 几种常用金属材料的电阻率和电阻的温度系数

材 料	0°C 时的电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	电阻的温度系数/ $^\circ\text{C}^{-1}$
银	1.5×10^{-8}	4.0×10^{-3}
铜	1.6×10^{-8}	4.3×10^{-3}
铝	2.5×10^{-8}	4.7×10^{-3}
钨	5.5×10^{-8}	4.6×10^{-3}
铁	8.7×10^{-8}	5.0×10^{-3}
铂	9.8×10^{-8}	3.9×10^{-3}
汞	94×10^{-8}	8.8×10^{-4}
碳	3500×10^{-8}	-5×10^{-4}
镍铬合金	110×10^{-8}	1.6×10^{-4}
镍铜合金	50×10^{-8}	4.0×10^{-5}
锰铜合金	48×10^{-8}	1.0×10^{-5}

【例 1-1】长度为 1km 、截面积为 10mm^2 的一条铝导线和一条铜导线，试计算它们在

0℃时的电阻各为多少？

解 从表 1-1 中查得 $\rho_{\text{铜}} = 1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, $\rho_{\text{铝}} = 2.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, 代入式(1-5)得

$$R_{\text{铜}} = \rho_{\text{铜}} \frac{l}{S} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 10^3}{10 \times 10^{-6}} \Omega = 1.6 \Omega$$
$$R_{\text{铝}} = \rho_{\text{铝}} \frac{l}{S} = \frac{2.5 \times 10^{-8} \times 10^3}{10 \times 10^{-6}} \Omega = 2.5 \Omega$$

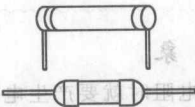
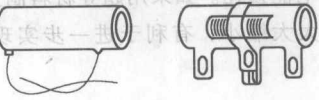
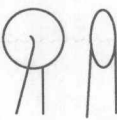
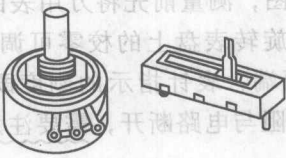
1.3.2 电阻器

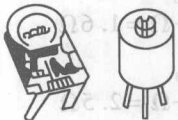
1. 电阻器的作用和分类

电阻器是应用具有一定电阻率的导电材料制成的电路元件。电阻器亦简称为电阻，是工程技术中用量最大的电路元件之一。

为了适应不同电路和不同工作条件的需要，电阻器的品种规格繁多，按外形结构可分为固定式和可变式两大类。表 1-2 给出了常用电阻器的外形及用途。

表 1-2 电阻器类型与用途

种 类	外 形	特征及用途
RT 碳膜电阻器		有良好的阻值稳定性，受电压和频率的影响小，价廉，在民用电子产品中得到大量应用；阻值范围为：1Ω ~ 10MΩ；额定功率范围为 0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、5W
RJ 金属膜电阻器		耐热性能、噪声指标、温度系数和工作电压范围都优于碳膜电阻。体积小(同样功率,体积约为碳膜电阻的一半)，精度可达 ±0.5%、±0.05%；阻值范围为 1Ω ~ 1000MΩ；额定功率范围为 0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、10W、25W。广泛应用于军工和民用电子产品中
RX 线绕被釉电阻器		此电阻器由电阻丝绕制后在外层烧结一层保护瓷釉。此类电阻在较宽的温度范围内具有较低的温度系数，阻值精度高、稳定性好、抗氧化、耐热，主要作为大功率电阻使用。阻值范围为 5.1Ω ~ 10kΩ；功率范围为 2 ~ 150W
热敏电阻器		热敏电阻的阻值随温度变化而变化，分正温度系数和负温度系数两大类。正温度系数电阻温度升高阻值增大，多用作过热保护、无触点开关等；负温度系数电阻温度升高阻值下降大，多用作电路的温度补偿、温度检测等
压敏电阻器		压敏电阻器的制作材料为氧化锌。当所加电压达到电阻的限制电压时，电阻阻值急剧下降，电流大大上升。常接到电路中用于过压保护
电位器		电位器是通过一动触点在电阻体上移动而改变电阻阻值的电器元件。电阻体有碳膜、实心、线绕等多种，形状有旋转和直滑两种结构，带有调整柄，用以调整阻值的大小。电位器多安装在装置和设备的操作面板上，用来对电信号进行调整

种类	外形	特征及用途
半可变电阻		半可变电阻的体积较小, 也是通过触点在电阻体上的移动来改变电阻阻值。一般不带调整柄, 多用于电子电路中, 作为电压、电位的微调装置

2. 电阻元件模型及电路符号

实际电路中的电阻器、白炽灯、电炉、电烙铁等电路元器件, 在电路中表现出来的都是电阻的特性, 为了分析方便, 就不考虑它们的结构、形状等次要因素, 只考虑它的电阻, 这个电阻就称为以上电路元器件的电阻元件模型。电阻元件模型也简称为电阻, 其电气符号如图 1-6 所示。电阻是耗能元件, 它将电能不可逆地转换为热能。

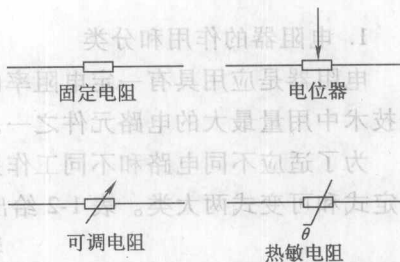


图 1-6 电阻元件符号

超导现象



小知识

各种金属导体中均存在着电阻, 电流流过电阻时就要产生电能损耗。为了降低电阻引起的电能损耗, 人们希望新的低电阻率的材料出现。20 世纪初, 科学家发现, 某些物质在很低的温度时 (如铝在 -271.76°C 以下, 铅在 -265.95°C 以下), 电阻就变为了零。导体的这种现象称为超导现象。具有超导现象的材料称为超导材料。目前已经发出一些“高温”超导材料, 它们在 -173°C 左右电阻就能降为零。

如果把超导材料应用于实际, 会给人类带来很多好处。在电厂发电、电力输送、电力存储等方面若能采用超导材料, 就可以大大降低由电阻引起的电能损耗。如果用超导材料制造电子元件, 因为电阻为零, 就不必考虑散热问题, 元件尺寸可以大大缩小, 有利于进一步实现电子设备的微型化。



考考你

1. 长度相同的铜线和铝线, 如果它们的电阻相同, 那么谁要细一些?
2. 有甲、乙、丙三根同种材料制成的导线, 甲和乙导线长为 1m , 乙导线的截面积较大; 乙和丙导线截面积相同, 丙导线长为 0.5m , 三根导线的电阻由大到小排列应是: _____。

* 1.3.3 电阻的测量

图 1-7 所示为用指针式万用表测量电阻的示意图, 测量前先将万用表的旋转开关旋到电阻档, 然后将两表笔短路校零 (两表笔短路的同时旋转表盘上的校零可调电阻, 使表针指到右边零刻度线)。测量时两表笔搭在被测电阻的两端, 表针指示的刻度既为被测电阻的阻值。如果被测电阻连接在电路中, 测量时必须将电阻与电路断开, 需要注意的是, 不允许电路带电测量。

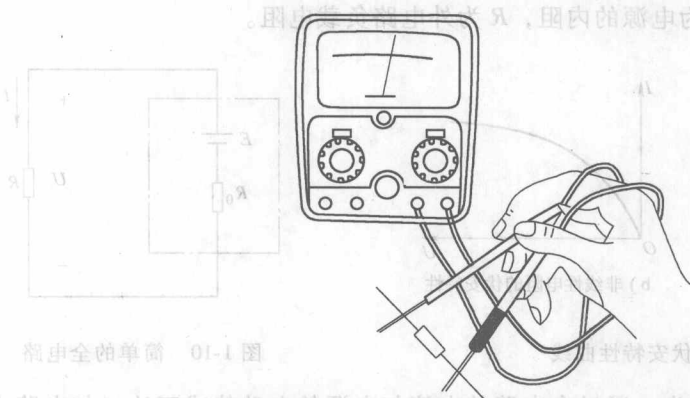


图 1-7 电阻的测量

1.4 欧姆定律

为了寻求电流通过电路时，电流、电压及电阻三者之间的关系，科学家欧姆通过大量的实验总结出了欧姆定律，它是分析和计算电路的最基本的定律之一。

1.4.1 部分电阻电路欧姆定律

一段只含有电阻、而不含有电源的电路，称为部分电阻电路，如图 1-8 所示。

部分电阻电路的欧姆定律可表述为：流经电阻的电流与加在电阻两端的电压成正比，与电阻的阻值成反比，其表达式为

$$I = \frac{U}{R}$$

或

$$U = IR \quad (1-7)$$

在式(1-7)中，电压与电流的正方向设定为一致，如图 1-8a 所示，称为关联参考方向；如果电压与电流的正方向设定相反，如图 1-8b 所示，则称为非关联参考方向，非关联参考方向的表达式为

$$U = -IR \quad (1-8)$$

在以后的电路分析中，如不加特别说明，均为关联参考方向。

欧姆定律只适用于线性电阻电路，即当电压和电流变化时，电阻的阻值不变。图 1-9a 是线性电阻的伏安特性曲线。某些电阻元件，如半导体二极管的正向电阻、白炽灯的灯丝电阻，它们不遵循欧姆定律，伏安特性曲线是一条曲线，这种电阻称为非线性电阻，它的阻值随工作电压的变化而变化，如图 1-9b 所示。

1.4.2 全电路欧姆定律

由含有内阻的电源和负载电阻组成的闭合回路称为全电路。最简单的全电路如图 1-10

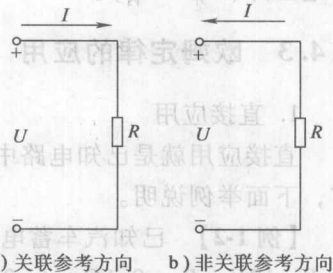
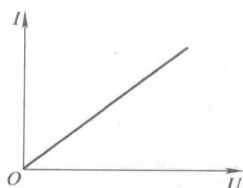
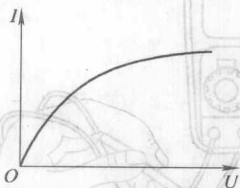


图 1-8 部分电阻电路

所示, 图中 E 为电动势, R_0 为电源的内阻, R 为外电路负载电阻。



a) 线性电阻的伏安特性



b) 非线性电阻的伏安特性

图 1-9 电阻的伏安特性曲线

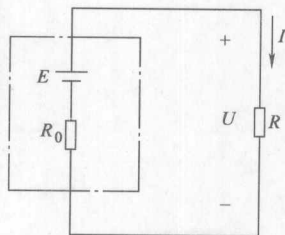


图 1-10 简单的全电路

全电路的欧姆定律可表述为: 通过全电路的电流与电源的电动势成正比, 与电路中的总电阻成反比, 其表达式为

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

或

$$E = IR + IR_0 \quad (1-9)$$

由式(1-9)可知, IR 为外电路电阻上的电压, 令 $U_{\text{外}} = IR$; IR_0 为电源内阻上的电压, 令 $U_{\text{内}} = IR_0$, 则有

$$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \quad (1-10)$$

此式称为全电路电压平衡方程式, 它说明了在一个闭合电路中, 电压升(电动势 E)等于电压降($U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$)。

1.4.3 欧姆定律的应用

1. 直接应用

直接应用就是已知电路中的两个参数, 求另一个参数。这种应用虽然很简单, 但用途很广, 下面举例说明。

【例 1-2】 已知汽车蓄电池放电电路如图 1-11 所示, 电路中 $E = 12\text{V}$, $R_0 = 0.1\Omega$, $I = 3.5\text{A}$, 求灯泡工作时的电阻 R_L 。

解 根据全电路欧姆定律, 有

$$R_L = \frac{E - IR_0}{I} = \frac{12 - 3.5 \times 0.1}{3.5} \Omega = 3.33\Omega$$

即灯泡在工作时的电阻为 3.33Ω 。

2. 间接应用

间接应用比直接应用稍微复杂一些, 首先要对电路进行一些简化处理, 忽略一些次要因素, 将电路中的电阻元件先转化为它的理想化电阻模型, 然后再计算电路参数。下面举例加以说明。

【例 1-3】 图 1-12 所示为用试电笔测试电路是否带电的电路。试电笔是测量电器是否带电的小工具, 其内部装有一只限流电阻和发光氖管, 当被测量的电器带电时, 电流通过限流电阻、发光氖管及人体流入大地, 发光氖管发光, 指示有电(由于电流微弱, 对人体无害)。已知限流电阻为 $880\text{k}\Omega$, 氖管的电阻和人体的电阻都比限流电阻小得多, 试求使用该试电笔测量 220V 电压时流过人体的电流。

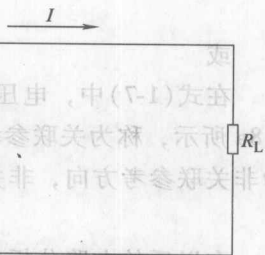


图 1-11 例 1-2 图