

★★★ 中等职业教育通用教材



zhongdengzhiyejiacyu

电工与电子

DIANGONGYUDIANZI

主编 于喜中

兰州大学出版社



图书在版编目(CIP) 数据

电工与电子/于喜中主编. —兰州: 兰州大学出版社,
2009. 8

中等职业教育通用教材

ISBN 978-7-311-03169-5

I. 电… II. 于… III. ①电工技术—专业学校—教材
②电子技术—专业学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 130755 号

策划编辑 张国梁
责任编辑 郝可伟
封面设计 张友乾

书 名 电工与电子
主 编 于喜中
出版发行 兰州大学出版社 (地址: 兰州市天水南路 222 号 730000)
电 话 0931 -8912613(总编办公室) 0931 -8617156(营销中心)
0931 -8914298(读者服务部)
网 址 <http://www.onbook.com.cn>
电子信箱 press@onbook.com.cn
印 刷 兰州人民印刷厂
开 本 787 ×1092 1/16
印 张 14.75
字 数 335 千
版 次 2009 年 8 月第 1 版
印 次 2009 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN978-7-311-03169-5
定 价 23.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

前言

本书适用于中职学校非电类专业。

本书的编写原则是保证基础,本着实用、够用为主,深入浅出,简明易懂。本书的参编人员均为来自中职教育第一线资深教师。本书内容共分九章。前七章为电工基础部分,主要介绍交、直流电路的分析与计算,磁场的基本知识,铁磁材料的性质,交流异步电动机、变压器的结构及工作原理,电动机的基本控制线路,安全用电常识等。后两章为电子技术基础部分。主要介绍半导体的基础知识,二极管、三极管的特性,整流、放大电路的构成及工作原理,数字电路的基础知识,数字器件及其应用。

通过本课程的学习,学生可培养对电路的阅读与理解能力,为后续专业课程的学习,以及为以后工作和生活中的安全用电、正确使用电器、分析判断电器设备一般故障打下一定的基础。

各章节课时分配如下,以供参考:

第一章 电路的基本概念	12 学时
第二章 磁场	10 学时
第三章 交流电路的基本知识	10 学时
第四章 三相正弦交流电路	8 学时
第五章 变压器	6 学时
第六章 异步电动机及其控制线路	12 学时
第七章 安全用电	6 学时
第八章 模拟电路	16 学时
第九章 数字电路	10 学时
合计	90 学时

本书由于喜中担任主编,由许波、李萍担任副主编,参编人员有郑双文、樊桂红、许维斌、吴健、曹丽英、王珑、周蓉。本书在编写过程中得到了省内各职业学校和兰州大学出版社的大力支持与关怀,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,错误之处在所难免,敬请批评指正。

编者
2009 年 6 月

目 录

第一章 电路的基本概念	1
第一节 电路	1
第二节 电阻	8
第三节 欧姆定律	10
第四节 电能和电功率	12
第五节 负载的连接	14
第六节 电气设备的额定工作状态	17
第七节 基尔霍夫定律	18
第八节 支路电流法	19
第九节 电路中各点电位的计算	21
第二章 磁场	28
第一节 磁场	28
第二节 磁通与磁感应强度	31
第三节 磁场对电流的作用	34
第四节 磁化与磁性材料	35
第五节 磁路	38
第六节 电磁感应	40
第七节 自感电势与自感系数	42
第八节 互感现象与互感系数	45
第三章 交流电路的基本知识	51
第一节 单相交流电	51
第二节 正弦交流电的三种表示法	59
第三节 单相交流电路	62

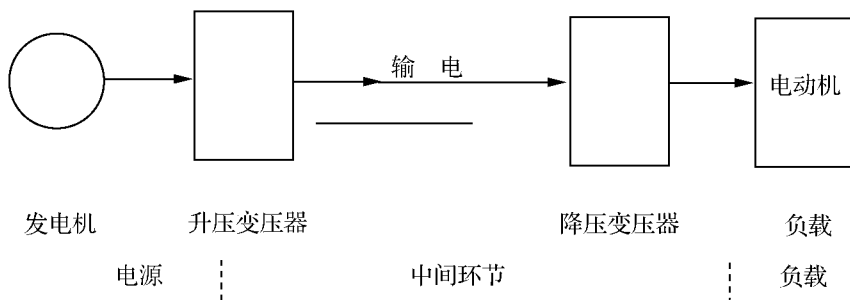
第四章 三相正弦交流电路	79
第一节 三相交流电源	79
第二节 三相负载的连接	83
第三节 三相电路的功率	85
第五章 变压器	94
第一节 变压器的结构和类型	95
第二节 变压器的工作原理	97
第三节 变压器的功率和效率	100
第四节 常用变压器	102
第六章 异步电动机及其控制线路	109
第一节 三相异步电动机的结构	109
第二节 三相异步电动机的工作原理	113
第三节 三相异步电动机的机械特性	116
第四节 三相异步电动机的控制	118
第五节 单相异步电动机	122
第六节 常用低压电器	124
第七节 三相异步电动机的基本控制电路	131
第七章 安全用电	139
第一节 触电与救护	139
第二节 电安全用具与安全标志	146
第三节 电气安全措施	148
第八章 模拟电路	156
第一节 半导体二极管	156
第二节 半导体三极管	161
第三节 放大电路	168
第四节 直流稳压电源	175
第五节 晶闸管	181
第六节 集成运算放大器的应用	184
第九章 数字电路	196
第一节 数字电路的基础知识	196
第二节 逻辑门电路	199

第三节	RS 触发器	204
第四节	主从 JK 触发器	207
第五节	D 触发器	208
第六节	计数器	209
第七节	寄存器	214
第八节	译码驱动显示电路	215
第九节	数字处理系统的结构	218
参考文献		226

内容提要

- ## 第一节 电路

电路是由各种元器件(或电工设备)按一定方式连接起来的总体,为电流的流通提供了路径。换句话说,电流流经的闭合路径就是电路。例如:(1)输配电电路,用来向居民区、工厂、农村提供电能,如图 1-1 所示;(2)扩音机电路,用来把声音信号转变成电信号,经放大后通过喇叭传送出去,如图 1-2 所示。



1

电路的作用是: (1) 进行能量的转换、传输和分配; (2) 实现信号的传递、存储和处理。前者多注重传输效率的提高,是电工技术所研究的;后者多注重信息在传递过程中的保真、运算的速度和干扰的抗除等,是电子技术所研究的。

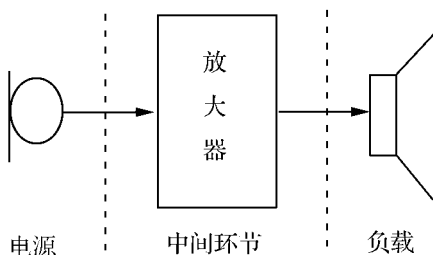


图 1-2 扩音机电路

二、电路的组成

电路主要由电源、中间环节和负载三部分组成,如图 1-3(a) 所示。

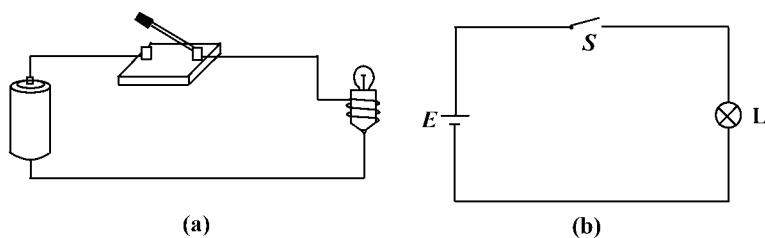


图 1-3 电路的组成

1. 电源

电源是把非电能转换成电能并向外提供电能的装置。常见的电源有干电池、蓄电池、交流发电机等。

2. 负载

负载是电路中用电器的总称,它将电能转换成其他形式的能。

电路中有三种理想负载: 理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件。实际的电路负载总可以利用理想元件的适当组合来分析。为了简单起见,后续内容将省略“理想”二字,元件都指理想元件。

(1) 电阻

这种负载工作时将电能转换成其他形式的能,而且这种转换是不可逆的。如: 电灯把电能转换成光能; 电烙铁把电能转换成热能; 电动机把电能转换成机械能。

电阻有线性电阻和非线性电阻两种。线性电阻的特点是元件的电阻值是一常数,与通过它的电流或作用在其两端电压的大小无关。非线性电阻的电阻值不是常数,与通过它的

电流或其两端电压有关。

(2) 电感

这种负载将电能转换为磁场能,这种转换通常是可逆的。如电感线圈等。

(3) 电容

这种负载将电能转换成为电场能,这种转换也是可逆的。如电容器。

3. 中间环节

中间环节包括开关和连接导线等。

开关属于控制电器,用于控制电路的接通或断开。

连接导线将电源和负载连接起来,担负着电能传输和分配的任务。

三、电路图

用电气设备的实物图形表示的实际电路很直观,但画起来很复杂,不便于分析和研究。因此,在分析和研究电路时,可把这些实际设备抽象成一些理想化的模型,用规定的图形符号表示,画出电路模型图,如图 1-3(b) 所示。这种用统一规定的图形符号画出的电路模型图称为电路图。

也就是说,电路都可以用电路图来表示。统一用国家规定的图形符号来代替实物,表示电路的各个组成部分,这样在绘制电路时就会非常方便,而且还便于我们对电路进行分析和研究。电路图中常用的部分元器件图形符号见表 1-1。

表 1-1 部分电工图形符号(GB4728—1985)

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻器		接机壳
	电池		电位器		接地
	发电机		电容器		端子
	线圈		电流表		连接导线 不连接导线
	铁芯线圈		电压表		熔断器
	抽头线圈		二极管		灯泡

四、电路的工作状态

电路有三种状态,即通路、开路、短路。

1. 通路

通路是指电路处处接通。通路也称为闭合电路,简称闭路。只有在通路的情况下,负载才能正常地工作。

2. 开路

开路是指电路中某处断开,没有形成通路的电路。开路也称为断路,此时电路中没有电流。

3. 短路

短路是指电源或负载两端被导线连接在一起,分别称为电源短路和负载短路。电源短路时电源提供的电流要比通路时提供的电流大很多倍,通常是有害的,也是非常危险的,所以一般不允许电源短路。

五、电路的基本物理量

1. 电流

我们知道,任何物质都是由分子组成的,分子是由原子组成的,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。当给予一定外加条件(如接上电源)时,就能迫使金属和某些液体、气体中的正电荷或负电荷在电场力作用下发生有规则的运动,如图 1-4 所示。

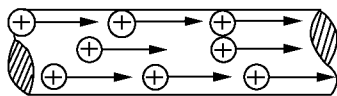


图 1-4 正电荷的定向移动

经研究可知,要形成电流必须具备两个条件:

(1) 要有可以自由运动的电荷。在金属中有自由电子,在酸、碱、盐溶液里有可以自由运动的正离子和负离子,它们都带有电荷。因此,金属和酸、碱、盐溶液中都可以形成电流。

(2) 对自由运动的电荷必须外加电场力,电场由电压形成。保证电压的装置是电源,如电池等。

电荷的定向运动形成电流。电流是一种物理现象,也是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量。

电流可以是自由电子在电场力作用下的定向运动(如金属导体中),也可以是正、负离子在电场力作用下向着相反方向的运动(如电解液中)。我们规定正电荷定向运动的方向为电流方向。在金属导体中,电流的方向与自由电子运动方向相反。

在进行有关电路计算时,在很多情况下事先无法确定电路中电流的真实方向,为了计算方便,常常事先假定一个电流方向,称为参考方向。

用箭头在电路图中标明电流的参考方向(如图 1-5 所示实箭头),如果计算的结果电流为正值,那么电流的真实方向与参考方向一致(如图 1-5 所示空心箭头);如果计算的结果电流为负值,那么电流的真实方向与参考方向相反。

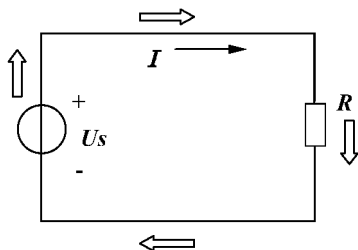


图 1-5 电流的方向

电流是一个标量,电流方向只表明电荷的定向运动方向。凡大小和方向不随时间变化的电流就称为直流电流,如图 1-6(a)所示。一般电池输出直流电流。电流的大小随时间变化但方向不随时间变化的电流叫脉动电流,如图 1-6(b)所示。大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流,如图 1-6(c)所示。一般变电站输出的电流是交流电流。

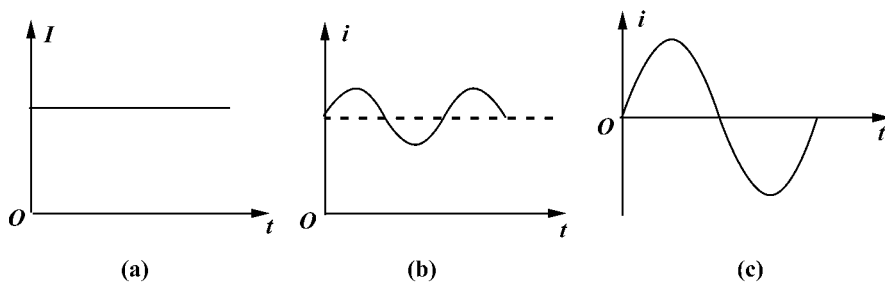


图 1-6 直流电流、脉动电流、交流电流

电流的大小等于通过导体横截面的电荷量 q 与通过这些电荷量所用时间 t 的比值,称为电流强度(简称为电流),以字母 I 表示。用公式表示为:

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

式中: Q ——通过导体横截面的电荷量,单位是库仑,符号为 C;

t ——通过电荷量 q 所用的时间,单位是秒,符号为 s;

I ——电流,单位是安培,符号为 A。

若在 1s 内通过导体横截面的电量是 1C,则电流强度就是 1A。

在国际单位制中,电流的常用单位还有毫安(mA)和微安(μA)。

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

2. 电压

带电体的周围存在着电场,电场对处在电场中的电荷有力的作用。当电荷在电场中受到电场力作用而移动时,我们就说电场力对电荷做了功。在图 1-7 所示匀强电场中,正电荷 Q 在电场力 F 作用下,由 a 移动到 b ,如果电荷 Q 移动的距离是 L_{ab} ,那么电场力对电荷做的功 W_{ab} 为:

$$W_{ab} = FL_{ab}$$

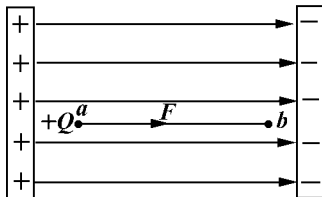


图 1-7 电荷在匀强电场中受到的电场力

为了衡量电场力做功能力的大小,我们引入电压这个物理量。 a 、 b 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 移动到 b 所做的功。用公式表示为:

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

式中: U_{ab} —— a 、 b 间的电压,单位为伏特(V);

W_{ab} ——电场力移动正电荷做的功,单位为焦耳(J);

Q ——电场力移动电荷的电荷量,单位为库仑(C)。

如果电场力把 1C 电量的正电荷从 a 移动到 b 所做的功为 1J,那么 a 、 b 间的电压就是 1V。

在国际单位制中,电压的单位为伏特,简称伏(V),也可用千伏(kV)、毫伏(mV)表示。

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

我们规定电压的方向由高电位指向低电位,即电位降低的方向。电压的方向可以用由高电位指向低电位的箭头表示,也可以将高电位用“+”、低电位用“-”表示。

电压有正负。如果 $U_{ab} > 0$,说明 a 点的电位比 b 点的电位高;如果 $U_{ab} = 0$,说明 a 点的电位与 b 点的电位相等;如果 $U_{ab} < 0$,说明 a 点的电位比 b 点的电位低。

3. 电位

电压是对电路中某两点而言的,在分析较复杂的电路时,特别是在分析电子电路时,要一一说明每两点间的电压往往很烦琐,而若利用电位的概念进行分析就显得较为方便了。如果在电路中任选一点为参考点,那么电路中某一点到参考点之间的电压称作该点的电位。电路中任何一点的电位值都是与参考点相比较而得出的,参考点的电位规定为零。参考点可以任意选取,但一个电路只能选取一个参考点,习惯上常选大地为参考点。在实际电路中通常选取公共点或机壳为参考点,比其高者为正,比其低者为负。

电位的单位与电压相同,用伏特(V)表示。

电路中两点间的电压也可用这两点间的电位差来表示,即:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

电路中任意两点间的电压是不变的,与参考点的选择无关,但电位是一个相对量,其值随参考点选择的不同而不同。

4. 电动势

如图 1-8 所示,电源外部电路中,在电场力的作用下,正电荷由电源正极(高电位)沿导线和灯泡移动到电源负极(低电位)。即正电荷从高电位端 A 沿着导线和负载向低电位端 B 移动,电极 A 因正电荷的减少而电位逐渐降低,电极 B 因正电荷的增多而电位逐渐升高,其结果是 A 和 B 两电极间的电位差逐渐减小到零。与此同时,导线中的电流也会相应地减小到零。

为了使导线中的电流连续并保持恒定,必须使 A、B 间的电压保持恒定,即必须有一种非电场力去克服电场力,使得电极 B 上的正电荷通过电源内部移向电极 A。我们就把这种在电源内部由于其他形式能量的作用而产生的对电荷的作用力称为电源力。

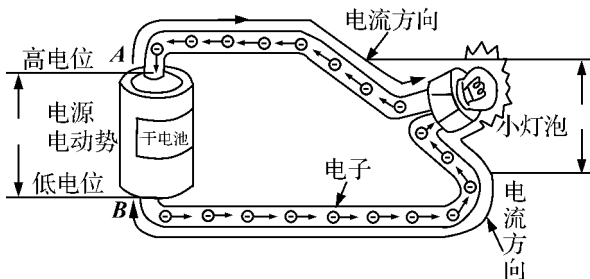


图 1-8 电路图

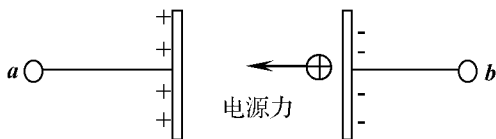


图 1-9 电源力做功

由于电源力对电荷的作用,电源两端产生电位差。不同的电源中,电源力的来源不同。例如:电池中的电源力是电解液和极板间的化学作用产生的,发电机的电源力则是电磁作用产生的。

在电源内部,电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位,如图 1-9 所示。在这个过程中,电源力要反抗电场力做功,这个做功过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。对于不同的电源,电源力做功的性质和大小不同,我们把衡量电源力做功能力大小的物理量叫做电源电动势。用 E 表示。

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

式中: E ——电源电动势,单位为伏特(V);

W ——电源力移动正电荷做的功,单位为焦耳(J);

Q ——电源力移动电荷的电荷量,单位为库仑(C)。

在发电机中,电源力由原动机(内燃机、水轮机、汽轮机)提供。在电池中,电源力由电极

与电解液接触处的化学反应产生。电源力克服电场力所做的功使电荷得到能量,把非电能转化为电能。

电动势的实际方向与电压的实际方向相反,规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。

电压是衡量电场力做功能力的物理量,方向为高电位指向低电位;电动势是衡量电源力做功能力的物理量,方向为低电位指向高电位。

第二节 电阻

一、电阻的概念和电阻定律

金属导体中的电流是自由电子定向移动形成的。自由电子在运动中要跟金属正离子频繁碰撞,每秒的碰撞次数高达 10^{15} 左右。这种碰撞阻碍了自由电子的定向移动,表示这种阻碍作用的物理量就叫做电阻。不仅金属导体有电阻,其他物体也有电阻。

导体的电阻是由它本身的物理条件决定的,金属导体的电阻是由它的长短、粗细、材料的性质和温度决定的。

在保持温度(如 20°C) 不变的条件下,实验结果表明,用同种材料制成的横截面积相等而长度不相等的导线,其电阻与它的长度成正比;长度相等而横截面积不相等的导线,其电阻与它的横截面积 S 成反比,即

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

上式叫做电阻定律。式中,比例系数 ρ 叫做材料的电阻率,单位是欧·米($\Omega \cdot \text{m}$)。 ρ 与导体的几何形状无关,而与导体材料的性质和导体所处的条件,如温度等有关。 R 、 l 、 S 的单位分别是欧(Ω)、米(m)和平方米(m^2)。在一定温度下,对于同一种材料, ρ 是常数。

不同的物质有不同的电阻率,电阻率的大小反映了各种材料导电性能的好坏。电阻率越大,导电性能越差。通常将电阻率小于 $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料叫做导体,如金属;电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 的材料叫做绝缘体,如石英、塑料等;而电阻率介于导体和绝缘体之间的材料,叫做半导体,如锗、硅等。导线的电阻要尽可能地小,因此,各种导线都用铜、铝等电阻率小的纯金属制成。而为了安全,电工用具上都安装有橡胶、木头等电阻率大的绝缘体制作的把、套。表 1-2 列出了几种常用材料的电阻率。

表 1-2 常用材料的电阻率

材料名称		电阻率 ρ / $\Omega \cdot \text{m}$ (20°C)	电阻温度系数 α / $^\circ\text{C}^{-1}$
导体	银	1.6×10^{-8}	3.6×10^{-3}
	铜	1.7×10^{-8}	4.1×10^{-3}
	铝	2.8×10^{-8}	4.2×10^{-3}
	钨	5.5×10^{-8}	4.4×10^{-3}
	镍	7.3×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	铁	9.8×10^{-8}	6.2×10^{-3}
	锡	1.14×10^{-7}	4.4×10^{-3}
	铂	1.05×10^{-7}	4.0×10^{-3}
	锰铜(85%铜+3%镍+12%锰)	$(4.2 \sim 4.8) \times 10^{-7}$	$\approx 0.6 \times 10^{-5}$
	康铜(58.8%铜+40%镍+1.2%锰)	$(4.8 \sim 5.2) \times 10^{-7}$	$\approx 0.5 \times 10^{-5}$
半导体	镍铬丝(67.5%镍+15%铬+16%碳+1.5%锰)	$(1.0 \sim 1.2) \times 10^{-6}$	$\approx 15 \times 10^{-5}$
	铁铬铝	$(1.3 \sim 1.4) \times 10^{-7}$	$\approx 5 \times 10^{-5}$
	纯碳	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
绝缘体	纯锗	0.60	
	纯硅	2300	
	塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	
	陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	
	云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	
	石英(熔凝的)	7.5×10^{17}	
	玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	
	琥珀	5×10^{14}	

二、线性电阻与非线性电阻

如果电阻是恒定值,就称为线性电阻,它是一个表示该段电路特性的与电流无关的常数,否则就是非线性电阻。线性电阻和非线性电阻的电压、电流特性如图 1-10 所示。

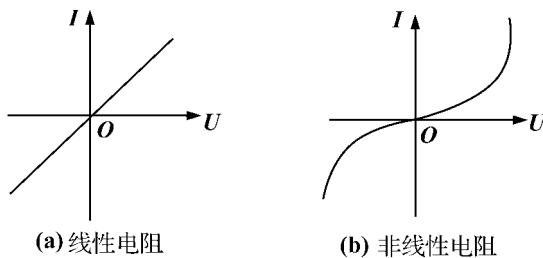


图 1-10

三、电阻与温度的关系

温度对导体电阻的影响有两方面: (1) 温度升高, 使物质分子的热运动加剧, 带电质点的碰撞次数增加, 即自由电子的移动受到的阻碍增加; (2) 温度升高, 使物质中带电质点的数目增多, 更容易导电。随着温度的升高, 导体的电阻究竟是增大还是减小, 要看哪一种因素的作用占主要地位。

一般金属导体中, 自由电子数目几乎不随温度变化, 而带电粒子的碰撞次数却随温度的升高而增多, 因此温度升高时其电阻增大。温度每升高 1°C , 一般金属导体电阻的增加量约为 $3\text{‰} \sim 6\text{‰}$ 。所以, 温度变化小时, 金属导体电阻可认为是不变的。但当温度变化大时, 电阻的变化就不可忽视。例如, 40W 的白炽灯的灯丝电阻在不发光时约为 100Ω , 正常发光时, 灯丝温度可达 2000°C 以上, 这时的电阻超过 $1\text{k}\Omega$, 即超过原来的 10 倍。

少数合金的电阻几乎不受温度的影响, 常用于制造标准电阻器。

在极低温(接近于绝对零度)状态下, 有些金属(一些合金和金属的化合物)电阻突然变为零, 这种现象叫做超导现象。对超导材料的研究是现代物理学中很重要的课题, 目前人们正致力于提高超导体的温度, 以扩大它的应用范围。

必须指出, 不同的材料因温度变化而引起的电阻变化是不同的, 同一导体在不同的温度下有不同的电阻, 也就有不同的电阻率。表 1-2 列出的电阻率是 20°C 时的值。

温度每升高 1°C 时电阻变动的数值与原来电阻值的比, 叫做电阻的温度系数, 以字母 α 表示, 单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

如果在温度为 t_1 时, 导体的电阻为 R_1 , 在温度为 t_2 时, 导体的电阻为 R_2 , 则电阻的温度系数为:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-6)$$

即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-7)$$

表 1-2 所列的 α 值是导体在某一温度范围内温度系数的平均值。并不是任何初始温度下, 每升高 1°C 都有相同比例的电阻变化, 所以上述公式只是近似的表示式。

第三节 欧姆定律

一、部分电路的欧姆定律

对部分电路的电源来说, 电源本身的电流通路称为内电路, 内电路的电阻称为内阻, 用 R_0 表示。在分析问题时, 常将内电路等效为一个具有电动势 E 的理想电源和一个电阻 R_0 串联的电路。电源以外的电流通路称为外电路。对于电阻性电路, 外电路的所有负载可以

等效为一个电阻,用 R 表示。内电路和外电路总称为全电路,可以用图 1-11 所示电路图来描述,其中虚线方框内是内电路,框外是外电路。

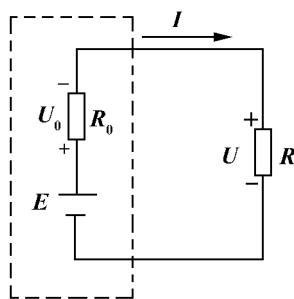


图 1-11 内电路与外电路

对于图 1-11 中的外电路,即一段不含电源、只有电阻的电路,电流、电阻和电压之间满足部分电路欧姆定律关系:

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

式(1-8)反映了一段不含电源、只有电阻的电路中,电流、电压和电阻之间的定量关系。在电路电压一定的情况下,电路电阻越大,电路中电流就越小。

在应用式(1-8)时应注意,电流 I 和电压 U 的参考方向必须一致,若电压、电流的参考方向相反,则电流为 $I = -\frac{U}{R}$ 。

二、全电路欧姆定律

对于图 1-11 中的全电路,电流、电阻和电动势之间满足全电路欧姆定律关系:

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-9)$$

由式(1-9)可见,电路中的电流不仅与电动势、外电路电阻的大小有关,还与内阻大小有关。一般情况下,电源内阻越小越好,这样就可以更多地向外电路提供电流(电能)。

三、电源的外特性

在通路状态下,根据全电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R_0 + R}$ 可得:

$$E = RI + R_0 I \quad (1-10)$$

$$E = U + R_0 I \quad (1-11)$$

$$U = E - R_0 I \quad (1-12)$$

随着电流的增大,电源端电压 U 不断下降,这表明电动势 E 的一部分被电源内阻本身耗用,这种电源输出电压 U 随负载电流 I 变化的规律称为电源的外特性,如图 1-12 所示。