

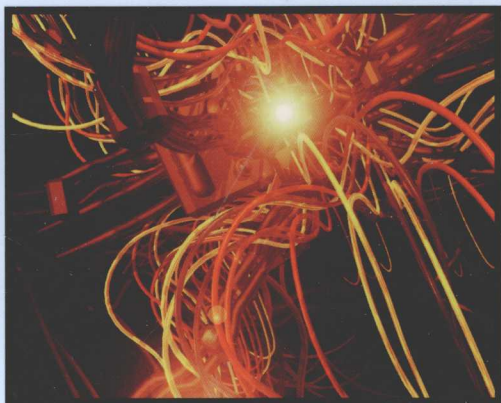
ZHONGDENG ZHIYE  
JIAOYU KECHENG GAIGE  
GUIHUA XINJIAOCAI

中等职业教育课程改革规划新教材

# 电工基础

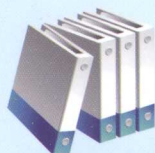
(内含实验部分与习题册)

王迎尉 主编



- 植根经典课程内容，形式突破创新，理论与实验融合
- 重要知识点层层分解，结合实际案例进行全面的分析
- 单列对应习题手册，增强学生自主分析解决问题能力

赠送免费电子教案



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育课程改革规划新教材

# 电 工 基 础

主 编 王迎尉

副主编 李 靖 高 斌

参 编 张 琼 宁 静 姜有奇

杨爱云 王建国



机械工业出版社

本书是根据教育部中等职业教育“以就业为导向”的培养目标并结合当前中等职业学校“2+1”的培养模式和当前中职生源的特点,以“必需、够用”为原则而编写的。本书内容简洁,重点突出,有明确的知识点和能力点,并配有大量的练习题,以确保学生学习任务的完成,书后附有练习题答案。

全书分为两大部分。第一部分为基础知识部分,主要内容有:电路的基本概念,直流电路的分析,电磁感应、自感与互感、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路等。第二部分为实验部分,主要围绕第一部分的知识内容进行辅助训练,巩固学习效果。

本书可供中等职业学校电类专业使用,也可作为相关专业岗位培训教材。

为方便教学,本书配有电子教案,可联系编辑(zzs840922@126.com)索取或免费注册并登录机械工业出版社教材服务网(www.cmpedu.com)下载。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工基础/王迎尉主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 8

中等职业教育课程改革规划新教材

ISBN 978-7-111-27411-7

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(2009)第142223号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张值胜 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:马精明 责任印制:邓 博

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·271千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27411-7

定价:21.00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) 88379182

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

进入新世纪以来,我国中等职业教育坚持以服务为宗旨、以就业为导向的办学方针,办学规模、质量和效益明显提高,职业教育的发展站在了一个新的历史起点上。在新的形势下,全面建设小康社会、构建社会主义和谐社会,对职业教育提出了新的、更高的要求,职业教育要为产业升级和劳动力转移服务,提高核心竞争力和自主创新能力。

“电工基础”课程是中等职业学校电类专业的一门专业基础课程,其任务是使学生具备从事电类工作所必需的电工基本知识、基本理论和基本技能,并为学习后续课程打下基础。通过本课程的学习,可以建立学生的工业生产意识,培养学生敏锐的观察能力、丰富的想像能力、科学的思维能力以及解决电类实际问题的能力。

基于以上情况分析,本教材在内容选择上以“必需、够用”为原则,考虑到中职学生的生源特点,将中学物理内容适当向下延伸。并且,考虑到学生的实际就业需求,尽量补充实用知识和技能;同时体现新知识、新技术、新工艺、新技能。全书共分5章,具体内容及相应学时分配建议见下表。

| 章 节    | 课程内容       | 课时分配 |
|--------|------------|------|
| 第1章    | 电路的基本概念    | 6    |
| 第2章    | 直流电路的分析    | 14   |
| 第3章    | 电磁感应、自感与互感 | 12   |
| 第4章    | 单相正弦交流电路   | 20   |
| 第5章    | 三相正弦交流电路   | 8    |
| 实验     | 实验一~实验十二   | 24   |
| 总体课时建议 |            | 84   |

本书在练习题的形式和数量安排上,力求与国家职业技能鉴定规范相吻合,并在书后附练习题答案。在语言表达上,力求简洁明了,图文并茂,通俗易懂。

本书的策划构思、大纲编写及统稿工作由陕西省电子工业学校王迎尉负责。第1章由宁静编写;第2章由王建国编写;第3章由姜有奇与李靖共同编写;第4章由高斌编写;第5章由杨爱云与李靖共同编写;实验由张琼编写。

由于编者学识和水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第1章 电路的基本概念</b> .....  | 1  |
| 1.1 电场、电场强度、电场线 .....     | 1  |
| 1.2 电路和电路模型 .....         | 3  |
| 1.3 电流和电压及参考方向 .....      | 5  |
| 1.4 电阻与欧姆定律 .....         | 8  |
| 1.5 电容元件 .....            | 10 |
| 阅读：电容的分类、用途和选用 .....      | 13 |
| 1.6 电容器的认识与测量 .....       | 14 |
| 1.7 电感元件 .....            | 16 |
| 阅读：电感线圈的种类和使用 .....       | 17 |
| 1.8 电压源和电流源 .....         | 19 |
| 1.9 电能和电功率 .....          | 20 |
| 1.10 电路中各点电位的计算 .....     | 22 |
| 本章小结 .....                | 23 |
| <b>第2章 直流电路的分析</b> .....  | 24 |
| 2.1 基尔霍夫定律 .....          | 24 |
| 2.2 电阻的串联 .....           | 26 |
| 2.3 电阻的并联 .....           | 28 |
| 2.4 电阻的混联 .....           | 29 |
| 2.5 两种电源模型及其等效变换 .....    | 31 |
| 2.6 支路电流法 .....           | 33 |
| 2.7 戴维南定理 .....           | 34 |
| 2.8 最大功率传输定理 .....        | 35 |
| 本章小结 .....                | 36 |
| <b>第3章 电磁感应</b> .....     | 37 |
| 3.1 电流的磁场 .....           | 37 |
| 3.2 磁场的四个物理量 .....        | 38 |
| 3.3 铁磁材料 .....            | 40 |
| 阅读：硬磁材料的应用 .....          | 42 |
| 3.4 磁场对电流的作用力——左手定则 ..... | 44 |
| 3.5 电磁感应现象 .....          | 45 |
| 阅读：发电机的构造、原理 .....        | 48 |
| 3.6 自感 .....              | 49 |
| 3.7 感应电流方向的判断 .....       | 52 |
| 3.8 互感 .....              | 53 |
| 3.9 互感线圈的连接及等效电路 .....    | 56 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 阅读：麦克斯韦与电磁场理论简介 .....               | 57  |
| 3.10 变压器 .....                      | 58  |
| 本章小结 .....                          | 62  |
| <b>第4章 单相正弦交流电路</b> .....           | 64  |
| 4.1 正弦交流电的基本概念 .....                | 64  |
| 4.2 复数 .....                        | 68  |
| 4.3 正弦量的相量表示 .....                  | 69  |
| 4.4 纯电阻电路 .....                     | 72  |
| 4.5 纯电感电路 .....                     | 73  |
| 4.6 纯电容电路 .....                     | 75  |
| 4.7 电阻、电感、电容的串联电路 .....             | 76  |
| 4.8 串联谐振电路 .....                    | 79  |
| 4.9 电阻、电感、电容的并联电路 .....             | 80  |
| 4.10 交流电路的功率 .....                  | 82  |
| 本章小结 .....                          | 85  |
| <b>第5章 三相正弦交流电路</b> .....           | 87  |
| 5.1 三相正弦交流电源 .....                  | 87  |
| 5.2 三相负载的连接 .....                   | 89  |
| 5.3 三相电路的功率 .....                   | 91  |
| 5.4 三相异步电动机的概述 .....                | 93  |
| 5.5 三相异步电动机的接线 .....                | 94  |
| 5.6 三相异步电动机的控制 .....                | 95  |
| 5.7 安全用电 .....                      | 99  |
| 本章小结 .....                          | 101 |
| <b>实验</b> .....                     | 103 |
| 实验1 测量 .....                        | 103 |
| 实验2 数字万用表的使用 .....                  | 107 |
| 实验3 串、并联电路 .....                    | 109 |
| 实验4 电阻、电源的电压与电流关系 .....             | 111 |
| 实验5 基尔霍夫定律 .....                    | 113 |
| 实验6 戴维南定理 .....                     | 114 |
| 实验7 电阻性电路的故障检查 .....                | 116 |
| 实验8 交流电路认识试验 .....                  | 118 |
| 实验9 示波器的应用 .....                    | 120 |
| 实验10 RL、RC 串联电路电压、电流关<br>系的测试 ..... | 123 |
| 实验11 荧光灯电路 .....                    | 124 |

---

|                       |     |             |     |
|-----------------------|-----|-------------|-----|
| 实验 12 三相电路 .....      | 126 | 练习题 2 ..... | 141 |
| <b>附录</b> .....       | 130 | 练习题 3 ..... | 152 |
| 附录 A 常用电子元器件实物图 ..... | 130 | 练习题 4 ..... | 156 |
| <b>参考文献</b> .....     | 133 | 练习题 5 ..... | 163 |
| 附录 B 练习题及答案 .....     | 135 | 练习题答案 ..... | 168 |
| 练习题 1 .....           | 136 |             |     |

# 第1章 电路的基本概念

## [学习目标]

1. 电场
2. 电路的状态
3. 电流、电压、电位
4. 关联参考方向与非关联参考方向
5. 电阻及欧姆定律
6. 电容元件
7. 电感元件
8. 电压源和电流源
9. 电能
10. 电功率
11. 电位的计算

## [学习难点]

1. 电路三种状态的不同特点
2. 关联参考方向与非关联参考方向
3. 欧姆定律

## 1.1 电场、电场强度、电场线

### 1.1.1 电场的基本概念

相隔一定距离的电荷之间的相互作用是怎样发生的呢？经过长期探索，人们认识到：只要有电荷存在，电荷周围就存在着一种特殊形式的物质，叫做电场。电场是物质的一种形态。它虽然不像由原子、分子构成的实物那样看得见，摸得着，但是通过电场力我们一样能感知它的存在。电场的基本特性是对静止或运动的电荷有作用力，电场分为两种：一种是静电场，另一种是感应电场。

#### 1. 静电场

静电场是由静止电荷激发的电场。静电场的电场线起于正电荷（或无穷远），终止于负电荷（或无穷远），静电场做功与路径无关。用电场强度或电势差描述电场，用电场线或等势面可以形象地描绘电场的分布。

#### 2. 感应电场

变化磁场激发的电场叫感应电场或涡旋电场。感应电场的电场线是闭合的，没有起点、

终点。闭合的电场线包围变化的磁场。

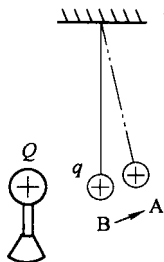
### 1.1.2 电场强度

一般电场中各点强弱不同,方向也不同。如何表示电场的强弱呢?我们知道电场的基本特性是对其中的电荷有电场力的作用,研究电场的强弱,可以从分析电荷在电场中的受力入手,找出表示电场强弱的物理量。

如图 1-1 所示,电场是由正电荷  $Q$  产生的,用悬在细线下端的带正电的小球作为检验电荷  $q$ ,将它先后放在电场中的不同点,实验发现:

1) 小球偏离竖直方向,且在不同位置偏离的方向不一样。这表明电场对  $q$  有作用力,且作用力的方向在各点不同。

2) 在距离  $Q$  越近的地方,偏角越大,说明  $q$  受到的电场力越大,该处电场越强;距离  $Q$  越远,偏角越小,说明  $q$  受到的电场力也越小,电场越弱。



对于电场中确定的一点  $P$ ,放上正的检验电荷并改变它的电荷量  $q$ 。图 1-1 电场实验发现:  $q$  越大,它受到的电场力  $F$  就越大。这表明,检验电荷所受电场力的大小除了与电场有关以外,还与它本身电量有关。经过精确的实验可以证明:在一定电场中的固定一点,  $F/q$  比值是一个常量,且与  $q$  无关,只决定于该点电场本身的性质。电场中的其他点也有同样情况,但各点比值都不相同。可见  $F/q$  的比值能够反映电场的强弱。

放入电场中某点的电荷受到的电场力  $F$  与它的电量  $q$  的比值叫做该点的电场强度,简称场强。用符号  $E$  表示,用公式表示为

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——电场力,单位为 N;

$q$ ——电荷量,单位为 C;

$E$ ——电场强度,单位为 N/C。

电场强度是一个矢量,电场中某点电场强度的方向就是放在该点的正电荷所受的电场力的方向。

如果在电场的某一区域里,各点的电场强度大小都相等、方向都相同,那么这个区域叫做匀强电场。带等量异性电荷的平行金属板之间的电场就是匀强电场,如带电电容器。匀强电场的电场线,方向相同,疏密程度也一样,是一些分布均匀的平行直线,如图 1-2 所示。

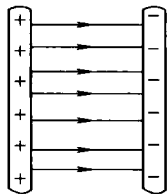


图 1-2 匀强电场

### 1.1.3 电场线

在实际问题中,我们常用几何方法形象化地描述电场的空间分布,这种几何图线称为电场线。电场线是空间一簇假想的曲线,这些曲线上每一点的切线方向都与该点的电场强度方向相同。

几种典型电场的电场线如图 1-3 至图 1-7 所示。图 1-3 所示为一条普通电场线。图 1-4 所示为正点电荷的电场线。图 1-5 所示为负点电荷的电场线。图 1-6 所示为一对等量正点电荷的电场线。图 1-7 所示为一对等量异种点电荷的电场线。

从图中可以看出电场线的性质：

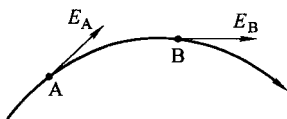


图 1-3 普通电场线

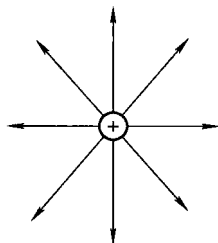


图 1-4 正点电荷电场线

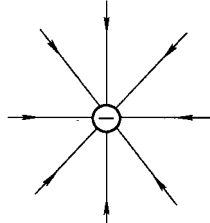


图 1-5 负点电荷电场线

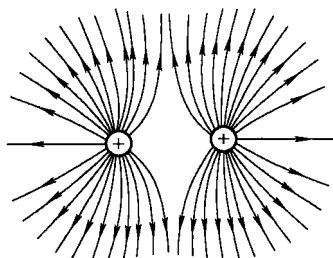


图 1-6 一对等量正点电荷电场线

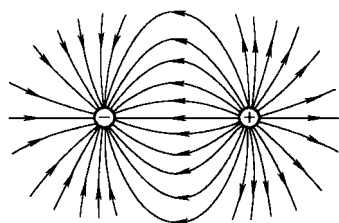


图 1-7 一对等量异种点电荷电场线

- 1) 在静电场中，电场线是从正电荷起，终止于负电荷的不闭合曲线。
- 2) 电场线不能相交，否则一点将有两个电场强度方向。
- 3) 电场线不是电场里实际存在的线，是为了使电场形象化的假想线。
- 4) 电场强度越大的地方，电场线越密；电场强度越小的地方，电场线越疏。可见电场线的疏密程度反映了电场的强弱。

## 1.2 电路和电路模型

### 1.2.1 电路的组成及各部分的作用

由电源、用电器、导线和开关等部件组成的闭合回路，叫做电路，如图 1-8 所示。

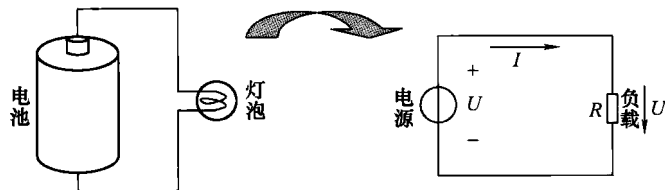


图 1-8 电路的组成

#### 1. 电源

把其他形式的能量转变为电能的装置叫做电源，电源的作用是为电路提供能量。常见的直流电源有干电池、蓄电池和直流发电机等。实验室常用的电源有：直流稳压电源、交流调压电源等。

#### 2. 用电器

把电能转变为其他形式能量的装置叫做用电器，常被称为负载。负载的基本作用是消耗

能量,如电灯、电铃、电动机、电炉等都是利用电能工作的用电设备。

### 3. 导线

连接电源和用电器的金属线称为导线,它把电源产生的电能输送到用电器,常用铜、铝等材料制成,导线越粗能承受的电流越大。

### 4. 开关

它起到把用电器与电源接通或断开的作用。常见的开关有:按键开关、旋钮开关、波段开关等。

## 1.2.2 电路的状态

电路的状态有以下几种:

### 1. 通路

电路各部分连接成闭合回路,有电流通过,如图 1-9 所示。

特点:负载工作,端口电流不为 0。

### 2. 开路(断路)

电路断开,电路中没有电流通过,如图 1-10 所示。

特点:端口电流为 0,电压不为 0。

### 3. 短路

当电源两端的导线直接相连,这时电源的电流不经过负载,只经过连接导线直接流回电源,这种状态称为短路,如图 1-11 所示。

特点:端口电压为 0,电流不为 0 (属于故障现象)。

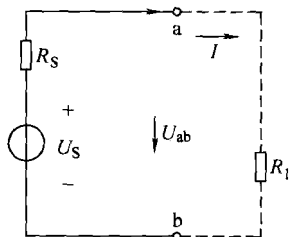


图 1-9 通路

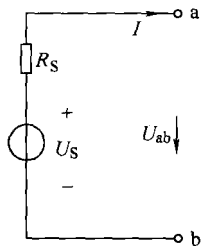


图 1-10 开路

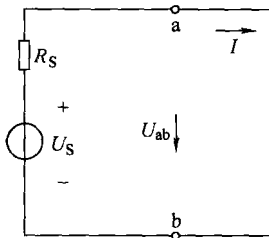


图 1-11 短路

一般情况下,短路时的大电流会损坏电源和导线,应该尽量避免。有时,在调试电子设备的过程中,将电路某一部分短路,这是为了使与调试过程无关的部分没有电流通过而采取的一种方法。

## 1.2.3 电路图

在设计、安装或修理各种设备和用电器等的实际电路时,常要使用表示电路连接情况的图。这种用规定的图形符号表示电路连接情况的图,称为电路图,其图形符号要遵守国家标准。几种常用的标准图形符号,如图 1-12 所示。

注意:在以后分析电路的过程中,我们可以想象将电路图导线任意压缩或拉长,这对电路分析结果是没有影响的。

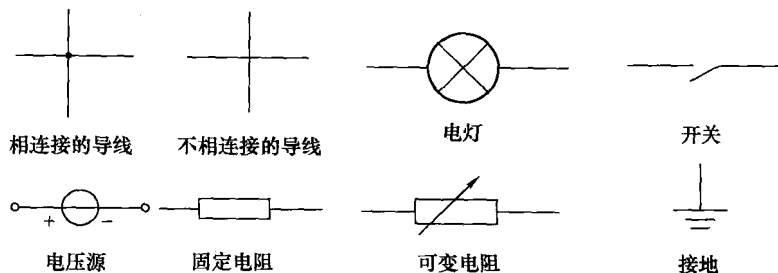


图 1-12 常用符号

## 1.3 电流和电压及参考方向

### 1.3.1 电流的形成

要形成电流，首先要有能自由移动的电荷——自由电荷。但只有自由电荷还不够。例如，金属导体中有大量的自由电荷，它们不断地做无规则的热运动，朝任何方向运动的几率都一样，从宏观上看，没有电荷的定向移动就没有电流。

因此只有电荷在电场力的作用下的定向移动才能形成电流。例如，金属导体中自由电子的定向移动，阴极射线管中的电子流等，都能形成电流。

### 1.3.2 电流的计算及表示

电流既是一种物理现象，又是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量。电流的大小等于通过导体横截面积的电荷量与通过这些电荷量所用时间的比值。在国际单位制中，电流的单位是安培，符号是 A。如果在时间  $t$  内通过导体横截面积的电荷量为  $q$ ，那么，电流为

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

式中  $q$ ——通过导体横截面积的电荷量，单位为 C；

$t$ ——时间，单位为 s；

$I$ ——电流，单位为 A。

电流常见单位还有：毫安 (mA)、微安 ( $\mu\text{A}$ ) 等，三者换算关系如下：

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

电流常用箭头与字母的组合来表示，如图 1-13 所示。箭头有时也直接画在支路上。

规定：正电荷定向移动的方向为电流的实际方向。由于金属导体中自由电子带负电，所以金属导体中电流的方向与自由电子（负电荷）定向移动的方向相反。

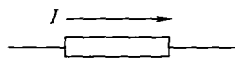


图 1-13 电流

如果电流的大小和方向不随时间变化，那么这种电流叫做恒定电流，简称直流，用大写字母  $I$  表示（可以加下标，如  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_s$  等）。

如果电流的大小和方向都随时间变化，那么这种电流叫做交变电流，简称交流，用小写字母  $i$  表示（可以加下标，如  $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_s$  等）。

测电路中某支路的电流，应将电流表与该支路串联。

### 1.3.3 电流的参考方向

上面已经提到,正电荷定向移动的方向为电流的方向,但在复杂电路中难以判断元器件中电流的实际方向。为了解决这样的困难,引入参考方向这一概念。

- 1) 先任意设定一个电流方向,作为电流的参考方向。
- 2) 根据电路的定律、定理,列出方程式。
- 3) 根据计算结果确定实际电流方向。

若计算结果为正,则实际方向与参考方向一致;若计算结果为负,则实际方向与参考方向相反。如图 1-14a 所示电流的参考方向从左向右,计算结果为 5A,是一个正值,说明实际的电流方向与我们假设的参考方向一致,为从左向右;图 1-14b 所示电流的参考方向从右指向左,计算结果为 -5A,是一个负值,说明实际的电流方向与我们假设的参考方向相反,为从左向右。从上述分析我们可以看到,对于同一个电路,采用不同的参考方向,计算的结果相差一个负号,但实际的电流流向是唯一确定的,不会随参考方向的选择而变化。

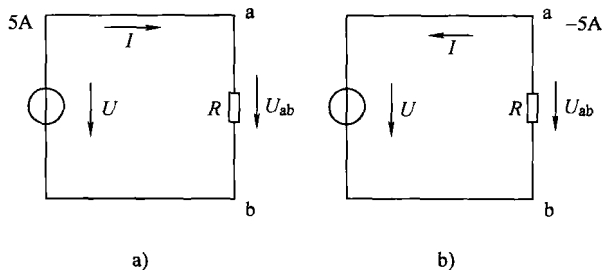


图 1-14 电流方向

在分析电路时,我们可先任意假定电流的参考方向,在假定之后,在解题过程中不能再改变参考方向。以此参考方向为准进行分析、计算,从最后答案的正、负值再来确定电流的真实方向。因此,在未标注参考方向的情况下,讨论电流的正、负是毫无意义的。

注意:在以后做练习时要养成良好的习惯,先标明参考方向,再开始计算。

### 1.3.4 电压、电位和电动势

#### 1. 电压

在图 1-15 中, A、B 为两个极板, A 极板带正电, B 极板带负电,因而两极板间形成电场,其方向由 A 指向 B。当用导线将负载和电源的正负极板连接成一个闭合电路时,在此电场作用下,正电荷就要从正极 A 经导线和负载流向负极 B (其实是导体中的自由电子在电场作用下从 B 极流向 A 极),从而形成电流。这时电场力对电荷做功,这种电场力做功的大小就用电压来度量。

设在某一电路中电场力把电荷  $q$  从 A 点经外电路移动到 B 点所做的功为  $W_{AB}$ ,则电场中 A 点到 B 点的电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-3)$$

电压如同水压,电压的方向(实际方向)规定由高电位端指向低电位端,即为电压下降的方向。但在分析电路时,也需选取电压的参考方向。当电压的参

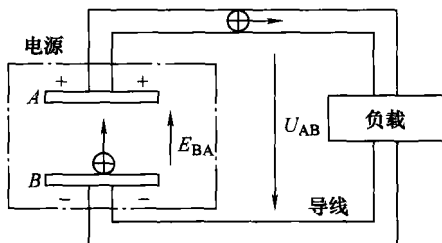


图 1-15 电压和电动势

考方向与实际方向一致时,电压为正值 ( $U > 0$ );反之,当电压的参考方向和它的实际方向相反时,电压为负值 ( $U < 0$ ),如图 1-16 所示。

电压的参考方向也是任意指定的。在电路中,参考方向可用箭头来表示,也可用双下标表示,如  $U_{AB}$  表示 A 和 B 之间电压的参考方向是由 A 指向 B 的,也可用极性“+”、“-”表示,“+”表示高电位,“-”表示低电位。

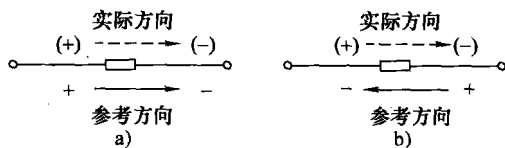


图 1-16 电压的参考方向与实际方向

a)  $U > 0$  b)  $U < 0$

在分析电路时,电压和电流参考方向的假定,原则上是任意的。但为了方便起见,元件上的电压和电流常取一致的参考方向,这称为关联参考方向。

在图 1-17a 中所示的  $U$  与  $I$  参考方向一致,则其电压与电流的关系是  $U = RI$ ;而图 1-17b 中所示的  $U$  与  $I$  参考方向不一致,则电压与电流的关系是  $U = -RI$ 。可见,在列写电压与电流的关系式时,式中的正负号由它们的参考方向是否一致来决定。

## 2. 电动势

在图 1-15 中,正电荷在电场的作用下,从高电位移向低电位。这样,电极 A 因正电荷的减少而使

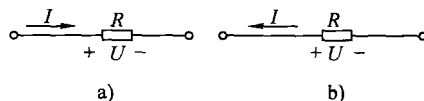


图 1-17 关联参考方向与非关联参考方向

电位逐渐降低,电极 B 因正电荷的增多而使电位逐渐升高,其结果是 A 和 B 两电极的电位差逐渐减小到零,同时导体中的电流也相应减小到零。为了维持电流不断地在连接导体中流动,必须使 A、B 两极板间保持一定的电压,这就要借助一种外力源源不断地把正电荷在电源内部从低电位处(负极 B)移到高电位处(正极 A)。在这过程中外力要克服电场力做功,这种外力是非电场力。

为了衡量非电场力对电荷做功的能力,这里引出电动势这个物理量。电源的电动势  $E_{BA}$  在数值上等于非电场力将单位正电荷从电源低电位端 B(负极)经电源内部移到高电位端 A(正极)所做的功,用  $E$  表示。电动势的实际方向在电源内部是从低电位指向高电位。

## 3. 电位

在进行电路特别是电子线路分析和计算时,经常要研究电路中各点电位的高低。例如在讨论晶体管的工作状态时,要分析各个极的电位值,求出各极间的电位差,从而确定晶体管的工作状态。

电位是度量电路中各点所具有的电位能的大小的物理量,是一个相对的概念,它必须是相对于某个特定的参考点而言的。电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移到参考点所做的功,用  $V$  表示。参考点的电位值一般设为零,因此也称为零电位点。

对照电位与电压的定义,不难理解电路中任意一点的电位,就是该点与参考点之间的电压,而电路中任意两点之间的电压,则等于这两点的电位之差,即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

式中,  $V_A$  为 A 点的电位,  $V_B$  为 B 点的电位。

那么如何选取参考点呢?从理论上讲,是把无穷远处作为零电位参考点;在工程上,是把大地作为零电位参考点;在电子技术上,以机壳或导线汇交点作为零电位参考点。实际上,零电位参考点可以任意选定,它只是作为一个电位比较标准,在电路图中用“ $\perp$ ”符号表示。

在国际单位制中,电压、电动势和电位的单位都是伏特(V)。当电场力把1C(库仑)的电荷从一点移到另一点所做的功为1J(焦耳)时,该两点间的电压为1V。有时也用千伏(kV)、毫伏(mV)为单位,它们之间的换算关系为

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

注意:电路中某一点的电位等于该点与参考点(电位为零)之间的电压;参考点选得不同,电路中各点的电位值不同,但是任意两点间的电压是不变的。所以各点电位的高低是相对的,而两点间的电压是绝对的。

## 1.4 电阻与欧姆定律

### 1.4.1 电阻

金属导体中的电流是由其内部的自由电子定向移动形成的。自由电子在运动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叫做电阻。在电学中,电阻这个物理量用 $R$ 来表示,是取英文 Resistor(电阻)的第一个字母。不但金属导体有电阻,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,即由它的长短、粗细、材料的性质和温度决定的。

通过实验可以发现,在保持温度(如 $20^\circ\text{C}$ )不变的条件下,用同种材料制成的截面积相等而长度不相等的导线,其电阻与它的长度 $l$ 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 $R$ 满足下式

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

式中  $R$ ——电阻值,单位为 $\Omega$ ;

$l$ ——长度,单位为m;

$S$ ——横截面积,单位为 $\text{m}^2$ ;

$\rho$ ——电阻率,单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

式(1-5)称为电阻定律,比例系数 $\rho$ 叫做电阻率,单位是欧·米( $\Omega \cdot \text{m}$ )。 $\rho$ 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。在一定温度下,对同一种材料, $\rho$ 是常量。

不同的物质有不同的电阻率,电阻率小于 $10^{-6}\Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为导体,如金属;电阻率大于 $10^7\Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为绝缘体,如石英、塑料等;而电阻率的大小介于导体和绝缘体之间的材料,称为半导体,如锗、硅等。表1-1列出了几种常见材料的电阻率。

表1-1 几种常见材料的电阻率

| 材料名称 |   | 电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$ ( $20^\circ\text{C}$ ) | 材料名称 |    | 电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$ ( $20^\circ\text{C}$ ) |
|------|---|---------------------------------------------------------|------|----|---------------------------------------------------------|
| 导体   | 银 | $1.6 \times 10^{-8}$                                    | 半导体  | 硅  | $3.5 \times 10^{-3}$                                    |
|      | 铜 | $1.7 \times 10^{-8}$                                    |      | 锗  | 0.6                                                     |
|      | 铝 | $2.8 \times 10^{-8}$                                    | 绝缘体  | 塑料 | $10^{15} \sim 10^{16}$                                  |
|      | 钨 | $5.5 \times 10^{-8}$                                    |      | 陶瓷 | $10^{12} \sim 10^{13}$                                  |
|      | 铁 | $9.8 \times 10^{-8}$                                    |      | 云母 | $10^{11} \sim 10^{15}$                                  |
|      |   |                                                         |      | 玻璃 | $10^{10} \sim 10^{14}$                                  |

导线的电阻要尽可能地小,以利于导电,因此各种导线都由铜、铝等电阻率小的纯金属制成。而在电工用具上则都安装有橡胶、木头等电阻率很大的绝缘体制作的把套,以防止发生触电事故。

### 1.4.2 伏安特性曲线

如果以电流为横坐标,电压为纵坐标,可画出电阻的  $U-I$  关系曲线,称为电阻元件的伏安特性曲线,如图 1-18 所示。

电阻元件的伏安特性曲线是直线时,称为线性电阻。即此电阻元件的电阻值  $R$  是不变的常量,直线斜率表示该电阻元件的电阻值。如果不是直线而是曲线,则称为非线性电阻,如热敏电阻。通常所说的电阻都是指线性电阻。

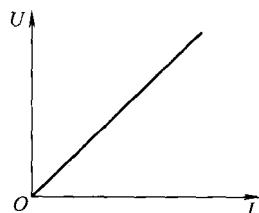


图 1-18 伏安特性曲线

### 1.4.3 欧姆定律

线性电阻中的电流与它两端的电压成正比,与它的电阻成反比,这就是欧姆定律,如图 1-19 所示。

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

或

$$U = IR, R = U/I$$

式中  $I$ ——电流,单位为 A;

$U$ ——电压,单位为 V;

$R$ ——电阻,单位为  $\Omega$ 。

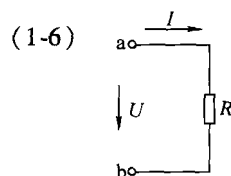


图 1-19 欧姆定律

非关联参考方向时,公式中多一个负号,即  $R = -U/I$ 。因为电阻始终是一个正值,非关联参考方向时,电压电流参考方向相反,故为了保证电阻为正,公式中多了一个负号。

欧姆定律是电学中最基本的一个定律,它告诉我们:电阻阻值、电阻两端电压以及流过其中的电流三者之间的定量关系。在任何情况下,知道了其中任意两个参数就可以确定第三个参数。

### 1.4.4 色标电阻阻值的识别

现在实际使用的电阻基本都是色环电阻,即在电阻表面用不同颜色的环代表电阻的阻值和偏差,各种颜色所代表的具体意义见表 1-2。

表 1-2 电阻表面颜色代表的意义

| 颜色<br>代表意义 | 银         | 金         | 黑      | 棕      | 红      | 橙      | 黄      | 绿      | 蓝      | 紫      | 灰      | 白      |
|------------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 有效数字       | —         | —         | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
| 乘数 (数量级)   | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | $10^0$ | $10^1$ | $10^2$ | $10^3$ | $10^4$ | $10^5$ | $10^6$ | $10^7$ | $10^8$ | $10^9$ |

色环的识别方法:

1) 横拿色环电阻从左至右辨识色环,色环间距较大的一段或色环离电阻引线最近的一

端为左端。

2) 从左至右辨识色标, 第一道至第三道色环代表三位有效数字, 第四道色环代表倍乘数, 第五道色环代表电阻值的允许偏差。

3) 读数阻值单位是欧姆 ( $\Omega$ )。如图 1-20 所示, 按表 1-2 所列标准读出标称电阻值为  $175000\Omega$  ( $175k\Omega$ )。

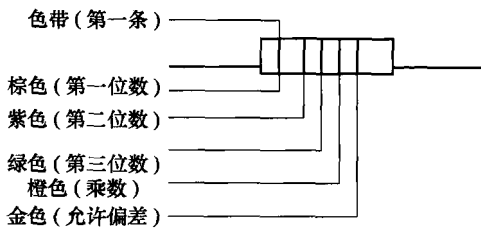


图 1-20 三位有效数字色环表示

### 1.4.5 电阻阻值的测量

如果对电阻的色环把握不准, 可以通过万用表测量确认。测量的步骤如下:

- 1) 先将万用表指针机械调零 (一般新表启用时操作)。
- 2) 选择合适的挡位及量程, 测量电阻选择欧姆挡, 量程先选最大量程。
- 3) 选择量程后, 先将电位调零, 然后进行测量。
- 4) 读数: 看表盘上  $\Omega$  刻度线, 应使指针偏转达到  $2/3$  刻度以上以减小误差, 否则应减小量程。指示的数值乘以量程系数等于测量电阻值, 单位是欧姆 ( $\Omega$ )。
- 5) 测量完后, 将转换开关拨至交流 1000 量程或 OFF 位。

## 1.5 电容元件

### 1.5.1 电容器与电容元件

电容通常用字母 “C” 表示, 即英文 Capacitor 的第一个字母, 顾名思义就是 “储存电荷的容器”。

在国际单位制中, 电容的基本单位是: 法 (F), 此外还有微法 ( $\mu\text{F}$ )、皮法 (pF), 另外还有一个用得比较少的单位纳法 (nF)。由于单位 F 非常大, 所以我们看到的一般都是  $\mu\text{F}$ 、pF 的单位。它们之间的换算关系如下

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$$

取两块金属板, 中间用绝缘材料 (介质) 隔开, 就组成了一个简单的电容器。图 1-21a 所示是一个平板电容器的示意图。其中两块金属板叫极板, 上面各有一个与外电路相接的电极; 两极板之间的绝缘材料称为介质。

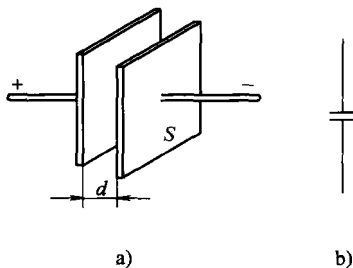


图 1-21 电容器

a) 电容器的结构 b) 电容器的符号

图 1-21a 所示的平行板电容器的电容  $C$ , 跟介电常数  $\epsilon$  成正比, 跟两极板正对的面积  $S$  成正比, 跟极板间的距离  $d$  成反比, 即

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-7)$$

式中  $C$ ——电容, 单位为 F;

$\epsilon$ ——介电常数, 由介质的性质决定单位为 F/m;

$S$ ——面积, 单位为  $\text{m}^2$ ;

$d$ ——距离, 单位为  $\text{m}$ 。

实际电容器的介质不可能完全绝缘, 其中总会有电流通过并产生损耗。通常电容元件都忽略损耗, 把实际的电容器理想化, 其电路符号如图 1-21b 所示。

把电容器的两个极板分别接到电池的正极和负极, 两个极板上就聚集起等量异种电荷。和电池正极相连的极板带正电荷, 和电池负极相连的极板带负电荷, 如图 1-22 所示。

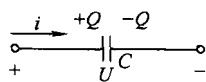


图 1-22 电容器中的电荷

通过实验可以证明, 电容器所容纳的电荷量与端电压呈正比, 这一性质可表示为

$$Q = UC \quad \text{即} \quad C = \frac{Q}{U} \quad (1-8)$$

式中  $C$ ——电容, 单位为  $\text{F}$ ;

$Q$ ——电荷量, 单位为  $\text{C}$ ;

$U$ ——电压, 单位为  $\text{V}$ 。

讨论: 按照式 (1-8), 若将电容两端电压一直增大, 电容中存储的电荷会不会一直增加?

建议: 教师可以带几只电容, 让学生观察标注的参数, 引导学生理解耐压的概念、意义。

### 1.5.2 电容器的充电和放电

将电容器的两极分别接在电路的正、负极上, 过一段时间后断开电源, 两个引脚间就会有电压, 这样电容就储存了电荷, 这个过程称为充电。与之相反, 电容向电路释放电荷的过程, 称为放电。

图 1-23 所示为电容器充、放电的实验电路。图中  $R_1$  和  $R_2$  分别为充、放电的限流电阻;  $V$  为直流电压表, 用来测量电容器的端电压;  $G$  为检流计, 用以检测通过电容器中的电流;  $U_s$  为直流电源。

#### 1. 充电过程

将开关闭合到 1 位, 观测检流计和电压表的读数, 可见:

1) 检流计的读数由零立刻变到很大, 然后渐渐减小到零。

2) 在电流由大变小的同时, 电压表的读数由零逐渐增大; 当电流为零时, 电压表的读数最大, 其值等于电源电压  $U_s$ 。

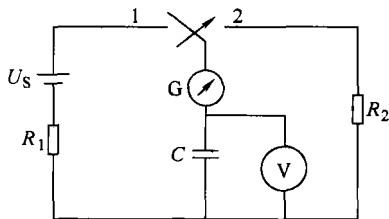


图 1-23 电容器的充电和放电

在上面的过程中, 电容器的端电压增大, 说明电容器从电源得到了电荷, 这一过程称为充电。

#### 2. 放电过程

将开关闭合到 2 位, 观测检流计和电压表的读数, 可见:

1) 检流计的指针又发生偏转, 但是偏转方向与充电时相反。当指针渐渐偏转到某一位置后, 又渐渐返回到零。