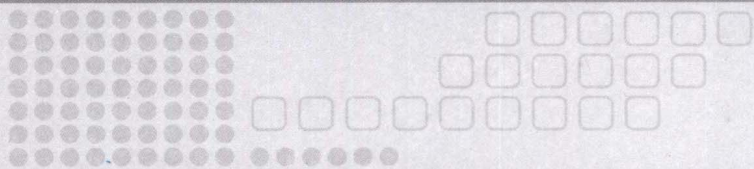




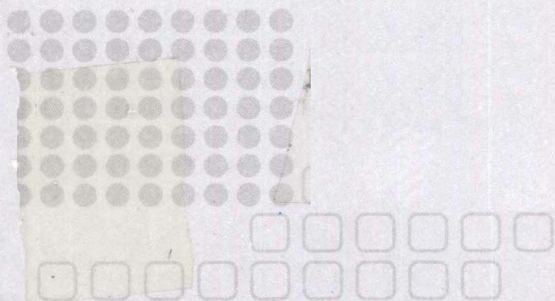
高职高专系列“十二五”规划教材



# 电路基础(第二版)

COMPUTER  
COMPUTER

孔凡东 主编  
蒋卓勤 主审



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高职高专系列“十二五”规划教材

# 电 路 基 础

(第二版)

孔凡东 主编  
蒋卓勤 主审

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据教育部高教司高职高专课程教学基本要求和电路基础课程标准而编写的。

全书共7章,内容包括电路的基本概念、电路的基本分析方法、一阶动态电路分析、正弦稳态电路、互感和理想变压器电路、简单三相电路及二端口网络基础等内容。各章均配有内容小结和一些基础性的习题,全书部分例题还配有EDA仿真试验电路供读者选用。

本书可作为电子、通信、计算机类高职高专电路基础课程教材,也可供有关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路基础/孔凡东主编. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2011.2

高职高专系列“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2548 - 5

I. ①电… II. ①孔… III. ①电路理论—高等学校:技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第011691号

策 划 臧延新

责任编辑 臧延新 樊新玲

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 //www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2011年2月第2版 2011年2月第3次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 11.25

字 数 259千字

印 数 8001~11 000册

定 价 16.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2548 - 5/TN · 0074

**XDUP 2840002 - 3**

\* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 第一版前言

本书以《高职专业教育电路基础课程教学要求》为依据,针对目前高职教育的实际情况,结合国内外同类书的相关内容,从易懂、实用的原则出发,精选内容,悉心编排,以适应现阶段高职教育的需要。本书还注重了以下几个方面的问题。

## 1. 针对性

本书的使用对象应该是达到高中毕业水平或具有同等学历的学生,要求他们学完以后能够达到大专以上的水平,因此对这些学生应该以培养职业能力为主导,使其通过学习可以很好地把所学到的知识运用到后续专业课程和实践教学环节中。本书在编写内容上尽量针对高职学生的现状,做到通俗易懂,在必需、够用、有用的基础上注重当前社会发展和工作的需要,努力把学生培养成具备熟练的高等技术的应用型专门人才。

## 2. 实用性

本书没有繁杂的数学分析和理论推导,着重物理概念的阐述,使教材中的基本知识、基本理论、基本分析方法深入浅出,从而使学生在学习过程中容易接受和掌握。本书在内容上努力体现以应用为主旨的特征,提供了一些日常生活和工作中的应用实例,使学生所学的知识能够与社会发展的需要相结合,提高学生的职业能力和再学习能力。

## 3. 先进性

本书努力突出一个“新”字,尽量编入能够反映科技发展水平的新知识、新技术的内容,注重深度与广度的结合,注重知识的内在联系,体现内容的先进性,让高职教育更符合现代科学技术发展的需要。

本书的使用对象应该具备高中物理电学基本知识,同时应具备基本的高中数学尤其是复数运算的知识。

本书由西安通信学院电子技术教研室蒋卓勤教授组织编写,全书由孔凡东修改定稿并编写了书中部分例题的EDA仿真试验内容,由张路新副教授主审。高莹编写第1、3章;卢海燕编写第2章;孔凡东编写第4、5章;张路新编写第6章;陆玉娥编写第7章。全部内容讲完需60学时左右,每章都配有小结和习题。

书中带\*的章节为难度较高的内容,学生可根据自己的能力灵活选择学习。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者  
2006年12月

## 第二版前言

本书是在《电路基础》第一版的基础上完成的。

随着我国教育事业尤其是高等职业教育的蓬勃发展,经过3年多的教学实践,发现原书在有些内容的讲授、重点知识的突出、方便学生学习等方面还不够完善。为此,我们以《高职专业教育电路基础课程教学基本要求》为依据,针对目前高职教育的实际情况,结合国外同类书的相关内容,从好学、易懂、实用的原则出发对本书第一版进行了修订。修订的过程中,注意了教材的通俗易懂,语言流畅,内容连贯,避免内容过深而脱离一般高职学生的实际;在内容的选择上,适当增加了一些来自于现实生活中的自然科学和工程技术领域的真实问题作为例题和习题,希望这些实际问题的编入有助于增强应用题的真实感,以提高学生的学习兴趣和解决实际问题的能力。本书修订后突出了以下特点:

### 1. 针对性更强

本书的使用对象是具备高中或中职教育水平的学生,要求他们学完以后能够达到大学专科的水平,通过学习能把所学的知识很好地运用到后续专业课程和实践教学环节中。本书在内容的编写上针对高职生源现状,力争做到通俗易懂,在够用、管用的基础上考虑到当前技术的发展和工作的需要,注重把学生培养成熟练掌握高等技术的应用型专门人才。

### 2. 实用性更突出

本书内容连贯和谐,语言生动流畅,避免了繁杂的数学分析和理论推导,注重物理概念的阐述,对基本知识、基本理论、基本分析方法尽量做到深入浅出,使教师好教,学生易学。同时,在内容上还增加了一些日常生活和工作中的应用实例,从真正做到将理论知识与实践相结合,从而提高学生的职业能力和再学习能力。此外,本书每章都配有小结和习题。

本书的使用对象应该具备高中物理电学的相关知识,同时应具备基本的高中数学运算能力,尤其是具有关于复数运算的知识。

本书由西安通信学院孔凡东主编、蒋卓勤主审。郭丽编写了第1章;孔凡东编写了第2章及全书部分例题的EDA仿真试验内容;潘建编写了第3章;卢海燕编写了第4、5章;邓玉元编写了第6章;蒋卓勤编写了第7章。建议全书讲授用时为60学时左右。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编者  
2010年10月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的基本概念</b> .....	1
1.1 电路模型 .....	1
1.1.1 实际电路的组成与功能 .....	1
1.1.2 电路模型 .....	1
1.2 电路的主要物理量 .....	2
1.2.1 电流 .....	2
1.2.2 电压 .....	4
1.2.3 电阻 .....	5
1.2.4 基本电参数的测量 .....	7
1.3 欧姆定律及电功率 .....	9
1.3.1 欧姆定律 .....	9
1.3.2 电功率 .....	12
1.4 电路中的电源 .....	13
1.4.1 理想电压源 .....	13
1.4.2 理想电流源 .....	15
* 1.4.3 非独立电源 .....	16
1.5 基尔霍夫定律 .....	18
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL) .....	18
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL) .....	20
本章小结 .....	23
习题 1 .....	24
<b>第 2 章 电路基本分析方法</b> .....	27
2.1 线性电阻的串并混联 .....	27
2.1.1 电路等效的概念 .....	27
2.1.2 电阻的串联及分压公式 .....	27
2.1.3 电阻的并联及分流公式 .....	30
2.1.4 电阻混联电路的计算 .....	33
* 2.2 电阻星形电路与三角形电路的等效变换 .....	35
2.3 电压源与电流源的等效变换 .....	37
2.3.1 理想电源的串并联 .....	37
2.3.2 实际电压源与实际电流源模型间的等效变换 .....	39
2.3.3 含源电路的混联 .....	40
2.4 支路电流法 .....	41

2.5 网孔电流法 .....	43
2.5.1 相关概念与名词解释 .....	43
2.5.2 网孔电流分析法 .....	43
2.6 节点电位法 .....	45
2.6.1 相关概念与名词解释 .....	46
2.6.2 节点电位分析法 .....	47
2.7 叠加定理和齐次定理 .....	49
2.7.1 叠加定理 .....	50
* 2.7.2 齐次定理 .....	51
2.8 戴维南定理和诺顿定理 .....	52
2.8.1 戴维南定理 .....	52
* 2.8.2 诺顿定理 .....	56
2.9 最大功率传输定理 .....	57
本章小结 .....	59
习题 2 .....	60
<b>第 3 章 一阶动态电路分析</b> .....	<b>64</b>
3.1 动态元件 .....	64
3.1.1 电容元件 .....	64
3.1.2 电感元件 .....	65
3.2 动态电路方程与换路定律 .....	66
3.2.1 电路方程 .....	66
3.2.2 换路定律和电路的初始值 .....	68
3.3 一阶电路的零输入响应 .....	70
3.3.1 RC 一阶电路的零输入响应 .....	70
3.3.2 RL 电路的零输入响应 .....	70
3.4 一阶电路的零状态响应 .....	72
3.4.1 RC 电路的零状态响应 .....	72
3.4.2 RL 电路的零状态响应 .....	72
3.5 一阶电路的全响应 .....	73
本章小结 .....	77
习题 3 .....	78
<b>第 4 章 正弦稳态电路</b> .....	<b>80</b>
4.1 正弦交流电的基本概念 .....	80
4.1.1 直流电与交流电的比较 .....	80
4.1.2 正弦交流电的解析式 .....	81
4.1.3 正弦交流电的三要素 .....	82
4.1.4 正弦交流电的相位差和有效值 .....	83
4.2 正弦量的相量表示 .....	85
4.2.1 复数的概念 .....	85
4.2.2 复数的运算 .....	87
4.2.3 正弦量的相量表示 .....	88

4.2.4	同频率正弦量的和与差 .....	89
4.3	基尔霍夫定律及 RLC 元件伏安关系的相量形式 .....	90
4.3.1	基尔霍夫定律的相量形式 .....	90
4.3.2	电阻伏安关系的相量形式 .....	90
4.3.3	电感伏安关系的相量形式 .....	91
4.3.4	电容伏安关系的相量形式 .....	92
4.4	RLC 元件的串联与并联电路 .....	94
4.4.1	RLC 元件的串联电路 .....	94
4.4.2	RLC 元件的并联电路 .....	96
4.4.3	复阻抗与复导纳的串并联电路 .....	98
4.5	正弦交流电路中的功率 .....	100
4.5.1	瞬时功率 .....	101
4.5.2	有功功率、无功功率、视在功率和功率因数 .....	101
4.6	一般正弦交流电路的计算 .....	104
4.6.1	一般分析方法与计算 .....	104
4.6.2	最大功率共轭匹配传输 .....	105
4.7	谐振电路 .....	107
4.7.1	串联谐振电路 .....	108
4.7.2	并联谐振电路 .....	113
	本章小结 .....	119
	习题 4 .....	121
<b>第 5 章</b>	<b>互感和理想变压器电路</b> .....	<b>124</b>
5.1	互感与互感电压 .....	124
5.1.1	互感现象 .....	124
5.1.2	同名端 .....	126
5.1.3	互感电压 .....	127
5.2	含耦合电感的正弦电路的计算 .....	128
5.2.1	耦合电感的 T 形去耦等效 .....	128
5.2.2	耦合电感的串联 .....	130
5.2.3	耦合电感的并联 .....	131
5.2.4	含耦合电感电路的计算 .....	132
5.3	理想变压器 .....	134
5.3.1	变压器的基本结构 .....	134
5.3.2	理想变压器 .....	134
* 5.3.3	变压器的功率和效率 .....	138
* 5.3.4	变压器的应用 .....	139
	本章小结 .....	141
	习题 5 .....	142
<b>第 6 章</b>	<b>简单三相电路</b> .....	<b>144</b>
6.1	三相电路的概念 .....	144
6.1.1	对称三相电源 .....	144



6.1.2 三相电源的连接 .....	145
6.2 对称三相电路的计算 .....	147
6.2.1 对称的 Y-Y 连接 .....	147
6.2.2 对称的 $\Delta$ - $\Delta$ 连接 .....	148
6.3 对称三相电路的功率 .....	149
6.3.1 对称三相电路的平均功率 .....	149
6.3.2 对称三相电路的无功功率 .....	150
6.3.3 对称三相电路的视在功率 .....	150
本章小结 .....	151
习题 6 .....	151
<b>第 7 章 二端口网络基础</b> .....	<b>153</b>
7.1 二端口网络的定义和分类 .....	153
7.1.1 二端口网络的定义 .....	153
7.1.2 二端口网络的分类 .....	154
7.2 二端口网络的 $Z$ 参数和 $Y$ 参数 .....	155
7.2.1 二端口网络的 $Z$ 参数方程(开路参数) .....	156
7.2.2 二端口网络的 $Y$ 参数方程(短路参数) .....	158
7.3 二端口网络的 $A$ 参数方程和 $H$ 参数方程 .....	160
7.3.1 二端口网络的 $A$ 参数方程 .....	160
7.3.2 二端口网络的 $H$ 参数方程 .....	161
7.3.3 镜像阻抗 .....	163
7.4 线性无源二端口网络的等效电路 .....	164
7.4.1 二端口网络的 T 形等效电路 .....	165
7.4.2 二端口网络的 $\Pi$ 形等效电路 .....	165
本章小结 .....	167
习题 7 .....	167
<b>参考文献</b> .....	<b>170</b>

# 第1章 电路的基本概念

本章主要讨论电路的组成、电路的基本物理量和电路的基本定律。本章将从建立电路模型、认识电路变量等最基本的问题出发，重点讨论欧姆定律、理想电源和基尔霍夫定律等重要概念。

## 1.1 电路模型

### 1.1.1 实际电路的组成与功能

实际电路是由电子元器件(又统称为电路部件)按预期目的连接构成的电流通路，即电路是为了完成某种功能而由电子元器件按一定方式组合而成。

电路的结构形式和所完成的功能是多种多样的，就电路种类而言，电路可以划分为电力电路和电子电路两大类。电路的功能主要有两个：一是实现电能的传输、分配与转换；二是实现电信号的传递与处理。按照电子元器件在电路中所起的作用不同，这些器件可以分为电源、负载和传输控制器件三大类。电源提供电能或电信号，负载使用电能或接收电信号，电源和负载的连接部分则是传输控制器件。

图1-1为一个最简单的电路。其中电池是产生能量的源，即电源，灯泡可将电能转换成光能，灯泡被称为负载。一旦开关接通，则电流将通过导线流过灯泡，使灯泡发光。图1-1说明，开关接通后，电流就会从电源正极通过负载流至电源负极。因此简单说来，电流流过的路径也可称为电路。

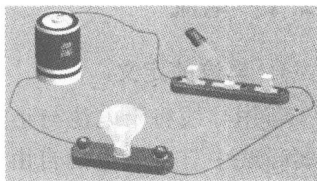


图1-1 简单电路图

### 1.1.2 电路模型

电路模型是实际电路的抽象形式，也是对实际电路进行分析和计算的依据，电路模型如图1-2所示。

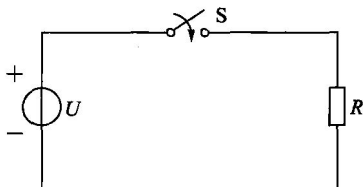


图1-2 图1-1的电路符号图

在实际电路中，常常使用各种电子元器件，如电阻器、电容器、电感器和灯泡、电池、

晶体管 and 变压器等等。虽然这些元器件种类繁多，但在电磁现象方面却有许多共同的地方。譬如，电阻器、灯泡、电炉等，它们主要是消耗电能，这样就可用一个理想电阻来反映消耗电能的特征。理想电阻的模型符号如图 1-3(a) 所示。类似地，能够储存电场能量的器件称为电容元件，能够储存磁场能量的器件称为电感元件。理想电容和理想电感的模型符号如图 1-3(b)，1-3(c) 所示。

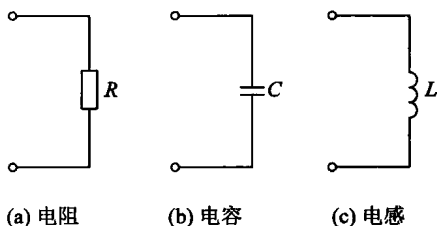


图 1-3 理想电阻、电容、电感元件模型

有了理想电阻、理想电容和理想电感元件模型，对于任何一个实际的电阻器、电容器、电感器元件，都能够用足以反映其电磁性能的一些理想元件模型或其组合来表示，构成实际部件的电路模型。因此为了便于对实际电路进行分析和数学描述，一般要将实际电路模型化，用标准符号表示每个元件。由理想的电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型。今后电路分析都是针对电路模型，简称电路。

## 1.2 电路的主要物理量

### 1.2.1 电流

#### 1. 电流的定义

若用导线将干电池与小灯泡连接，则小灯泡将会发光。灯泡发光是由于有电流流过，金属导线中有带负电的自由电子，这些自由电子会向电池的阳极运动，而电池的阴极不断地供给电子，所以实际上导线中的自由电子只是承担运送电荷的任务，这样的电子流动称为电流。其流动方向是从电池阴极到电池阳极。但是，我们习惯上将电子流动的反方向规定为电流的流向，因而在电池外电流从电池的阳极流向阴极。电流的大小可以用单位时间内通过某一导体截面的电荷量来表示，即

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

电流的单位采用安培(A)，辅助单位有毫安(mA)、微安( $\mu\text{A}$ )，其相互关系为

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

式(1-1)中电荷量  $q$  的单位为库仑，用符号 C 表示。若设  $t$  秒内有  $Q$  库仑的电荷量均匀移动，则单位时间内通过的电荷量为直流电流  $I$  的大小，即

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

做一个简单的类比，可以把电流看成是一个供水系统中的抽水机给水管加压时流过水管的水，1 安培(1 A)电流等于在 1 秒(1 s)内流过一定横截面积 1 库仑(1 C)的电荷量。

**例 1-1** 当 0.1 s 内通过导体的电子数量为  $10^{18}$  个时, 电荷量和电流的大小各为多少? 一个电子的电荷量为  $1.6 \times 10^{-19}$  C。

解:  $10^{18}$  个电子所携带的电荷量  $Q$  为

$$Q = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{18} = 0.16 \text{ C}$$

则根据公式(1-2)可得到电流的大小为

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.16}{0.1} = 1.6 \text{ A}$$

## 2. 电流的方向

电流不但有大小, 而且有方向。规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。对于简单的电路, 不难根据物理知识判断正电荷运动的方向, 从而确定电流的实际方向。对于一些复杂的电路, 某一元件上流过的电流的实际方向就难以确定。此外, 如果电流的实际方向随时间不断地变化, 则更无法标明它的实际方向。为解决这一问题, 引入了参考方向的概念。所谓参考方向就是预先假设的电流方向。这样一来, 这个参考方向就可能与电流的实际方向相同, 也可能与电流的实际方向相反。也就是说:

① 电流的实际方向: 正电荷运动的方向。

② 电流的参考方向: 人为规定的电流方向。

③ 实际方向与参考方向的关系: 根据电流的参考方向,  $I > 0$ , 表示电流的实际方向与参考方向相同;  $I < 0$ , 表示电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1-4 所示。

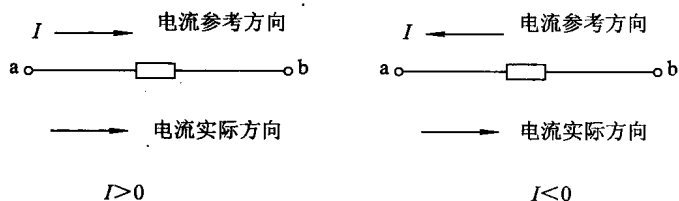


图 1-4 电流的参考方向与实际方向的关系

电路分析所涉及的电流均指参考方向的电流。在分析计算电路时, 必须在电路中先标出电流的参考方向, 否则, 计算结果的正负是毫无意义的。

**例 1-2** 如图 1-5(a)所示电路元件, 设在 3 s 内有 6 C 的正电荷均匀地由 a 端移动到 b 端。

(1) 若电流的参考方向由  $a \rightarrow b$ , 求  $I$ 。

(2) 若电流的参考方向由  $b \rightarrow a$ , 求  $I$ 。

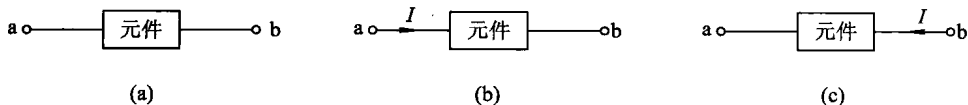


图 1-5 例 1-2 电路

解: (1) 当  $I$  的参考方向如图 1-3(b)所示时,  $I$  与正电荷移动的方向相同, 故应取正值, 即

$$I_{ab} = \frac{6}{3} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

(2) 当  $I$  的参考方向如图 1-3(c) 所示时,  $I$  与正电荷移动的方向相反, 故其应取负值, 即

$$I_{ab} = -\frac{6}{3} \text{ A} = -2 \text{ A}$$

## 1.2.2 电压

### 1. 电压的定义

从物理学知识可知, 电池提供使电流流动的动力。若用导线将小灯泡与电池相接, 就有电流流过, 而电压就是电路中的驱动力, 是产生电流的原因。

由物理学知识可知, 正负电荷之间存在引力。为了克服这种引力, 将电荷拉开一定距离, 电场力就必须以功的形式施加一定的能量, 所以异性电荷由于它们之间的间隔而存在一定的势能, 电荷的势能差叫做电势差, 即电压。从电场力做功的概念出发, 电压就是将单位正电荷从电路的一点移至另一点时电场力做功的大小。

做一个简单的类比, 可以把电压看成抽水机产生的压力差, 正是这个压力差使水管中产生水流。

电压的数学定义就是: 电场力将正电荷  $dq$  从电路的一点  $a$  移动到另一点  $b$  所做的功  $dW$  与移动电荷  $dq$  的比值称为  $a$ 、 $b$  两点间的电压, 用  $u_{ab}$  表示, 即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

电压的单位是伏特, 简称伏(V), 辅助单位有毫伏(mV), 微伏( $\mu\text{V}$ ), 其相互关系为

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu\text{V}$$

式(1-3)表明, 电场力把 1 库仑的电荷从点  $a$  移到点  $b$  时做 1 焦耳的功, 这两点间的电压为 1 伏特。

通常直流电压用大写字母  $U$  来表示。电路中将任意点到地(或参考点、公共连接点)的电压称为该点的电位, 所以电场内任意两点间的电位差称为两点间的电压, 电位的单位也是伏特。即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

因此, 由电位与电压的定义不难理解,  $a$  点的电位  $U_a$  减去  $b$  点的电位  $U_b$  就是单位正电荷由  $a$  点移动到  $b$  点电场力做功的大小, 即  $a$ 、 $b$  间的电压  $U_{ab}$ 。

### 2. 电压的方向

电压不但有大小也有方向。电压的实际方向规定为电场力对正电荷做正功的方向, 即电位实际降低的方向为电压的实际方向。高电位端用“+”表示, 叫正极性端; 低电位端用“-”表示, 叫负极性端, 这样一来, 电压的实际方向就是由“+”极性端指向“-”极性端。

但是在复杂电路或交变电路中, 两点间电压的实际方向往往不易判别, 给实际电路问题的分析计算带来困难, 这时可以任意假定方向, 其中的一点为“+”极性端, 另一点必为“-”极性端, 这样假定的极性叫电压的参考方向, 由“+”指向“-”的方向叫电压的参考方向。

在假定参考方向之后, 根据电路进行分析计算, 若求得参考方向的电压为正时, 说明该两点间电压的实际方向与参考方向相同; 若为负, 则电压的实际方向与参考方向相反, 如图 1-6 所示。

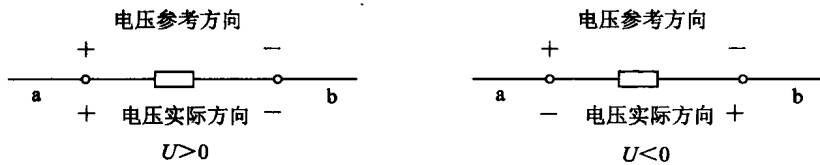


图 1-6 电压的参考方向与实际方向的关系

### 3. 电压与电流关联正方向

在电路中电流的参考方向和电压的参考方向在标定时都具有任意性，那么二者之间有什么关系呢？就本质意义上讲，二者是彼此独立的，没有任何限制。然而，为了分析问题的方便，常把电路中二端元件上的电流参考方向与电压参考方向取为一致，如图 1-7 所示，称为关联参考方向，或称为关联正方向。在关联参考方向下，二端元件中的参考电流从该元件参考电压的“+”极性端流向参考电压的“-”极性端，如果用箭头表示方向，则在同一元件的两边，电压、电流箭头的方向就是一致的。与此相反的参考方向称为非关联参考方向，如图 1-8 所示。

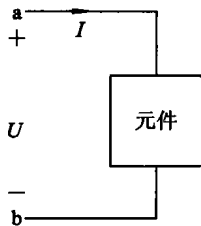


图 1-7 关联参考方向

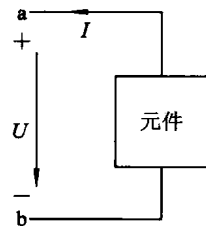


图 1-8 非关联参考方向

**例 1-3** 电压、电流参考方向如图 1-9 中所示，问对 A、B 两部分电路电压、电流参考方向是否关联？

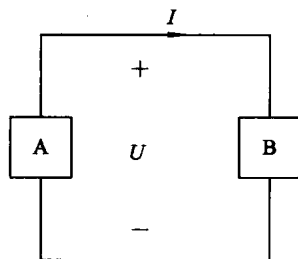


图 1-9 例 1-3 电路

**解：**对 A 部分电路，电压、电流参考方向非关联；  
对 B 部分电路，电压、电流参考方向关联。

## 1.2.3 电阻

### 1. 电阻的定义

金属容易导电，是因为自由电子沿金属原子轨道旋转，但物质种类不同，最外层电子的数量也不同。是否导电取决于材料中存在的自由电子的数量。一般状态下的导体多多少少都

具有阻碍电流流通的作用，其阻碍程度称为电阻，符号为  $R$ 。一段导体的阻值由下式计算：

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

式中： $\rho$  为导体电阻率， $l$  为导体长度， $S$  为导体横截面积； $R$  的单位为欧姆( $\Omega$ )，辅助单位有千欧( $k\Omega$ )、兆欧( $M\Omega$ )，其相互关系为

$$1 M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

举个简单的例子，电阻器可以看成是一个闭合供水系统中部分开启的阀门，限制通过水管的水量。如果阀门开大一些(相当于更小的电阻)，水流(相当于电流)就加大；如果阀门关小一些(相当于更大的电阻)，水流(相当于电流)就减小。

## 2. 电阻器

电阻器是一种重要的电子元件，反映了对电流的阻碍程度。电阻器大致可分为两种：一种是具有定值的固定电阻器，另一种是在一定范围内改变电阻值的可变电阻器。电阻器的典型实物图片如图 1-10 所示。

电阻器一般由锰铜丝、康铜丝、镍铬合金丝及炭膜等材料组成，这些材料的电阻值较大，且受温度等因素影响，其电阻值变化较小。电阻元件既有阻碍电流的一面，也有导通电流的一面。电阻元件导通电流的特性用电导来衡量，将电阻的倒数称为电导，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-6)$$

式中  $G$  称为电导，其单位是西门子(S)，简称“西”。

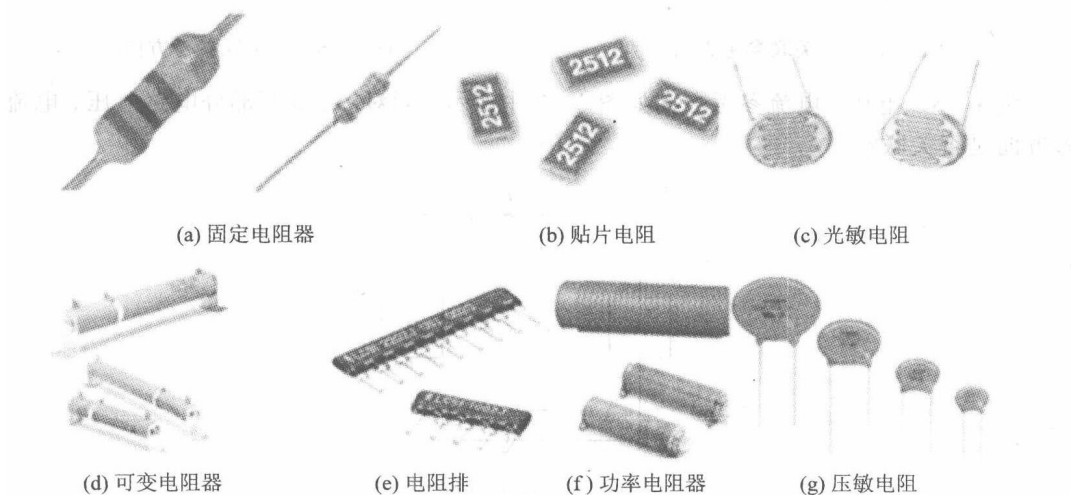


图 1-10 几种常用的电阻器

## 3. 电阻色标的读法

电阻器上标有电阻值及其允许误差。大型的用数字表示，小型的则用颜色即色标表示。用颜色表示的方法如表 1-1 所示。第一色环和第二色环分别表示以欧姆为单位的标称电阻值的第一位数和第二位数，第三色环为倍乘数(10 的幂指数)，第四色环表示标称电阻的允许误差(公差)。

表 1-1 色环颜色所代表的数字及数字意义

色 别	第一色环 (第一位数)	第二色环 (第二位数)	第三色环 (倍乘数)	第四色环 (允许误差)
棕色	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
红色	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$
橙色	3	3	$10^3$	—
黄色	4	4	$10^4$	—
绿色	5	5	$10^5$	$\pm 0.5\%$
蓝色	6	6	$10^6$	—
紫色	7	7	$10^7$	—
灰色	8	8	$10^8$	—
白色	9	9	$10^9$	—
黑色	0	0	$10^0$	—
金色	—	—	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
银色	—	—	$10^{-2}$	$\pm 10\%$

例如, 图 1-11 所示为一个用色环表示阻值的电阻, 根据表 1-2 提供的数据可以算出其阻值为  $74 \times 10^2 = 7400(1 \pm 1\%) \Omega$ 。

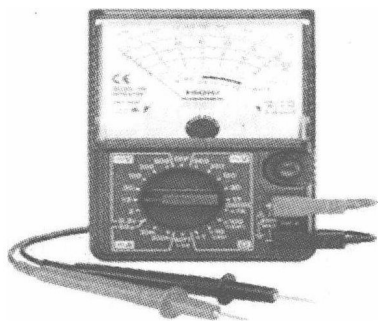


图 1-11 电阻的色标表示举例

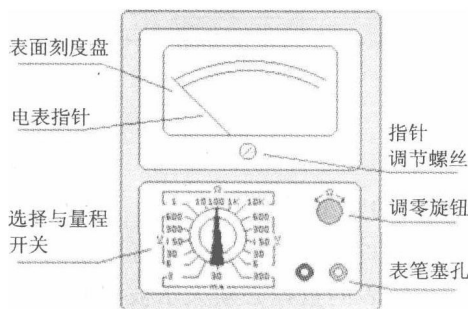
### 1.2.4 基本电参数的测量

在实际操作时通常需要测量电路中的电压、电流和电阻等参数。测量电压的工具为伏特表, 测量电流的工具为安培表, 而测量电阻的仪器是欧姆表。通常这三种仪表合并为万用表, 通过旋转开关选择功能和量程测量对应的物理量。

万用表通常有模拟万用表和数字万用表, 图 1-12 为典型的指针模拟万用表, 可以用来测量直流量(DC)、交流量(AC)和电阻值。



(a) 模拟万用表实物图



(b) 模拟万用表表盘示意图

图 1-12 典型的模拟万用表



数字万用表(Digital Multimeter, DMM)是使用最广泛的一种电子测量仪器。与模拟万用表相比,数字万用表功能更多,精度更高,读数更容易且可靠性更高。图 1-13 所示是典型的数字万用表。

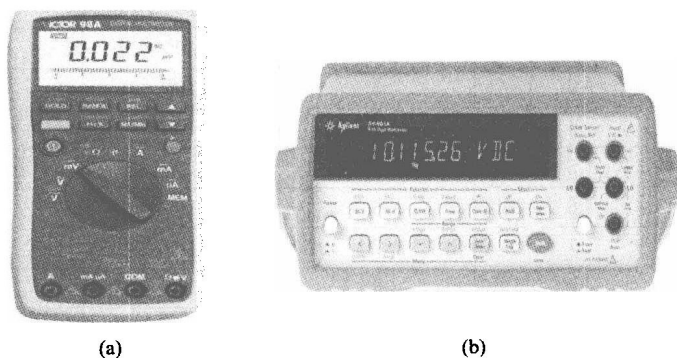


图 1-13 典型的数字万用表

### 1. 电流的测量

图 1-14 所示是用安培表或者万用表的电流挡测量电流。首先确定安培表的量程,该量程必须大于可能流过的电流值。然后按如图 1-14 所示将安培表串联在电路中,安培表的极性必须是电流从正极流入,从负极流出。如果接反了,则表针向反方向摆动,将会损坏安培表。

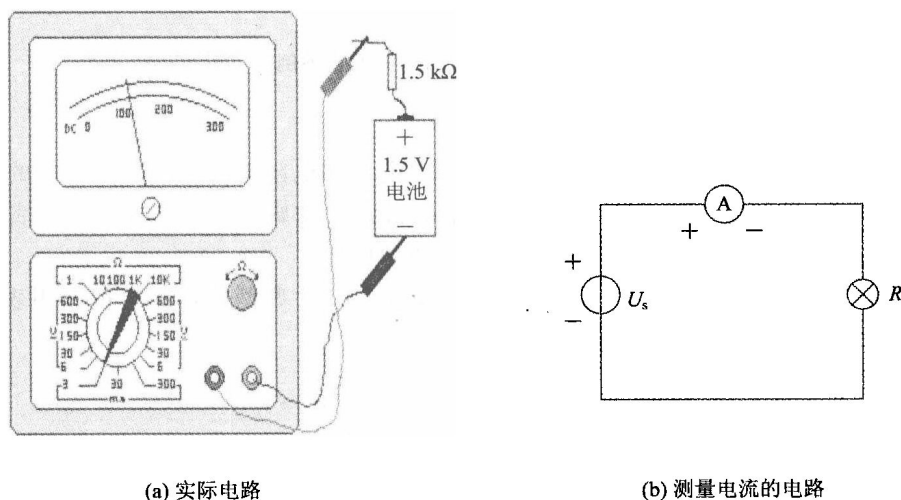


图 1-14 测量电流

### 2. 电压的测量

测量电压时,将伏特表或者万用表的电压挡接在被测元器件的两端,这种连接方式称做并联。伏特表的量程必须大于被测的电压值。伏特表的正极必须与电路的正端相连,负极必须与电路的负端相连,如同 1-15 所示。