

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



# 电路原理

DIANLU YUANLI

梁宝德 主 编  
刘 玉 副主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

# 电 路 原 理

梁宝德 主 编  
刘 玉 副主编

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2012

## 内 容 提 要

全书共分6章, 主要内容包括: 电路的基本概念和定律, 电路的基本分析方法, 动态电路时域分析, 正弦交流电路的稳态分析, 三相交流电路, 互感耦合电路。每章均配有习题与思考题, 为了配合教学需要, 书后附录还设计了6个实验。

本书可作为高等职业技术学院等电类专业的教学用书, 也可作为自学及培训教材或供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路原理/梁宝德主编. —北京: 冶金工业出版社, 2012. 6  
高职高专“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5024-5961-1

I. ①电… II. ①梁… III. ①电路理论—高等职业教育—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第135374号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 李新 版式设计 葛新霞

责任校对 石静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5961-1

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012年6月第1版, 2012年6月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.25印张; 321千字; 203页

**29.00元**

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: [tougao@cnmip.com.cn](mailto:tougao@cnmip.com.cn)

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

高等职业教育的培养目标是实用型、技能型人才，即重在培养学生的实践能力和对理论知识实际应用的能力。在“够用即可”的大原则下，基础理论的课堂教学学时应适当减少，为适应这一原则，调整教学内容，编写一部与其相适应的教材则势在必行。

“电路原理”是高等职业学校和高等专科学校电气、电子、机电类各专业重要的专业基础课，内容主要包括电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法、动态电路的时域分析、正弦稳态电路分析、三相交流电路、互感与理想变压器电路等。

本书作者结合自己三十多年的职业教育教学的实践经验，以通俗的语言介绍复杂的电路问题，将教学中的重点和难点以最浅显的方法加以分解，尽量降低学生学习的难度，旨在使行业内普遍认为难教难学的电路原理课程变得容易接受。为了适应高职高专学生的理解和读者自学的需要，本书中引用了大量的例题来对基本概念和基本理论进行透彻分析，以期达到以例说理的目的。同时在各章之后还提供了大量的练习题，且习题难度适中，易于自学，读者可通过参照例题来完成课后习题，增加学生的自信和掌握复杂电路知识的乐趣。

与同类教材相比较，本教材的主要特点是：

(1) 通俗易懂、易于教学与自学。教材编写人员都是具有丰富教学实践经验的老师，深知每个课题的合理切入点以及每个教学难点的分解法，尽力从最浅显的角度入手来编写教材。

(2) 结合实际需要组织教材，特别针对电气自动化和机电一体化等专业的后续课程，突出了三相电路的教学内容，并且引入了非正弦电路的相关知识，为后续开设的电机学等课程打好基础。

(3) 突出重点，删除冗余。结合高职高专学生的实际，抓住每个章节应该重点掌握的主要内容做深入浅出的分析和介绍，要求重点掌握一种分析方法，而非将许多方法都提出来，如第3章就重点突出了换路定律和三要素公式的应

用。这样做既利于学生掌握，又为减少学时打好基础。

本书可作高等职业技术学院和高等专科学校电类专业的教学用书，或非电类专业的本科教材，也可供技师学院、继续教育学院、中等专业学校等各类院校的相关专业教学使用，并可作自学及培训教材或供工程技术人员参考。本教材建议教学时间为60~80学时，目录中带有星号的章节内容，教师可视学时等情况不讲或少讲。

全书共分6章，由云南锡业职业技术学院梁宝德副教授担任主编。其中第3章~第6章由梁宝德编写，第2章由刘玉负责编写，龙琼波参加了第1章的编写工作，杨国斌和昆明理工大学杜礼霞参加了本书的审校。在此对所有参与关注本书和出版工作的各位领导和老师一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中存在缺点错误，殷切期望得到广大读者的批评和指正。

编 者  
2012年3月

# 目 录

<b>1 电路的基本概念和定律</b> .....	1
1.1 电路模型 .....	1
1.1.1 电路的基本概念 .....	1
1.1.2 理想元件与电路模型 .....	2
1.2 电路变量 .....	3
1.2.1 电流 .....	3
1.2.2 电压 .....	4
1.2.3 电功率及关联方向 .....	5
1.3 欧姆定律 .....	7
1.3.1 欧姆定律与线性电阻 .....	7
1.3.2 电导 .....	8
1.3.3 电阻上消耗的电能 .....	8
1.3.4 电路的工作状态及电器设备的额定值 .....	9
1.4 基尔霍夫定律 .....	10
1.4.1 电路常用名词术语 .....	10
1.4.2 基尔霍夫第一定律 .....	11
1.4.3 基尔霍夫第二定律 .....	12
1.5 等效电路 .....	14
1.5.1 电阻的串联 .....	14
1.5.2 电阻的并联 .....	15
1.6 电路中的电位计算 .....	17
1.7 受控源 .....	20
本章小结 .....	23
习题与思考题 .....	24
<b>2 电路的基本分析方法</b> .....	27
2.1 电压源与电流源的等效变换 .....	27
2.1.1 电压源 .....	27
2.1.2 电流源 .....	28
2.1.3 实际电压源与电流源的等效变换 .....	29
2.1.4 利用电压源与电流源等效变换的解题方法 .....	30
2.2 节点电位法 .....	31

2.2.1 弥尔曼定理 .....	31
2.2.2 两个以上节点的电路 .....	33
2.3 等效电源定理 .....	35
2.3.1 戴维南定理 .....	36
2.3.2 诺顿定理 .....	39
2.3.3 等效电源定理应用举例 .....	42
2.3.4 最大功率传输定理 .....	45
2.4 支路电流法 .....	48
2.5 网孔电流法与回路电流法 .....	50
2.5.1 网孔电流法 .....	50
2.5.2 回路电流法 .....	54
2.6 叠加定理与置换定理 .....	55
2.6.1 叠加定理 .....	55
2.6.2 置换定理 .....	59
2.6.3 齐次定理 .....	61
2.7 电路分析方法举例 .....	62
本章小结 .....	68
习题与思考题 .....	70
<b>3 动态电路时域分析 .....</b>	<b>76</b>
3.1 动态元件 .....	76
3.1.1 电容元件 .....	76
3.1.2 电感元件 .....	78
3.1.3 换路定律 .....	80
3.1.4 初始值的求取 .....	81
3.2 电感和电容的串并联 .....	82
3.2.1 电感的串联和并联 .....	82
3.2.2 电容的串联和并联 .....	83
3.3 动态电路的三要素分析法 .....	85
3.3.1 动态电路方程的建立 .....	85
3.3.2 三要素公式 .....	87
3.3.3 三要素法求解一阶动态电路 .....	88
3.4 零输入响应与零状态响应 .....	90
3.4.1 零输入响应 .....	90
3.4.2 零状态响应 .....	92
3.5 全响应的合成与分解 .....	93
3.5.1 零输入响应和零状态响应与全响应的关系 .....	93
3.5.2 稳态响应和暂态响应与全响应的关系 .....	94
3.6 求解一阶动态电路方法及应用举例 .....	96

---

* 3.7 单位阶跃响应 .....	100
本章小结 .....	102
习题与思考题 .....	103
<b>4 正弦交流电路的稳态分析 .....</b>	<b>109</b>
4.1 正弦交流电的基本概念 .....	109
4.1.1 正弦量的三要素 .....	109
4.1.2 正弦量的相位差 .....	110
4.1.3 正弦电流、电压的有效值 .....	111
4.2 正弦交流电的相量表示法 .....	112
4.2.1 相量 .....	112
4.2.2 正弦交流电相量计算法的两套公式 .....	115
4.3 单一元件 VCR 的相量形式 .....	116
4.3.1 电阻元件 .....	116
4.3.2 电感元件 .....	117
4.3.3 电容元件 .....	118
4.4 正弦电路的功率形式 .....	120
4.4.1 电阻元件的有功功率 .....	121
4.4.2 电感元件的无功功率 .....	121
4.4.3 电容元件的无功功率 .....	123
4.4.4 正弦电路的视在功率与功率因数 .....	124
4.5 正弦稳态串联与并联电路 .....	125
4.5.1 正弦串联电路与复阻抗 .....	125
4.5.2 正弦并联电路 .....	129
4.6 正弦混联电路的分析 .....	132
4.7 正弦电路分析方法举例 .....	135
* 4.8 非正弦周期性电路 .....	140
4.8.1 非正弦周期性电流的概念 .....	141
4.8.2 非正弦周期性电路的计算方法 .....	142
本章小结 .....	144
习题与思考题 .....	145
<b>5 三相交流电路 .....</b>	<b>150</b>
5.1 三相电源 .....	150
5.1.1 对称三相交流电的产生 .....	150
5.1.2 三相电源的星形连接 .....	151
5.1.3 三相电源的三角形连接 .....	153
5.2 三相负载 .....	154
5.2.1 负载的星形连接 .....	154



5.2.2 负载的三角形连接 .....	156
5.3 三相电路的功率 .....	158
5.4 特殊不对称三相电路的分析 .....	161
本章小结 .....	163
习题与思考题 .....	163
<b>6 耦合电感与理想变压器 .....</b>	<b>165</b>
6.1 耦合电感元件 .....	165
6.1.1 耦合电感的概念 .....	165
6.1.2 耦合电感元件的电压、电流关系 .....	167
6.1.3 同名端 .....	168
6.1.4 同名端的判别方法 .....	169
6.2 耦合电感的去耦等效 .....	170
6.2.1 耦合电感的串联等效 .....	170
6.2.2 耦合电感的 T 型等效 .....	171
6.3 理想变压器 .....	174
6.3.1 理想变压器的变电压关系 .....	174
6.3.2 理想变压器的变电流关系 .....	175
6.3.3 理想变压器的阻抗变换性质 .....	176
6.4 含有互感耦合或理想变压器电路的分析方法 .....	178
6.4.1 含有互感耦合电路的分析方法 .....	178
6.4.2 含有理想变压器电路的分析方法 .....	182
本章小结 .....	186
习题与思考题 .....	187
<b>附录 电路原理课程实验 .....</b>	<b>191</b>
实验一 常用仪器仪表的使用方法 .....	191
实验二 基尔霍夫定律的验证 .....	193
实验三 戴维南定理的验证 .....	195
实验四 一阶电路的零输入响应和零状态响应 .....	197
实验五 日光灯电路 .....	199
实验六 三相负载实验 .....	201
<b>参考文献 .....</b>	<b>203</b>



# 1 电路的基本概念和定律

---

## 知识点

1. 电路元件  $R$ 、 $L$ 、 $C$ ;
2. 电路变量  $U$ 、 $I$ 、 $P$ ;
3. 基尔霍夫定律 KCL、KVL;
4. 电阻的串并联;
5. 电路中的电位及其计算;
6. 受控源。

## 学习要求

1. 建立电路模型概念，理解电路各种变量的意义和单位换算;
  2. 掌握应用欧姆定律和基尔霍夫定律对电路进行分析的方法;
  3. 掌握电位分析方法;
  4. 掌握串、并联电路的分压、分流公式;
  5. 了解受控源。
- 

电路原理是高等学校电气、机电、电力、电子等专业重要的专业基础课，电路原理这门课程的主要内容是研究电路的基本规律和基本分析计算方法。通过学习本课程，可以为后续专业课的学习和对电气相关知识的研究与应用打好基础。

本章从建立电路模型、认识电路基本变量出发，学习讨论电路元件、电路的基本定律和电路的等效等重要概念。

## 1.1 电路模型

通常，人们把若干个电路元件、器件等按照不同的方式和特定的规律连接在一起，就构成了各式各样的实用电路，如自动控制设备、卫星接收设备、邮电通信设备的电路等。由于电路中的器件、元件种类繁多，给实物构成的电路进行研究和分析问题带来了很大不便，为分析和研究实际电气装置的需要，通常采用模型化的方法，即用抽象的理想元件及其组合代替实际的器件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型，这样不仅简化了电路图，还使得电路分析变得更简单。

### 1.1.1 电路的基本概念

#### 1.1.1.1 电路的组成

电路就是电流流经的路径，也就是电的传送路径。它由电源、负载和中间环节组成。

手电筒是我们最熟悉也最简单的电路，如图 1-1a 所示就是实物画出的电路的示意图，它由电源（干电池）、负载（小灯泡）和开关（中间环节）三部分组成，导线是连接这三部分必不可少的，当开关 S 闭合时，电路接通，正电荷将从电源正极通过导线流经小灯泡中的灯丝，回到电源负极，此时我们就会看到小灯泡发光。手电筒电路的工作原理，说明了电路的作用是把电能传送到小灯泡里，并通过小灯泡实现了能量的转换。

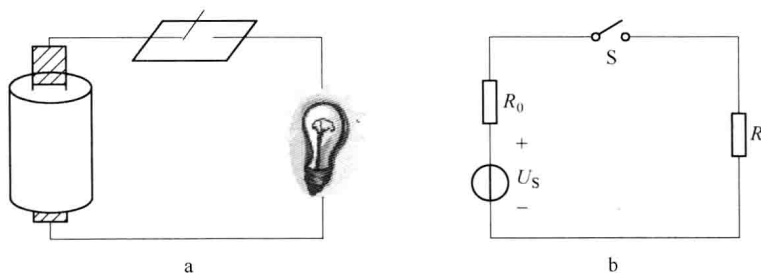


图 1-1 手电筒电路与其电路模型

### 1.1.1.2 电路的功能

电路的种类是很多的，但从功能上来说，总体可概括为两大类：

- (1) 进行能量的传输、转换与控制的强电系统，它是由发电机、变压器、开关、电动机和输电线路等组成的；
- (2) 进行信号的传输和处理的弱电系统，它是由电阻、电容、晶体管、集成元件等组成的。

在电力工程中，发电厂（发电机）送出的电能经过变压器、输电线路等中间环节最后输送到用户，在用户这里又经过日光灯、电冰箱、电风扇等设备转换成我们需要的各种能量。

在信息工程中，信号经过放大、转换、发射、接收、还原等传递和处理过程，使地球变得更小，让我们能够在几乎同一时间知道发生在大洋彼岸的事件。例如扬声器电路，人将声音传递给话筒，话筒又将声音传递给放大器，经检波等过程的处理后我们就可以听到真实的声音。

### 1.1.2 理想元件与电路模型

用特定的电路符号画出的电路图就是**电路模型**。

我们在画手电筒、电冰箱、日光灯、电机控制电路时，按照实物画起来就比较麻烦，而且比较复杂的电路中有成百上千的零件，把它们一个个按实物画出来也是不现实的。经过长期的研究，人们掌握了各种电路及其元器件的基本电磁规律，亦即器件和电路的形式虽然很多，但就其基本电磁关系而言，却有着许多共同之处，如电灯、电炉和电阻等，它们都是消耗电能而产生热量的，如果归类，所有的用电器件就可归纳成消耗电能，建立磁场和建立电场三种最基本的形式了，从而可分别使用电阻  $R$ 、电感  $L$  和电容  $C$  这三种理想的模型元件及其组合来代替各种各样的电路了。

图 1-1b 就是手电筒电路的电路模型，其中  $U_s$  表示干电池两端电压，而干电池的内阻则用与  $U_s$  串联的  $R_0$  表示，内阻  $R_0$  画在  $U_s$  符号的上边或下边都行，小灯泡的电阻用  $R$  表示。

图 1-2 为理想电阻、电容和电感的元件模型符号。

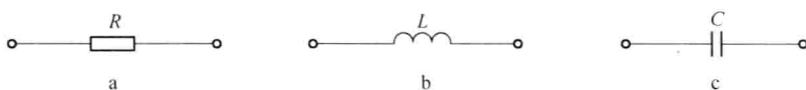


图 1-2 理想电阻、电感、电容的元件模型符号

a—电阻；b—电感；c—电容

所谓理想就是指性质单一，对一个元件只考虑它的主要功能，例如一个电感元件是用绝缘的漆包铜线一圈一圈绕在一个骨架上制成的，如图 1-3a 所示，它的主要功能就是起电感作用建立磁场和存储能量，用电感模型画出来就如图 1-3b 所示。

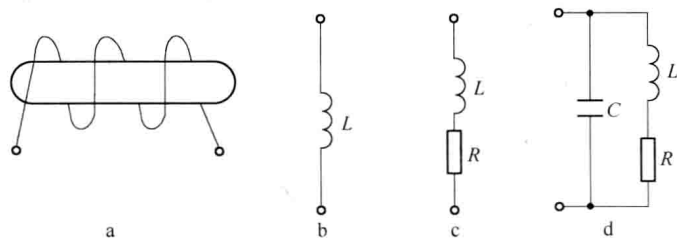


图 1-3 实际电感元件在不同应用条件下的模型

实际中的元件往往是多元而复杂的，如绕制线圈的铜是存在电阻的，制成的线圈也会有一定电阻，另外各匝线圈之间还含有分布电容，在理想电感中我们把它的电阻和电容都忽略了。然而在深入专业课程的学习和电路问题分析中，有时就不能忽略线圈上的电阻和电容，例如在中、低频电路中必须考虑导线电阻的作用时，线圈应由一个理想电感元件与一个理想电阻元件的串联来表示；而在高频电路中，分布电容的作用显得就明显了，这时必须用三个理想元件的串并联表示了。如图 1-3c、d 所示。这个例子也说明实际上真正的“理想元件”是不存在的，本课中所讨论的理想化元件，是抓住了它在特定环境下的主要特征。

## 1.2 电路变量

在电路问题中，电流、电压和电功率是三个最常用的重要变量，在展开分析电路和对相关电学问题进行研究时，最关心的也是这三个物理量。因此首先建立并深刻理解这些基本物理量的基本概念是十分重要的。

### 1.2.1 电流

在物理学中，电流是电荷在导体中移动的现象，电流的大小称为电流强度，在本课中提到的电流不仅表示一种物理现象，而且也代表着一个物理量。

**定义：**单位时间内通过导体截面的电荷量称为电流。

电流的方向规定为正电荷的定向移动方向。

电流分为直流电流和交流电流两种，若电流的方向和大小恒定不变，则称为恒稳电流，即直流电流（DC）。直流电流用  $I$  表示，当用  $Q$  表示在时间  $t$  内通过导体截面的电荷量时，电流的表达式如下：

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

若电流的大小和方向都随时间变化，则为交变电流，也称交流电流（AC）。交流电流用  $i$  表示，若用  $dq$  表示在  $dt$  时间内通过导体截面的电荷量。表达式如下：

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

电流不仅有大小，而且有方向。在计算和分析直流电路时，经常会遇到电流的实际方向难以确定的情况，这时可先任意假定电流的参考方向，若计算结果  $I > 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向一致，若计算结果  $I < 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相反。

按照在国际单位制（SI）规定，电流的单位是安培，简称安（A），实际运用中还有毫安、微安、纳安等，它们的换算关系是：

$$1\text{A}(\text{安}) = 10^3\text{mA}(\text{毫安}) = 10^6\mu\text{A}(\text{微安}) = 10^9\text{nA}(\text{纳安})$$

$$1\text{kA}(\text{千安}) = 10^3\text{A}(\text{安})$$

## 1.2.2 电压

### 1.2.2.1 电压

电压是对电场做功能力大小的一种描述。

**定义：**把单位正电荷从  $a$  点移动到  $b$  点电场力所做的功称为电压。

两点间的电压就是这两点间的电位差。

电压的方向规定为在电场中正电荷所受电场力的方向，即电位降落的方向，或高电位指向低电位的方向。

直流电压用  $U$  表示，把电荷  $Q$  由  $a$  点移动到  $b$  点电场力做的功表示为  $W$ ，则直流电压为：

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

随时间变化的交流电压用  $u$  表示电压，把电荷  $dq$  由  $a$  点移到  $b$  点电场力做的功表示为  $dw$ ，则交变电压为：

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

### 1.2.2.2 电位

电位是电压的另一种表现形式，当然也是做功能力的体现。

在实际电路的分析计算中，为了方便起见，通常在电路中选取适当的参考点（根据实

际情况，可随意拟定，一般可取电路中的接地点或公共线（ $\perp$ ）为参考点），设参考点的电位为  $0V$ ，各点相对于参考点的电压即为该点电位。电位用字母“ $V$ ”表示，下标用一个小写字母表示。

在图 1-4 中，可选择  $b$  点为参考点，以  $V_a$  表示  $a$  点的电位，则两点间的电压：

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

**注意：**在电路中，电压是指任意两个点之间的关系，而电位则是把这两个点之间的一个给固定下来了，在下标的使用上也有区别，电压使用两个下标，而电位只有一个下标。这一概念务必引以重视，以避免混淆。

电压的单位在国际单位制中为伏特（ $V$ ），简称伏。把 1 库仑（ $C$ ）的正电荷从  $a$  点移到  $b$  点，电场力做的功为 1 焦耳（ $J$ ），则  $a$ 、 $b$  两点间的电压为 1 伏（ $V$ ）。

电压的单位换算关系如下：

$$1V(\text{伏}) = 10^3\text{mV}(\text{毫伏}) = 10^6\mu\text{V}(\text{微伏})$$

$$1\text{kV}(\text{千伏}) = 10^3V(\text{伏})$$

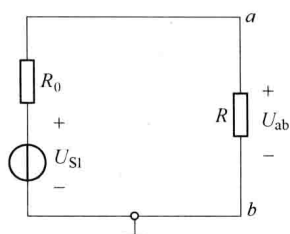


图 1-4 电压与电位

### 1.2.3 电功率及关联方向

#### 1.2.3.1 电功率

电功率是表征电场力做功快慢的物理量。

**定义：**单位时间内电场力所做的功称为电功率。

多数情况下电功率以电压、电流一样都是随时间变化的，我们将随时间变化的功率定义为：在  $dt$  时间内电场力做的功为  $dw$ ，则电功率  $p$  为

$$p = \frac{dw}{dt}$$

把式（1-2）和式（1-4）带入上式可得

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dq}{dt} \frac{dw}{dq} = ui \quad (1-6)$$

对于电压、电流不随时间变化的直流，上式也可推广为如下形式：

$$P = UI$$

功率的单位在国际单位制中用瓦特表示，简称瓦（ $W$ ）， $1W$  功率等于每秒产生（或消耗）1 焦耳（ $J$ ）的功。对于大的功率还可以用千瓦（ $kW$ ）表示，对于小的功率可以用毫瓦（ $mW$ ）表示，它们的关系为

$$1W(\text{瓦}) = 10^3\text{mW}(\text{毫瓦})； 1kW(\text{千瓦}) = 10^3W(\text{瓦})$$

#### 1.2.3.2 关联参考方向

电路中的元件有的是在消耗功率，有的是在产生功率，为了在普遍情况下都能清楚地

辨别元件是产生还是消耗功率，需要建立关联参考方向的概念。

电流和电压参考方向的关联与非关联是这样定义的：当元件两端电压的参考方向和电流的参考方向一致时称为**关联参考方向**，否则称为**非关联参考方向**。

这里的“关联”，指的就是所设定的电流方向与所设定的电压降低方向一致，如图1-5 a、b所示（为了具有普遍意义，图中方形符号表示任意元件）。由定义可以看出，所谓关联参考方向，其实就是按照元件是否消耗功率的情况来定义的，因而对于电阻元件，通常只画出电压或者电流中的任意一个的方向，而另外的一个就是默认与之关联，如图1-5c所示。显然这样的默认只存在于电阻元件，因为电阻是只会消耗功率的。

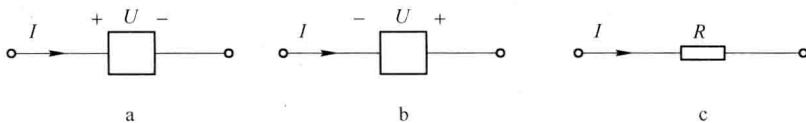


图 1-5 电压与电流关联参考方向

a—关联；b—非关联；c—默认关联

**注意：**在电路分析中，为了计算正确，所设的参考方向应尽量和实际方向一致，且参考方向一旦设定，就不可以随意更改，否则将会影响计算结果的准确性。

实际方向指的是用电流表测量电流时，串联在电路中的电流表“+”极性端接真实电流的入端，“-”极性端接出端；电压表并联在电路中，表的“+”极性接高电位端，“-”极性端接低电位端。这样测得的电流、电压方向就是实际方向，而电路原理中把标在电路图中的电流、电压方向一律看成参考方向。

建立了关联方向的概念之后，电路中的电功率就存在两种计算结果：

(1)  $u$ 、 $i$  方向关联时

$$p = +iu \quad (\text{直流功率 } P = +UI) \quad (1-7)$$

(2)  $u$ 、 $i$  方向非关联时

$$p = -iu \quad (\text{直流功率 } P = -UI) \quad (1-8)$$

用以上两个公式计算时，无论用式(1-7)还是式(1-8)进行计算，只要结果  $p > 0$ ，则该元件是消耗功率，也就说明该元件为负载；若  $p < 0$ ，则说明该元件是产生功率，也就说明该元件一般为电源。

根据能量守恒定律，对一个完整的电路，产生功率的总和应等于消耗功率的总和。

**【例 1-1】** 在图 1-6 所示电路中，电压源  $U_S = 9V$ ，电路中的电流  $I = 4A$ ，试计算电源和电阻上的功率。

**解：**电阻  $R$  上的  $U$ 、 $I$  方向关联，所以由式(1-7)可得

$$P_R = +UI = 9 \times 4 = 36W$$

结果是  $P_R > 0$ ，说明电阻  $R$  上消耗了 36W 的功率。

电源  $U_S$  上的  $U$ 、 $I$  方向非关联，由式(1-8)得

$$P_S = -UI = -9 \times 4 = -36W$$

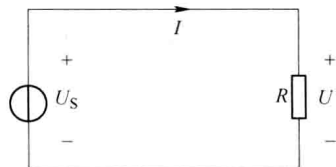


图 1-6 例 1-1 图

结果是  $P_S > 0$ , 说明电源  $U_S$  上产生了 36W 的功率 (也可以说是消耗功率  $-36W$ )。

**【例 1-2】** 电路如图 1-7 所示, 已知  $U_1 = 10V$ , 电压表的读数为 1V, 电流表的读数为 1A, 求:

- (1)  $U_2$ 、 $U_3$ ;
- (2) 各元件产生的功率或消耗的功率。

**解:** 由图分析可知: 电压表的读数就是  $U_2$  的大小, 而方向相反, 则  $U_2 = -1V$ 。

元件 2 为非关联参考方向, 则:

$P_2 = -U_2 I = -(-1) \times 1 = 1W > 0$ , 即元件 2 为消耗功率;

元件 1 为非关联参考方向, 则:

$P_1 = -U_1 I = -10 \times 1 = -10W < 0$ , 即元件 1 为产生功率;

根据功率守恒关系, 即在同一个电路中, 输出功率和消耗的功率相等, 可得

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0$$

因此  $P_3 = 9W > 0$ , 即元件 3 为消耗功率;

元件 3 为关联参考方向, 则  $P_3 = U_3 I$ , 则  $U_3 = 9V$ 。

由上题可知, 判断某个元件是输出还是消耗功率, 与计算结果密切相关。再者就是判断元件上  $U$ 、 $I$  的方向是否关联是一个重要环节, 要把各个元件的  $U$ 、 $I$  方向标示在元件的就近处, 以便判别其是否关联。

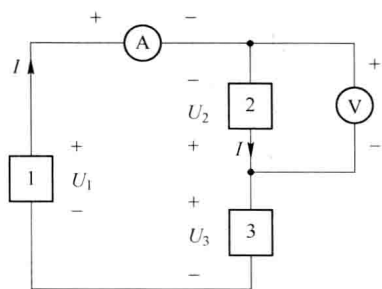


图 1-7 例 1-2 图

## 1.3 欧姆定律

### 1.3.1 欧姆定律与线性电阻

**欧姆定律**是电路的重要定律之一, 适用于线性元件, 它表明了电阻  $R$  中通过电流  $I$  时, 其两端产生电压降  $U$  的情况。

当  $U$ 、 $I$  为关联参考方向时:

$$U = IR \quad (1-9)$$

当  $I$ 、 $U$  参考方向为非关联时:

$$U = -IR \quad (1-10)$$

在交变电路中, 以小写字母表示其中的电流、电压, 欧姆定律的形式为:

$$u = ir$$

如前所述, 在电路分析过程中, 对于电阻来说, 常将流过电阻的电流  $I$  和其两端的电压  $U$  的方向取为关联参考方向。但在有些特殊场合 (如晶体管放大电路中的输出电压与输出电流), 却标为非关联参考方向, 这时使用欧姆定律, 应注意用式 (1-10), 即公式前要加负号。

**注意:** 欧姆定律仅适用于线性电阻, 也就是电阻值不会随着电流或电压的变化而变化, 这样的电阻称为线性电阻。它的伏安特性是一条穿过坐标原点的直线, 该直线的斜率为  $R$ 。如图 1-8 所示。



电阻的单位在国际单位制中为欧姆 ( $\Omega$ ), 简称欧, 对于阻值很大的电阻可用千欧 ( $k\Omega$ ) 或兆欧 ( $M\Omega$ ) 作单位, 它们的换算关系是

$$1M\Omega(\text{兆欧}) = 10^3k\Omega(\text{千欧}) = 10^6\Omega(\text{欧})$$

### 1.3.2 电导

电导是电阻的倒数, 在进行较为复杂的电路分析时, 用电导有时会比较方便。设  $G$  表示电阻  $R$  的电导, 则有

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

用电导表示出来的欧姆定律为

$$I = GU$$

在国际单位制中, 电导的单位为西门子, 简称“西”(S)。

### 1.3.3 电阻上消耗的电能

电能就是电流所具有的能量, 电能转化为其他能量形式的过程就是电流做功的过程, 因而电能的多少可以用电功来度量。电能也叫电功, 用  $W$  表示。

电阻上产生的功就是电阻  $R$  在时间  $t$  内所消耗的电能, 这一能量全部转化成热能, 而热量又全部散发到了它的周围。

由功率定义得  $P = \frac{W}{t}$ , 即单位时间内电场力做的功, 则电阻消耗的能量可表示为

$$W = Pt \quad (1-12)$$

结合欧姆定律可以得到以下几个功率的计算式:

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1-13)$$

在国际单位制中, 电能和热能的单位均用焦耳 (J) 表示。

如果功率  $P$  用千瓦 (kW) 作为单位, 时间  $t$  用小时 (h) 作为单位时, 则由式 (1-12) 计算出的电功单位称为“千瓦时”, 即“kW·h”或“度”。

应用中学物理中学过的焦耳和卡之间的换算关系, 在时间  $t$  内, 电阻  $R$  中产生的热量用卡为单位来表示时, 就可以得到焦耳-楞次定律的表达式。

$$Q = 0.239Pt = 0.239I^2Rt \quad (1-14)$$

**【例 1-3】** 某电阻的阻值为  $5\Omega$ , 工作电压为  $220V$ , 求  $15\text{min}$  消耗的电能是多少度及该电阻上流经的电流为多少。

解: 电阻消耗的电能

$$W = \frac{U^2}{R}t = \frac{220^2}{5} \times \frac{15}{60 \times 1000} = 2.42 \text{ 度}$$

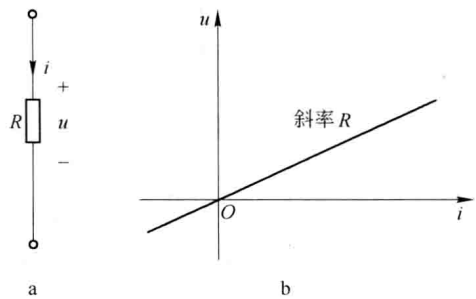


图 1-8 线性电阻与其伏安特性