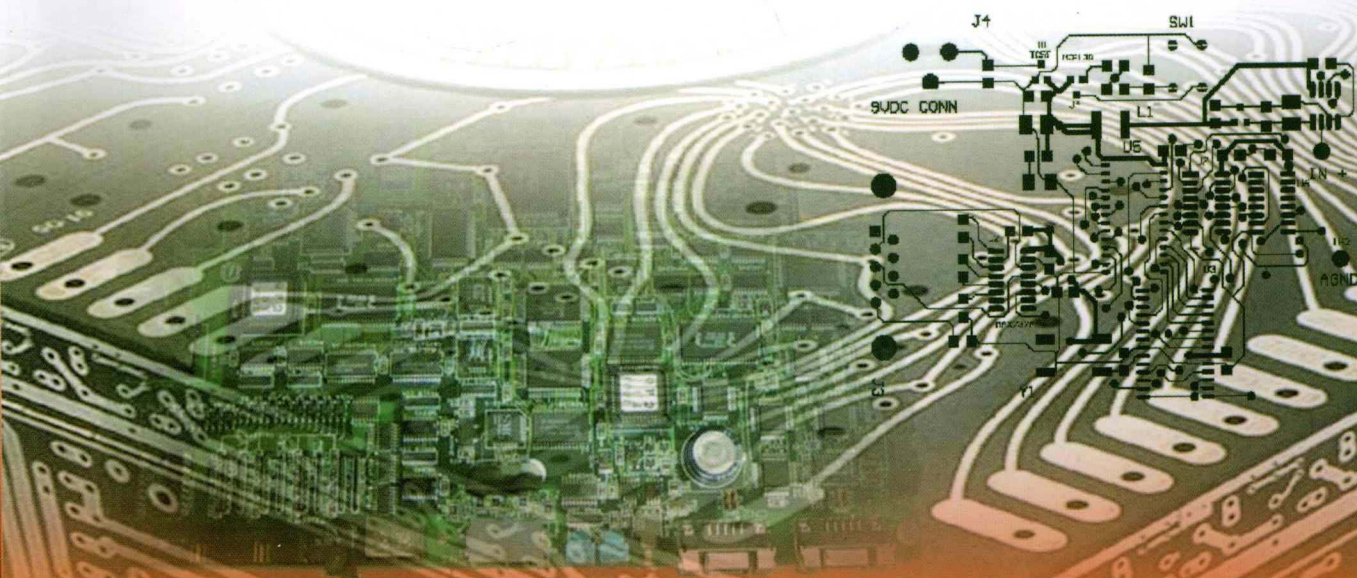


高职高专规划教材

# 电路基础

张 晔 王玉民 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

高职高专规划教材

# 电 路 基 础

张 晔 王 玉 民 主 编

石 油 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

本书从高等职业教育的需要出发,依据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写而成。本书由基础模块和专业选用模块两部分组成,内容包括:电路的基本概念和基本定律、直流电阻性电路的分析、正弦交流电路、三相交流电路、互感耦合电路、谐振电路、非正弦周期电流电路、一阶电路动态分析、磁路与铁心线圈电路及电路仿真软件 EWB 简介十部分内容,并配有精选的例题、习题和应用常识。

本书适合高职高专电类专业师生使用,也可供工程技术人员及参加有关专业培训的职工参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路基础/张晔、王玉民主编.

北京:石油工业出版社,2009.5

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-7058-5

I. 电…

II. ①张… ②王…

III. 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(2009)第 039120 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523546 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

---

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:334 千字

---

定价:22.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前 言

本书从高等职业教育的教学需要出发,依据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写而成。

本书面向高职高专电类专业,从培养学生应用能力的角度出发,立足于工程实际;在课程内容上删繁就简、突出主线、强化重点,做到既为后续课程服务,又能强化工程技术应用能力的培养。

## 1. 注重基础,强化应用

结合电路基础课程的特点,考虑到后续课程的教学需要,本书注重基本概念、基本定律、基本分析方法的介绍,淡化复杂的理论分析和公式推导,降低教学难度,强化应用。例如,从基尔霍夫定律出发,讲解电阻性电路、单相交流电路和三相交流电路的基本分析方法,从而使基本理论及分析方法自成体系;为增强教学内容的直观性和实用性,充实了部分实用图片,如电感元件、电容元件、中周线圈和变压器的照片等。

## 2. 结构体系新颖,专业适应性强

结构编排上采用模块化的体系结构——由基础模块构成教学中的必讲模块,其教学内容和基本要求对于不同学校、学制和专业来讲变化不大;由专业选用模块构成教学中的选讲模块,各学校可根据各自的需求选取该模块相应的内容进行教学,以此满足不同学校、学制和专业对于教学内容的不同要求。

## 3. 适应学生认知能力,遵循“宽、浅、新、用”的原则

(1)“宽”是指知识面宽,为适应现代电气和电子技术互相渗透、日益融合的特点,在教材内容的选择上集强电、弱电知识于一体。一方面能够满足不同专业课程建设的需要;另一方面能够给学有余力的学生创造最大的学习空间,培养其学习能力。

(2)“浅”主要包含这样几个方面:以必需为原则,够用为尺度,文字叙述深入浅出、语言通俗易懂,尽量体现情境教学的思想,以类比的形式突破难点,使学生便于理解且记忆深刻。例如,在引出过渡过程概念时与刹车过程相类比;在分析过渡过程原因时从实验现象入手( $R$ 、 $L$ 、 $C$ 分别与小灯串联后再并联的电路接通时小灯亮度的变化对比),得出电路中存在惯性元件的结论;在对惯性元件参数  $u_c$ 、 $i_L$  为什么不能突变进行解释时,抛开了较复杂的微积分知识,直接从能量不能突变着手( $W_L = \frac{1}{2}Li_L^2$ ,  $W_C = \frac{1}{2}Cu_C^2$ ),淡化了理论教学的难度和深度,使学生学习起来相对轻松。

(3)“新”是指符合时代特征,更新教材内容。在教材中删去老化的知识点,多体现电气和电子领域的新知识、新技术。

(4)“用”是指强化工程意识,注重应用,突出教材的适应性、实用性和针对性。例如,对常用器件采用真实图片;教材中的“三相电路功率的测量”、“同名端测量”、“非正弦电路的测量”,部分强化工程上的测量方法;“谐振电路的应用”、“微分电路与积分电路”等内容体现了理论与实践的结合;每章安排实用性的小知识——“应用常识”,既增强了教材的可读性和趣味性,又开拓了学生的视野。书中打\*号的内容可作为选学。

本书由张晔、王玉民担任主编,王吉恒、郭巧占担任副主编。松原职业技术学院的范丽茹、刘庆彦编写第一章;辽河石油职业技术学院的关素平编写第二章;克拉玛依职业技术学院的葛跃田编写第三章;天津石油职业技术学院的王吉恒编写第四章;大庆职业学院的张晔编写第五章;天津工程职业技术学院的付红霞编写第六章;河北石油职业技术学院的郭树森编写第七章;大庆职业学院的王玉民编写第八章;渤海石油职业学院的岳喜芝编写第九章第一节和第二节,郭巧占编写第九章第三节、第四节和附录。大庆职业学院的闵兰老师对全书插图的统一做了大量耐心细致的工作,还同时编写第二章、第三章和第六章的应用常识部分,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中不足之处,恳请读者提出宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。

编 者

2009 年 1 月

# 目 录

## 基础模块

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 第一章 电路的基本概念和基本定律 .....      | (1)  |
| 第一节 电路和电路模型 .....           | (1)  |
| 第二节 电路的基本物理量 .....          | (3)  |
| 第三节 电阻元件 .....              | (7)  |
| 第四节 电源元件 .....              | (9)  |
| 第五节 电源的连接及两种实际电源的等效变换 ..... | (13) |
| 第六节 电路的工作状态 .....           | (17) |
| 第七节 电位图及电位计算 .....          | (20) |
| 思考题与习题 .....                | (22) |
| 第二章 直流电阻性电路的分析 .....        | (25) |
| 第一节 电阻的串并联和等效变换 .....       | (25) |
| 第二节 基尔霍夫定律 .....            | (32) |
| 第三节 支路电流法 .....             | (37) |
| 第四节 节点电压法 .....             | (39) |
| 第五节 叠加定理 .....              | (43) |
| 第六节 戴维南定理与诺顿定理 .....        | (48) |
| 第七节 最大功率传输定理 .....          | (52) |
| 思考题与习题 .....                | (54) |
| 第三章 正弦交流电路 .....            | (58) |
| 第一节 正弦量的三要素 .....           | (58) |
| 第二节 正弦交流电的相量表示法 .....       | (62) |
| 第三节 单一参数的交流电路 .....         | (67) |
| 第四节 基尔霍夫定律的相量形式 .....       | (78) |
| 第五节 $RLC$ 串联电路的分析 .....     | (79) |
| 第六节 阻抗的串联与并联 .....          | (84) |
| 第七节 正弦电路功率因数的提高 .....       | (88) |
| 思考题与习题 .....                | (90) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| <b>第四章 三相交流电路</b> .....  | (94)  |
| 第一节 三相电源及其连接 .....       | (94)  |
| 第二节 负载星形连接的三相电路 .....    | (98)  |
| 第三节 对称负载三角形连接的三相电路 ..... | (102) |
| 第四节 三相电路的功率 .....        | (104) |
| 第五节* 三相电路功率的测量 .....     | (107) |
| 思考题与习题 .....             | (108) |

## 专业选用模块

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第五章 互感耦合电路</b> .....      | (110) |
| 第一节 互感 .....                 | (110) |
| 第二节 互感线圈的连接及去耦等效电路 .....     | (114) |
| 第三节 空心变压器 .....              | (119) |
| 思考题与习题 .....                 | (122) |
| <b>第六章 谐振电路</b> .....        | (125) |
| 第一节 串联谐振电路 .....             | (125) |
| 第二节 并联谐振电路 .....             | (130) |
| 第三节* 谐振电路的频率特性 .....         | (133) |
| 思考题与习题 .....                 | (136) |
| <b>第七章 非正弦周期电流电路</b> .....   | (137) |
| 第一节 非正弦周期信号 .....            | (137) |
| 第二节 非正弦周期信号的谐波分析 .....       | (138) |
| 第三节 非正弦周期信号的有效值、平均值和功率 ..... | (144) |
| 第四节 非正弦周期电压作用下的线性电路 .....    | (147) |
| 第五节 非正弦周期性电路的应用 .....        | (149) |
| 思考题与习题 .....                 | (154) |
| <b>第八章 一阶电路动态分析</b> .....    | (156) |
| 第一节 换路定律 .....               | (156) |
| 第二节 一阶电路的零状态响应 .....         | (160) |
| 第三节 一阶电路的零输入响应 .....         | (164) |
| 第四节 一阶电路的全响应 .....           | (168) |
| 第五节 一阶电路的三要素法 .....          | (169) |
| 第六节 积分电路和微分电路 .....          | (172) |

思考题与习题 ..... (174)

**第九章 磁路与铁心线圈电路 ..... (177)**

    第一节 磁场的基本物理量和基本定律 ..... (177)

    第二节 铁磁物质的磁性质 ..... (179)

    第三节 磁路和磁路定律 ..... (183)

    第四节 交流铁心线圈和电磁铁 ..... (185)

    思考题与习题 ..... (190)

**附录 电路仿真软件 EWB 简介..... (191)**

**参考文献 ..... (202)**



# 基础模块

## 第一章 电路的基本概念和基本定律

### 本章学习目标

- 明确电路的基本组成、作用。
- 掌握电路基本物理量的定义和正方向的规定,能熟练运用参考方向分析问题。
- 明确实际电源和理想电源的区别,了解受控源的特点,学会电压源和电流源的等效变换。
- 熟练掌握电阻元件的特点。
- 理解电气设备额定值的意义,掌握电路的三种工作状态及其特点。
- 熟悉电位的概念,会分析计算电路中各点的电位。

人们生活在电气化、信息化的时代,广泛使用着各种电子设备和电气产品,例如,手机、电视机、电冰箱、洗衣机等,不可避免地要接触形形色色的电路。那么,什么是电路?怎样分析电路?本课程就从电路的基本概念入手,围绕电路的基本分析方法,展开学习。

### 第一节 电路和电路模型

#### 一、电路及其功能

电路是为电流提供的通路,它由电气元件或电子元件按一定的方式连接起来。例如,为采光使用的照明电路;异地交换信息使用的通信电路;将微弱电信号进行放大的放大电路以及为实现工农业生产的现代化而使用的自动控制电路等。实际应用的电路种类虽多,形式和结构也各不相同,但基本作用可归结为以下两方面:

(1) 实现电能的传送、分配,以及与其他形式能量的转换。典型应用是电力电路。发电机产生电能,经过变压器和输电线输送到各用电单位,再由负载把电能转换为其他形式的能量。手电筒电路也属于这一类。

(2) 实现信号的变换、传递和处理功能的电路。如图 1-1 所示扩音机电路。话筒将声能信号变换为相应的电信号,并将其送入电子线路加以放大处理,然后通过扬声器把放大的电信号还原成更大音量的声能信号。这时话筒为整个电路提供信号,称为信号源。

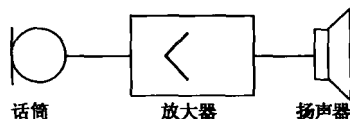


图 1-1 扩音机电路

二、电路组成

实际电路在日常生活和工程上随处可见,虽然各种电路的功能不同,但它们都是由最基本的三大部分组成,即电源、负载及将它们连接在一起的中间环节,如图 1-2(a)所示的手电筒电路。

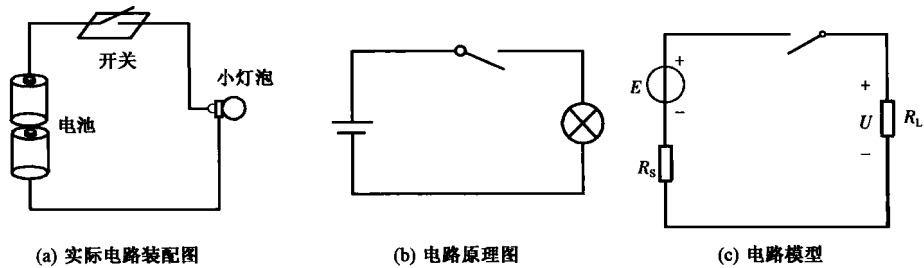


图 1-2 手电筒电路

**电源:**将其他形式的能量(机械能、化学能等)转换为电能的装置,它是电路中能量的供给者。常用的电源有电池、发电机等。

**负载:**即用电器,它可将电能转换为其他形式的能量。如白炽灯将电能转换为光能和热能;电动机将电能转换为机械能;扬声器将电能转换为声能等。

**中间环节:**除电源和负载以外的其他部分。包括导线、开关和保护电器(如熔断器)等。

三、电路模型

实际电路是由一些起不同作用的实际电路元件组成的,如发电机、变压器、电动机、电池、电阻器等。它们的电磁性质很复杂,最简单的例子是白炽灯,它除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,当有电流流过时还会产生磁场,说明白炽灯还有电感性,但电感作用非常微小,可以忽略不计,所以,可以认为白炽灯就是一个电阻性元件。

为了便于对电路进行分析计算,常常将实际电路元件理性化(或称模型化),即在一定条件下突出元件的主要电磁性质,忽略次要因素,把它看成理想电路元件。

**要点** 由理想电路元件组成的电路称为电路模型。

理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件,其电路模型按照国家标准规定分别见表 1-1。根据国家标准绘制的电路模型图称为电路图。图 1-2(c)所示是手电筒电路的电路模型。

表 1-1 四个理想电路元件的电路模型

| 电路元件名称 | 电路符号          | 电磁性质   | 电路模型符号 |
|--------|---------------|--------|--------|
| 电阻元件   | $R$           | 消耗电能   |        |
| 电感元件   | $L$           | 储存磁场能量 |        |
| 电容元件   | $C$           | 储存电场能量 |        |
| 电源元件   | $U_s$ 或 $I_s$ | 产生电能   |        |
|        |               |        |        |

### 应用常识 原理图、装配图与电路模型图

一般来讲,原理图与装配图用于工程中安装、检修和调试;电路模型图用于电路分析。

原理图:只表示线路的接法,如图 1-2(b)所示。

装配图:除表示电路的实际接法外,还画出有关部分的装置与结构,反映出电路的几何尺寸和各元件实际形状。

电路模型图:由理想电路元件通过一定的连接构成的图,如图 1-2(c)所示。

## 第二节 电路的基本物理量

电路中的物理量很多,本节主要讨论电路的基本物理量:电流、电压、电位、电动势和功率。

### 一、电流

水流是由水分子的定向运动形成的。同样,电路中电荷有规则地定向运动形成电流。在直流电路中,电流用  $I$  表示;在交流电路中,电流用  $i$  表示。电流在数值上等于单位时间内通过导体某一横截面积的电荷量。设在极短的时间  $dt$  内通过导体某一横截面的电荷量为  $dq$ ,则通过该截面的电流为

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

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

国际单位制(SI)中电流的单位是安培(A),实用中还有千安(kA),毫安(mA),微安( $\mu$ A)等。它们的换算关系是

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

在分析电路时不仅要计算电流的大小,还应了解电流的方向。习惯上,把正电荷定向运动的方向规定为电流的实际方向。对于比较复杂的直流电路往往不能确定电流的实际方向;对于交流电因其电流方向随时间而变化,更难以判断。因此,为分析方便引入了电流参考方向的概念。电流的参考方向,也称假定正方向,可以任意选定,在电路中用一个箭头表示。且规定当电流的实际方向与参考方向一致时,电流为正,即  $i > 0$ ,如图 1-3(a)所示;当电流的实际方向与参考方向相反时电流为负值,即  $i < 0$ ,如图 1-3(b)所示。

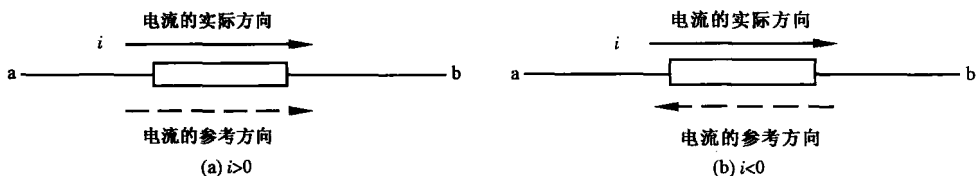


图 1-3 电流的参考方向与实际方向的关系

有时,还可以用双下标表示;如  $I_{ab}$  (表示电流从 a 流向 b),  $I_{ba}$  (表示电流从 b 流向 a), 即  $I_{ab} = -I_{ba}$ , 其中负号表示两电流的方向相反。

**说明** 在分析电路时,首先要假设电流的参考方向,并以此为标准去分析计算,最后从结果的正负来确定电流的实际方向;电路分析时,参考方向一经选定,中途就不能再变。

**例 1-1** 已知电流  $i$  的参考方向如图 1-3(a) 所示,求下列两种情况下电流的实际方向:

(1)  $i = 10\text{A}$ ; (2)  $i = -10\text{A}$ 。

解 (1)  $i = 10\text{A}$ , 其值为正, 则电流的实际方向与参考方向相同, 即由 a 指向 b。

(2)  $i = -10\text{A}$ , 其值为负, 则电流的实际方向与参考方向相反, 即由 b 指向 a。

注意 在未规定参考方向的情况下, 电流的正、负是没有意义的。

电流可以用电流表测量, 测量的时候, 把电流表串联在电路中, 要选择电流表指针处于满量程的  $1/3 \sim 2/3$ 。这样既可以防止电流过大而损坏电流表, 又可以满足测量精度的要求。

## 二、电压、电位和电动势

### 1. 电压

#### 1) 电压的概念

河水之所以能够流动, 是因为有水位差。同理, 电荷流动形成电流, 是因为有电位差。电位差也就是电压。电压是形成电流的原因。

从物理学中知道, 电路中 A、B 两点的电压就是将单位正电荷由 A 点移动到 B 点时电场力所做的功, 即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

在交流电路中, 电压用  $u$  表示, 在直流电路中用  $U$  表示。在 SI 中电压的单位为伏特, 简称伏 (V), 实用中还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu\text{V}$ ) 等。它们之间的换算关系是

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

#### 2) 电压的方向

电压和电流一样, 不但有大小, 而且有方向。习惯上规定电压的实际方向是从高电位端 (电路中拥有能量相对较高的一端) 指向低电位端 (电路中拥有能量相对较低的一端)。与电流相类似, 在实际分析和计算中, 电压的实际方向也常常难以确定, 这时也要采用参考方向。电路中两点间的电压可任意选定一个参考方向, 且规定当电压的参考方向与实际方向一致时电压为正值, 即  $u > 0$ , 如图 1-4(a) 所示; 相反时电压为负值, 即  $u < 0$ , 如图 1-4(b) 所示。

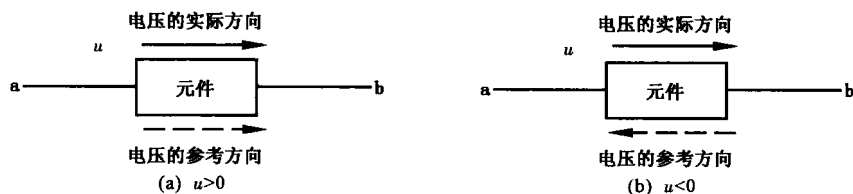


图 1-4 电压的参考方向与实际方向的关系

电压的参考方向可用箭头表示, 也可用正 (+)、负 (-) 极性表示, 还可用双下标表示, 如  $u_{ab}$  表示 a 和 b 之间的电压参考方向由 a 指向 b。图 1-5 所示是电压的三种表示方法, 其方向均为参考方向。

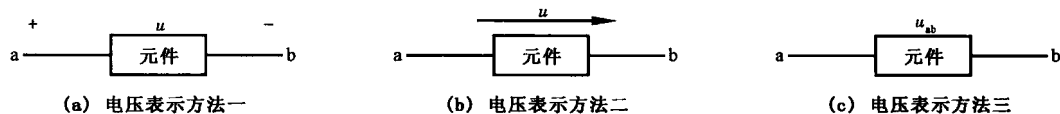


图 1-5 电压的三种表示方法

**要点** 采用图 1-5(c) 的表示方法时,要将高电位点写在脚标前面,低电位点写在后。

**例 1-2** 电路如图 1-4(a) 所示,电压的参考方向已知,试求下列两种情况下  $u$  的实际方向,(1)  $u = 10\text{V}$ ; (2)  $u = -10\text{V}$ 。

**解** (1)  $u = 10\text{V}$  时,其值为正,故电压  $u$  的实际方向与图示方向相同,a 点为高电位端。

(2)  $u = -10\text{V}$  时其值为负,故电压  $u$  的实际方向与图示方向相反;b 点为高电位端。

电压可以用电压表测量。测量的时候,把电压表并联在待测电路两端,要选择电压表指针处于  $(1/3 \sim 2/3)$  满偏转的量程。如果电路上的电压大小估计不出来,要先用大的量程,粗略测量后再用合适的量程。这样可以防止由于电压过大而损坏电压表。

### 3) 关联方向

任一电路的电流参考方向和电压的参考方向都可以分别地独立假设。但为了电路分析方便,常使同一元件的电压参考方向和电流参考方向一致,即电流从电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出,电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1-6(a) 所示;当电压参考方向和电流参考方向不一致时,称为非关联参考方向,如图 1-6(b) 所示。

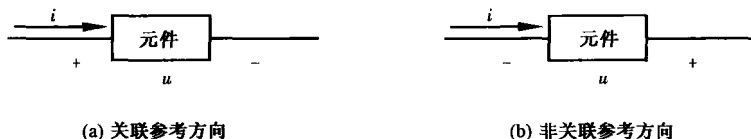


图 1-6 关联与非关联参考方向

**说明** 在分析和计算电路时,是选取关联方向还是非关联方向,原则上可以任意,但习惯上常对无源元件取关联方向,有源元件取非关联方向;另外, $u$  和  $i$  的参考方向一经选定,中途就不能再变动;还要知道,电路图中所标的方向均是参考方向。

## 2. 电位

电路中的每一点均有一定的电位,这就如空间的每一处均有一定的高度一样。为了说明高度,就必须要有有一个计算高度的起点,如某一架空线的高度为  $12\text{m}$ ,这个高度实际上是从地面算起的,只是因不说自明,所以常常省去这一标准。同样,为了分析电路中某一点的电位,也必须预先指定一个计算电位的起点,称之为电位参考点(或称零电位点),简称参考点。一旦选定了参考点,则电路中各点的电位就可以确定了。

规定电路中某一点的电位就是该点到参考点的电压,电位的方向则是从该点指向参考点。电位常用字母  $V$  加下角标表示,如电路中 a 点的电位表示为  $V_a$ 。电位的单位与电压单位相同,也是伏特。

参考点可以任意选取。参考点的电位规定为零,因而低于参考点的电位是负电位,高于参考点的电位是正电位。工程上常选大地或机壳作为参考点。

电位与电压的关系可表示为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

**要点** 电路中某两点之间的电压,等于该两点的电位差。

## 3. 电动势

在图 1-2 所示电路中,当开关闭合时正电荷会从电源正极沿导线外电路运动到电源负极,为维持电路中电流的连续流动。电源中一定存在着能使流到电源负极的正电荷移到电源

正极的电源力(在电池中,电源力由化学作用产生;在发电机中,由电磁感应作用产生)。电动势就是反映电源把其他形式的能量转换成电能的本领的物理量。电源的电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极经由电源内部移到电源正极所做的功,也就是单位正电荷从电源负极到电源正极所获得的电能。电动势使电源两端产生电压。交、直流电动势分别用  $e$  和  $E$  表示,电动势的单位也是伏特。

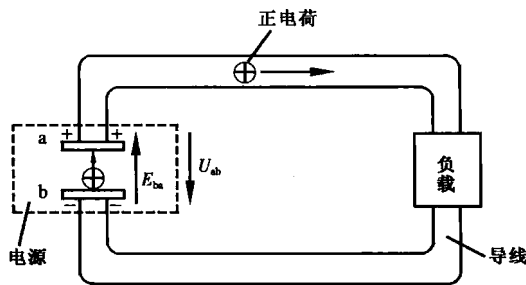


图 1-7 电动势和电压

电动势也有方向,其实际方向规定为由电源负极(低电位)端指向电源正极(高电位),即电位升的方向。在电路分析中,也常用电压源的电动势大小来表示电压源端电压的大小,如图 1-7 所示,但要注意,电压源端电压的实际方向和电动势的实际方向是相反的。

电源的电动势可以用电压表测量。测量的时候,电源不要接到电路中去,用电压表测量电源两端的电压,所得的电

压值就可以看作等于电源的电动势。如果电源接在电路中,用电压表测得的电压两端的电压就会小于电源的电动势。这是因为电源有内阻,在构成闭合电路时内阻会分担部分电压,造成输出电压小于电源电动势。

严格来说,即使电源不接入电路,万用表测得的电压也小于电源电动势。这是因为电压表也有内阻的缘故。但电压表内阻很大,而电源内阻很小,故内电压可以忽略。因此,电压表测得的电源两端的电压是可以看作等于电源的电动势。

### 三、电功率

在电路的分析和计算中,电能和功率的计算是十分重要的。这是因为电路在工作状况下总伴随着电能与其他形式能量的相互交换;另一方面,电气设备、电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值。

在电气工程中,电功率简称功率,即电能相对于时间的变化率。当元件上的电压和电流取关联参考方向时,电功率表示为

$$p = \frac{dw}{dt} = ui \quad (1-5)$$

对于直流电路

$$P = UI \quad (1-6)$$

国际单位制中功率的单位是瓦(W),有时还可利用兆瓦(MW)、千瓦(kW)、毫瓦(mW)作为单位,它们之间的换算关系为

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} \quad 1\text{kW} = 10^3\text{W} \quad 1\text{W} = 10^3\text{mW}$$

当电压、电流取非关联参考方向时,则功率应为

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1-7)$$

对于某一段电路,若功率  $p > 0$ ,则表明该段电路吸收(消耗)功率;若功率  $p < 0$ ,则表明该段电路实际发出功率。

根据能量守恒定律,电源输出的功率和负载吸收的功率应该是平衡的。

**例 1-3** 各元件电压和电流的参考方向如图 1-8 所示。已知  $I_1 = -I_2 = -2\text{A}$ ,  $I_3 = 1\text{A}$ ,  $I_4 = 3\text{A}$ ,  $U_1 = 3\text{V}$ ,  $U_2 = 5\text{V}$ ,  $U_3 = U_4 = -2\text{V}$ 。试求各元件的功率,并说明是吸收功率还是发出功率,整个电路的总功率是否满足能量守恒定律?

**解** 根据各元件上电压电流的参考方向,可得各元件的功率为

元件 1:  $P_1 = U_1 I_1 = 3 \times (-2) = -6(\text{W})$   
(发出功率)

元件 2:  $P_2 = U_2 I_2 = 5 \times 2 = 10(\text{W})$  (吸收功率)

元件 3:  $P_3 = -U_3 I_3 = -(-2) \times 1 = 2(\text{W})$   
(吸收功率)

元件 4:  $P_4 = U_4 I_4 = (-2) \times 3 = -6(\text{W})$   
(发出功率)

电路的总功率

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0$$

即整个电路的能量守恒。

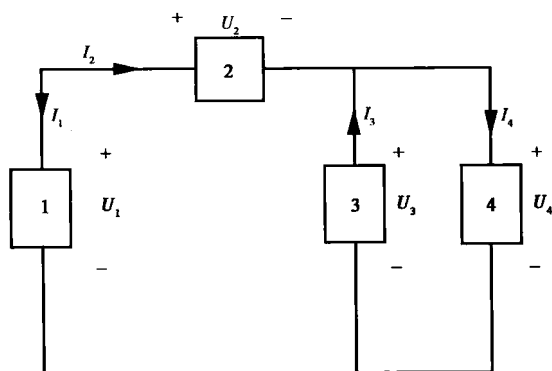


图 1-8 例 1-3 电路

## 第三节 电阻元件

### 一、电阻

自然界中的各种物质,按其导电性能来分,可分为导体、绝缘体、半导体三大类。其中,导电性能良好的物质称为导体,导体内部有大量的自由电荷;导电能力很差或几乎不导电的物质称为绝缘体,在绝缘体中,几乎没有自由电荷存在。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。

导体或半导体对电流的阻碍作用称为电阻。电阻用  $R$  表示,在 SI 中,电阻的单位为欧姆,简称欧,符号为  $\Omega$ 。

常用的电阻单位还有千欧( $\text{k}\Omega$ )和兆欧( $\text{M}\Omega$ ),它们之间的换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

任何物质都有电阻,而导体的电阻是由它本身的性质决定的,即使导体两端没加电压,导体仍有电阻。实验证明:在一定温度下,截面均匀的导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,还与导体的材料有关,即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-8)$$

式中  $\rho$ ——导体的电阻率(或电阻系数),  $\Omega \cdot \text{m}$ ;

$L$ ——导体的长度,  $\text{m}$ ;

$S$ ——导体的横截面积,  $\text{m}^2$ ;

$R$ ——导体的电阻,  $\Omega$ 。

电阻率与导体材料的性质和所处温度有关,而与导体的几何尺寸无关。不同材料导体的电阻率是不同的;同一材料在不同温度下其电阻率也是不相等的。电阻率的大小反映了各种

材料导电性能的好坏。表 1-2 列出了部分常见材料在 20℃时的电阻率(为近似数据)。银的电阻率最小,是最好的导电材料。铜、铝次之,但由于银的价格昂贵,工程上普遍采用铜和铝作为制造导线的材料。在另一些场合,则需要使用电阻率较大的材料,如用钨丝来制作各种灯泡的灯丝,镍铬合金用来制作电炉和电烙铁的发热元件等。为了安全,电工用具上都安装有橡胶、木头等电阻率很大的绝缘体制作的把、套。

表 1-2 部分材料的电阻率和电阻温度系数

| 材料名称 | 电阻率 $\rho$<br>$\Omega \cdot \text{m}$ | 电阻温度系数 $\alpha$<br>$^{\circ}\text{C}^{-1}$ | 材料名称 | 电阻率 $\rho$<br>$\Omega \cdot \text{m}$ | 电阻温度系数 $\alpha$<br>$^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
|------|---------------------------------------|--------------------------------------------|------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 银    | $1.6 \times 10^{-8}$                  | 0.0036                                     | 铁    | $10 \times 10^{-8}$                   | 0.006                                      |
| 铜    | $1.7 \times 10^{-8}$                  | 0.004                                      | 碳    | $35 \times 10^{-6}$                   | -0.0005                                    |
| 铝    | $2.9 \times 10^{-8}$                  | 0.004                                      | 锰铜   | $44 \times 10^{-8}$                   | 0.000005                                   |
| 钨    | $5.3 \times 10^{-8}$                  | 0.0028                                     | 康铜   | $50 \times 10^{-8}$                   | 0.000005                                   |

电阻与温度有关,实验证明:在通常温度下,几乎所有金属导体的电阻值  $R$  与温度  $t$  之间都有以下近似关系

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

即 
$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-9)$$

式中,  $R_1$  和  $R_2$  分别是温度为  $t_1$  和  $t_2$  时导体的电阻;  $\alpha$  是电阻的温度系数,它等于温度升高 1℃时,导体电阻所产生的变动值与原电阻值的比值。 $\alpha$  的单位是 1/℃,其数值可查有关手册。

在通常情况下,几乎所有金属材料的电阻率都随温度的升高而增大,当导体工作温度很高时,电阻的变化也是很显著的,不容忽视;但有些材料在温度升高时,导体的电阻值反而减小,如多数热敏电阻元件就具有这种特性,这在一些电气设备中可以起自动调节和补偿作用;还有某些合金材料如锰铜、康铜的电阻温度系数很小,用它们制成的电阻差不多不随温度变化,所以常用来制作标准电阻、电阻箱以及电工仪表中的分流电阻和附加电阻。

二、电阻元件

电阻元件一般是反映实际电路耗能作用的元件,其图形符号如图 1-9 所示,用字母  $R$  表示。

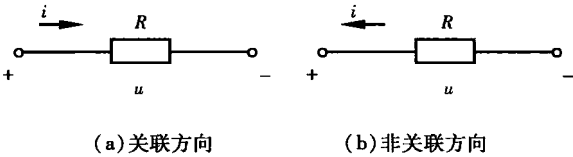


图 1-9 电阻元件电压电流关系

当电阻两端的电压与流过电阻的电流取关联参考方向时,如图 1-9(a)所示,根据欧姆定律电压与电流成正比,有如下关系

$$u = Ri \quad (1-10)$$



当电阻两端的电压与流过电阻的电流为非关联参考方向时,如图 1-9(b)所示,根据欧姆定律电压与电流有如下关系

$$u = - Ri \quad (1-11)$$

电阻的倒数称为电导,用符号  $G$  表示,其单位是“西门子”(S),即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

在关联参考方向下,当  $R = \frac{u}{i}$  是个常数时,则  $R$  为线性电阻。线性电阻的伏安特性如图 1-10 所示,是一条过原点的直线。

当电阻两端的电压与流过电阻的电流不成正比关系时,电阻不是一个常数,它随电压和电流变动,这种电阻称为非线性电阻。本书只讨论线性电阻电路。

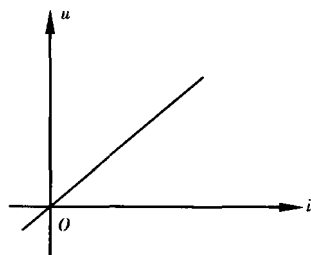


图 1-10 线性电阻的伏安特性

## 第四节 电源元件

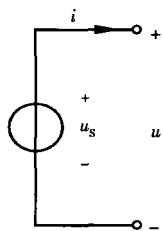
任何一种实际电路要保持正常工作都必须有电源来持续不断地提供能量。电源有多种,如干电池、蓄电池、光电池、纽扣电池、发电机及电子线路中的信号源等。为了对实际电源进行模拟,定义了两种独立电源模型。独立电源一般分为电压源和电流源。

### 一、电压源

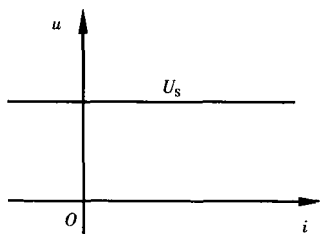
#### 1. 理想电压源

理想电压源是这样一种理想二端元件:不管外部电路状态如何,其端电压总保持恒定值  $U_s$  或者是一定的时间函数,而与流过它的电流无关。显然,直流理想电压源的端电压是恒定值,交流理想电压源端电压是一个时间函数。理想电压源的符号如图 1-11(a)所示。 $u_s$  是电压源的电压,电路中的电压源  $u_s$  与电流  $i$  为非关联参考方向。

电压源的电压电流关系,又称伏安特性曲线,是一根平行于电流轴的直线,如图 1-11(b)所示。



(a) 理想电压源模型



(b) 直流理想电压源伏安特性

图 1-11 理想电压源及伏安特性