

/ 高 / 等 / 学 / 校 / 教 / 材 /

# 电路与电子技术基础

主编 刘军 于湘珍

西北工业大学出版社

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

# 电路与电子技术基础

（第 2 版）

王 明 王 明 王 明

TM13/182

2007

／ 高等学校教材

# 电路与电子技术基础

主 编 刘 军 于湘珍

副主编 李宗强 赵 旭

编 者 刘 军 于湘珍 李宗强 赵 旭 何日光

李旭霞 吴 薇 陈岚岚 张伯虎 张世英

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书包括电路基础、模拟电路和数字电路三部分,共有电路分析的基本概念,电路分析的基本方法,一阶动态电路分析,正弦稳态分析,互感与理想变压器,半导体器件,基本放大电路,正弦波振荡器,运放的非线性应用,直流稳压电源,逻辑代数基础,集成逻辑门,组合逻辑电路,触发器,时序电路的分析与设计,常用集成时序逻辑器件及应用,存储器和可编程逻辑器件,数/模转换和模/数转换,VHDL 语言基础等 19 章内容,基本概念清楚,深入浅出,分析透彻。每章配有适量的例题和习题,方便学生学习和教师教学。

本书可作为应用电子技术、通信工程、电子工程、计算机应用等专业的全日制、自学考试的大专生的教材,也可作为电子机械、应用物理、通信指挥等少学时时的本科生的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术基础/刘军,于湘珍主编. —西安:西北工业大学出版社,2007.9  
ISBN 978-7-5612-2308-6

I. 电… II. ①刘… ②于… III. ①电路理论 ②电子技术 IV. TM13 TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 151533 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:23

字 数:562 千字

版 次:2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

定 价:33.00 元

# 前 言

本书是根据教育部最新颁布的高等工业院校“电工学与电子技术”等课程教学要求,结合编者多年教学经验,专门为高校电气类、电子类、自动化类、通信类、计算机类和其他相近专业编写的教材。

本书的编写原则是确保基础,精选内容,侧重使用,在紧扣理论基础的同时,重点着眼于如何帮助读者提高分析、解决实际问题的能力。在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖教学基本要求所规定的内容,又增添了一些拓宽和加深的内容;在阐述上由浅入深,循序渐进,便于读者自学。全书在编排上,既注重了各部分的相对独立性,又注意了各章节的有机联系。根据编者的教学实践和体会,对传统的体系结构进行了适当调整,加强了各主要内容间的逻辑性,便于读者应用和科技创新能力的培养。

全书共有电路基础、模拟电路和数字电路三部分,分 19 章,内容包括:电路分析的基本概念、电路分析的基本方法、一阶动态电路分析、正弦稳态分析、互感与理想变压器、半导体器件、基本放大电路、正弦波振荡器、运放的非线性应用、直流稳压电源、逻辑代数基础、集成逻辑门、组合逻辑电路、触发器、时序电路的分析与设计、常用集成时序逻辑器件及应用、存储器和可编程逻辑器件、数/模转换和模/数转换、VHDL 语言基础。

本书由刘军、于湘珍主编和统稿。其中,第 1,2 章由刘军、何日光执笔,第 3~5 章由赵旭执笔,第 6,7 章由刘军、李旭霞执笔,第 8~10 章由于湘珍、吴薇执笔,第 11~13 章由刘军、陈岚岚执笔,第 14~18 章由李宗强、张伯虎、张世英执笔,第 19 章由于湘珍执笔。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007 年 8 月

# 目 录

## 第 1 编 电路基础

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第 1 章 电路分析的基本概念    | 3  |
| 1.1 电路及电路模型        | 3  |
| 1.2 电路分析的基本物理量     | 4  |
| 1.3 基尔霍夫定律         | 8  |
| 1.4 电阻元件           | 10 |
| 1.5 理想电源           | 12 |
| 1.6 受控源            | 14 |
| 习题 1               | 15 |
| 第 2 章 电路分析的基本方法    | 18 |
| 2.1 网络化简           | 18 |
| 2.2 支路电流法          | 24 |
| 2.3 节点电压法          | 25 |
| 2.4 叠加原理           | 27 |
| 2.5 等效电源定理         | 28 |
| 2.6 双口网络           | 30 |
| 2.7 非线性电阻电路分析的基本方法 | 30 |
| 习题 2               | 33 |
| 第 3 章 一阶动态电路分析     | 37 |
| 3.1 动态元件           | 37 |
| 3.2 动态电路的方程及其解     | 45 |
| 3.3 电路的初始值         | 47 |
| 3.4 一阶动态电路的响应      | 49 |
| 3.5 一阶电路的三要素公式     | 51 |
| 3.6 一阶电路的单位阶跃响应    | 54 |
| 习题 3               | 55 |
| 第 4 章 正弦稳态分析       | 59 |
| 4.1 正弦交流电路的基本概念    | 59 |

|                               |                |     |
|-------------------------------|----------------|-----|
| 4.2                           | 正弦量的相量表示       | 62  |
| 4.3                           | 电路定律的相量表示      | 63  |
| 4.4                           | 阻抗与导纳          | 67  |
| 4.5                           | 正弦稳态电路的功率      | 71  |
| 4.6                           | 正弦稳态电路中的最大功率传输 | 72  |
|                               | 习题 4           | 74  |
| 第 5 章                         | 互感与理想变压器       | 77  |
| 5.1                           | 互感及互感电压        | 77  |
| 5.2                           | 耦合电感的串联和并联     | 79  |
| 5.3                           | 理想变压器          | 81  |
|                               | 习题 5           | 82  |
| <br><b>第 2 编 模拟电路</b><br><br> |                |     |
| 第 6 章                         | 半导体器件          | 87  |
| 6.1                           | 半导体的基本知识       | 87  |
| 6.2                           | PN 结及其模型       | 89  |
| 6.3                           | 半导体二极管及其应用     | 91  |
| 6.4                           | 双极型晶体管         | 96  |
| 6.5                           | 场效应晶体管         | 101 |
|                               | 习题 6           | 108 |
| 第 7 章                         | 基本放大电路         | 111 |
| 7.1                           | 放大器概述          | 111 |
| 7.2                           | 单管放大电路         | 113 |
| 7.3                           | 放大电路的图解分析法     | 114 |
| 7.4                           | 放大电路的小信号模型分析法  | 117 |
| 7.5                           | 射极跟随器          | 120 |
| 7.6                           | 多级放大电路         | 122 |
| 7.7                           | 差动放大电路         | 124 |
| 7.8                           | 集成运算放大器        | 131 |
| 7.9                           | 放大电路的频率特性      | 144 |
| 7.10                          | 功率放大电路         | 151 |
|                               | 习题 7           | 159 |
| 第 8 章                         | 正弦波振荡器         | 168 |
| 8.1                           | 正弦波振荡器的组成及工作原理 | 168 |
| 8.2                           | RC 正弦波振荡器      | 169 |
| 8.3                           | LC 正弦波振荡器      | 171 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 8.4 石英晶体正弦波振荡器 .....          | 176        |
| 习题 8 .....                    | 178        |
| <b>第 9 章 运放的非线性应用</b> .....   | <b>181</b> |
| 9.1 电压比较器 .....               | 181        |
| 9.2 方波发生器 .....               | 185        |
| 9.3 三角波发生器和锯齿波发生器 .....       | 187        |
| 习题 9 .....                    | 189        |
| <b>第 10 章 直流稳压电源</b> .....    | <b>192</b> |
| 10.1 概述 .....                 | 192        |
| 10.2 单相桥式整流电路 .....           | 192        |
| 10.3 滤波电路 .....               | 194        |
| 10.4 串联反馈式稳压电路 .....          | 197        |
| 习题 10 .....                   | 200        |
| <br><b>第 3 编 数字电路</b><br><br> |            |
| <b>第 11 章 逻辑代数基础</b> .....    | <b>205</b> |
| 11.1 数字信号与数字电路 .....          | 205        |
| 11.2 数制与编码 .....              | 207        |
| 11.3 逻辑代数的三种基本运算 .....        | 210        |
| 11.4 逻辑代数的基本定律和规则 .....       | 213        |
| 11.5 复合逻辑 .....               | 216        |
| 11.6 最小项和最小项表达式 .....         | 219        |
| 11.7 逻辑函数的代数化简法 .....         | 220        |
| 11.8 逻辑函数的卡诺图化简 .....         | 221        |
| 11.9 非完全描述逻辑函数的化简 .....       | 225        |
| 习题 11 .....                   | 227        |
| <b>第 12 章 集成逻辑门</b> .....     | <b>230</b> |
| 12.1 数字集成电路的分类 .....          | 230        |
| 12.2 TTL 集成逻辑门 .....          | 231        |
| 12.3 MOS 集成逻辑门 .....          | 241        |
| 12.4 集成门电路使用中的实际问题 .....      | 245        |
| 习题 12 .....                   | 247        |
| <b>第 13 章 组合逻辑电路</b> .....    | <b>251</b> |
| 13.1 组合逻辑电路的分析 .....          | 251        |
| 13.2 组合逻辑电路的设计 .....          | 253        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 13.3 常用组合逻辑器件及应用            | 256        |
| 13.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险          | 270        |
| 习题 13                       | 273        |
| <b>第 14 章 触发器</b>           | <b>276</b> |
| 14.1 基本 RS 触发器              | 276        |
| 14.2 钟控触发器                  | 278        |
| 14.3 集成触发器                  | 282        |
| 习题 14                       | 284        |
| <b>第 15 章 时序电路的分析与设计</b>    | <b>287</b> |
| 15.1 时序电路概述                 | 287        |
| 15.2 同步时序逻辑电路的分析            | 288        |
| 15.3 同步时序电路的设计方法            | 296        |
| 习题 15                       | 300        |
| <b>第 16 章 常用集成时序逻辑器件及应用</b> | <b>302</b> |
| 16.1 集成计数器                  | 302        |
| 16.2 集成寄存器和移位寄存器            | 310        |
| 习题 16                       | 314        |
| <b>第 17 章 存储器和可编程逻辑器件</b>   | <b>316</b> |
| 17.1 半导体存储器                 | 316        |
| 17.2 可编程逻辑器件                | 318        |
| 习题 17                       | 321        |
| <b>第 18 章 数/模转换和模/数转换</b>   | <b>322</b> |
| 18.1 概述                     | 322        |
| 18.2 D/A 转换器(DAC)           | 322        |
| 18.3 A/D 转换器(ADC)           | 326        |
| 习题 18                       | 332        |
| <b>第 19 章 VHDL 语言基本介绍</b>   | <b>333</b> |
| 19.1 概述                     | 333        |
| 19.2 通用组合逻辑功能器件的 VHDL 语言描述  | 341        |
| 19.3 常见时序逻辑电路的 VHDL 语言描述    | 347        |
| 习题 19                       | 358        |
| <b>参考文献</b>                 | <b>360</b> |

# 第 1 编

## 电 路 基 础



# 第 1 章 电路分析的基本概念

本章从介绍电路的概念、建立电路模型、认识电路变量等最基本的问题出发,重点讨论了基尔霍夫定律、电阻元件、理想电源等主要概念,并简单介绍了受控源。

## 1.1 电路及电路模型

电路是人们为了实现电能或电信号的产生、传输、处理及利用,由电器元件或设备,按一定方式连接起来而构成的电流所通过的路径。我们日常生活中所用的手电筒电路就是一个最简单的电路,它是由干电池、灯泡、手电筒壳(连接导体)组成的,如图 1.1.1(a) 所示。干电池是一种电源,为电路提供电能;灯泡则是用电的器件,称为负载,当电流通过时能发热到白炽状态而发光;连接导体可使电流构成通路。

电路模型是为了方便研究分析电路,在一定的条件下对实际电器元件加以理想化,忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要性能的模型(Model)来表示,如图 1.1.1(b) 所示。

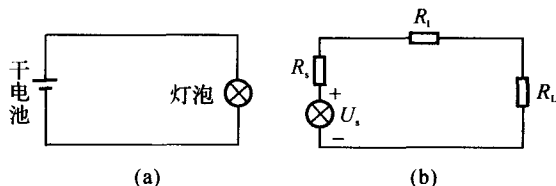


图 1.1.1 简单实际电路及其电路模型

(a) 实际电路; (b) 电路模型

### 1.1.1 实际电路作用及其组成

电在日常生活、农业生产、科研以及国防等各个方面都有广泛的应用。在通信、自动控制、计算机、电力等各个电技术领域,使用许多电路来完成各种各样的任务。

实际电路的作用按强、弱电区分,主要体现在以下两个方面:

- (1) 实现电能的产生、传输与转换(强电,电力电子);
- (2) 信号的产生、传递与处理(往往针对弱电),如收音机、选频电路、检波电路、放大电路、扬声器驱动电路等。

实际电路的主要组成部分包括电源(信号源、激励)、负载、传输节点三大部分。电源是用于提供电能或电信号的设备。负载是用于耗电或输出信号的设备。传输节点是用于传输电能和电信号的中间环节。在现代信息化社会中使用的各种各样的电器设备,如电视机、手机、计算机、电动机等,广义上讲都是实际生活中的电路。

### 1.1.2 电路的理想化

本课程并不是研究一个个具体的实际电路,而是研究经过理想化的电路模型。大家知道有电压就会存在电场,有电流就有磁场,即电路周围伴有电场、磁场能量,或存在电磁波,它使电路伴有三种效应:

- (1) 载流导体因发热而耗能等效为电阻  $R$ ;
- (2) 电场储能等效为电容  $C$ ;
- (3) 磁场能量等效为电感  $L$ 。

这三种效应一般是交织在一起的(如  $R$  含  $L$ ,  $L$  含  $R, C, \dots$ ),但根据主次不同,在某些条件下可以被理想化,即将  $R, L, C$  三种效应分开,假定电磁交换过程集中在元件内部进行,没有能量的辐射,使实际器件等效为理想元件  $R, L, C$  或及其组合。

### 1.1.3 电路模型

实际的电器元件和设备的种类是很多的,如各种电源、电阻、晶体管、固体组件等等,它们中发生的物理过程是很复杂的。因此,为了研究分析电路的特性和功能,就要突出电路中器件的主要特性,忽略其次要性质,必须进行科学的抽象,用一些模型来代替实际电器元件和设备的外部功能,这种模型即称为电路模型。

图 1.1.1(a) 所示为一个实际的简单电路。它由干电池,连接导线,小灯泡 3 部分组成。电池产生电能,连接导线传输电能,小灯泡消耗电能。它的模型如图 1.1.1(b) 所示。其中,电阻  $R_L$  代表负载(小灯泡),干电池则用电压源  $U_s$  和电阻  $R_s$  的串联组合表示,电阻  $R_l$  代表连接导线的总电阻。

将电阻模型画在平面上所形成的图称为电路图。图 1.1.1(b) 即为图 1.1.1(a) 电路的电路图。电路图只反映各理想电路元件在电路中的作用及其相互连接方式,并不反映实际设备的内部结构,几何形状及相互位置。

### 1.1.4 集总假设

集总(中)假设是电路理论中的一个重要假设,集总假设是有条件的。当电路元件的尺寸远小于电路周围电磁波的波长时,则这个器件或部件称为集总参数器件和部件。用来模拟集总参数器件和部件的理想元件称为集总参数元件(Lumped Parameter Element),由集总参数元件互连而成的电路定义为集总参数电路。凡是电路的尺寸不满足上述集总化假设条件的,就称为分布参数电路。本书只讨论集总参数电路,集总参数电路是电路基本定律(基尔霍夫电流定律和电压定律)的应用前提。例如,我国电力用电的频率为 50 Hz,对应的波长为 6 000 km,而对实验室设备以此为工作频率来论,其尺寸远小于这一波长。因而用集总的概论是完全可以的,但对远距离输电线来说,就必须考虑到电场、磁场沿电路分布的现象,不能用集总参数而要用分布参数表征。

## 1.2 电路分析的基本物理量

电路的电性能通常可以用一组表示时间函数的变量来描述,电路分析的任务在于给定电

源(激励)解得这些变量(响应)。从根本上说,电荷与能量是描述电现象的基本变量或原始变量,为便于描述电路,从电荷和能量角度引入电路的3个基本变量:电流、电压和功率。

### 1.2.1 电流

电子和质子都是带电的粒子,电子带负电荷,质子带正电荷,所带电荷的多少叫电量,在国际单位制(SI)中,电量的单位是库仑(国际代号C), $6.24 \times 10^{18}$ 个电子所具有的电量等于1库仑。我们用符号 $q$ 表示电量,1库=1安·秒。

电荷有规则的定向运动,形成传导电流。金属导体中的大量自由电子,在外电场的作用下逆电场运动而形成电流,电解液中带电离子做规则定向运动也形成电流。计算电流大小的物理量是电流强度。

(1) 电流强度的定义:单位时间内通过导体横截面的电荷量。用 $i(t)$ 可表示为

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

在SI中,电流的单位是安培(中文代号为安,国际代号为A),即A(安培)。也用kA, mA,  $\mu$ A。

$$1 \text{ kA} = 1\,000 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 1\,000 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 1\,000 \mu\text{A}$$

(2) 电流的实际方向:习惯上把正电荷的运动方向定为电流的实际方向,又称真实方向。如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流(Direct Current, DC),可用符号 $I$ 表示,否则称为时变电流。如果时变电流的大小和方向都随时间进行周期性变化,则称为交变电流,简称交流(Alternating Current, AC)。

(3) 电流的参考方向:在实际问题中,电流的真实方向在电路图中难以判断。如图1.2.1所示,电阻 $R$ 的电流实际方向不是一看便知的,但它的实际方向无非是从 $a$ 流向 $b$ 或从 $b$ 流向 $a$ 。因此,可以像其他代数量问题一样任意假设正电荷的运动方向,即参考方向(Reference Direction),用箭头标在电路图上,或用双下标表示,如 $i_{ab}$ 表示电流从 $a$ 点流向 $b$ 点,并以此为准分析计算。如果参

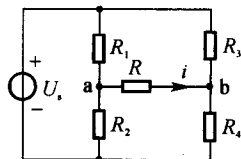


图 1.2.1 电流方向的判断

考方向和实际方向一致,则电流为正值;如果两者方向相反,则记电流为负值。经计算后根据电流的正、负可判断其实际方向。如果计算所得电流为正值,说明实际方向与所设参考方向一致;如果计算所得电流为负值,说明实际方向与所设参考方向相反。

注意:电流值的正、负,只在设定参考方向的前提下才有意义。因此,如果选用电流变量时一定要标出其参考方向。正因为从参考方向可以判定其实际方向,故本书在电路图中所标出的电流方向都可以认为是参考方向。

**【例 1.1】** 接于某一电路的 $ab$ 支路如图1.2.2所示,在图示参考方向下,若 $i(t) = 4\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$  A,试问:

(1)  $i(0), i(0.5)$  的实际方向?

(2) 若电流参考方向与图1.2.2中标示相反,则 $i(0), i(0.5)$ 的实际方向有无变化?

【解】 (1)  $i(0) = 4\cos\frac{\pi}{4} = 2\sqrt{2} \text{ A} > 0$ , 故该电流实际方向和图示参考方向一致, 是  $a \rightarrow b$ ;

$i(0.5) = 4\cos\left(\pi + \frac{\pi}{4}\right) = -2\sqrt{2} \text{ A} < 0$ , 故该电流实际方向和参考方向相反, 是  $b \rightarrow a$ 。

(2) 电流的参考方向可以任意假设, 但实际方向由该支路与外电路确定, 故实际方向不会因参考方向的选择而改变。事实上, 在该题条件下  $i'(t) = -4\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ A}$ , 故实际方向和(1)完全一致。

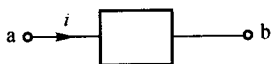


图 1.2.2 例 1.1 图

### 1.2.2 电压

电荷在电路中流动, 就必然发生能量的交换。电荷可能在电路的某处获得能量而在另一处失去能量。因此, 电路中存在着能量的流动, 电源一般提供能量, 有能量流出; 电阻等元件吸收能量, 有能量流入。为便于研究问题, 计算电场力做功的能力, 引用“电压”这一物理量。

(1) 电压的定义: 单位正电荷由  $a$  点移到  $b$  点时电场力所做的功称为  $ab$  两点间的电压, 又称电位差(或电势差)。用  $u(t)$  可表示为

$$u(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

式中, 电荷的单位是库[仑](C), 功的单位是焦[耳](J), 电压的单位是伏[特](V), 也用 kV, mV,  $\mu\text{V}$ 。

$$1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 1\,000 \text{ mV}$$

$$1 \text{ mV} = 1\,000 \mu\text{V}$$

(2) 电压的实际方向: 习惯上把电位降落的方向称为电压的实际方向, 又称实际极性。如果电压的大小和方向不随时间变化, 则这种电压称为恒定电压, 否则称为时变电压。

(3) 电压的参考方向: 同需要为电流选定参考方向一样, 也需要为电压选定参考方向。通常在电路图上用“+”表示参考方向的高电位端, “-”表示参考方向的低电位端, 如图 1.2.3 所示。或用双下标表示电压的参考方向, 如  $u_{ab}$  表示电压参考方向从  $a$  点指向  $b$  点。电压实际方向的判定与电流的类似。

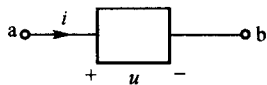


图 1.2.3 电压参考方向

(4) 电位的概念及计算: 在电路中, 某点的电位是将单位正电荷沿一路径移至参考点(选定电路中的参考点, 用符号“—”表示), 电场力做的功。将参考点的电位定为零, 则所求点的电位就是该点到参考点的电压。所以计算电位的方法与计算电压的方法完全相同。

在电路分析中引入了电位, 可以简化分析, 方便计算。如图 1.2.4(a) 所示电路, 为求各电阻元件的电压, 当选  $d$  为参考点时, 只需以  $b$  点电位为变量, 列出有关电路方程求得该电位, 各电阻电压即为电阻两端电位之差。

对如图 1.2.4(a) 所示电路, 还可将其改画成用电位的极性代替电压源的形式, 如图 1.2.4(b) 所示。在电子电路课程中, 把这种画法称为“习惯画法”。

显然, 没有参考点, 谈论电位数值的大小是没有意义的。

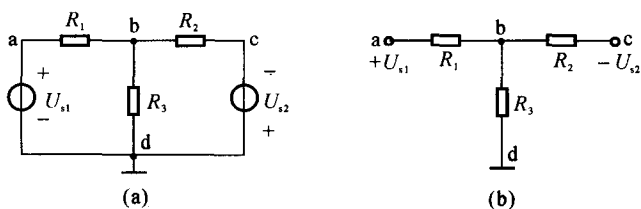


图 1.2.4 “习惯画法”

(5) 关联的电压与电流参考方向:在电路分析中,电流与电压的参考方向是任意选定的,两者之间独立无关。但为了方便起见,常采用关联参考方向:电流参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向一致,即电流与电压参考方向一致,如图 1.2.3 所示,图中电流  $i$  和电压  $u$  是关联的,否则称非关联。

### 1.2.3 功率

由于电路中存在着能量的传输,为了讨论能量传输的快慢,特引入“功率”变量。

(1) 功率的定义:单位时间内电场力所做的功或电路所吸收的能量。用  $p$  表示,即有

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1.2.3)$$

式中,功的单位是焦[耳](J),时间的单位是秒(s),功率的单位是瓦[特](W),也用 kW, mW。

$$1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 1\,000 \text{ mW}$$

(2) 功率的计算:对于某一元件或局部电路,如图 1.2.3 所示,采用关联的电压、电流参考方向,则该元件或局部电路吸收的功率为

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = \frac{u dq}{dt} = ui \quad (1.2.4)$$

结论:在电压  $u$ 、电流  $i$  参考方向关联的条件下,一段电路所吸收的功率为该段电路两端电压与电流的乘积。显然,若  $u, i$  参考方向非关联,则计算吸收功率的公式中应冠以负号,即

$$p(t) = -ui$$

据此,代入  $u, i$  数值,若计算的  $p$  为正值,该段电路实际就是吸收功率(或消耗功率);若  $p$  为负值,该段电路实际向外提供功率(或产生功率)。

(3) 能量的计算:在电压、电流参考方向关联时,从  $t_0$  到  $t$  时刻内该部分电路吸收的能量为

$$w(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \quad (1.2.5)$$

**【例 1.2】** 图 1.2.5(a) 所示电路中,已知  $I_1 = 3 \text{ A}$ ,  $I_2 = -2 \text{ A}$ ,  $I_3 = 1 \text{ A}$ , 电位  $V_a = 8 \text{ V}$ ,  $V_b = 6 \text{ V}$ ,  $V_c = -3 \text{ V}$ ,  $V_d = 8 \text{ V}$ 。

- (1) 欲验证电流数值是否正确,直流电流表应如何接入电路?并标明电流表的极性。
- (2) 求电压  $U_{ac}$ ,  $U_{db}$ , 要测量这两个电压,应如何连接电压表?并标明电压表的极性。
- (3) 求元件 1, 3, 5 上的吸收功率。

**【解】** (1) 根据各支路电流的正负值,电流表应按图 1.2.5(b) 所示接入各支路。

(2)  $U_{ac} = V_a - V_c = 8 + 3 = 11 \text{ V}$ ,  $U_{db} = V_d - V_b = 8 - 6 = 2 \text{ V}$ 。电压表的接法如

图 1.2.5(b) 所示。

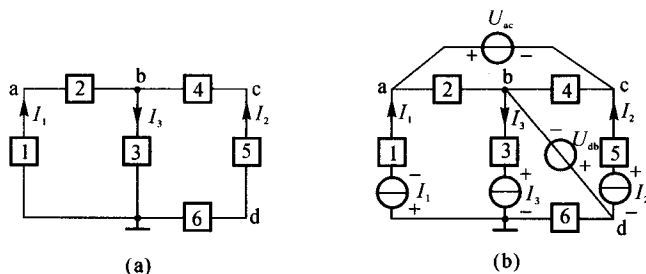


图 1.2.5 例 1.2 图

(3) 设元件 1, 3, 5 上吸收的功率分别为  $P_1, P_3, P_5$ , 则

$$P_1 = -V_a I_1 = -8 \times 3 = -24 \text{ W}$$

$$P_3 = V_b I_3 = 6 \times 1 = 6 \text{ W}$$

$$P_5 = U_{dc} I_2 = (V_d - V_c) I_2 = (8 + 3) \times (-2) = -22 \text{ W}$$

## 1.3 基尔霍夫定律

### 1.3.1 名词介绍

以图 1.3.1 所示的电路为例来介绍几个相关名词。

(1) 支路: 按狭义定义, 把通过同一电流的电流路径称为支路。如图 1.3.1 所示, 该电路共有 3 条支路: 支路 b1a 和 b2a 中既有电阻又有电源, 称为有源支路; 支路 a3b 只有电阻而无电源, 称为无源支路。

(2) 节点: 按狭义定义, 3 条和 3 条以上支路的连接点称为节点, 如图 1.3.1 所示电路有两个节点 a 和 b。

(3) 回路: 由支路构成的闭合路径称为回路, 如图 1.3.1 所示, 共有 3 个回路, 即 a2b1a 回路, a3b2a 回路, a3b1a 回路。

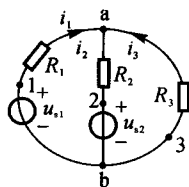


图 1.3.1

### 1.3.2 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law), 简称为 KCL。它是描述电路中各支路电流之间相互关系的定律。对于任一集总电路中的任一节点, 在任一时刻  $t$ , 流入(或流出)该节点所有支路的电流的代数和为零。此结论称为基尔霍夫电流定律, 其数学表示式为

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0 \quad (1.3.1)$$

式中,  $i_k(t)$  为流入(或流出)节点的第  $k$  条支路的电流,  $n$  为节点处的支路数。

例如, 对于图 1.3.1 所示电路, 设定各支路电流的大小和参考方向如图 1.3.1 所示, 则对该点有

$$i_1(t) + i_2(t) = i_3(t) \quad (1.3.2)$$

将式(1.3.2)改写为