

/ 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

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、何曰光执笔,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 |
| 第 2 编 模拟电路 | | |
| 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 |
| 第 9 章 运放的非线性应用 | 181 |
| 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 |
| 第 10 章 直流稳压电源 | 192 |
| 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 |
| 第 3 编 数字电路 | |
| 第 11 章 逻辑代数基础 | 205 |
| 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 |
| 第 12 章 集成逻辑门 | 230 |
| 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 |
| 第 13 章 组合逻辑电路 | 251 |
| 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 |
| 第 14 章 | 触发器 | 276 |
| 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 |
| 第 15 章 | 时序电路的分析与设计 | 287 |
| 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 |
| 第 16 章 | 常用集成时序逻辑器件及应用 | 302 |
| 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 |
| 第 17 章 | 存储器和可编程逻辑器件 | 316 |
| 17.1 | 半导体存储器 | 316 |
| 17.2 | 可编程逻辑器件 | 318 |
| | 习题 17 | 321 |
| 第 18 章 | 数/模转换和模/数转换 | 322 |
| 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 |
| 第 19 章 | VHDL 语言基本介绍 | 333 |
| 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 |
| | 参考文献 | 360 |

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。

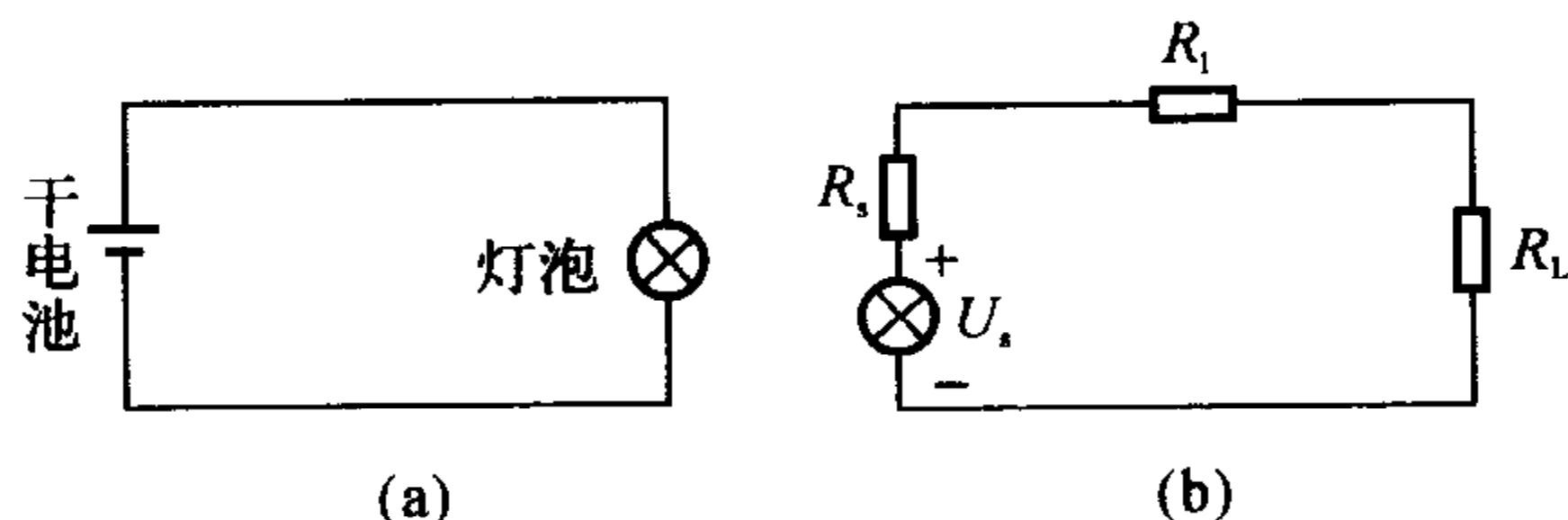


图 1.1.1 简单实际电路及其电路模型
(a) 实际电路; (b) 电路模型

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 , ……),但根据主次的不同,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), 6.24×10^{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, μ 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

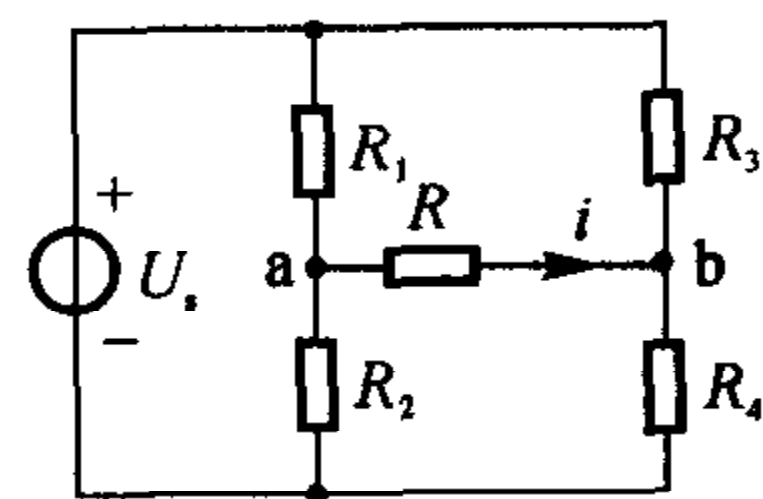


图 1.2.1 电流方向的判断

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, μV 。

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 1000 \text{ mV}$$

$$1 \text{ mV} = 1000 \mu\text{V}$$

(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。

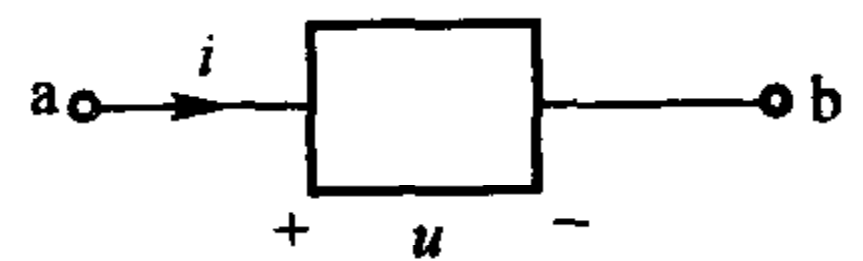


图 1.2.3 电压参考方向

(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“ \perp ”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。

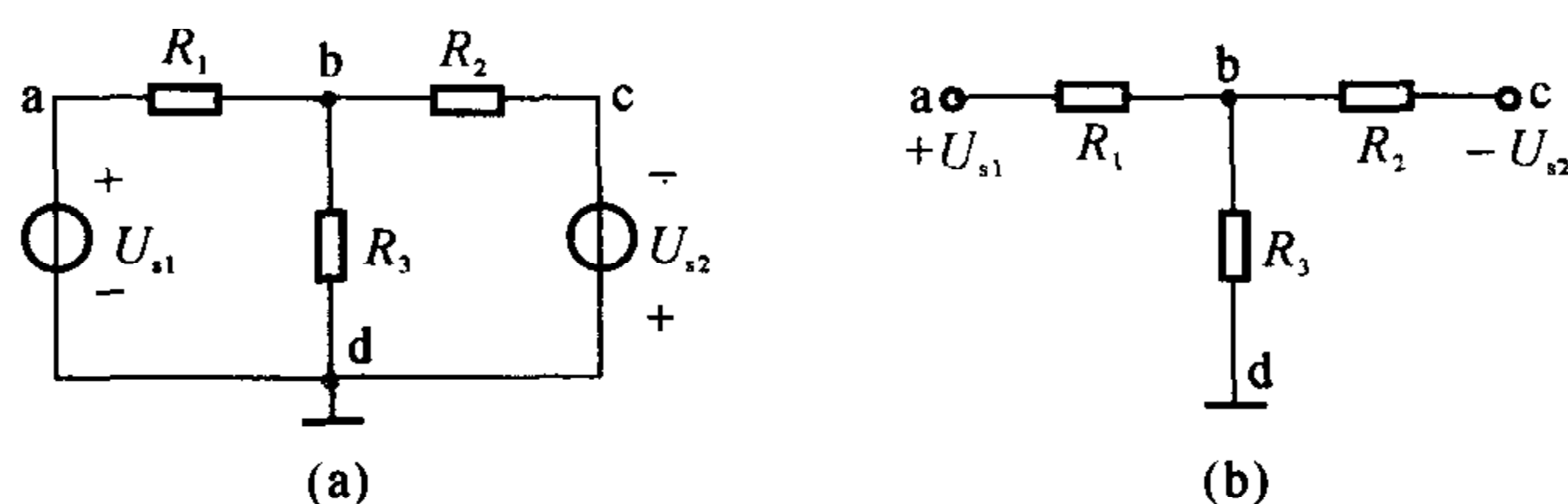


图 1.2.4 “习惯画法”

(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。

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 1000 \text{ mW}$$

(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

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

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。

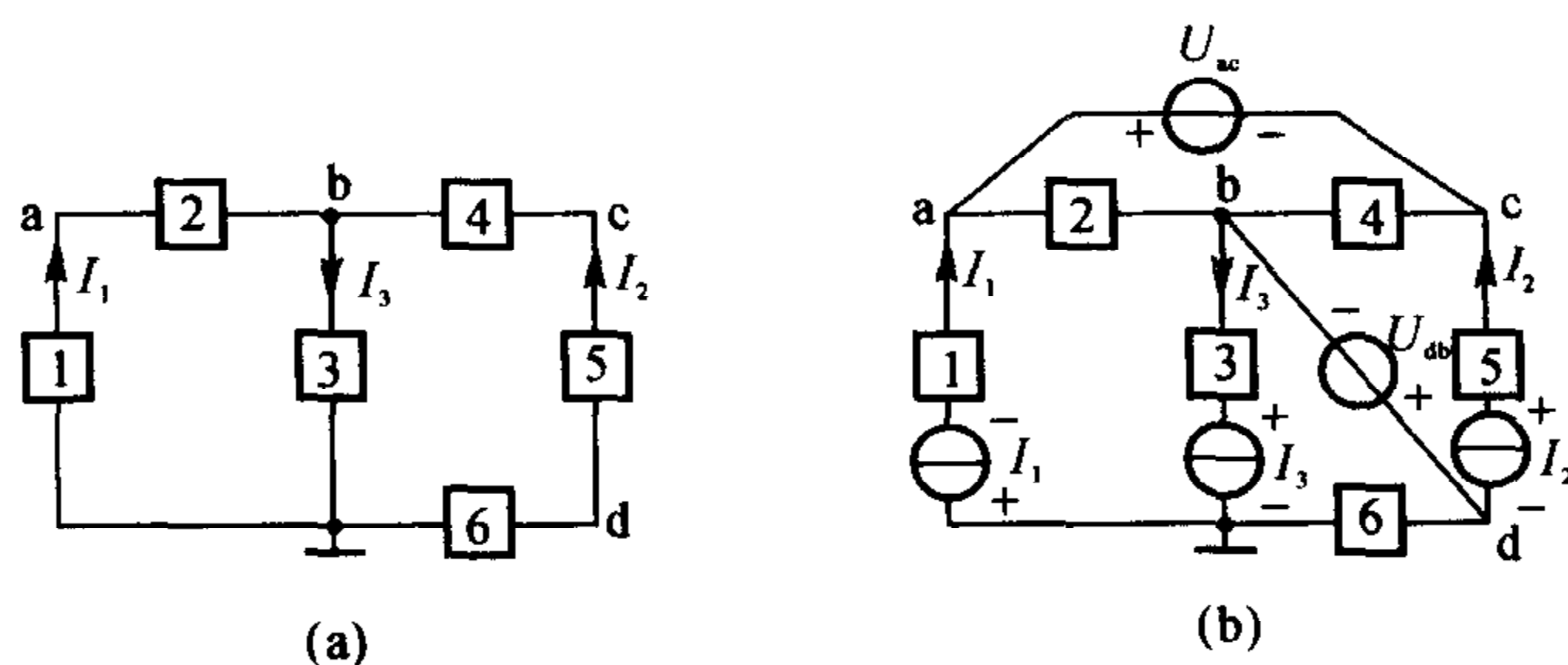


图 1.2.5 例 1.2 图

(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。

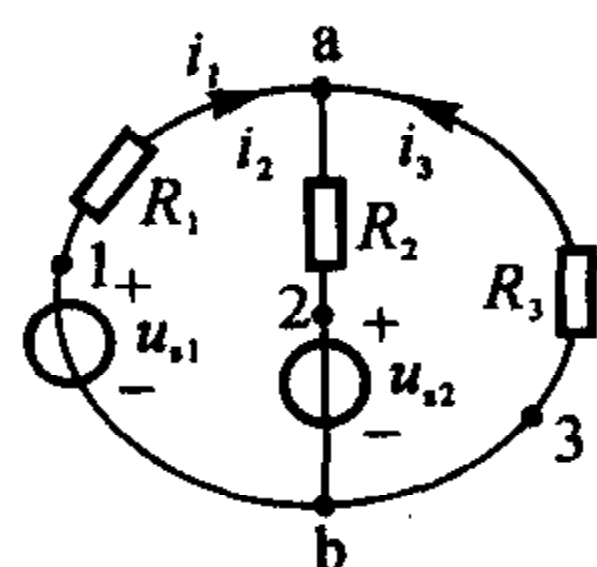


图 1.3.1

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

$$-i_1(t) - i_2(t) + i_3(t) = 0 \quad (1.3.3)$$

式(1.3.3)的物理意义是,流出节点a的电流的代数和等于零。这里流出的电流规定取正号,则流入的电流即取负号。式(1.3.2)再改写为

$$i_1(t) + i_2(t) - i_3(t) = 0 \quad (1.3.4)$$

式(1.3.4)的物理意义是,流入节点a的电流的代数和等于零。这里流入的电流规定取正号,则流出的电流取负号。

式(1.3.3)、式(1.3.4)两式是KCL的另一种叙述法。它们在本质上是一样的,区别只在列写方程时是把流出节点的电流规定为正,还是把流入节点的电流规定为正。

式(1.3.3)、式(1.3.4)两式写成一般形式为 $\sum i_k(t) = 0$,即集中在任一节点上的各支路电流的代数和恒为零。

注意:在写方程时,如把流出节点的电流视为正,则流入节点的电流即需取为负;反之亦然。

推广:KCL原是运用于节点的,但把它加以推广,也可使用于包围几个节点的闭合面。如图1.3.2所示电路中,闭合面S内有3个节点1,2,3。当设定各支路电流的大小和参考方向如图中所示时,则对此3个节点即可列出KCL方程

$$i_1 = i_{12} - i_{31}$$

$$i_2 = i_{23} - i_{12}$$

$$i_3 = i_{31} - i_{23}$$

把以上三式相加得

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad \text{或} \quad \sum_{k=1}^3 i_k(t) = 0$$

即流入(或流出)一个闭合面的支路电流的代数和恒等于零。此即广义的KCL。

注意:在写方程时,如把流出闭合面的电流视为正,则流入闭合面的电流即需取为负;反之亦然。

1.3.3 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law),简称为KVL。它是描述回路中各支路电压之间相互关系的定律。对于任一集总电路中的任一回路,在任一时刻 t ,沿着该回路的所有支路电压降的代数和恒等于零。其数学表达式为

$$\sum_{k=1}^n u_k(t) = 0 \quad (1.3.5)$$

式中, $u_k(t)$ 为回路中第 k 条支路电压, n 为回路中的支路数。

此结论称为基尔霍夫电压定律(KVL)。在写此方程时,应首先为回路设定一个绕行方向,凡电压的参考极性从“+”到“-”与回路绕行方向一致者,则该电压前取“+”号,否则取“-”号。

例如,对于图1.3.3所示电路,设定各元件电压的参考极性和回路的绕行方向如图中所示,则有

$$u_1 + u_2 + u_3 + u_{s3} - u_{s4} - u_4 = 0 \quad (1.3.6)$$

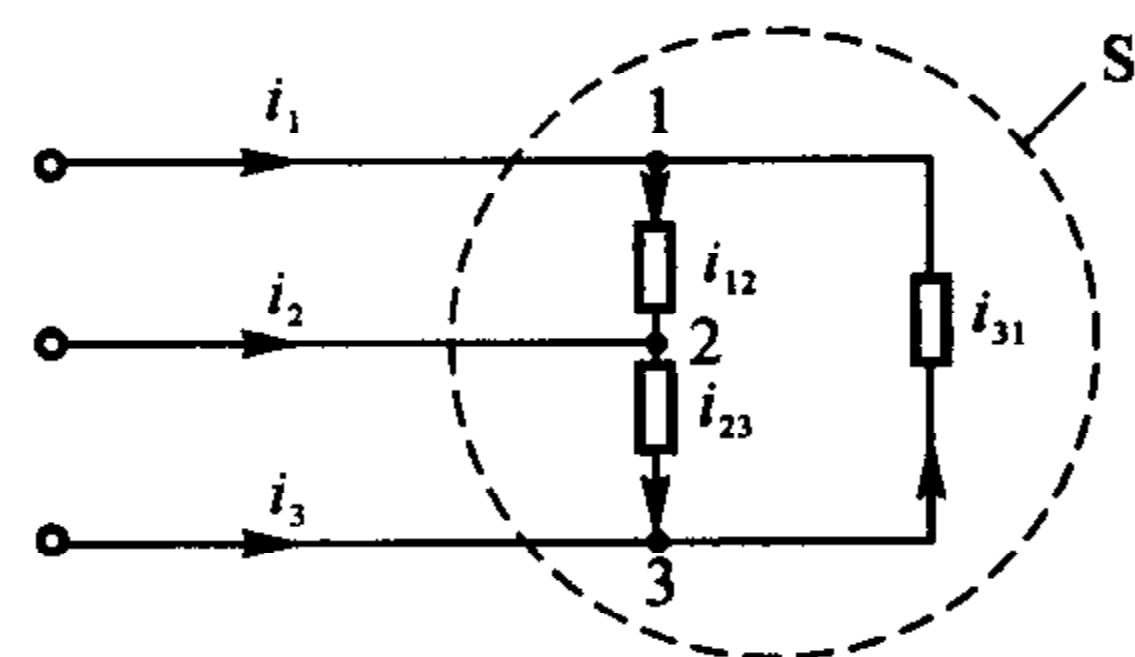


图 1.3.2 KCL 推广于闭合面