



高职高专“十一五”规划教材

电路基础

D I A N L U J I C H U

● 沈 翊 主编

● 李志全 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电 路 基 础

沈 翊 主 编
赵素英 马智浩 副主编
李志全 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高职高专电子专业的教材,内容包括电路基本概念和定律、直流电阻电路的分析、正弦交流电路的稳态分析、谐振电路、互感耦合电路、二端口网络、非正弦周期电流电路、线性电路过渡过程的时域分析和复频域分析。书末附有附录,每章前有本章内容介绍,每章后有本章小结与习题,书后还附有部分习题及思考题答案。

本书以应用知识为主,理论联系实际,通俗易懂,以适应高职高专学生的需求。

本书可作为高职高专院校、成人高校等电子技术、电子信息、计算机类专业的技术基础课程的教材,也可作为非电类专业的公共基础课程教材,还可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/沈翊主编. —北京:化学工业出版社, 2007.9

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-01163-3

I. 电… II. 沈… III. 电路理论-高等学校:技术学院-教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 142131 号

责任编辑:张双进

文字编辑:冯国庆

责任校对:王素芹

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数386千字

2007年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书根据“高职高专学生的培养目标，强化实践能力和创新意识的培养反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段，造就技术实用型人才为立足点”的编写原则，力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。本教材在编写过程中注重保持知识系统性的基础上，尽量压缩、简化理论上的推导过程，增加一些实用性较强、与生产实践相近的实例，以适应高职高专学生的学习需求，为学习后续课程打下基础，并为培养学生对小产品、小制作和创新的实践能力打下基础。全书共九章，作者根据多年来的教学实践经验，将各部分内容做如下安排：电路基本概念和定律；直流电阻电路的分析；正弦交流电路的稳态分析；谐振电路；互感耦合电路；二端口网络；非正弦周期电流电路；线性电路过渡过程的时域分析；线性电路过渡的复频域分析；附录。每章前有本章内容介绍，每章后有本章小结与习题，书后还附有部分习题参考答案。

本书由沈翊主编，副主编有赵素英、马智浩。参加编写的人员有马丽、韩志伟。全书由李志全主审。参编人员及分工如下：沈翊（编写第1、3章并统稿）；马丽（编写第2章、部分习题参考答案）；赵素英（编写第4、5章）；马智浩（编写第6、7、9章、附录）；韩志伟（编写第8章）。

尽管我们对本书尽心尽力，力求完善，但因编者水平所限，不妥之处恳请读者批评指正。

编者

2007年8月

目 录

第一章 电路基本概念和定律	1
第一节 电路和电路模型	1
第二节 电路的基本物理量	2
第三节 电阻元件和欧姆定律	6
第四节 电压源与电流源	8
第五节 基尔霍夫定律	9
第六节 电路中各点电位的分析	11
本章小结	15
习题一	16
第二章 直流电阻电路的分析	19
第一节 电阻的串联、并联及混联	19
第二节 电阻的星形、三角形连接及其等效变换	22
第三节 两种电源模型及等效变换	24
第四节 支路电流法	28
第五节 网孔电流法	29
第六节 节点电位法	31
第七节 叠加定理	34
第八节 戴维南定理与诺顿定理	38
第九节 负载获得最大功率的条件	40
第十节 受控源	42
本章小结	44
习题二	45
第三章 正弦交流电路的稳态分析	52
第一节 正弦交流电路的基本概念	52
第二节 正弦量的相量表示方法	56
第三节 电容元件和电感元件	58
第四节 单一元件伏安关系的相量形式	64
第五节 基尔霍夫定律的相量形式及简单正弦电路的分析	69
第六节 复阻抗、复导纳及其等效变换	71
第七节 正弦电路的功率及功率因数	79
第八节 最大功率传输条件	84
第九节 三相电源	86
第十节 三相电路的分析与计算	89
本章小结	96

习题三	98
第四章 谐振电路	104
第一节 串联谐振	104
第二节 并联谐振	110
第三节 谐振的应用	114
本章小结	116
习题四	117
第五章 互感耦合电路	119
第一节 互感与同名端	119
第二节 互感线圈的连接	124
第三节 变压器	128
本章小结	133
习题五	134
第六章 二端口网络	136
第一节 概述	136
第二节 二端口网络的基本方程和参数	138
第三节 网络函数	145
第四节 网络的连接	148
第五节 二端口网络的特性阻抗与传输常数	152
第六节 常用无源二端口网络	155
本章小结	158
习题六	160
第七章 非正弦周期电流电路	162
第一节 非正弦周期信号	162
第二节 非正弦周期信号的频谱	164
第三节 非正弦周期量的有效值和平均值	165
第四节 线性非正弦周期电流电路的计算	167
本章小结	170
习题七	170
第八章 线性电路过渡过程的时域分析	172
第一节 过渡过程的基本概念	172
第二节 换路定律和初始值计算	173
第三节 一阶电路的零输入响应	175
第四节 一阶电路的零状态响应	179
第五节 一阶电路的全响应	183
第六节 阶跃函数和一阶电路的阶跃响应	189
第七节 二阶电路的零输入响应	191
本章小结	196
习题八	197
第九章 线性电路过渡过程的复频与分析	202
第一节 拉普拉斯变换及基本性质	202

第二节 部分分式法进行拉普拉斯反变换	204
第三节 线性电路的复频域解法	207
本章小结	213
习题九	213
附录	217
附录 A 线性联立方程组的求解	217
附录 B 复数	227
附录 C 三角恒等式简表	231
附录 D 证明 $m=b-(n-1)$ 个网孔	232
附录 E 部分习题参考答案	232
参考文献	241

第一章 电路基本概念和定律

本章介绍

基本概念：电路、电路模型、电路图。

基本物理量：电流、电压、电位、电功率。

基本元件：电阻、电压源、电流源。

基本定律：欧姆定律、基尔霍夫定律。

第一节 电路和电路模型

一、电路

人们在日常生活、生产、科研中广泛地使用着种类繁多的电路。例如，为了采光而使用的照明电路；收音机和电视机中将微弱信号进行放大的电路；从各种不同信号中选取所需信号的输入调谐电路；交通运输中使用的各种信号控制电路；传输电能的超高压输电线路；自动化生产线上有各种专门用途的电路等。总之，人们的日常生活和国民经济的发展离不开各种电路。

电路是由电器设备和元器件按一定方式连接起来，为电流流通提供了路径的总体，也叫网络。电路中供给电能的设备和器件称为电源，电路中使用电能的设备或元器件称为负载，手电筒电路（见图1-1）就是一个简单的实用电路。这个电路是由一个电源（干电池）、一个负载（小灯泡）、一个开关和连接导体（手电筒金属壳或金属条）组成。

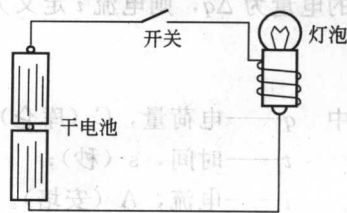


图 1-1 手电筒电路

二、电路模型

实际电路中元件虽然种类繁多，但在电磁现象方面却有共同之处。有的元件主要消耗电能，如各种电阻器、电灯、电烙铁、电炉等；有的元件主要储存磁场能量，如各种电感线圈；有的元件主要储存电场能量，如各种类型的电容器；有的元件和设备主要供给电能，如电池和发电机。为了便于对电路进行分析和计算，常把实际的元件加以近似化、理想化，在一定的条件下忽略其次要性质，用足以表征其主要特征的“模型”来表示，即用理想元件来

表示。例如，用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的特征，因为当电流通过电阻器时，在它内部进行着把电能转换成热能等不可逆过程。这样，在电源频率不十分高的电路中所有的电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件，都可以用“电阻元件”这个模型来近似地表示。同样，在一定条件下，线圈可以用“电感元件”来近

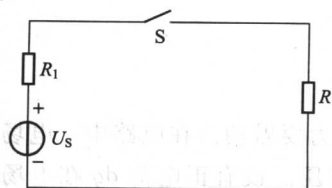


图 1-2 图 1-1 的电路模型

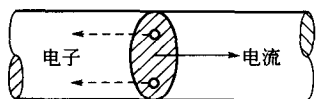
似地表示；电容器可以用“电容元件”来近似地表示。

这种由理想元件构成的电路，就称为实际电路的“电路模型”。图 1-2 就是图 1-1 的电路模型。

第二节 电路的基本物理量

一、电流

电荷做有规则的定向运动形成电流。在金属导线中，电流是由带负电的电子的定向运动所形成，而在电解液和气态导体中，电流则是由正、负离子



以及电子的定向运动所形成。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。实践表明，正电荷沿某一方向运动和等量的负电荷朝反方向运动所产生的电效应是一样的，因此，如果电流是由电子的定向运动形成，那么，该电流的实际方向可以认为是电子运动的反方向，如图 1-3 所示。

如果在同一段时间内流过导体横截面的电荷量不一样，则导体中电流的大小是不相同的，因此，引入了电流这一物理量来表征电流的大小。设在一段时间 Δt 内，通过导体横截面的电量为 Δq ，则电流 i 定义为

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中 q ——电荷量，C（库仑）；

t ——时间，s（秒）；

i ——电流，A（安培）。

在实际使用中，电流强度还会用到较小一些的单位：mA（毫安）和 μA （微安），它们之间的换算关系如下。

$$1A = 1000mA$$

$$1mA = 1000\mu A$$

大小和方向均不随时间改变的电流称为恒定电流，简称直流，常用字母 DC 来表示。显然，对于恒定电流，在任意相同时间间隔 Δt 内通过导体横截面的电荷量 Δq 都是相同的，式(1-1)可以简化为

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

注意：用大写字母 I 表示恒定电流，小写字母 i 表示变化电流。

大小和方向随时间变化的电流叫变动电流。在变动电流中有一种呈周期性变化且一个周期内平均值为零的电流称为交变电流，简称交流，常用字母 AC 来表示。正弦交流是一种常见的、典型的交变电流。本书第 3 章将详细讨论正弦交流电路。

二、电压

从物理课中已经知道，电荷在电场力的作用下移动，电场力要做功。在电路中，电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功称为 A、B 两点间的电压。设有正电荷 dq 在电场力的作用下，从 A 点移到 B 点，电场力做的功为 $d\omega$ ，则 A、B 两点间的电压为

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

式中, w 的单位是 J (焦耳); q 的单位是 C (库仑); u_{AB} 的单位是 V (伏特)。在实际使用中, 电压还会用到较大的单位 kV (千伏) 和较小的单位 mV (毫伏)、 μ V (微伏), 它们之间的换算关系如下。

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

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

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

电压的实际方向规定为正电荷在电场中受电场力作用而移动的方向。

如果电压的大小和方向均不随时间改变, 则称为直流电压。显然, 对于直流电压, 在任何时刻电场力将电荷 q 从 A 点移到 B 点所做的功都是相同的, 式(1-3)可以简化成

$$U_{AB} = \frac{w}{q} \quad (1-4)$$

与前面讨论电流时一样, 用大写字母 U 代表直流电压, 为了区别, 小写字母 u 代表变化的电压。

电压总是对电路中两点而言, 所以通常用带双下标的字母来表示, 且双下标字母的顺序与计算该电压时两点之间的顺序相对应。设正电荷 q 从 A 点运动到 B 点电场力做正功 dw , 那么, 该电荷从 B 点回到 A 点时将克服电场力而做功 dw_{BA} 或者说电场力将做负功 dw_{BA} 。根据物理学的知识可知, $dw_{AB} = -dw_{BA}$, 于是有

$$u_{BA} = \frac{dw_{AB}}{q} = \frac{-dw_{BA}}{q} = -u_{AB} \quad (1-5)$$

由此可知, 改变电压起点与终点的顺序, 电压的数值不变, 但要相差一个负号。

三、电位

在电子线路中, 经常会遇到需要测量或分析电路中各点与某个固定点之间电压的情况, 此时往往把该固定点称为参考点, 而把电路中各点与参考点之间的电压称为各点的电位。电位通常用字母 V 表示, 如 A 点的电位记作 V_A 。电位与电压的单位相同。

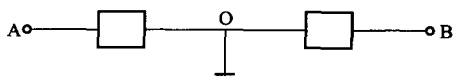


图 1-4

参考点在电路图中常用符号“ $\perp$ ”表示。当参考点选定以后, 电路中各点的电位便有一固定的数值。下面来研究电路中任意两点 A 和 B 的电位 (V_A 和 V_B) 与这两点的电压 (u_{AB}) 之间的关系。设在图 1-4 所示的一段电路中取 O 点为参考点, 于是有

$$V_A = u_{AO}, V_B = u_{BO}$$

A、B 两点的电位差为

$$V_A - V_B = u_{AO} - u_{BO} = u_{AO} + u_{OB}$$

这里 $u_{AB} + u_{OB}$ 就是电场力将单位正电荷从 A 点经过 O 点再移到 B 点所做的功, 也就是 A、B 两点之间的电压 u_{AB} , 即有

$$u_{AB} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

这就是说, 电路中两点之间的电压等于该两点之间的电位差。在电场力的作用下, 正电荷总是从高电位点移向低电位点, 因此在引入了电位概念之后, 也可以说, 电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。这种对电压方向的规定更加实用。

电路中各点的电位值与参考点的选择有关,当所选的参考点变动时,各点的电位值将随之变动,因此,在电路中不指定参考点而谈论各点的电位是没有意义的。另外,参考点本身的电位为零,即 $V_O=0$,所以参考点也叫零电位点。

四、电流与电压的参考方向

电流和电压是电路分析中通常要求解的物理量,常称为电路变量。前面对这些电路变量的方向做了明确的规定。在简单的电路里,电流和电压的实际方向往往可以明显地预见到,但对比较复杂的电路,却很难直观地判断出它们的实际方向,有时电流、电压的方向还在不断地改变,更是无法在电路中用一个固定的箭头来表示它们的真实方向。在这种情况下,可以先任意选取一个方向作为电流(或电压)的方向并标注在电路上,根据这个方向再结合有关的电路定律进行分析、计算。这个任意选取的方向称为参考方向。若据此而求得的电流(或电压)为正值,则其实际方向与设定的参考方向相同;若求得的电流(或电压)为负值,则其实际方向与设定的参考方向相反。

参考方向在电路中一般用实线箭头表示,也可以用双下标表示,如 i_{AB} 、 u_{AB} 等,其参考方向表示由 A 指向 B。除此以外,电压参考方向还可以用“参考极性”的标注方法来表示,即在电路或元件两端标以“+”“-”符号,“+”号表示假设为高电位端,“-”号表示假设为低电位端,由高电位端指向低电位端的方向就是假设的电压的参考方向,这是较常用的一种电压参考极性的表示方法,如图 1-5 所示。

电流参考方向和电压参考方向可以任意选定,为了方便起见,往往将一段电路或一个元件上的电流和电压的参考方向选成一致,电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,简称关联方向,电压和电流的关联参考方向如图 1-6 所示,本书中未特别说明,均采用关联参考方向。

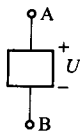


图 1-5 电压参考极性的表示方法(方框代表一个元件或一段电路)

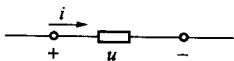


图 1-6 电压和电流的关联参考方向

参考方向是进行电路分析、计算的一个重要概念。在选取一定参考方向的前提下,电流、电压都是代数量,其实际方向由参考方向与该代数量的正、负来决定。不规定参考方向而去谈论一个电流或电压值是没有意义的。读者应注意养成习惯,每提及一个电流或电压,应同时指明其参考方向;每求解一个电流或电压,应预先设定其参考方向。

【例 1-1】 在如图 1-7 所示的电路中,已知 $U_1 = -100\text{V}$, $U_2 = 200\text{V}$,求 U_{AB} 和 U_{CD} 各为多少?

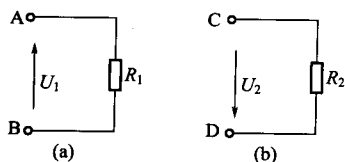


图 1-7 例 1-1 图

解 U_1 和 U_2 是以图中箭头的方向为其参考方向,现 U_{AB} 表示的参考方向与 U_1 的箭头方向相反 [图 1-7 (a)], U_{CD} 表示的参考方向与箭头方向一致 [图 1-7 (b)], 故有

$$U_{AB} = -U_1 = -(-100\text{V}) = 100\text{V}$$

$$U_{CD} = U_2 = 200\text{V}$$

五、电能与电功率

1. 电能

电流通过电路元件时, 电场力要做功。当有电流从元件的高电位端流入, 低电位端流出, 即有正电荷从元件的“+”端移到“-”端时, 电场力做正功, 电能转化为其他形式的能量。例如, 电流流过电阻元件时电能转化为热能, 或者电流流过被充电的电池时电能转换为化学能, 此时元件消耗电能, 见图 1-8(a)。相反, 当电流从元件的低电位端流入, 高电位端流出, 即有正电荷从元件的“-”端移到“+”端时, 电场力做负功, 元件将其他形式的能量转换为电能, 例如正在供电的电源, 此时元件向外提供电能, 如图 1-8(b) 所示。

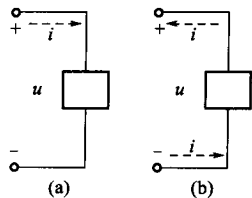


图 1-8 元件性质的确定

设在 dt 时间内, 有正电荷 dq 从元件的“+”端移到“-”端, 若元件两端的电压为 u , 则电场力移动电荷做的功为

$$dw = u dq = u i dt \quad (1-7)$$

即在 dt 时间内, 元件消耗了电能 dw 。如果正电荷 dq 是从元件的“-”端移到“+”端, 则电场力做负功, dw 表示元件提供电能。

在直流的情形下, 电压 U 和电流 I 都是常量, 根据式(1-7), 电场力做的功为

$$W = \int_0^t dw = \int_0^t u i dt = UI t \quad (1-8)$$

至于元件是消耗电能还是提供电能, 则要视电压与电流的实际方向而定, 在电压和电流关联参考方向时, 若算得 $W > 0$, 说明 U 、 I 实际方向与参考方向一致, 即有电流从元件的高电位端流入、低电位端流出, 说明元件消耗电能; 若算得 $W < 0$ 则说明 U 、 I 实际方向与参考方向相反, 即有电流从元件的低电位端流入、高电位端流出, 说明元件向外提供电能。

电功的单位是 J (焦耳), 工程上也常用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦时, 俗称“度”) 做单位, 它们的换算关系为

$$1 \text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

2. 电功率

为了表示元件消耗或提供电能的快慢, 引入了电功率这一物理量, 电能对时间的变化率叫电功率。电功率简称为功率, 用字母 p 表示, 即

$$p = \frac{dw}{dt} = u i \quad (1-9)$$

同样, 当 $p > 0$ 时, 说明元件消耗电能, 为吸收功率; 当 $p < 0$ 时, 则说明元件提供电能, 为输出功率, 如图 1-9 所示。

如果电流和电压为非关联参考方向时, 可将式(1-9) 改写成

$$p = -u i \quad (1-10)$$

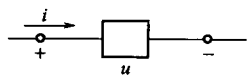


图 1-9 吸收功率与输出功率

这样, $p > 0$ 仍然表示元件消耗电能, 为吸收功率; $p < 0$ 表示元件向外提供电能, 为输出功率。

电功率的单位是 W (瓦), 在实际使用中还会用到 kW (千瓦) 和 mW (毫瓦), 它们之间的换算关系如下。

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

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

在直流的情况下, 式(1-9)可写成

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-11)$$

即功率在数值上等于单位时间内电路(或元件)所提供或消耗的电能。

【例 1-2】 试求图 1-10 中元件的功率。

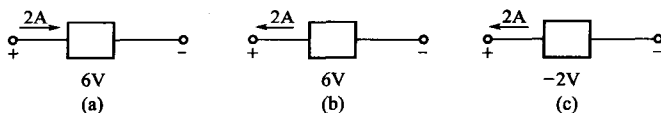


图 1-10 例 1-2 图

解 图 1-10(a) 为关联参考方向, $P = UI = 6V \times 2A = 12W$ ($P > 0$, 元件消耗电能);

图 1-10(b) 为非关联参考方向, $P = -UI = -6V \times 2A = -12W$ ($P < 0$, 元件提供电能);

图 1-10(c) 为非关联参考方向 $P = -UI = -(-2V) \times 2A = 4W$ ($P > 0$, 元件消耗电能)。

第三节 电阻元件和欧姆定律

一、电阻元件

电阻元件是电路的基本元件之一, 研究电阻元件的规律是电路分析的基础。

物体对电流的阻碍作用称为电阻, 电阻用符号 R 表示, 单位是 Ω (欧姆), 有时还会用到 $k\Omega$ (千欧) 和 $M\Omega$ (兆欧), 换算关系为

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

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

物体的电阻与其本身材料的性质、几何尺寸和所处的环境温度等有关。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-12)$$

式中 ρ ——材料的电阻率, $\Omega \cdot m$ (欧·米);

l ——电流流过的路径, m (米);

S ——电流流过的横截面积, m^2 (平方米)。

电阻的倒数称为电导, 用符号 G 表示。

$$G = 1/R \quad (1-13)$$

电导的单位是 S (西门子)。

利用电阻性质所制成的实体元件叫电阻器, 实际电阻器在电路中除了电阻性质外还会表现出其他的一些电磁现象。而电阻元件则是从实际电阻器抽象出来的理想化元件, 它忽略了一些次要性质。其符号如图 1-11 所示。白炽灯、电炉、电烙铁等以消耗电能而发热或发光

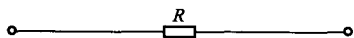


图 1-11 电阻元件的符号

为主要特征的一些电路元件在电路模型中都可以用电阻元件来表示。电阻元件也简称为电阻, “电阻”一词既可以指一种元件, 又可以指元件的一种性质。

二、欧姆定律

从电路分析的角度来看, 对一个元件感兴趣的并非是其内部结构, 而是其外部特性, 即该元件两端的电压与通过该元件的电流之间的关系, 这个关系称为电压电流关系 (Voltage-Current Relationship, 缩写为 VCR), 也叫伏安特性。

1827 年德国物理学家欧姆通过大量的实验, 总结出了电阻元件上电压、电流与电阻三者之间关系的规律, 即欧姆定律 (Ohm's law)。

当电阻元件上电压与电流取关联参考方向时, 如图 1-12(a) 所示, 欧姆定律为



图 1-12 欧姆定律用图

$$u = Ri \quad (1-14)$$

当电阻元件上电压与电流取非关联参考方向时, 如图 1-12(b) 所示, 欧姆定律则为

$$u = -Ri \quad (1-15)$$

在直角平面坐标系中, 以电流为横坐标, 电压为纵坐标, 可画出电阻元件的伏安特性曲线。如电阻 R 的数值不随其上的电压或电流变化, 是一常数, 则称电阻 R 为线性电阻, 其伏安特性为一条过原点的直线, 如图 1-13 所示。

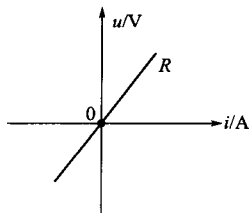


图 1-13 线性电阻的伏安特性

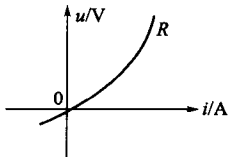


图 1-14 二极管的伏安特性曲线

实际中的电阻元件或多或少都表现出一定的非线性, 这样其伏安特性不再是一条直线, 而是一条曲线, 如图 1-14 所示是晶体二极管的伏安特性曲线。这种元件称非线性电阻元件, 非线性电阻元件的伏安特性不服从欧姆定律。本书后面所提到的电阻, 如无特殊说明, 均指线性电阻。

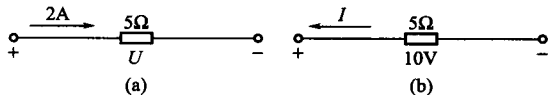


图 1-15 例 1-3 图

【例 1-3】 如图 1-15 所示, 求电阻元件上的功率、图 (a) 中 U 和图 (b) 中的 I 。

解 图 1-15(a) 中, 电压和电流的参考方向关联, 则 $U = 2 \times 5 \text{ V} = 10 \text{ V}$ 。

$$\begin{aligned} P &= UI \\ &= 10 \times 2 \text{ W} \\ &= 20 \text{ W} \end{aligned}$$

图 1-15(b) 中电压和电流的参考方向为非关联, 则 $I = -\frac{10}{5} \text{ A} = -2 \text{ A}$ 。

$$\begin{aligned}
 P &= -UI \\
 &= -10 \times (-2) \text{ W} \\
 &= 20 \text{ W} > 0
 \end{aligned}$$

从此例可看出，电阻元件上的功率始终是正值，这说明电阻元件是耗能元件。

第四节 电压源与电流源

将各种实际电源发出电能特性抽象为电压源元件和电流源元件。有的实际电源需要用电压源元件表示其特性，而有的实际电源需要用电流源元件表示其特性。

一、电压源元件

在生产和日常生活中，像发电机、蓄电池等电源设备，当其所带负载在额定范围内且变化不大时，输出的电压基本是稳定的。把在工作时提供的端电压基本稳定的实际电源，抽象为电压源元件。

电压源元件的定义：若二端元件输出的端电压保持确定的规律，而与流过的电流无关，则称该元件为电压源元件。可分为时变电压源和时不变电压源，时变电压源的伏安关系如图 1-16(a) 所示，它的端电压与流过的电流无关，但随时间变化，如图中的 t_1 、 t_2 、 t_3 时刻，端电压的大小和方向不同。时不变电压源的伏安关系如图 1-16(b) 所示，它的端电压的大小和方向与流过的电流无关，且是不随时间变化的常数，即直流电压源。电压源的符号如图 1-16(c) 所示， u_s 为电压源的电压，若直流电压源时用大写字母 U_s 表示，这是电压源的唯一参数。

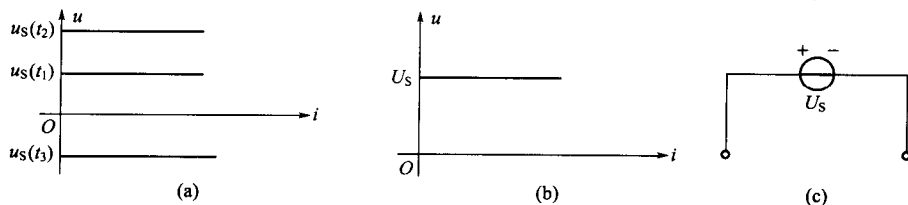


图 1-16 电压源的伏安特性及符号

二、电流源元件

有些实际电源在工作时提供的电流基本是稳定的，如光电池、电子技术中的恒流源等，把这些实际电源抽象为电流源元件。

电流源元件的定义：若二端元件输出的电流保持确定的规律，而与两端的电压无关，则称该元件为电流源元件。也可分为时变电流源和时不变电流源，时变电流源的伏安关系如图 1-17(a) 所示，输出电流与两端电压无关，但随着时间变化，如图中的 t_1 、 t_2 、 t_3 时刻，输出电流的大小和方向不同。时不变电流源的伏安关系如图 1-17(b) 所示，输出电流的大小和方向与两端电压无关，且是不随时间变化的常数，即直流电流源。电流源的符号如图 1-17(b) 所示， i_s 为电流源的电流，若直流电流源使用大写字母 I_s 表示，这是电流源的唯一参数。

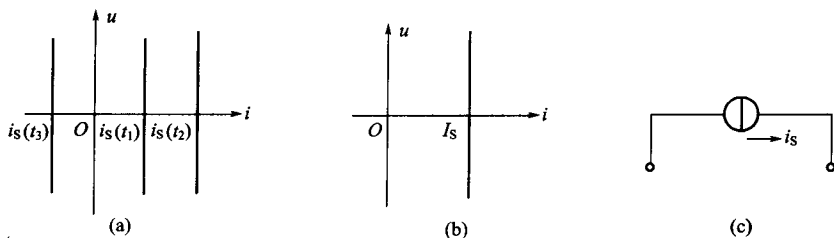


图 1-17 电流源的伏安特性及符号

第五节 基尔霍夫定律

每个电路元件都有自己的伏安关系，但在电流和电压两个物理量中，只有一个是自由的。只有将元件置于电路以后，元件的电压或者电流的具体数值才能被确定。也就是说，元件的电流和电压除了取决于自身的伏安关系之外，还取决于元件外围的电路结构。这就说明，电路中某元件电压和电流的值，需要根据内部的伏安关系和外部电路的制约去确定，即电路的求解需要依据内部和外部两类约束条件。将元件的伏安关系称为求解电路的内部约束条件，而本节介绍的基尔霍夫定律则是外部约束条件。两类约束条件恰如事物变化的内因和外因，共同决定着电路的求解。

基尔霍夫定律是电路分析的基本定律，分为电流定律和电压定律。讨论之前先介绍几个名词术语。

支路：一个二端元件或同一个电流流过的几个二端元件的连接称为支路，如图 1-18 中有三条支路，bad、bcd 和 bd。

节点：三条及三条以上支路的连接点称为节点。如图 1-18 中有两个节点，b 和 d。

回路：由若干条支路围成的闭合路径称为回路。

如图 1-18 中有三个回路，abcda，abda 和 bcdb。

网孔：内部不含有支路的回路称为网孔。如图 1-18 中有两个网孔，abda 和 bcdb。

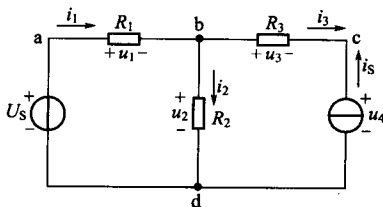


图 1-18 有关名词术语

一、基尔霍夫电流定律

定律内容：在任意时刻，流入电路任意一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。如规定参考方向为流入节点的电流为正、流出节点的电流为负（也可做相反规定），则该定律还可描述为：任一节点的电流代数和为零。定律的一般表达式为

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad (1-16)$$

据式(1-16)，对于图 1-18 中的节点 b 有

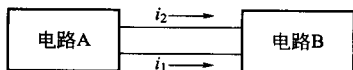


图 1-19 广义节点

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

也可以把基尔霍夫电流定律 (KCL) 使用的场合，由节点推广到一封闭的曲面，称为广义节点。例如图 1-19 中，当左右两个电路仅由下面一条连线相连时，电流

i_1 必然为零, 当有上下两条连线相连时, 必有

$$i_1 + i_2 = 0$$

基尔霍夫电流定律的本质是电荷守恒原理和电流连续性原理, 所以它的正确性是显然的。该定律的正确性与构成电路的元件性质无关, 也就是说各种类型的元件在电路里都必须服从该定律。

二、基尔霍夫电压定律

定律内容: 在任意时刻, 从电路任一回路的任一点出发, 沿着任意的方向绕行一周, 各元件电压升高之和等于电压降低之和。如规定沿着绕行方向电压降低为正, 电压升高为负 (也可做相反规定), 则该定律还可描述为: 任一回路的电压代数和为零。定律的一般表达式为

$$\sum_{k=1}^n u_k = 0 \quad (1-17)$$

据式(1-17), 对于图 1-18 中的回路 (也是网孔) $abda$ 中, 选顺时针的绕行方向, 从 a 点开始, 且电压降为正, 电压升为负, 有

$$u_1 + u_2 - u_S = 0$$

即

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 - u_S = 0$$

也可以把基尔霍夫电压定律 (KVL) 适用的场合, 有回路推广到一个开口电路, 称为假想回路。例如图 1-20 中, a 、 b 为开路的端口, 可认为有一个电压源 u_{ab} (但没有电流流过), 形成闭合回路, 选绕行方向为顺时针, 且沿绕行方向电压降为正, 列出 KVL 方程为

$$u_{S2} + u_{ab} - u_{S1} - Ri = 0$$

可求出 ab 端口的电压为

$$u_{ab} = u_{S1} + Ri - u_{S2}$$

基尔霍夫电压定律的本质是能量守恒原理, 所以它的正确性也是显然的。该定律的正确性与构成电路的元件性质无关, 也就是说各种类型的元件在电路里都必须服从该定律。

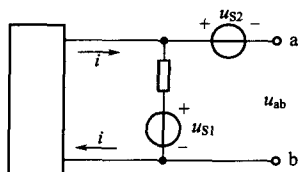


图 1-20 开口电路的电压

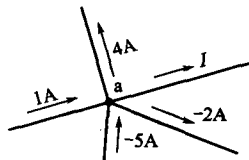


图 1-21 例 1-4 图

【例 1-4】通过某节点 a 的电流如图 1-21 所示, 求电流 I 。

解 设流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负, 据 KCL 有

$$1 + (-5) - I - 4 - (-2) = 0$$

$$I = -6 \text{ A}$$

若设流入节点的电流为负, 流出节点的电流为正, 据 KCL 有

$$-1 - (-5) + 4 + (-2) + I = 0$$

$$I = -6 \text{ A}$$

由此例可见, 流出为正还是流入为正可任意假设, 不影响计算结果, 但在一个 KCL 方