

中等专业学校教材

电路基础

王连起 编



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph.com](http://www.xduph.com)

中等专业学校教材

电路基础

王连起 编

西安电子科技大学出版社

2000

内 容 简 介

本书主要介绍电路基础的基本概念和分析方法。除覆盖大纲要求外,还介绍了含有受控源和运算放大器电路的分析方法和非线性电阻电路的分析方法,并在动态电路中介绍了阶跃响应的概念。

全书共分 11 章,主要内容有:电路的基本概念、电阻电路分析、电路定理、含有受控源和运算放大器的电路分析、正弦稳态电路、谐振与互感电路、三相交流电路、非正弦周期电流电路、线性动态电路、二端口网络和非线性电阻电路等内容。

本书系统完整,叙述精练,加强物理概念的阐述,力求深入浅出,以知识应用为重点。

此书可作为中专电子类专业电路基础课程的教材,也可作为技校、职高相近专业的教材或教学参考书,也可供相关专业技术人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/王连起编. —西安:西安电子科技大学出版社,2000.2

中等专业学校教材

ISBN 7-5606-0826-4

I. 电… II. 王… III. 电路理论-专业学校-教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 72323 号

责任编辑 马乐惠 杨宗周

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西画报社印刷厂

版 次 2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.25

字 数 309 千字

印 数 1~6 000 册

定 价 12.00 元

ISBN 7-5606-0826-4/TN·0141

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

前 言

本书是依据中等专业学校电子类专业“电路基础”课教学大纲的要求编写的，可供电子、通信、计算机、自动控制等专业使用。

书中内容除涵盖大纲的基本要求外，还适当增添了含有受控源和运算放大器的电阻电路、非线性电阻电路及阶跃函数和阶跃响应等内容。书中带※号的内容可根据实际情况选用。

本书在编写中考虑到中专教学的特点，在适当照顾学科体系的同时，以精练为原则，注意深度与广度的结合，注重知识的内在联系和相互之间的逻辑关系；避免繁琐的数学分析，加强物理概念的阐述，力求深入浅出、通俗易懂，便于阅读。

书中备有典型例题和较多的习题，以便读者掌握基本内容，培养分析问题和解决问题的能力。

本书承蒙广东电子技术学校梁永汉高级讲师的精心审阅，在此表示衷心的感谢。

书中第1、2、3、8章由魏玉敏编写，第4、5、6、7、9、10、11章由王连起编写。全书由王连起统稿。

限于编者水平，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1999年8月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电流和电压的参考方向	2
1.3 功率	4
1.4 电阻元件	5
1.5 电压源和电流源	7
1.6 基尔霍夫定律	8
1.7 电路中各点电位的计算	12
习题一	14
第 2 章 电阻电路分析	17
2.1 电阻的串联与分压	17
2.2 电阻的并联与分流	19
2.3 等效电阻的概念和计算	21
2.4 星形联接电阻与三角形联接电阻的等效变换	24
2.5 电压源与电流源的等效变换	26
2.6 支路电流法	28
2.7 网孔电流法	30
2.8 节点电压法	33
习题二	37
第 3 章 电路定理	42
3.1 叠加定理	42
3.2 戴维南定理	46
3.3 诺顿定理	49
3.4 最大功率传输定理	52
习题三	53
第 4 章 含有受控源和运算放大器的电阻电路	56
4.1 受控源	56
※4.2 运算放大器	57
4.3 含受控源的电阻电路分析	58
※4.4 含理想运算放大器的电阻电路分析	61
习题四	63
第 5 章 正弦稳态电路	66
5.1 正弦交流电的基本概念	66
5.2 正弦量的相量表示	70
5.3 电阻电路	74

5.4	电感元件	77
5.5	电感电路	78
5.6	电容元件	81
5.7	电容电路	83
5.8	基尔霍夫定律的相量形式	86
5.9	R 、 L 、 C 串联电路	88
5.10	R 、 L 、 C 并联电路	92
5.11	相量法分析正弦交流电路	95
5.12	正弦交流电路的相量图	100
	习题五	101
第 6 章	谐振与互感电路	107
6.1	串联谐振电路	107
6.2	串联谐振电路的频率特性与通频带	109
6.3	并联谐振电路	112
6.4	互感	115
6.5	含有互感的电路计算	117
6.6	空心变压器	122
6.7	理想变压器	124
	习题六	125
第 7 章	三相交流电路	130
7.1	对称三相电源	130
7.2	三相电路的结构	132
7.3	对称三相电路的计算	134
7.4	三相电路的功率	136
	习题七	138
第 8 章	非正弦周期电流电路	140
8.1	非正弦周期电流	140
8.2	非正弦周期信号的分解	141
8.3	非正弦量的有效值、平均值和功率	145
8.4	非正弦周期电流电路的计算	147
	习题八	151
第 9 章	线性动态电路	153
9.1	电路的动态过程及产生的原因	153
9.2	电路初始值与稳态值的计算	154
9.3	一阶电路的零输入响应	159
9.4	一阶电路的零状态响应	163
9.5	一阶电路的全响应	166
9.6	一阶电路的三要素法	168
9.7	一阶电路的阶跃响应	172
9.8	微分电路与积分电路	174
	习题九	176

第 10 章 二端口网络	182
10.1 二端口网络的概念	182
10.2 二端口网络的基本方程和参数	183
10.3 二端口网络的等效电路	189
10.4 二端口网络的输入阻抗、输出阻抗与特性阻抗	191
习题十	193
※第 11 章 非线性电阻电路	196
※11.1 非线性电阻元件	196
※11.2 非线性电阻电路的图解法	197
※11.3 小信号分析法	198
习题十一	200
参考文献	203

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路理论是当代工程科学的重要理论基础之一。作为一门独立学科，其内容十分丰富，发展极为迅速，它对国民经济和众多学科的发展有着重大的影响。同时我们在日常生活、生产和科研中也广泛地应用着各种电路。例如照明电路以及收音机和电视机中将微弱信号进行放大的放大电路，计算机中存储信息的记忆电路，交通运输中对各种信号的控制电路，自动化生产线上各种专门用途的电子电路等等。因此，对电子类各专业学生来说，学好“电路基础”这门课程有着非常重要的意义。

本章主要讨论电路的基本物理量、基本定律、电压以及电流的参考方向概念和电路中电位的计算等等。这些内容都是分析计算电路的基础，其中有些内容虽然在物理学中讲过，但是为了加强理论的系统性和满足电路基础的需要，仍列入本章范围之内，以便使读者对这些内容的理解能够进一步加深巩固，并能充分的应用和扩展。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

首先给电路下一个定义：“电路”是由电气器件构成，并具有一定功能的连接整体。电路中发出电能的器件称为“电源”，如发电机、干电池等。使用电能的器件称为“负载”，如电动机、电烙铁、电灯泡等。手电筒电路就是一个简单的实用电路，它由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和部分连接导体(手电筒金属壳或金属条)构成，如图 1-1。

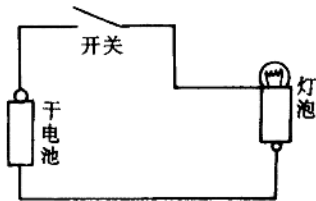


图 1-1 手电筒电路图

在电路分析中，通常把电源称为“激励”。它的作用是推动电路工作。由激励在电路中

产生的电压和电流称为“响应”。

1.1.2 电路模型

电路理论是在模型概念基础上建立起来的。如果要分析一个复杂的物理系统，首先就要用一个理想模型来描述这个系统。比如在物理学中，我们用“质点”和“刚体”分别作为小物体和有一定形状、质量但受力后几何尺寸不会改变的物质的理想化模型，从而简化了问题的分析，而又不失其主要特征。

在电路中，为了便于对电路进行分析计算，也有类似的研究方法。我们常把实际元件加以近似化、理想化，在一定条件下忽略其次要性质，用足以表示其主要特性的“模型”来表示，即用“理想元件”来表示“实际元件”。比如用“电阻元件”模型来反映具有耗能特征的电阻器、电烙铁、灯泡等实际元件；用“电感元件”近似代替线圈；用“电容元件”近似代替电容器；而于电池、发电机等供能元件或器件，则用“理想电压源”来近似表示。这种由理想元件构成的电路就称为“电路模型”，以后简称“电路”。

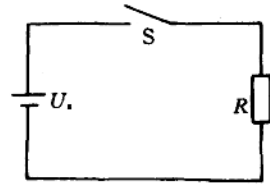


图 1-2 手电筒电路模型

为方便起见，电路中的元件常用一些符号来表示，如图 1-2 为手电筒电路模型。表 1-1 给出了几种常用电路元件和仪表的符号。

表 1-1 几种常用电路元件和仪表的符号

名称	符号	名称	符号
理想电压源		电灯	
理想电流源		可变电容	
电阻		导线	
可变电阻 (带固定抽头)		开关(常开)	
电感		电流表	
电容		电压表	

1.2 电流和电压的参考方向

电流和电压是电路分析中的两个最基本物理量。在物理学中对它们已经有过详细的介

绍。我们将在此基础上,进一步引出有关电流和电压的参考方向概念。

1.2.1 电流

物理学中指出:电荷的定向移动形成“电流”;正电荷的移动方向为电流的实际方向。单位时间内通过导体横截面的电荷量称为“电流强度”,简称“电流”。而大小和方向不随时间改变的电流称为“恒定电流”或“直流”,用符号 I 表示;如果大小和方向随时间变化,则称“变动电流”。假如变动电流在一个周期内的平均值为 0,又称为“交变电流”或“交流”,用符号 i 表示。

电流强度的数学表示式为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{直流电流})$$

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{交流电流})$$

电流的单位是“安培”,用符号(A)表示,有时也用“千安”(kA)、“毫安”(mA)、“微安”(μA)来表示,它们的换算关系为

$$1 \text{ A} = 10^{-3} \text{ kA} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

在简单电路中,各元件上电流的实际方向很容易判别,因此只要计算它的大小就可以了;但在复杂电路中,某元件或某段电路电流的实际方向很难判定或根本无法判定,而电路分析方法本身又要求必须知道一个方向,在这种情况下我们引入假设的电流方向,即电流的“参考方向”,然后对电路进行计算。

电流参考方向的选择,原则上可在两个可能的方向上任选其中之一,并用实线箭头标在电路图的相应位置上,或直接标在连接导线上,如图 1-3。有时也可用 I_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b 。而电流的实际方向,则由计算的结果和选定参考方向结合起来确定:

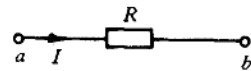


图 1-3 电流参考方向表示方法

当 $I > 0$ 时,说明电流实际方向与选择的参考方向一致;

当 $I < 0$ 时,实际方向与参考方向相反。

电流参考方向是电路分析计算中的一个重要概念,不规定参考方向而谈论电流的数值无任何意义。

1.2.2 电压

电路分析中的另一个基本物理量是“电压”。电路中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向为正电荷移动的方向,即电压降方向。直流电压用 U 表示,交变电压用 u 表示。设电场力将正电荷 Q 由 a 移动到 b 所做的功为 W_{ab} ,那么电压的数学表达式为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (\text{直流电压})$$

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (\text{交变电压})$$

在电路中任选一点为参考点,则某点到参考点的电压就叫这点的“电位”。 a 点电位用

U_a 表示。因此, a 、 b 两点间的电压又可以表示为 a 点与 b 点的电位之差, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-1)$$

电路中电位降的方向就是电压的实际方向。但在复杂电路中电压的实际方向同样很难或根本无法判别。因此在分析电路之前必须指定电压的参考方向。某元件或某段电路两端电压参考方向的选择原则与电流参考方向的选择原则相同, 即在两个可能的前提下任意指定一个方向为电压的参考方向, 并用实线箭头标在电路图的相应位置上, 也可用 (+、-) 表示, 如图 1-4, 或用双角标 U_{ab} 表示, 三者任选其一即可。

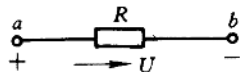


图 1-4 电压参考方向表示方法

电压实际方向由计算结果及选择的参考方向共同确定:

当 $U > 0$ 时, 说明电压实际方向与参考方向一致;

当 $U < 0$ 时, 电压实际方向与参考方向相反。

电路中任意两点之间的电压只与两点的位置有关, 而与路径无关。

电压单位是“伏特”, 用符号 V 表示。有时还用“千伏”(kV)、“毫伏”(mV)、“微伏”(μV) 表示, 它们的换算关系为

$$1 \text{ V} = 10^{-3} \text{ kV} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu\text{V}$$

电流参考方向与电压参考方向的选择是独立无关的。但在同一个元件上为了方便起见, 常将电流和电压的参考方向选择一致, 即选定电流由电压的 (+) 端流向 (-) 端, 则把这种参考方向称为“关联参考方向”, 简称“关联方向”。否则为“非关联方向”。如图 1-5 所示。

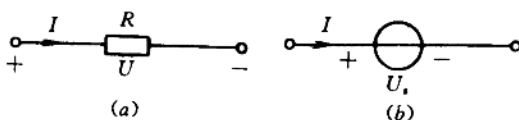


图 1-5 关联方向

1.3 功 率

电路分析中经常用到的一个复合物理量就是“电功率”。当某元件上电压和电流的参考方向选择关联方向时(如图 1-6), 则电功率

$$P = UI \quad (1-2)$$

功率的数值可正可负,

当 $P > 0$ 时, 表示该元件实际吸收或消耗电能;

当 $P < 0$ 时, 表示该元件实际发出电能。

如果某元件上电压、电流选择非关联方向时, 则

$$P = -UI$$

但判断元件是消耗电能还是发出电能的方法同前。

以上有关元件功率的讨论同样适用于一段电路。

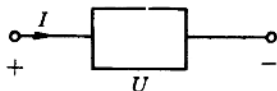


图 1-6 电功率的计算

功率单位是瓦特，简称“瓦”，用符号 W 表示，还用“千瓦”(kW)、“毫瓦”(mW)表示，其换算关系为

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

例 1-1 按图 1-7 中给定的电压和电流参考方向计算各元件功率，并说明元件是吸收还是发出功率。

解 (a) 在关联方向下

$$P = UI = 10 \times 10 \times 10^{-3} = 0.1 \text{ W} > 0$$

表明该元件吸收能量。

(b) 在关联方向下

$$P = UI = -2 \times 6 = -12 \text{ W} < 0$$

表明该元件发出电能。

(c) 在非关联方向下

$$P = -UI = -(-2 \times 16) = 32 \text{ W} > 0$$

表明该元件吸收能量。

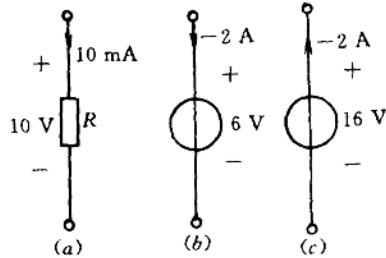


图 1-7 例 1-1 电路

1.4 电阻元件

电路元件是电路的基本构成单元，研究元件的规律性是研究电路理论的基础。

1.4.1 电阻与电导

电阻元件简称“电阻”，是一种对电流呈现阻碍作用的元件。它消耗电能，因此电阻也被称为耗能元件。当电阻上电压和电流参考方向选择关联方向时，两者的关系满足

$$U = IR \quad (1-3)$$

式(1-3)就是著名的“欧姆定律”，其中 R 为电阻元件的电阻值，通常也用 R 表示电阻元件。

R 是电阻自身特性的反映，其大小只与材料和几何尺寸有关，与外加电压及电流大小无关。

当电压单位为“伏”(V)，电流单位为“安”(A)时，电阻单位为“欧姆”，其符号为 Ω 。除此之外常用单位还有“千欧”(k Ω)。

它们的换算关系是

$$1 \Omega = 10^{-3} \text{ k}\Omega$$

把电阻两端电压及通过电阻的电流分别取作纵坐标和横坐标。画出电压和电流的关系曲线，我们把这条曲线叫做电阻元件的“伏安特性曲线”。如图 1-8 所示。

电阻的倒数叫做“电导”，电导表示了电阻元件导电能力的大小，用符号 G 表示。

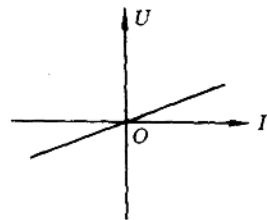


图 1-8 线性电阻元件的伏安特性曲线

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-4)$$

电导的单位为“西门子”，用符号 S 表示。

引用电导概念后，同一个电阻元件既可以用电阻 R 表示，也可以用电导 G 表示。同时欧姆定律也可表示为另一种形式

$$I = UG \quad (1-5)$$

如果电阻元件上电压、电流参考方向选择非关联方向，则欧姆定律为

$$U = -IR \quad \text{或} \quad I = -UG$$

例 1-2 已知一个电阻元件上电压和电流的参考方向选择关联方向，当外加电压 $U = 10 \text{ V}$ 、电流 $I = 2 \text{ mA}$ 时，求其电阻和电导。

解 由于电压 U 与电流 I 参考方向选择关联方向，所以由式(1-3)得到

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{2 \times 10^{-3}} = 5 \times 10^3 \Omega = 5 \text{ k}\Omega$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5 \times 10^3} = 0.2 \times 10^{-3} \text{ S}$$

例 1-3 在图 1-9 所示电路中，按给出的电压和电流参考方向，写出电阻元件上 U 与 I 的约束方程。

解 由于 U 与 I 为非关联方向，所以

$$U = -RI = -100 \times 10^3 I$$

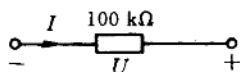


图 1-9 例 1-3 图

1.4.2 电阻的功率

当电阻两端电压和通过的电流为关联方向时，电阻的功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-6)$$

式中 R 为正实常数，所以功率 P 恒大于零。说明任何时刻电阻元件总是从电路中吸收电能而不可能发出电能，所以说电阻是耗能元件。

例 1-4 一个 100Ω 、 5 W 的碳膜电阻，联接到 220 V 电压源上，试计算该电阻实际消耗的功率以及会引起什么后果。

解 这个电阻实际消耗功率

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{100} = 484 \text{ W}$$

它远远大于该电阻额定功率(5 W)，因此将引起烧毁事故。所以学生在实验中要特别注意。

在直流电路中，负载的功率不随时间变化，因此负载消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-7)$$

若功率的单位是“瓦”(W)、时间单位为“秒”(s)，则电能单位为“焦耳”(J)。但实际应用中，电能的单位常用“千瓦时”(kW·h)，即“度”来表示。它们的换算关系是

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ MJ}$$

例 1-5 教室中有 40 W 日光灯 8 只，每只耗电 46 W (包括整流器耗电)，每天用电 4 小时，一个月按 30 天计算，问一个月耗电多少？如每度电收费 0.36 元，一个月应付电费多少？

解 8 只灯的总功率为

$$P = 46 \times 8 = 368 \text{ W} = 0.368 \text{ kW}$$

一个月用电时数

$$t = 4 \times 30 = 120 \text{ h}$$

一个月共耗电

$$W = Pt = 0.368 \times 120 = 44.16 \text{ kW} \cdot \text{h} = 44.16 \text{ 度}$$

应付电费

$$0.36 \times 44.16 \approx 15.9 \text{ 元}$$

1.5 电压源和电流源

电源给电路提供电能。常见的干电池、蓄电池、光电池、发电机及电子电路中的信号源等等，都是实际电源器件的例子。

电源元件是实际电源器件的理想化模型，可分为独立源和受控源两类。本节先介绍独立源，包括独立电压源和独立电流源，分别简称为电压源和电流源。关于受控源将在第4章讨论。

1.5.1 电压源

一个二端元件，如果端电压总能保持为规定的电压 $u_s(t)$ ，而与通过它的电流无关，就称其为电压源。 $u_s(t)$ 为电压源的端电压，(+)、(-)号表示其参考极性。如果 u_s 不随时间变化，即电压值为常数，用 U_s 表示，则称为直流电压源，电压源的电路符号如图 1-10(a) 所示。有时也常用图 1-10(b) 所示符号表示。

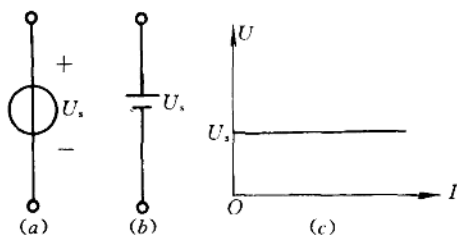


图 1-10 电压源电路符号及电压源伏安特性

电压源具有以下几个特点：

(1) 电压源的端电压完全由自身的特性决定，与流经它的电流的方向、大小无关，即与外部电路无关。

(2) 电压源的电流由它与外接电路共同决定。随着流经电压源电流的实际方向不同，电压源可以对外电路提供电能，真正起电源作用；也可以作为其它电源的负载从外电路接受能量。例如，蓄电池(或可充电的干电池)在正常工作时，是电源装置。但在充电时，则应视它为负载。理论上讲，电压源可以提供(或吸收)无穷大能量。

(3) 在任一时刻 t ，电压源的伏安特性是一条经过 $U=U_s(t)$ 点且平行于 I 轴的直线，如图 1-10(c) 所示。

(4) 当电压源电压 $U_s(t)$ 为零时，其伏安特性与 I 轴重合，电压源相当于短路。

1.5.2 电流源

电流源是另一种电源元件。如果一个二端元件，其输出电流总能保持为规定的电流 $i_s(t)$ ，而与它的端电压无关，就称其为电源流。电流源的输出电流 i_s 一般是时间的函数。如果输出电流为常数 I_s ，则称为直流电流源。电流源电路符号如图 1-11 所示，图中 i_s 、 I_s 为电流源输出电流，箭头表示电流的参考方向。

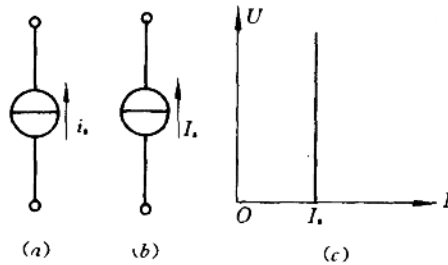


图 1-11 电流源电路符号及电流源伏安特性

与电压源类似，电流源具有以下特点：

(1) 电流源输出电流 i_s 仅取决于它自身的特性，而与外部电路无关，或者与其端电压的方向、大小无关。

(2) 电流源的端电压，由它与外部电路共同决定。随着端电压实际极性的不同，与电压源一样，它可以向外电路提供电能，也可以从外电路接受能量，并且在理论上，允许提供(或吸收)无穷大的能量。

(3) 任一时刻 t ，电流源的伏安特性是经过 $I = I_s(t)$ 点且平行于 U 轴的直线，如图 1-11(c) 所示。

(4) 电流源输出电流为零时，该支路相当于开路。

1.6 基尔霍夫定律

前面我们已经对电阻元件、电压源和电流源自身电压电流所遵循的约束关系进行了讨论；另一方面，电路作为这些元件互连的整体，也应服从某些共同的规律。基尔霍夫定律正是反映这方面规律的。

1.6.1 有关电路名词介绍

(1) 支路：电路中具有两个端钮且通过同一电流的每个分支叫“支路”。如图 1-12 中 acb 、 adb 和 aeb 为支路，其中 acb 和 adb 称“含源支路”、 aeb 称“无源支路”。

(2) 节点：三条或三条以上支路的联接点叫“节点”。如图 1-12 中 a 和 b 点为节点。

(3) 回路：电路中任一闭合路径叫“回路”。如图 1-12 中 $acbda$ 、 $adbea$ 和 $acbea$ 为回路。

(4) 网孔：回路中不含支路的回路叫“网孔”。如图 1-12 中 $acbda$ 和 $adbea$ 为网孔，而 $acbea$ 不是网孔。

(5) 网络：一般把含元件较多的电路称为“网络”。实际上，电路和网络两个名词可以通用。

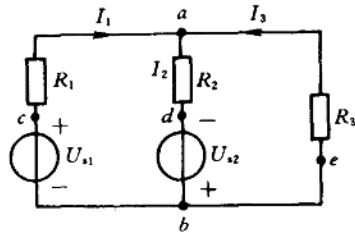


图 1.12 电路名词介绍

1.6.2 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(简称 KCL 定律)，是对汇集于一个节点的各支路电流的约束关系。KCL 定律叙述如下：任一电路中，在任一时刻通过某节点的各支路电流代数数和恒为零。若将所有流入节点电流取正(+)，则流出节点电流一律取负(-)。

用数学形式表示：

$$\sum I = 0 \quad (1-8)$$

例 1-6 如图 1-13，在给定的任一节点上，通过各支路电流参考方向如图所示，已知 $I_1 = -2 \text{ A}$ ， $I_2 = 1 \text{ A}$ ， $I_3 = -3 \text{ A}$ ， $I_4 = 5 \text{ A}$ 。试求 I_5 。

解 利用 KCL 定律，将流入该节点电流取(+)，流出该节点电流取(-)，列方程：

$$I_2 + I_5 - I_1 - I_3 - I_4 = 0$$

整理并代入数值得

$$\begin{aligned} I_5 &= I_1 + I_3 + I_4 - I_2 \\ &= -2 + (-3) + 5 - 1 = -1 \text{ A} \end{aligned}$$

I_5 为负值，说明 I_5 实际是流出节点的电流。

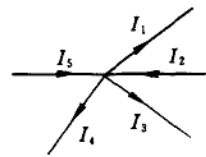


图 1.13 例 1-6 电路

应用 KCL 定律时需要注意如下几点：

- (1) 先列方程后代入数值。列方程时均按假设的各支路电流参考方向来列；
- (2) 代入数值时，已知支路电流按给定的正或负号原封不动代入；
- (3) 未知支路电流实际大小及流动方向由计算的最后结果确定，若 $I > 0$ ，说明实际方向与参考方向一致；若 $I < 0$ ，说明实际方向与参考方向相反。

例 1-7 如图 1-14 所示电路，求电阻支路电流 I 以及端电压 U 。

解 根据电流源的特性已知：

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = -5 \text{ A}$$

由 KCL 在 a 点列方程：

$$I - I_2 - I_1 = 0$$

则 $I = I_1 + I_2 = 2 + (-5) = -3 \text{ A}$

电压 $U = -IR = -(-3 \times 10) = +30 \text{ V}$

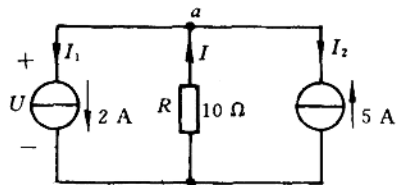


图 1-14 例 1-7 电路

电流 I 为负值, 说明电阻支路电流实际方向与参考方向相反; 端电压 U 为正值, 说明实际方向与参考方向相同。

KCL 定律原是应用于节点的, 但也可以推广应用于电路中任一假设的封闭曲面, 如图 1-14 所示。应用 KCL 定律的推广, 可以证明晶体管基极、发射极和集电极的电流 I_b 、 I_c 和 I_e 满足关系式: $I_e = I_b + I_c$, 见图 1-15(a); 当两个网络之间只有一条支路相连时, 该支路电流为零, 见图 1-15(b); 同理, 如果电路中只有一处用导线接地, 则接地导线中无电流, 见图 1-15(c)。

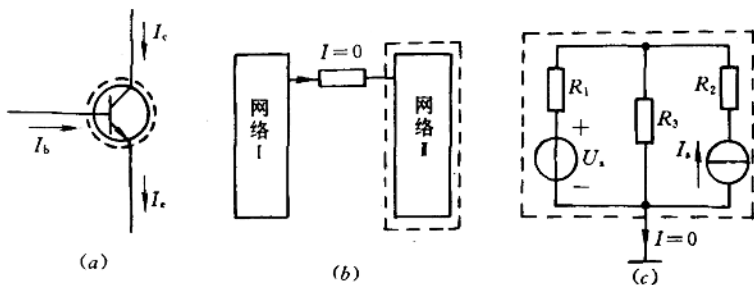


图 1-15 KCL 定律的推广

1.6.3 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫回路电压定律(简称 KVL 定律), 它描述了处于同一回路内的各元件电压之间所遵循的约束关系。即任何时刻, 在电路中的任一闭合回路内, 从某点出发沿回路绕行一周, 各段电压的代数和恒等于零。用数学形式表示为

$$\sum U = 0 \quad (1-9)$$

列方程之前, 首先在回路上任选一个“绕行方向”作为假设电压降方向(可顺时针也可逆时针), 如果回路中某段电压参考方向与绕行方向一致, 在方程中取(+); 反之取(-)。

如图 1-16 所示, 设各段电压参考方向, 并分别标在图中。设回路绕行方向如图, 列 KVL 方程:

$$a \text{ 回路: } U_4 - U_3 - U_2 - U_1 = 0$$

$$b \text{ 回路: } -U_6 - U_5 + U_4 + U_7 = 0$$

$$c \text{ 回路: } -U_1 + U_5 + U_6 - U_7 - U_3 - U_2 = 0$$

应用 KVL 定律需注意以下几点:

(1) 列方程之前, 必须假设回路绕行方向以及各段电路或各元件两端电压参考方向。若遇电压源, 将给定的 U_s 极性作为参考方向; 若遇电阻, 指定电流与电压的参考方向为关联方向, 且电压参考方向不必标出。

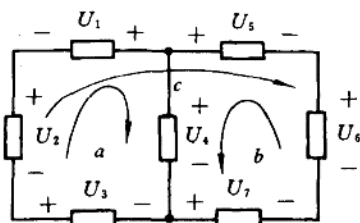


图 1-16 KVL 定律

(2) 回路中无论是负载 R 还是电源, 只要两端电压参考方向与绕向一致就取(+)、反之取(-)。

例 1-8 图 1-17 所示电路, 列 KVL 方程, 并求回路电流。

解 设回路电流 I 参考方向及绕行方向如图 1-17。列 KVL 方程