



应用型数控、模具专业基础课系列教材

电工与电子技术

何习佳 刘春玉 / 主 编

Diāngōng Yú
Diānzi Jìshù

华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

TM
79

应用型数控、模具专业基础课系列教材

电工与电子技术

主 编	何 习 佳	刘 春 玉
副 主 编	蔡 舒	吴 玉 萍
	胡 波	钱 元 霞

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/何习佳 刘春玉 主编

武汉:华中科技大学出版社,2005年9月

ISBN 7-5609-3410-2

I. 电…

II. ①何… ②刘… ③蔡… ④吴… ⑤胡… ⑥钱…

III. 电工技术-高等学校-教材;电子技术-高等学校-教材

IV. TM

电工与电子技术

何习佳 刘春玉 主编

责任编辑:谢燕群

封面设计:刘 卉

责任校对:朱 霞

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:荆州市今印印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:16.75

字数:308 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:25.00元

ISBN 7-5609-3410-2/TM·96

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是根据职业技术教育的特点,本着“最新、最全、最佳”的原则并结合《电工与电子》教学大纲编写而成的,对电工与电子的基本理论和基本知识进行了全面系统的阐述。全书内容可分为两部分,第一部分主要介绍了电工学的基本概念、基本理论、基本分析方法及电源与负载、电动机与变压器的基本知识;第二部分主要介绍了模拟电子技术的基本概念、基本理论和基本分析方法。

本书的编写突破了原来的教学体系,以理论够用为原则,采用模块式编写方式,对应用型人才的培养是一本实用的教材,也可用为非电类相关专业岗位培训和自学用书。

前 言

目前,市场上有关电工与电子技术的教材很多,但从整体上看,适合高职高专教育特色的教材极其匮乏,很多教材是借用本科或中专的教材,不符合高职教育理论与实践紧密结合的特点,故我们根据《电工与电子》教学大纲,结合高职教育特点编写此教材。

本书本着“最新、最全、最佳”的原则,对电工电子的基本理论和基本知识进行了全面系统的阐述。

本书内容共分为两大部分。第一部分内容主要介绍电工学的基本概念、基本理论、基本分析方法及电源与负载、电动机与变压器的基本知识,使学生掌握电工理论的基本分析方法及生产中出现的电气故障的分析方法和排除方法。第二部分内容主要介绍模拟电子技术的基本概念、基本理论和基本分析方法,通过实验教学使学生学会对电子元器件进行判断和测试。

本书适合高职高专院校非电类专业的理工科学生使用,也可供电气与电子类工程技术人员参考。

参加本书编写的人员有:何习佳、刘春玉、吴玉平、钱元霞、蔡舒、胡波。

由于编者水平有限,书中缺点和错误之处在所难免,欢迎批评指正。

编者

2005年6月

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	(1)
1.1 电路的概念及电路模型	(1)
1.2 电路的基本物理量	(2)
1.3 电功率与电能	(4)
1.4 常用电路元件——电阻、电感、电容	(5)
1.5 基尔霍夫定律	(7)
1.6 电阻的连接	(11)
1.7 电气设备的额定值	(16)
1.8 电源元件	(17)
1.9 电路的基本工作状态	(21)
习题一	(24)
第2章 直流电阻电路的分析	(26)
2.1 支路电流法	(26)
2.2 节点电压法	(27)
2.3 电路中电位的计算	(30)
2.4 叠加原理	(31)
2.5 等效电源定理	(33)
习题二	(36)
第3章 电磁现象与磁路	(38)
3.1 磁场的基本知识与基本物理量	(38)
3.2 全电流定律	(41)
3.3 铁磁材料的性质和用途	(43)
3.4 磁路和磁路的欧姆定律	(45)
3.5 简单的磁路计算	(47)
3.6 直流电磁铁	(48)
3.7 电磁感应现象	(49)
3.8 自感、互感和涡流	(52)
习题三	(56)
第4章 交流电路	(57)

4.1 正弦交流电及其基本物理量	(57)
4.2 正弦量的相量表示法	(61)
4.3 纯电阻、纯电感、纯电容正弦交流电路	(64)
4.4 RLC 串联、RLC 并联的正弦交流电路	(69)
4.5 交流电路的功率因数	(73)
4.6 三相交流电源	(76)
4.7 三相负载的连接	(80)
4.8 三相电路的功率	(84)
4.9 安全用电	(85)
习题四	(88)
第5章 变压器	(91)
5.1 变压器的用途、种类和结构	(91)
5.2 变压器的工作原理	(93)
5.3 变压器的额定值	(97)
5.4 三相变压器	(98)
5.5 特殊用途的变压器	(100)
习题五	(104)
第6章 三相异步电动机	(105)
6.1 三相异步电动机的结构	(105)
6.2 三相异步电动机的定子旋转磁场	(109)
6.3 三相异步电动机的工作原理	(112)
6.4 三相异步电动机的工作特性	(113)
6.5 三相异步电动机的启动	(116)
6.6 三相异步电动机的调速、反转和制动	(119)
6.7 三相异步电动机的铭牌	(121)
6.8 三相异步电动机的维护和常见故障	(123)
6.9 单相异步电动机	(125)
6.10 伺服电动机	(127)
6.11 步进电动机	(130)
习题六	(135)
第7章 半导体二极管及整流电路	(137)
7.1 半导体的基本知识	(137)
7.2 半导体二极管	(144)
7.3 二极管整流电路	(149)

7.4 滤波电路	(153)
7.5 特殊用途的二极管	(158)
习题七	(161)
第8章 晶体三极管及其放大电路	(162)
8.1 晶体三极管	(162)
8.2 放大电路的组成和基本原理	(172)
8.3 图解分析法	(174)
8.4 微变等效电路法(工程估算法)	(179)
8.5 放大器的工作点稳定问题	(184)
8.6 共集放大电路——射极输出器	(188)
8.7 共基放大电路	(190)
8.8 多级放大电路	(192)
8.9 功率放大器	(194)
习题八	(200)
第9章 集成运算放大器及其应用	(203)
9.1 集成电路概述	(203)
9.2 集成电路的基本单元	(206)
9.3 典型集成电路介绍	(214)
9.4 负反馈放大器	(222)
9.5 运放基本应用电路的分析	(232)
9.6 集成芯片的封装和识别	(238)
习题九	(241)
第10章 直流稳压电源	(244)
10.1 硅稳压管稳压电路	(244)
10.2 串联型稳压电源	(249)
10.3 集成稳压电源	(250)
10.4 开关型稳压电源	(254)
习题十	(256)
参考文献	(258)

第1章 电路的基本概念与基本定律

工农业生产和日常生活中的实际电路虽然多种多样,功能也各不相同,但这些电路的参数关系有着共同的基本规律。本章主要介绍电路的基本概念,这些内容与后续章节的内容密切相关,部分内容虽然在以前的物理课程中已经学习过,但为了满足电路分析的需要,我们需要对其做进一步介绍。

1.1 电路的概念及电路模型

电路就是电流通过的路径。各种实际电路都是由电器件如电阻器、电容器、线圈、变压器、电源等相互连接而组成的。电路分为直流电路和交流电路。较复杂的电路又称为网络。把一个由若干电路元件组成的电路看做一个整体,如果这个整体对外只引出两个端钮,则称这个整体为二端网络。按网络内是否含有电源,可将二端网络分为无源二端网络和有源二端网络。

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)等组成的。电工技术中把提供电能的设备或器件称为电源,它能把其他形式的能量转换为电能,干电池就是一种电源;把吸取电能的设备或器件称为负载,灯泡就是一种负载。再比如实际的电力系统中,发电厂发动机组产生的电能可通过变压器、输电线输送到用户,这类电路的作用就是进行能量的转换、传输与分配。

另一类如收音机电路,能把接收到的音频信号进行放大、变换成输出信号,最后以声音的形式从扬声器输出。电路的输入信号叫做激励,输出信号叫做响应,这类电路的作用就是进行信号的传递和处理。

实际电路中的电器件往往具有多种物理性质,如一个实际的电阻器有电流流过时会有对电流呈现阻力的性质,即具有电阻,同时还会产生磁场,因而还兼有电感的性质;一个实际电源总有内电阻,因而在使用时不可能总保持一定的端电压。为了便于对复杂的实际问题进行研究,在工程中常常对实际器件加以理想化,即忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要性能模型来表示,如灯泡的电感是极其微小的,就把它看做一个理想电阻元件;一个新的干电池,内阻和外部电阻相比可以忽略不计,把它看做一个电压恒定的理想电压源是完全可以的。这样就可以把实

实际器件用电源、电阻、电感与电容等理想的电路元件来表示。常用的几种理想电路元件如图 1-1 所示。

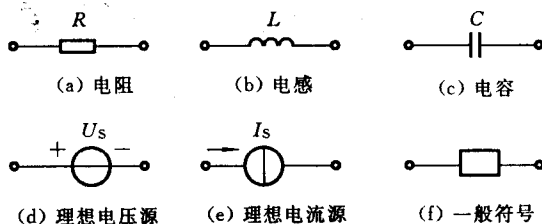


图 1-1 常用的理想电路元件

用理想的电路元件构成的电路称为电路模型。它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括,今后所分析的电路都是电路模型,简称电路。

1.2 电路的基本物理量

本节介绍 3 个基本物理量:电流、电压和电位。对于前两个物理量的概念,要特别重视参考方向的意义。

1. 电流

电能的传递与转换是通过电荷这一载体的定向运动实现的。电荷的定向运动形成电流。如在金属导体内,电流是自由电子在电场力作用下有规则的定向运动形成的。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度简称为“电流”,等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。电流分两种,即直流电流和交流电流。大小和方向都不随时间的变化而变化的电流称为直流电流,简写为 DC,常用大写字母 I 表示。若时间 t 内通过导体横截面的电量 Q 不随时间的变化而变化,则

$$I = Q/t \quad (1-1)$$

大小和方向都随时间的变化而变化的电流称为交流电流,简写为 AC,常用小写字母 i 表示。

$$i = dq/dt \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安,符号为 A。常用的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA),它们之间的关系为

$$1 \text{ kA} = 1\,000 \text{ A}, \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}, \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至二者都有。为了统

一,习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在金属导体内部,电流的实际方向正好与带负电荷的自由电子的运动方向相反。

在实际中往往难以事先判断电流的实际方向,这时候需要引入参考方向这一概念。参考方向就是任意设定的一个方向。按照所假设的电流参考方向分析电路,列出方程,可求解出电流的数值。如果求解出的电流是正值,则说明实际方向与假设的参考方向一致;如果求解出的电流是负值,则说明电流的实际方向与假设的参考方向相反。这样就可利用参考方向结合电流的正负值来确定电流的实际方向。显然,在未标示参考方向的情况下,讨论电流的正负是毫无意义的。

若电流的参考方向如图1-2所示,通过计算得出的电流 $I=2\text{ A}$,可知电流的实际方向是由 a 点流向 b 点;若在另一种条件下,计算得出的电流 $I=-6\text{ A}$,可知电流的实际方向是由 b 点流向 a 点。

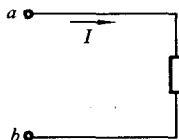


图1-2 电流 I 的参考方向

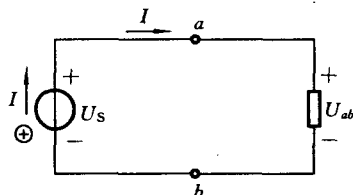


图1-3 说明电压概念的示意图

2. 电压

电荷在电场中受到电场力的作用而运动。衡量电场力做功本领的物理量称为电压。在图1-3所示中,正电荷 Q 在电场力的作用下从 a 点移到 b 点所做的功为 W_{ab} ,则 ab 两点的电压 U_{ab} 定义为

$$U_{ab} = W_{ab}/Q \quad (1-3)$$

任意两点间的电压等于单位正电荷在电场力作用下从一点移到另一点所做的功。

一般直流电压用大写字母 U 来表示,交流电压用小写字母 u 来表示。

在国际单位制中,电压的单位是伏(V),常用的还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV),它们之间的关系为

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

在电场中,电场力能够移动电荷做功,因此电场具有能量。电场中某点能量的大小可用单位正电荷在该点所具有的电位能的大小来表示,并称为该点的电位,用符号 V 来表示,国际单位也是伏(V)。

电荷在电路中移动,就必然有能量的转换。如图1-3所示,正电荷在电源处获得能量,在电阻处失去能量。即在电源内部,正电荷沿电位升高的方向移动,外力

(即电源力)克服电场力做功,即电场力做负功,使电位升高,说明电源提供电能;在电源外部,正电荷沿电位降低的方向移动,电场力做功,使电位降低,说明负载吸收电能。由电压的定义可知, a 、 b 两点间的电压就等于 a 点与 b 点的电位差

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

在电路中往往任取一点作参考点 o ,令参考点 o 的电位为零,则 a 点与 o 点之间的电压 U_{ao} 就等于 a 点的电位 V_a 。

电压的实际方向习惯上规定由高电位点指向低电位点,即在电源内部,电压的实际方向与电流的实际方向相反,而在电源外部,它与电流的实际方向一致。从图1-3可知,电源电压 U_s 与电流 I 的实际方向相反,而负载两端的电压 U_{ab} 则与电流 I 的实际方向相同。

与电流一样,电压的实际方向也不易确定,需要假设一个参考方向。如果电压与电流的参考方向一致,则称为关联参考方向,否则,称为非关联参考方向,如图1-4所示。

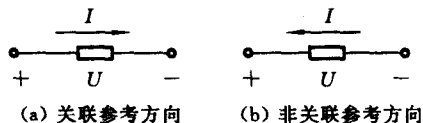


图1-4 电流与电压的参考方向

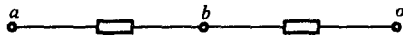


图1-5 例1-1图

例1-1 电路如图1-5所示,已知 $U_{ao}=5\text{ V}$, $U_{ab}=2\text{ V}$,若以 o 点作参考点,求 a 、 b 、 o 三点的电位及电压 U_{ob} 。

解 o 点作参考点,则 $V_o=0\text{ V}$ 。

根据电压与电位的关系可知, $U_{ao}=V_a-V_o$,所以

$$V_a = U_{ao} + V_o = (5 + 0)\text{ V} = 5\text{ V}。$$

因为 $U_{ab}=V_a-V_b$,所以 $V_b=V_a-U_{ab}=(5-2)\text{ V}=3\text{ V}$, $U_{ob}=V_o-V_b=(0-3)\text{ V}=-3\text{ V}$ 。

1.3 电功率与电能

如前所述,电路中存在着能量的转换。电路中某个元件吸收或产生的电能,是用电场力所做的功来度量的。由电压的定义可知,电场力所做的功 $W=UQ$ 。电能的单位是焦(J),在工程实际中,常用度即千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作单位。 $1\text{ kW} \cdot \text{h}=3\ 600\ 000\text{ J}$ 。

电功率是用来衡量能量转换速率的量,等于单位时间内电场力所做的功,用 P

表示。

$$P = W/t = UQ/t = UI t/t = UI \quad (1-5)$$

功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。

由式(1-5)可知,电功率是元件两端的电压和通过该元件的电流之积,即 $P = UI$ 。应当指出: $P = UI$ 适用于电压与电流为关联参考方向的情况,如果取非关联参考方向,则应写成 $P = -UI$ 。在这个规定下, $P > 0$,说明元件消耗电能,反之 $P < 0$ 则说明元件提供电能。

当已知设备的功率 P 时,则在时间 t 内消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-6)$$

例 1-2 试计算图 1-6 所示各元件吸收或产生的功率。

解 在图 1-6(a)所示中,电压与电流的参考方向相同,故 $P = (-2) \times 3 \text{ W} = -6 \text{ W}$ 。

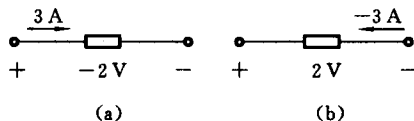


图 1-6 例 1-2 图

$P < 0$,说明元件产生功率。

在图 1-6(b)所示中,电压与电流的参考方向相反,故 $P = (-2) \times (-3) \text{ W} = 6 \text{ W}$ 。

$P > 0$,说明元件吸收功率。

1.4 常用电路元件——电阻、电感、电容

1. 电阻元件

日常生活中白炽灯、电炉、电烙铁等电器的主要物理特征是通过电流时都要发热,也就是要消耗电能,这些实际电器元件称为电阻器件。若用一个只反映其主要特性——消耗电能的一个理想元件来代替,则该理想元件称为电阻元件,符号如图 1-7(a)所示,用 R 表示,单位为欧姆(Ω)。

实验证明,对于均匀截面的金属导体,在一定的温度下,其电阻与导体的长度 l 成正比,与横截面积 S 成反比,此外还与材料的导电能力有关。即

$$R = \rho l / S \quad (1-7)$$

式中, l 的单位为 m ; S 的单位为 mm^2 ; ρ 是反映金属材料导电性能好坏的系数,称为

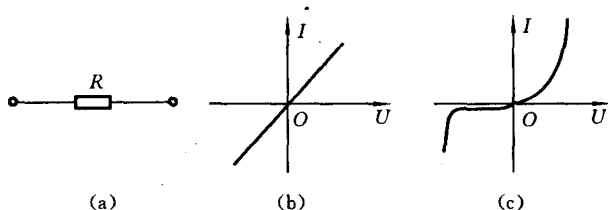


图 1-7 电阻元件及其伏安特性曲线

电阻率,单位为欧·米($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻大的材料,导电性能就差;反之,导电性能好的材料,电阻必然就小。因此可以用电阻的倒数即电导来表征元件的导电能力,电导用符号 G 表示。

$$G = 1/R \quad (1-8)$$

电导的国际单位是西门子(S)。

德国科学家欧姆通过大量的实验在 1827 年得到一个重要的结论:电阻中的电流与电阻两端的电压成正比,而与电阻的阻值成反比。这就是欧姆定律,可用下式表示。

$$I = U/R \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-9)$$

如果将欧姆定律表示的电压电流关系在直角坐标中用曲线表示,这一关系曲线称为伏安特性曲线,如图 1-7(b) 所示。由于该伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,说明该电阻是一常数,故称为线性电阻元件。有一些元件的伏安特性曲线不是直线,如图 1-7(c) 所示的二极管的伏安特性就是非线性的,说明电阻 R 不是常数,称为非线性电阻元件。

应当指出,式(1-9)适用于电压与电流的参考方向是关联的情况,如果是非关联的,则欧姆定律应写成 $U = -IR$ 。

2. 电感元件

电感元件是表示线圈的理想化的电路元件,它是电路中常用的元件之一。当电流通过电感线圈时,在它的周围就建立了磁场,将电能转化为磁场能量储存起来。

如图 1-8(a) 所示线圈,当电流 i_L 通过线圈时,将产生自感磁通 Φ_L 。设线圈有 N 匝,如果磁通穿过线圈的各匝,则线圈中的自感磁链(全部自感磁通) $\Psi = N\Phi_L$ 。由

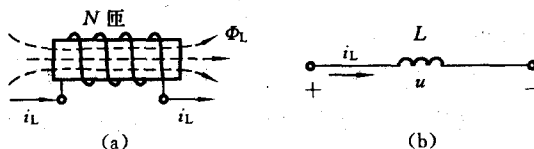


图 1-8 电感元件及其电路符号

于磁通是电流产生的,所以磁通与电流存在一定的关系。在磁通与电流的参考方向符合右手螺旋定则的情况下,自感磁链与产生它的电流之比称为线圈的电感,用 L 表示,电路符号如图1-8(b)所示。

$$L = \Psi / i_L \quad (1-10)$$

L 是一个比例常数,当 Φ 的单位为韦伯(Wb), i 的单位为安培(A)时, L 的单位是亨(H)。常用的单位还有毫亨(mH)、微亨(μ H)。它们之间的关系为

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}, \quad 1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$$

在电压 u 和电流 i 的参考方向关联时,根据电磁感应定律,得

$$u(t) = d\Psi/dt = L di/dt \quad (1-11)$$

说明电压 $u(t)$ 与电流的变化率 di/dt 成正比,而不是与电流成正比。

3. 电容元件

电容元件是电容器的理想化电路元件。在电工技术中常在两导体中间隔以电介质,这样组成的电路元件称为电容器,简称电容。其电路符号如图1-9所示。在电路中,电容元件具有储存电荷即储存电场能量的作用。当电容电压升高时,电容充电储存电荷;当电容电压降低时,电容放电释放电荷。

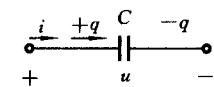


图1-9 电容元件的
电路符号

两导体所带电荷 q 与导体间的电压 u 的比值称为电容量,简称电容,用 C 表示。电容一词,有时指电容元件,有时指电容量。

$$C = q/u \quad (1-12)$$

可见,电容是表征导体在单位电压作用下储存电荷能力大小的物理量。电容的国际单位是法拉,简称法(F)。常用的还有微法(μ F)和皮法(pF)。它们之间的关系为

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}, \quad 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

当电容进行充放电时,电容的电压将发生变化,极板上电荷的数量也要相应地改变,这时在与电容相连的导线中就有电荷移动,形成电流。在电压、电流关联参考方向下,由导体电流的表达式和式(1-12)可得电容的充放电电流为

$$i(t) = dq/dt = d(Cu)/dt = C du/dt \quad (1-13)$$

可见,任何时刻的电流 $i(t)$ 与该时刻电压的变化率 du/dt 成正比,而不是决定于电压的大小。

1.5 基尔霍夫定律

欧姆定律反映了线性电阻元件上电压和电流的约束关系,那么本节要介绍的基尔霍夫定律则是从电路结构上反映了电路中电流之间或电压之间的约束关系。

在叙述定律之前,以图1-10为例,介绍几个常用的名词。

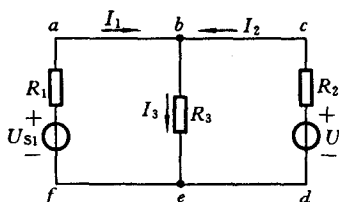


图1-10 说明KCL的示意图

支路:指电路中通过同一电流并至少含有一个元件的分支。如图1-10所示电路中有3条支路。

节点:指3条或3条以上支路的连接点。图1-10所示电路中只有b、e两个节点,其他4个点都不是节点。

回路:指电路中任一闭合路径。在回路内部不另含支路的回路称为网孔。

图1-10所示电路中共有abcdefa、abefa、bcdeb三个回路,有abefa、bcdeb两个网孔。

1.5.1 基尔霍夫电流定律

电流通过某导体时,单位时间内流入导体任何截面的电荷等于由这个截面流出的电荷,这就是“电流的连续性原理”。

将这一原理推广到电路中任一节点,就是基尔霍夫电流定律(KCL),即任一瞬间流入某一节点的电流之和必定等于流出该节点的电流之和,即对于电路中的任一个节点,任一时刻的电流的代数和等于零。其表达式为

$$\sum I = 0 \quad (1-14)$$

在图1-10所示电路中,对节点b可以写出

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

或将上式写成

$$I_1 + I_2 = I_3$$

基尔霍夫电流定律不仅适用于节点,还可以把它推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面,这一闭合面可称为“广义节点”。图1-11所示的闭合面包围的是一个三角形电路,有3个节点。应用基尔霍夫电流定律可以写出

$$\text{节点 } A \quad I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$\text{节点 } B \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$\text{节点 } C \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

$$\text{上列三式相加得} \quad I_A + I_B + I_C = 0$$

$$\text{或} \quad \sum I = 0$$

可见,任一时刻,通过任一闭合面的电流的代数和恒等于零。

例1-3 图1-12所示电路的4条支路交于节点a,电流的参考方向已在图中标

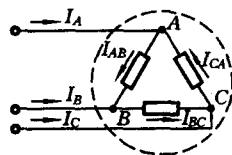


图1-11 广义节点

出。已知 $I_1=7\text{ A}$, $I_2=2\text{ A}$, $I_3=-3\text{ A}$ 。试求 I_4 。

解 根据式(1-14), 列出节点 a 的电流方程。流入节点 a 的支路电流取正号, 流出节点 a 的支路电流取负号, 可得

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

代入已知数据, 得

$$7\text{ A} - 2\text{ A} - (-3)\text{ A} + I_4 = 0$$

解得

$$I_4 = -8\text{ A}$$

I_4 为负值, 表明 I_4 的实际方向与图示的参考方向相反。这时不需更改图中标的方向, 因为所标的参考方向配合 $I_4 = -8\text{ A}$ 已足以说明 I_4 的实际方向。

从这个例题可以看出, 在列写 KCL 方程时, 用到了两套符号, 一套是方程中各项前的正负号, 取决于电流的参考方向与节点的相对关系。通常参考方向指向节点, I 前取正号; 参考方向离开节点, I 前取负号。另一套是电流本身数值的正负号, 如上例中的 $+5\text{ A}$ 、 $+2\text{ A}$ 、 -3 A , 其正负取决于支路电流的参考方向与实际方向之间的关系, 参考方向与实际方向一致时为正, 相反时为负。

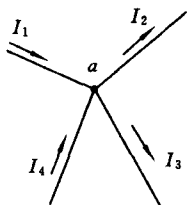


图 1-12 例 1-3 图

1.5.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(KVL)确定了电路中任一回路各段电压之间的关系。它指出: 对于电路中的任一回路, 在任一时刻, 按一定方向沿着回路绕行一周, 回路中所有支路电压或元件电压的代数和为零。其表达式为

$$\sum U = 0 \quad (1-15)$$

在运用基尔霍夫定律时, 应首先设定回路的绕行方向, 并标出各支路或元件上电流、电压的参考方向。当回路内某段电压的参考方向与回路的绕行方向一致时取正号, 相反时取负号。

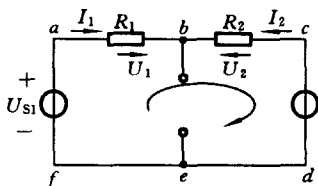


图 1-13 说明 KVL 的示意图

如将图 1-10 所示电路中的 $abcdefa$ 回路重新画出, 如图 1-13 所示 (R_3 未画出), 以顺时针方向为绕行方向, 应用基尔霍夫电压定律, 可得

$$-U_{S1} + U_{S2} + U_1 - U_2 = 0$$

即

$$U_{S1} - U_{S2} - U_1 + U_2 = 0$$

将电阻 R_1 、 R_2 上的电压 U_1 、 U_2 用欧姆定律改

写后代入上式, 得

$$U_{S1} - U_{S2} - I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0$$