



高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

电工与电子技术

DIANGONG YU
DIANZI JISHU

主 编 李 文 王庆良
副主编 孙全江 韦 宇
主 审 于昆伦



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

电工与电子技术

主 编 李 文 王庆良
副主编 孙全江 韦 宇
主 审 于昆仑

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

本书是高等职业技术教育建筑设备类专业系列教材之一。全书共分 10 个单元,内容包括电工学和工业电子学两大部分。第一部分介绍了直流电路、单相交流电路、三相交流电路、磁路和变压器、电动机;第二部分介绍了半导体二极管与直流稳压电源、半导体三极管及其放大电路、负反馈放大电路和集成运算放大器、晶闸管及其应用、数字电路基础等。

本书反映了建筑设备类专业教学内容和课程体系的改革成果,内容取材合理,注重应用,实用性强。本书可作为建筑设备工程技术、楼宇智能化专业及其他相关专业的教材,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/李文,王庆良主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2008.8

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

ISBN 978-7-5629-2786-0

I. 电… II. ①李… ②王… III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材 ②电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 122377 号

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

E-mail:yangxuezh@whut.edu.cn

ruozhang1122@163.com

印 刷 厂:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14

字 数:346 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

印 次:2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

出版说明

随着教学改革不断深化和社会发展对人才的现实需求,根据教育部“高等职业教育应以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”的办学方向和“要加强学生实践能力、技术运用能力的培养,充分反映新兴技术、新兴产业对技能培养的要求,满足经济结构战略性调整、技术结构优化升级和高科技产业迅速发展对人才培养的要求”的职业技术教育培养目标,以及职业技术教育“要逐步建立以能力培养为基础的、特色鲜明的专业教材和实训指导教材”的教材建设要求,武汉理工大学出版社经过广泛的调查研究,与全国 20 多所高等专科学校、高等职业技术学院的建筑设备和建筑电气工程技术方面的教育专家、学者共同探讨,组织编写了一套适应高等职业教育建筑设备相关专业人才培养和教学要求的、

具有鲜明职业教育特色的实用性教材《高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材》。

本套教材是根据教育部、建设部高职高专建筑设备类专业教学指导委员会制定的培养方案和各课程教学大纲组织编写的,具有如下特点:

(1)教材的编写坚持“以应用为目的,专业理论知识以必需、够用为度”的原则,着重培养学生从事工程设计、施工和管理等方面的专项能力,体现能力本位的教育思想。

(2)教材的理论体系、组织结构、编写方法,以突出实践性教学和使学生容易掌握为准则,同时全面体现本领域的新法规、新规范、新方法、新成果,与施工企业与机构的生产、工作实际紧密结合,力求达到学以致用目的。

(3)本套教材努力使用和推广现代化教学手段,将分步组织编写、制作和出版与教材配套的案例、实训教材、模拟试题、教学大纲及电子教案。

教材建设是我们全体编写者、出版者共同的事业和追求,出版高质量的教材是我们共同的责任和义务,我们诚挚地希望有关专家、学者和广大读者在使用这套教材的过程中提出宝贵意见和建议,以便今后不断地修订和完善。

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材编委会

2008 年 2 月

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

编委会名单

顾问: 杜国城 刘春泽

主任委员: 高文安 雷绍锋

副主任委员: (按姓氏笔画为序)

王蒙田	朱向军	危道军	李宏魁	李高斗	何 辉
胡兴福	范柳先	季 翔	贺俊杰	黄珍珍	杨学忠

委员: (按姓氏笔画为序)

丁文华	弓中伟	王 丽	王庆良	王国平	王晓燕
白 桦	孙 毅	孙景芝	冯光灿	李 文	李仁全
李庆武	李绍军	刘 兵	刘 玲	刘子林	刘华斌
汤延庆	邢玉林	苏 娟	张风琴	张宝军	张贵芳
张铁东	张思忠	张毅敏	陈旭平	陈宏振	陈志佳
陈思荣	吴建敏	余增元	郑 云	赵 亮	赵岐华
郭自灿	胡联红	贾永康	徐红梅	黄奕云	龚明树
谢社初	喻建华	鲍东杰	裴 涛	熊德敏	黎福梅
戴安全					

总责任编辑: 张淑芳

目 录

上篇 电工学

单元 1 直流电路	(3)
1.1 电路的组成及基本概念	(3)
1.2 电路的基本定律	(7)
1.3 电路的分析与计算	(10)
小结	(16)
思考题与习题	(16)
实践与能力训练一 直流电路电位的测量	(18)
实践与能力训练二 基尔霍夫定律的验证	(19)
单元 2 单相交流电路	(21)
2.1 正弦交流电的基本概念	(21)
2.2 单一参数电路元件的交流电路	(26)
2.3 正弦交流电路的分析	(31)
小结	(39)
思考题与习题	(40)
实践与能力训练 单相交流电路功率因数的改善	(40)
单元 3 三相交流电路	(42)
3.1 三相交流电源	(42)
3.2 三相负载的连接	(44)
3.3 三相电路的功率	(47)
小结	(49)
思考题与习题	(49)
实践与能力训练 三相交流电路中负载的连接	(50)
单元 4 磁路和变压器	(52)
4.1 磁路	(52)
4.2 变压器的结构及原理	(56)
4.3 三相变压器	(61)
4.4 特殊变压器	(66)

小结	(71)
思考题与习题	(71)
实践与能力训练 单相变压器的空载与有载运行	(73)
单元 5 电动机	(75)
5.1 三相异步电动机	(75)
5.2 直流电动机	(92)
5.3 其他电动机	(96)
小结	(100)
思考题与习题	(101)
实践与能力训练 三相异步电动机的铭牌识读、拆装、绕组首尾端的判别	(101)
下篇 工业电子学	
单元 6 半导体二极管与直流稳压电源	(105)
6.1 半导体二极管	(105)
6.2 直流稳压电源	(111)
小结	(116)
思考题与习题	(117)
实践与能力训练一 半导体二极管的识别与测试	(118)
实践与能力训练二 单相桥式整流、电容滤波电路实验	(119)
单元 7 半导体三极管及其放大电路	(120)
7.1 半导体三极管	(120)
7.2 基本放大电路	(124)
7.3 多级放大电路	(138)
7.4 功率放大电路	(142)
7.5 场效应管	(148)
小结	(151)
思考题与习题	(152)
实践与能力训练一 分压偏置共发射极放大器	(154)
实践与能力训练二 低频功率放大器——OTL 功率放大器	(155)
单元 8 负反馈放大电路和集成运算放大器	(157)
8.1 负反馈放大电路	(157)
8.2 集成运算放大器简介	(158)
8.3 集成运算放大器的应用	(161)
小结	(166)

思考题与习题	(167)
实践与能力训练 集成运算放大器的应用	(168)
单元 9 晶闸管及其应用	(170)
9.1 晶闸管	(170)
9.2 整流电路	(173)
小结	(183)
思考题与习题	(183)
实践与能力训练 单相桥式晶闸管整流电路	(184)
单元 10 数字电路基础	(185)
10.1 数字电路概述	(185)
10.2 基本逻辑门电路	(189)
10.3 集成逻辑门电路	(193)
10.4 触发器	(195)
10.5 计数器	(198)
小结	(202)
思考题与习题	(202)
实践与能力训练 集成逻辑门电路	(203)
附录	(205)
附录 I 常用阻容元件标称值	(205)
附录 II 电阻器的色标符号	(205)
附录 III 半导体器件型号意义(国标 GB 249—74)	(206)
附录 IV 几种常用半导体器件的主要参数	(207)
附录 V 国内外模拟集成电路常见产品代号	(209)
附录 VI 通用运算放大器外引线图	(210)
参考文献	(212)

上篇 电 工 学

单元1 直流电路

【知识点】

电路的组成及基本物理量;线性和非线性电阻的概念;电气设备的额定值;电路的工作状态;欧姆定律;基尔霍夫定律;戴维南定律;电压源和电流源及等效变换;电路分析计算方法。

【能力目标】

熟练掌握直流电路的分析、计算及实际运用。

1.1 电路的组成及基本概念

1.1.1 电路的组成

1.1.1.1 电路组成

电流流经的途径叫做电路。电路主要由电源、中间环节、负载等电气设备或元件组成。

电路的主要作用是将电能进行传输、分配和转换,其次是能实现信号的传递和处理。例如,利用电灯可以将电能转换成光能提供照明;电话机可以将接收到的信号进行处理,转换成声音。

如图 1.1 所示为一简单的实际照明电路。

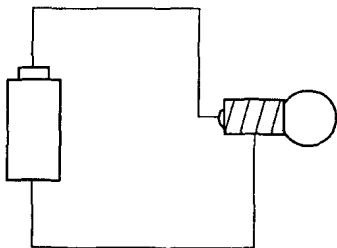


图 1.1 简单的实际照明电路

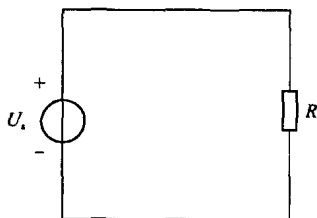


图 1.2 图 1.1 的电路模型

电路中的电源主要提供电能。电能可以由其他形式的能量转换而来,也可以由交流电转换成直流电。

中间环节主要由导线、控制设备等组成,起到传输、分配及控制电能的作用。

负载,也称用电器,是取用电能的装置。如小灯泡将电能转换成为光能,供人们照明用;电炉可以将电能转换成为热能。

1.1.1.2 电路模型

为了便于对电路进行分析和计算,人们将实际电路中的元件进行简化,忽略其次要因素,将它们视为理想电路元件,并用规定的图形和符号表示,建立了电路模型。

图 1.1 的电路模型如图 1.2 所示。

1.1.2 电路的基本物理量

1.1.2.1 电流

电流是由电荷定向运动形成的。为了表达电流的强弱,规定了电流强度这一物理量。

电流强度是指在电场的作用下,单位时间内通过导体某一横截面的电量。若在 dt 时间内,通过导体某一截面 S 的电量为 dq (如图 1.3 所示),则电流强度为:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

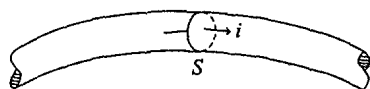


图 1.3 导体中的电流

电流强度是时间的函数,是随时间变化的。若电流强度不随时间变化,即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数,则这种电流称为恒定电流,也称为直流。直流常用大写字母 I 来表示,则式(1.1)可以写成:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

在国际单位制中,电流的单位是安培(A),电量的单位是库仑(C),时间的单位是秒(s)。电流还有毫安(mA)和微安(μ A)两个常用单位,它们和安培的关系是: $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

在分析简单电路时,通常规定正电荷的运动方向为电流的方向。但在分析复杂电路时,通常难以决定电路中电流的方向,于是引入了电流的参考方向这一概念。参考方向为假设的电路中电流的方向。

参考方向可以人为选定。在分析、计算过程中,若电流的实际方向和参考方向一致,电流的值为正;若电流的实际方向和参考方向相反,则电流的值为负。在假定了电路中电流的参考方向后,就可以根据电流强度的正负值来判断电流的实际方向,如图 1.4 所示。

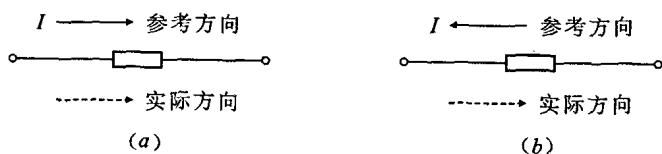


图 1.4 电流的参考方向和实际方向

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

1.1.2.2 电压

电压是电路中一个重要的物理量。如图 1.5 所示,电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 。电压的定义可以用下式表示:

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1.3)$$

式中 U_{ab} —— a 、 b 两点的电压, V;

dW ——电场力将正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, J;

dq ——电场力所移动的正电荷的电荷量, C。

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V)。电压的常用单位还有毫伏(mV)、千伏(kV)等,它们的关系为: $1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV}$ 。

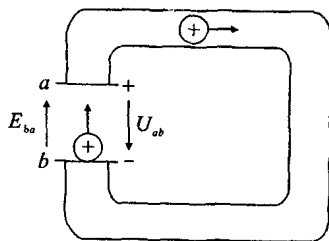


图 1.5 电压与电动势

习惯上,人们把电位下降的方向规定为电压的方向,可以用+、-号表示,也可以用箭头表示。在复杂电路中,某元件的电压实际方向难以确定,可引用电压的参考方向这个概念来帮助分析电路。电压的参考方向是为了分析和计算方便而假定的电路中某元件或者某段电路的电压方向。若在计算结果中,电压的值为正,则参考电压方向与实际电压方向一致;若电压的值为负,则参考电压方向与实际电压方向相反。在图 1.6(a)所示的电压参考方向下,计算得到的电压结果 $U > 0$;在图 1.6(b)所示的电压参考方向下,计算得到的电压结果 $U < 0$ 。

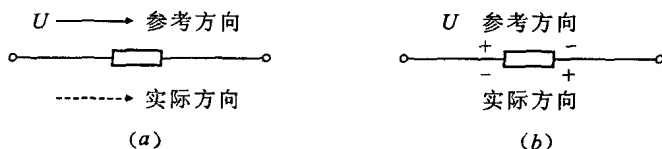


图 1.6 电压的参考方向和实际方向

1.1.2.3 电动势

非电场力把单位正电荷在电源内部由低电位点 b 端移到高电位点 a 端所做的功,称为电动势,用字母 $e(E)$ 表示。

电动势的实际方向是电源内部从低电位指向高电位,单位与电压相同,用伏特(V)表示。

1.1.2.4 关联正方向

如图 1.7 所示,电路中,若电压和电流的参考方向一致时,称为关联参考方向,也称关联正方向;若电压和电流参考方向不一致时,称为非关联参考方向。

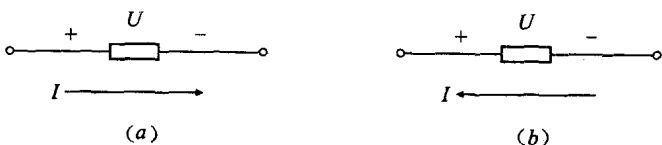


图 1.7 电压和电流的关系

(a) 电压和电流为关联参考方向; (b) 电压和电流为非关联参考方向

1.1.2.5 电位

把单位正电荷从某位置带到无限远处(零电位处)时所耗的电能,称为该点的电位。电位的单位是伏特(V)。

电压也可以利用电路两点间电位的差来计算,如图 1.8 所示。

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.4)$$

式中 U_{ab} ——电路中 a 、 b 两点的电压, V;

V_a ——电路中 a 点的电位, V;

V_b ——电路中 b 点的电位, V。

因此,电压也称为电位差。

在电路中通常会假设某点的电位为零,则该点称为电路中的零电位点。为计算方便,通常会选择电源负极或电路中的公共接地点为零电位点。

1.1.2.6 电功率和电能

电场力在单位时间内所做的功,称为电功率 $p(P)$ 。

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.5)$$

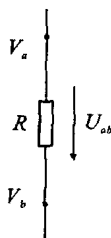


图 1.8 电压和电位

在国际单位制中,电功率的单位为瓦特(W)。

如图 1.9 所示电路,电路中电阻所吸收的电功率也可以利用下式计算:

$$P = UI \quad (1.6)$$

式中 P ——电路中某元件吸收的功率, W;

U ——电路中某元件两端的电压, V;

I ——电路中通过某元件的电流, A。

在上图中,电阻所消耗的电能:

$$W = Pt \quad (1.7)$$

在纯电阻电路中,电阻所消耗的电能也可以利用下式计算:

$$W = UI t \quad (1.8)$$

在电路元件两端电压和电流关联参考方向下,如图 1.7(a), $P = UI > 0$, 元件吸收功率; $P = UI < 0$, 元件发出功率。在电路元件两端电压和电流非关联参考方向下,如图 1.7(b), $P = UI > 0$, 元件发出功率; $P = UI < 0$, 元件吸收功率。

例 1.1 试判断图 1.10 中的元件是吸收功率还是发出功率。

解 在图 1.10(a)中的电压和电流方向是关联参考方向, $P = UI = 5\text{W} > 0$, 则元件吸收功率。在图 1.10(b)中的电压和电流方向是非关联参考方向, $P = UI = 5\text{W} > 0$, 则元件发出功率。

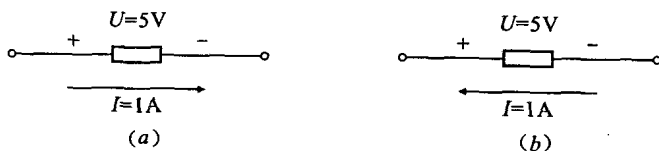


图 1.10 功率的计算

1.1.3 电路的工作状态

电路通常有开路、短路和负载三种工作状态。

1.1.3.1 开路(空载)状态

在图 1.11 所示电路中,当开关处于打开状态时,外电路与电源断开,电路工作在开路状态,也称为空载状态。

电路处于开路状态时,电路中的电流 I 为 0, 电源的端电压 U 等于电源电动势 U_s , 负载 R 的端电压 U_0 为 0, 此时, 外电路元件的功率 P 也为 0。

1.1.3.2 短路状态

在图 1.12 中, 负载电阻 R 被导线短接时, 电流不流经负载电阻 R 而直接流回电源, 电路的这种工作状态称为短路。

电路处于短路状态时, 具有以下特征: 通过负载电阻 R 的电流 $I = 0$; 负载 R 的端电压 $U = 0$; 通过电源的电流 $I_s = U_s / R_0$; 电源消耗的功率 $P = I^2 R_0$, R_0 为电源的等效内阻。

电路短路状态, 由于外电路电阻近似为 0, 电路中通过电源的电流 I_s 远远超过电源的额定电流值, 容易造成电源及线路的损坏, 并造成火灾事故。为避免短路事故的发生, 可以在电源

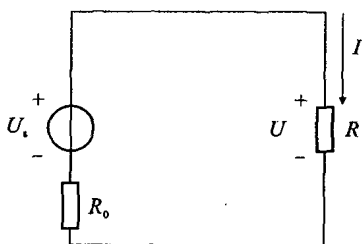


图 1.9 电能和电功率

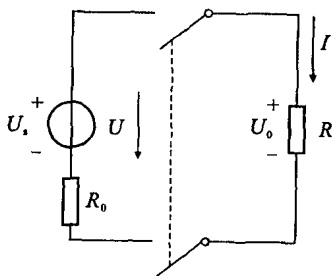


图 1.11 电路的开路状态

输出端上串接熔断器等保护电器。

1.1.3.3 负载状态

在图 1.11 中,若将电路中的开关合上,电源就会向负载 R 输出电流,此时,电路处于负载状态:

$$U_0 = IR = U_s - IR_0$$

$$P = P_E - \Delta P$$

U_0 为负载电阻的端电压, R_0 为电源的等效内阻, P 为电源的输出功率, P_E 为电源能提供的总功率, ΔP 为电源自身消耗的功率。

例 1.2 若电源的开路电压 U 为 15V, 其短路电流 I_s 为 30A, 则该电源的电动势和内阻各为多少?

解 电源的电动势 $U_s = U = 15\text{V}$

$$\text{电源的内阻 } R_0 = \frac{U_s}{I_s} = \frac{15}{30} \Omega = 0.5 \Omega$$

1.1.3.4 电气设备的额定值

对于实际的电气设备,为了达到最好的经济效能,制造厂家对它的性能、使用条件等都采用一些技术参数来加以规定,这些技术参数称为额定值。例如,某元件在正常条件下允许通过的电流值 I_N 、正常工作条件下允许施加的电压 U_N 分别称为额定电流、额定电压。在额定电压及额定电流下工作的电气设备,所产生的功率称为额定功率 P_N 。电气设备在这些额定值下工作时,称为额定工作状态(满载运行)。

为保证电气设备能长期正常运行,用户必须按照制造厂家给定的额定值来使用设备,绝对不允许超过额定值运行。

例 1.3 若某电气设备上的铭牌注明额定电压 U_N 为 220V, 额定功率 P_N 为 100W, 则在正常工作条件下,其额定电流是多少?

解 由 $P = UI$, 得 $I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{100}{220} \text{A} \approx 0.45 \text{A}$

1.2 电路的基本定律

1.2.1 电阻元件和欧姆定律

在实际电路中,负载元件的种类很多,电阻元件是比较常见的一种。

通常情况下,白炽灯、扬声器、电炉丝等负载元件都可以等效为电阻元件。为了电路工作需要,还专门制作了不同型号、规格的电阻元件,称为电阻器,简称为电阻。

一般所说的电阻元件,其阻值为定值。这类电阻也称为线性电阻。

在国际单位制中,电阻值的单位为欧姆(Ω),常用的单位还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)。

$$1\text{M}\Omega = 10^3 \text{k}\Omega = 10^6 \Omega$$

对线性电阻而言,通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,这就是欧姆定律。它是分析电路的基本定律之一。如对于图 1.13(a),欧姆定律可以用下式表示:

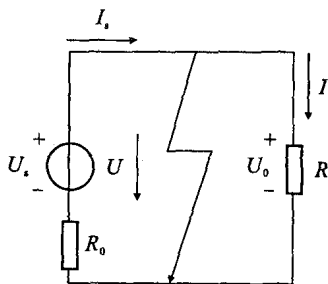


图 1.12 电路的短路状态

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.9)$$

根据所选的电压和电流的参考方向不同,欧姆定律可以带有正号或者负号。如图 1.13(a)所示,电压和电流的参考方向为关联参考方向,则欧姆定律写为:

$$U = RI \quad (1.10)$$

如图 1.13(b)和图 1.13(c)所示,当电压和电流的参考方向为非关联方向时,欧姆定律则写为:

$$U = -RI \quad (1.11)$$

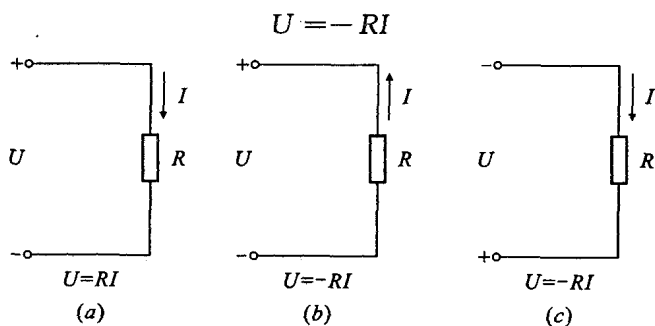


图 1.13 欧姆定律

例 1.4 如图 1.14 所示,根据欧姆定律,求出电阻的阻值。

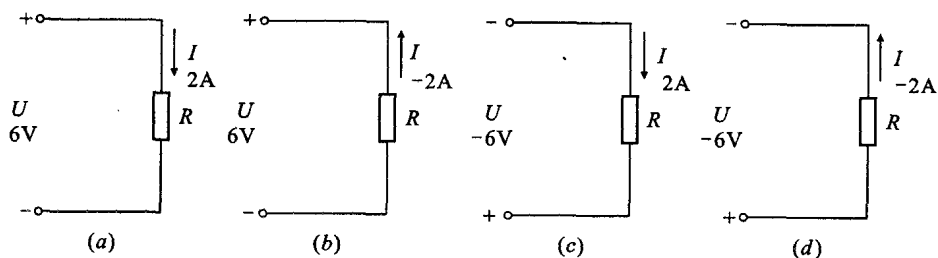


图 1.14 例 1.4 图

解 图 1.14(a): $R = \frac{U}{I} = \frac{6\text{V}}{2\text{A}} = 3\Omega$

图 1.14(b): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6\text{V}}{-2\text{A}} = 3\Omega$

图 1.14(c): $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6\text{V}}{2\text{A}} = 3\Omega$

图 1.14(d): $R = \frac{U}{I} = \frac{-6\text{V}}{-2\text{A}} = 3\Omega$

1.2.2 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律,除了欧姆定律以外,还有基尔霍夫定律。基尔霍夫定律分为电流定律和电压定律。

电路中通以相同的电流且没有分支的一段电路,称为支路。支路中通过的电流称为支路电流。图 1.15 的电路中共有 $b-a-f-e$ 、 $b-e$ 、 $b-c-d-e$ 三条支路。

电路中三条或者三条以上的支路的连接点称为节点。图 1.15 电路中有 b 、 e 两个节点。

电路中任意一条或者多条支路组成的闭合的电路称为回路。如图 1.15 中的 $a-b-e-$

$f-a$ 回路、 $b-c-d-e-b$ 回路、 $a-b-c-d-e-f-a$ 回路。

基尔霍夫电流定律是用来确定连接在同一节点的各支路的电流间关系的。由于电流的连续性,电路中任何一个节点都不能堆积电荷。因此,在任意一瞬间,流入节点的电流和流出节点的电流是相等的。这就是基尔霍夫电流定律(KCL)。

对于图 1.15 的节点 b ,可得下式:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

也可以写成:

$$I_1 + I_2 - I_3 \stackrel{?}{=} 0$$

即:

$$\sum I = 0 \quad (1.12)$$

就是在任意一时刻,一个节点上电流的代数和等于零。

根据式(1.12),规定了电流的参考方向,即流入节点的电流取正号,流出节点的电流取负号。由于这个参考方向的规定,有时计算出来的电流是负值,这是由于规定的电流参考方向与电流实际方向不一致造成的。

基尔霍夫电流定律也可以推广应用于包含部分电路的二端网络。如图 1.16 所示的闭合面包含的是一条复杂电路,应用 KCL 可列出:

$$I_A = I_{AB} - I_{BA}$$

$$I_C = I_{CB} - I_{AB}$$

$$I_B = I_{BA} - I_{CB}$$

上列三式相加,便得:

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

即:

$$\sum I = 0 \quad (1.13)$$

由此可见,在任一瞬间,通过任一闭合面的电流的代数和也恒等于零。

例 1.5 在图 1.17 中,已知 $I_1=1\text{A}$, $I_2=-5\text{A}$, $I_3=4\text{A}$,试求 I 。

解 在图 1.17 中,有 a 、 b 两个点,实际上是同一个节点。

对节点应用 KCL,得:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I = 0$$

$$I = I_1 - I_2 - I_3$$

$$I = 1 - (-5) - 4 = 2\text{A}$$

基尔霍夫定律的另一个内容是针对回路电压的。对于电路中的任意一条回路,如果从回路中的任一点出发沿回路绕行一圈,则回路中的电位升之和等于电位降之和,这个定律称为

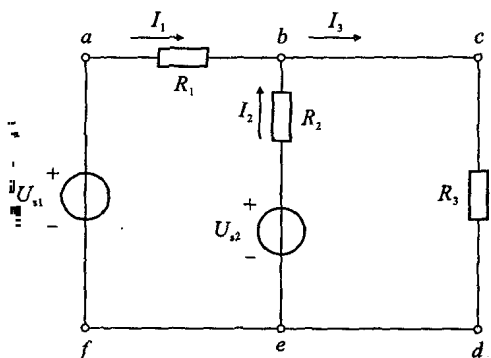


图 1.15 基尔霍夫定律

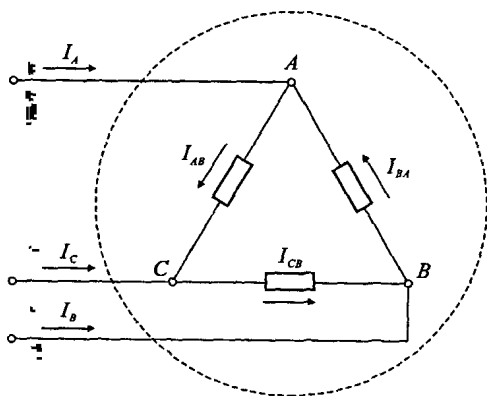


图 1.16 基尔霍夫电流定律的推广

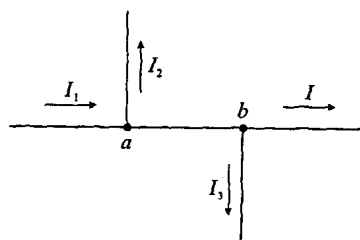


图 1.17 例 1.5 图