

 西安交通大学

“十一五”规划教材

电工电子技术

杨振坤 陈国联



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学

“十一五”规划教材

电工电子技术

杨振坤 陈国联

ISBN 978-7-2602-3272-3

西安交通大学出版社

180 页

727 mm × 960 mm 1/16

22.75 元

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-2602-3272-3/TM · 70

34.00 元



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书是在近年来建设国家级精品课程,进行教学内容和课程体系改革研究的基础上,依据教育部最新制定的工科高校“电工学”课程教学基本要求而编写,是西安交通大学“十一五”规划教材。

本书包含电工技术和电子技术两部分,内容有电路元件与电路基本定律、电路分析基础、电路的暂态分析、基本放大电路、集成运算放大器、组合逻辑电路、时序逻辑电路、直流稳压电源、数字技术应用电路、变压器与电动机、电气自动控制等。

本书贯彻少而精的原则,精选内容,突出重点,注重基础。内容安排和概念叙述由浅入深。为了便于教与学,各章配有丰富的例题、习题、练习与思考题,章后有小结,书后附有部分习题参考答案和试题及其答案。

本书作为高等学校非电类专业本科生教材,也可供其他相关专业选用和有关工程技术人员参考。

本书的电子教案和相关资料可免费上网查阅、下载,网址:<http://202.117.25.166/ee>。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 杨振坤,陈国联编著. —西安:西安交通大学出版社,2007.10
(西安交通大学“十一五”规划教材)
ISBN 978-7-5605-2572-3

I. 电… II. ①杨… ②陈… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 153152 号

书 名 电工电子技术
编 著 杨振坤 陈国联
出版发行 西安交通大学出版社
地 址 西安市兴庆南路 10 号 (邮编:710049)
电 话 (029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
印 刷 陕西元盛印务有限公司
字 数 480 千字
开 本 727 mm×960 mm 1/16
印 张 25.75
版 次 2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-2572-3/TM·70
定 价 34.00 元

版权所有 侵权必究

西安交通大学出版社
XIAN JIAO TONG DA XUE CHUBAN SHE



前言

本书系西安交通大学国家级精品课程“电工电子技术”课程集纸质教材、多媒体课件、试题库和资源库于一体的立体化系列教材之一;是西安交通大学“十一五”规划教材。参考学时为 60~75(不含实验)。

本书依据教育部最新制定的工科高校“电工学”课程教学基本要求,并在《电工技术》(杨振坤、刘晓晖、刘晔编,2002 年出版)和《电子技术》(陈国联、王建华、夏建生编,2002 年出版)的基础上,总结提高,精简内容,为适应学时相对少的专业需要而编写。

在满足电工电子技术课程教学基本要求的基础上,本书还具有以下特点。

1. 贯彻少而精的原则,精选内容,教材分量适中,与教学学时相符。
2. 内容安排上符合认知规律,概念叙述由浅入深,条理清楚,有利于读者自学。
3. 各章配合正文均配有较丰富的例题、练习思考题和习题,章后有小结;书后附有部分习题参考答案和期末考试题及其答案;全书内容环环相扣,使读者可以通过不同的角度学习掌握本课程的基本概念和基本分析方法。
4. 在例题和习题的编排上注重综合实例的分析,便于读者应用能力和创新能力的培养。
5. 本书配有经过多年课堂教学实践、反复修改加工提高的多媒体课件,有利于减少授课学时,提高教学质量。

考虑到电工测量知识通常是借助于实验环节完成学习任务的特点,该部分内容未编入本教材。

本书由杨振坤教授和陈国联副教授共同完成编写任务。其中杨振坤教授负责第 1、2、3、7、10、11、12 章的编写及全书的统稿,第 4、5、6、8、9 章由陈国联副教授编写。硕士研究生樊琳、张鹏飞、李文金、张正龙等在本书编写中做了一些工作。

本书的电子教案和相关资料可免费上网查阅、下载,网址: <http://202.117.25.166/ee>。

在本书编写过程中,作者借鉴了有关参考资料,同时也得到西安交通大学电工电子技术课程组同仁们的关心和支持。在此,对参考资料的作者、课程组同仁以及帮助此书出版的单位和同志们一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,且时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请使用本书的师生和其他读者提出宝贵意见,以便不断改进与提高。

编者

2007 年 6 月

目 录

第 1 章 电路元件与电路基本定律

1.1 电路模型与参考方向	(1)
1.1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.2 电流和电压的参考方向	(2)
1.1.3 电路中的功率	(3)
1.2 基尔霍夫定律	(5)
1.2.1 基尔霍夫电流定律	(5)
1.2.2 基尔霍夫电压定律	(6)
1.3 无源电路元件	(8)
1.3.1 电阻元件	(8)
1.3.2 电感元件	(10)
1.3.3 电容元件	(11)
1.4 有源电路元件	(12)
1.4.1 独立电源	(12)
* 1.4.2 受控源	(16)
本章小结	(18)
习 题	(19)

第 2 章 电路分析基础

2.1 支路电流法	(24)
2.2 叠加原理与等效电源定理	(26)
2.2.1 叠加原理	(27)
2.2.2 等效电源定理	(29)
2.3 正弦交流电路	(34)
2.3.1 正弦量的三要素	(34)
2.3.2 正弦量的相量表示法	(36)
2.3.3 电阻、电感、电容元件的交流电路	(40)
2.3.4 简单正弦交流电路的分析与计算	(47)
2.3.5 电路中的谐振	(57)
2.4 供电与用电	(62)

2.4.1 三相电源与三相负载·····	(62)
2.4.2 安全用电常识·····	(69)
2.5 非正弦周期信号电路·····	(74)
2.5.1 非正弦周期信号的分析·····	(74)
2.5.2 线性非正弦周期信号电路的分析与计算·····	(75)
本章小结·····	(75)
习 题·····	(78)

第3章 电路的暂态分析

3.1 换路定律及初始值的确定·····	(84)
3.2 一阶电路的暂态分析·····	(86)
3.2.1 零输入响应·····	(86)
3.2.2 零状态响应·····	(89)
3.2.3 全响应·····	(92)
3.3 一阶电路暂态分析的三要素法·····	(93)
本章小结·····	(97)
习 题·····	(98)

第4章 半导体器件

4.1 半导体二极管·····	(101)
4.1.1 PN结及其单向导电性·····	(101)
4.1.2 半导体二极管的伏安特性和主要参数·····	(104)
4.1.3 稳压管·····	(106)
4.2 双极型晶体管·····	(108)
4.2.1 基本结构和分类·····	(108)
4.2.2 电流放大原理·····	(109)
4.2.3 特性曲线和主要参数·····	(111)
4.3 绝缘栅场效应管·····	(114)
4.3.1 增强型MOS场效应管·····	(114)
4.3.2 耗尽型MOS场效应管·····	(118)
4.3.3 场效应管的主要参数·····	(119)
本章小结·····	(119)
习 题·····	(120)

第5章 基本放大电路

5.1 共发射极放大电路·····	(123)
-------------------	-------

5.1.1	电路组成及电压放大原理	(123)
5.1.2	静态分析	(123)
5.1.3	动态分析	(126)
5.1.4	静态工作点的稳定	(133)
5.2	射极输出器	(137)
5.2.1	静态分析	(137)
5.2.2	动态分析	(137)
* 5.3	场效应管放大电路	(140)
5.3.1	静态分析	(140)
* 5.3.2	动态分析	(141)
5.4	多级放大电路	(142)
5.4.1	多级放大电路的级间耦合方式	(142)
5.4.2	阻容耦合多级放大电路的分析	(144)
5.5	差分放大电路	(145)
5.5.1	静态分析	(145)
5.5.2	动态分析	(146)
5.5.3	差分放大电路的输入输出方式	(148)
5.6	互补对称功率放大电路	(149)
5.6.1	功率放大电路的特点	(150)
5.6.2	OCL 互补对称功率放大电路	(151)
5.6.3	OTL 互补对称功率放大电路	(153)
本章小结		(154)
习 题		(155)

第 6 章 集成运算放大器及其应用

6.1	集成运算放大器简介	(160)
6.1.1	电路组成原理	(160)
6.1.2	主要参数	(162)
6.1.3	电压传输特性和电路模型	(163)
6.1.4	理想集成运放及其分析方法	(164)
6.2	放大电路中的负反馈	(166)
6.2.1	负反馈的基本概念	(166)
6.2.2	交流负反馈的类型及其判别	(167)
6.2.3	负反馈对放大电路性能的影响	(172)

6.3 集成运算放大器的线性应用	(174)
6.3.1 基本运算电路	(175)
6.3.2 测量放大器	(182)
6.4 集成运算放大器的非线性应用	(185)
6.4.1 电压比较器	(185)
* 6.4.2 方波发生器	(189)
6.5 RC 正弦波振荡电路	(191)
6.5.1 自激振荡的基本原理	(191)
6.5.2 RC 文氏电桥式振荡器	(192)
本章小结	(195)
习 题	(196)
第 7 章 直流稳压电源	
7.1 整流、滤波和稳压电路	(202)
7.1.1 单相桥式整流电路	(202)
7.1.2 滤波电路	(204)
7.1.3 串联型稳压电路	(207)
7.2 可控整流电路	(210)
7.2.1 晶闸管	(210)
7.2.2 单相可控整流电路	(213)
本章小结	(218)
习 题	(218)
第 8 章 组合逻辑电路	
8.1 集成门电路	(221)
8.1.1 基本逻辑门电路	(222)
8.1.2 TTL 集成门电路	(225)
8.1.3 MOS 集成门电路	(231)
8.2 逻辑代数及其应用	(234)
8.2.1 逻辑代数的基本定律	(234)
8.2.2 逻辑函数的表示方法	(235)
8.2.3 逻辑函数的代数法化简	(236)
8.3 组合逻辑电路的分析与设计	(238)
8.3.1 组合逻辑电路的分析	(238)
8.3.2 组合逻辑电路的设计	(240)

8.4 编码、译码与数字显示	(244)
8.4.1 编码器	(244)
8.4.2 译码器和数字显示	(246)
本章小结	(252)
习 题	(253)
第 9 章 时序逻辑电路	
9.1 双稳态触发器	(258)
9.1.1 基本 RS 触发器	(258)
9.1.2 同步触发器	(260)
9.1.3 主从型 JK 触发器	(264)
9.1.4 边沿触发器	(265)
9.2 寄存器与计数器	(267)
9.2.1 寄存器	(267)
9.2.2 计数器	(269)
* 9.3 半导体存储器和可编程逻辑器件	(280)
9.3.1 只读存储器	(280)
9.3.2 随机存取存储器	(282)
9.3.3 可编程逻辑器件	(284)
本章小结	(292)
习 题	(293)
第 10 章 数字技术应用电路	
10.1 集成 555 定时器及其应用	(299)
10.1.1 555 定时器	(299)
10.1.2 由 555 定时器构成的无稳态触发器	(300)
10.1.3 由 555 定时器构成的单稳态触发器	(302)
* 10.1.4 由 555 定时器构成的施密特触发器	(304)
10.2 模拟量与数字量的转换	(306)
10.2.1 数模转换器	(306)
10.2.2 模数转换器	(309)
本章小结	(313)
习 题	(313)
第 11 章 变压器和电动机	
11.1 磁 路	(316)

11.1.1 铁磁材料的磁性能·····	(316)
11.1.2 磁路的基本定律·····	(318)
11.1.3 简单磁路分析·····	(319)
11.2 变压器·····	(321)
11.2.1 变压器的工作原理·····	(322)
11.2.2 变压器的额定值和特性·····	(326)
* 11.2.3 自耦变压器及仪用互感器·····	(328)
11.3 电动机·····	(330)
11.3.1 三相交流异步电动机的结构和原理·····	(330)
11.3.2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性·····	(337)
11.3.3 三相异步电动机的使用·····	(338)
11.3.4 单相异步电动机·····	(342)
* 11.4 控制电机·····	(344)
11.4.1 交流伺服电动机·····	(344)
11.4.2 步进电动机·····	(345)
本章小结·····	(347)
习 题·····	(348)
第 12 章 电气自动控制	
12.1 继电器接触器控制·····	(352)
12.1.1 常用低压控制电器·····	(352)
12.1.2 三相异步电动机基本控制电路·····	(357)
12.1.3 继电器接触器控制电路图的阅读方法·····	(365)
12.2 可编程控制器·····	(366)
12.2.1 可编程控制器的结构和工作原理·····	(366)
12.2.2 可编程控制器的编程语言和基本指令·····	(369)
* 12.2.3 可编程控制器的应用举例·····	(373)
本章小结·····	(376)
习 题·····	(377)
电工电子技术试题 ·····	(381)
部分习题参考答案 ·····	(386)
电工电子技术试题答案 ·····	(397)
中英文名词对照 ·····	(399)
参考文献 ·····	(402)

第 1 章

电路元件与电路基本定律

电路元件与电路基本定律是电路分析的重要基础。本章主要介绍电路的基本概念和基本定律,包括电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律以及无源电路元件和有源电路元件的模型及其特性,其中基尔霍夫定律是本章讨论的主要内容之一,是学好电工技术和电子技术的基础。

1.1 电路模型与参考方向

1.1.1 电路与电路模型

电路是电流流通的路径,是按一定的方式由电工、电子器件组成的总体。

电路通常是由电源、负载和中间环节三部分组成。电源是将其他形式的能量如化学能、机械能、原子能以及太阳能等等转换成电能的装置,是电路中提供能量的部分。负载是将电能转换成非电能的装置,如电灯、电炉、电动机、各种仪器仪表和家用电器等。中间环节是将电源和负载联接成闭合回路的导线、开关及保护设备等。

电路的结构形式是多种多样的,按照电路的作用可将其分为两大类。一类是实现电能传输和转换的电路,此类电路的典型例子是电力系统。一般电力系统包括发电厂、输变电环节和负载三个部分。在各类发电厂中,发电机分别把热能、水位能以及核能等转换为电能,并通过输变电环节将电能经济、安全地输送到用户,由用户的电灯、电动机、电炉等负载,再将电能转化为其他所需的能量形式。另一类是实现信号的传递和处理的电路,如计算机电路、电视机电路以及各类测量电路等。就测量电路而言,主要包括信号的转换、信号的放大与处理以及记录显示等环节。

实际的电路是由几种电气元器件所组成的。无论是最简单的手电筒电路还是较复杂的计算机电路,它们的电气元器件所表现出来的电磁现象和能量转换的特征一般都比较复杂,而且不同的实际电路其物理现象千差万别。因此,在对实际电

路进行分析和计算时,总是用理想电路元件及其组合来等效代替实际电路。这种由理想电路元件组成的电路称为电路模型,简称为电路。

所谓理想电路元件,是指在一定条件下突出其主要电磁性质,忽略其次要性质,把实际器件抽象为只含一种参数的电路元件。例如由导线绕成的线圈,在直流条件下,可不考虑其电感和匝间电容而用“电阻元件”来表征;在交流情况下,则此实际器件要用“电阻元件”和“电感元件”相串联来表征。

1.1.2 电流和电压的参考方向

电路中的基本物理量是电流、电压和电动势,不论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都要通过电流、电压和电动势来实现。在分析和计算电路时,通常要用数学式表示电流、电压等物理量间的关系,因此需要知道电流和电压的方向。在简单的直流电路中,可以根据电源的极性直接判别出电流和电压的实际方向,但在复杂的直流电路中难以预先知道它们的实际方向。因此,在分析计算之前,可以首先任意假设电流和电压的方向作为参考(电流方向用箭头,电压方向用“+”、“-”标出),这些任意假定的方向称为参考方向(或称正方向),如图 1.1.1 所示是电路中电流的参考方向。



图 1.1.1 电流的参考方向

参考方向是可以依习惯或方便任意选定的,所以它既可能与电流的实际方向相同,也可能与电流的实际方向相反。当电流的参考方向与电流的实际方向一致时,电流取正值;反之,如果电流的参考方向与实际方向相反,电流取负值。换言之,规定了某一电流的参考方向,并在此规定下求得了该电流的值,那么它的实际方向就可以由此确定了。例如,按照图 1.1.1 所示电路的参考方向计算出的电流为正值,说明设定的电流参考方向与实际方向一致;若为负值,则说明电流的参考方向与实际方向相反。可见,利用电流的值(正值或负值)并结合参考方向,就能够确定电流的实际方向。

同理,当电路中某两点电压的实际方向未知时,也可以对电压的方向进行假设。只有在规定了电压的参考方向后,才能代入方程式进行计算,最后再根据电压值(正值或负值)来确定电压的实际方向。

在以后的电路分析中,所涉及的电流、电压的方向(除非特殊说明)一般都指的是参考方向,电流、电压的值均为代数值。必须指出,在未标明参考方向的前提下,讨论电路中电流或电压的正、负值是没有意义的。因此,在分析计算电路时,应首先标出电流、电压的参考方向,然后再进行分析与计算。在电路分析中,人们一般习惯把同一元件或同一部分电路的电压和电流的参考方向取为一致,这样设定的

参考方向称为关联参考方向。若设定电压和电流的参考方向相反,则称为非关联参考方向。

对电动势来说,同样可以设定它的参考方向。但是应当注意:电动势的实际方向是由电源的低电位端指向高电位端,恰好与电压的实际方向相反。所以对于一个处于开路状态的电源(或虽不处于开路状态,但电源内阻上的压降可以忽略)来说,当电压的参考方向与电动势的参考方向设定为相反时,如图 1.1.2 所示,则

$$U = E \quad (1.1.1)$$

当电压的参考方向与电动势的参考方向设定为一致时,则

$$U = -E \quad (1.1.2)$$

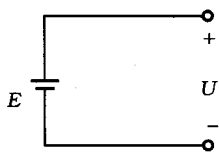


图 1.1.2 电压与电动势的参考方向

1.1.3 电路中的功率

根据物理学中功率的定义,电路中某一元件或某一部分电路的功率为

$$p = ui \quad (1.1.3)$$

式中, u 是此元件或这一部分电路的端电压, i 是流经此元件或电路的电流。

当电压 u 和电流 i 随时间 t 变化时,功率 $p = ui$ 也随时间变化。工程上则更关心平均功率,如果电压 u 和电流 i 是时间 t 的周期函数,则平均功率为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T ui dt \quad (1.1.4)$$

式中 T 是电压、电流的变化周期。

在直流情况下,电压和电流都是常数,则

$$P = UI \quad (1.1.5)$$

对电路进行分析时,不仅要计算功率的大小,有时还需要确定电能的传递方向,即判断出电路中哪些元件是电源(输出功率),哪些元件是负载(吸收功率)。

在图 1.1.3 所示的简单电路中,电源元件和负载元件以及它们的电压、电流的实际方向都是已知的。由图可知,当元件两端的电压和电流的实际方向相同时,该元件吸收功率(如负载 R);当元件两端的电压和电流的实际方向相反时,该元件输出功率(如电动势 E)。

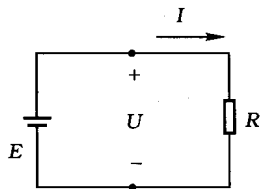


图 1.1.3 电路中的功率

在电压、电流实际方向未知的电路中,分析研究电路中的功率问题,需要依据电压和电流的参考方向。

在电压和电流参考方向下,功率也是代数量。当元件两端电压和电流的参考方向关联时,元件上消耗电功率的表达式为

$$P = UI \quad (1.1.6)$$

当电压和电流的参考方向非关联时,消耗电功率的表达式为

$$P = -UI \quad (1.1.7)$$

在上述两种情况下,若计算出的功率为正值表示该元件(或该段电路)吸收功率,在电路中的作用为负载;若为负值则表示该元件输出功率,其作用为电源。

需要指出,无论采用哪一种形式表示功率,在判断元件功率的性质时,其实质都是依据最终计算的结果,即电压和电流的实际方向进行判别的。

【例 1.1.1】某电路中元件 A 的电压、电流参考方向如图 1.1.4 所示。若 $U=10\text{ V}$, $I=-1\text{ A}$,试判断元件 A 在电路中的作用是电源还是负载。若电流参考方向与图中所设相反,则又如何?

【解】(1) 因为 U 、 I 参考方向相同,根据式(1.1.6),其消耗的电功率为

$$P = UI = 10 \times (-1)\text{ W} = -10\text{ W} < 0$$

故元件 A 为电源。

(2) 若电流参考方向与图中所设相反,则根据式(1.1.7)有

$$P = -UI = -10 \times (-1)\text{ W} = 10\text{ W} > 0$$

元件 A 为负载。

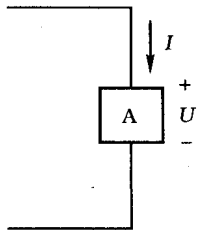


图 1.1.4 例 1.1.1 图

【练习与思考】

1.1.1 何谓电压、电流的参考方向? 参考方向与实际方向有何区别与联系?

1.1.2 电压与电动势有何区别? 对同一个电源来说,其电动势和它的端电压有何关系? 它们的参考方向是否可以任意假设?

1.1.3 如图 1.1.5 所示电路中,已知电源电压 $U=10\text{ V}$,电流 $I=-3\text{ A}$,试计算各元件的功率,并判断哪个元件是电源,哪个元件是负载。

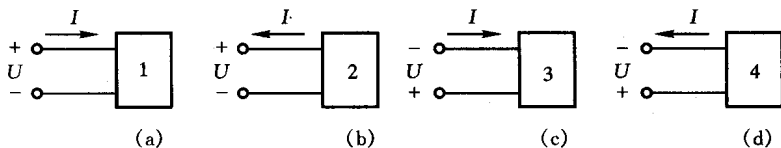


图 1.1.5 练习与思考 1.1.3 图

1.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律(Kirchhoff's Law)是电路理论的基本定律之一,它从电路的全局和整体出发,阐明了任意电路中各部分电压和电流之间的内在联系,因而是电路分析和计算的理论基础。

基尔霍夫定律包括两个定律,即基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law,简称为 KCL)和基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law,简称为 KVL)。为了更好地掌握基尔霍夫定律,先解释几个有关的名词术语。

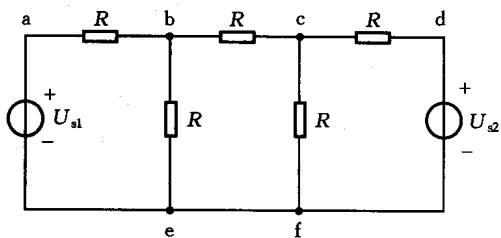


图 1.2.1 支路、结点和回路

支路 电路中的每个分支称为支路,一条支路中各元件流过同一电流。

结点 三条或三条以上支路的汇集点称为结点。

回路 电路中的任一闭合路径称为回路。

网孔 内部不含有其他支路的回路称为网孔。

图 1.2.1 所示的电路中,有 bae, be, bc, cf, cdf 五条支路。e、f 间没有元件,而连线又认为是理想的,所以 e 和 f 是同一个点,ef 不是支路。b、c 和 e(f) 为三个结点。abea, bcfef, cdfc, abcfea, bcdfeb, abcdfea 都是回路,其中 abea, bcfef, cdfc 是网孔。

1.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是确定联接在同一结点上各支路电流之间相互关系的基本定律。由于电流的连续性,电路中任何一点(包括结点),都不能有电荷的堆积。因此 KCL 指出:在任意时刻流入任一结点的电流总和等于流出该结点的电流总和。

如图 1.2.2 所示,支路电流 I_1 和 I_2 流进 a 结点,而支路电流 I_3 从 a 结点流出,因此 KCL 表示式为

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.2.1)$$

如果将上式中 I_3 移到等号左边,则

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.2.2)$$

即

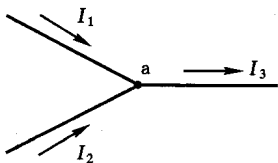


图 1.2.2 同一结点的电流关系

$$\sum I = 0 \quad (1.2.3)$$

因此,基尔霍夫电流定律也可以表述为:任何时刻,流入任一结点的电流的代数和等于零。

必须指出,应用 KCL 时,应首先在电路图上标定电流的参考方向,然后再写出 KCL 表达式。

基尔霍夫电流定律不仅适用于电路中任一结点,也适用于电路中任何一个假设的封闭面,亦称广义结点。例如在图 1.2.3 所示电路中,有

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (1.2.4)$$

这是因为对一个封闭面来说,电流必须是连续的,因此流入该封闭面电流的代数和也等于零。

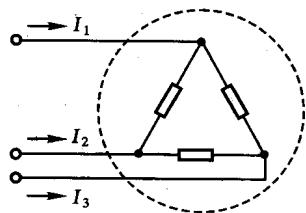


图 1.2.3 闭合面作为广义结点

1.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律是确定电路中任一回路中各部分电压之间相互关系的基本定律。KVL 指出:在任意瞬间,电路中任一个回路沿任一循行方向各段电压的代数和等于零,即

$$\sum U = 0 \quad (1.2.5)$$

图 1.2.4 为电路中某一回路。任意选择其循行方向,如选取顺时针方向为回路的循行方向,沿该方向回路中各段电压的代数和为

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} - U_{ad} = 0 \quad (1.2.6)$$

上式中, U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{cd} 的参考方向与回路的绕行方向一致,所以在式中取正值。而 U_{ad} 的参考方向与回路的绕行方向相反,所以在式中取负值。

式(1.2.6)还可以改写成

$$U_{ab} + U_{bc} = U_{ad} - U_{cd} \quad (1.2.7)$$

又因

$$U_{ab} + U_{bc} = U_{ac} \quad (1.2.8)$$

$$U_{ad} - U_{cd} = U_{ad} + U_{dc} = U_{ac} \quad (1.2.9)$$

由式(1.2.7)、(1.2.8)、(1.2.9)可知,通过路径 abc 计算得到的 a 点和 c 点之间的电压 U_{ac} ,与通过路径 adc 计算得到的电压 U_{ac} 是一样的,也就是说任意两点间的电压与计算路径的选取无关。如果电路中各支路是由电阻元件和电源电动势所组成,则式(1.2.5)也可以写成

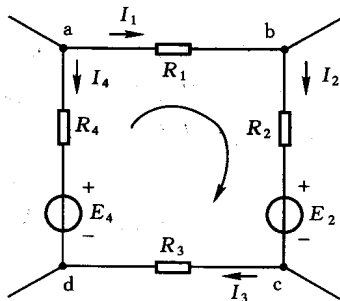


图 1.2.4 单回路电路

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_4 - E_2 \quad (1.2.10)$$

$$\text{或} \quad \sum (IR) = \sum E \quad (1.2.11)$$

式(1.2.11)为基尔霍夫电压定律的另一种表示形式,可表述为:在任意瞬间,电路中任一回路沿任一循行方向电压降的代数和等于电动势的代数和。其中电流参考方向与回路循行方向一致者取正号,如 $I_1 R_1$,反之则取负号,如 $-I_4 R_4$;电动势的参考方向与回路循行方向一致者取正号,反之则取负号。

基尔霍夫电压定律还可以推广应用于开口电路,如图 1.2.5 所示电路虽然不是闭合电路,但在 ab 开口端存在电压 U ,可以假想成一个闭合回路,按图中选取的回路方向,由式(1.2.5)可列出

$$-U + IR + U_s = 0 \quad (1.2.12)$$

这里必须说明,使用基尔霍夫电流定律和电压定律时并没有对电路中的元件性质作出限制,因此基尔霍夫定律具有普遍性,它适用于由各种不同元件所组成的直流电路和交流电路。

【例 1.2.1】 在图 1.2.6 所示电路中,已知 $U_s = 6 \text{ V}$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$, $U_i = 6 \text{ V}$, $U_{BE} = -0.3 \text{ V}$,试求:电流 I_1 、 I_2 、 I_{BE} 。

【解】 首先依据 KVL 列方程

$$U_{BE} = I_1 R_1 - U_i \quad (1)$$

$$U_{BE} = -I_2 R_2 + U_s \quad (2)$$

由式(1)、(2)解得

$$I_1 = \frac{U_{BE} + U_i}{R} = \frac{-0.3 + 6}{10} = 0.57 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{-U_{BE} + U_s}{R_2} = \frac{0.3 + 6}{20} = 0.315 \text{ mA}$$

然后依据 KCL 列方程,求得

$$I_{BE} = I_2 - I_1 = 0.315 - 0.57 = -0.255 \text{ mA}$$

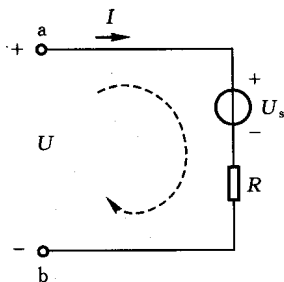


图 1.2.5 KVL 的推广应用

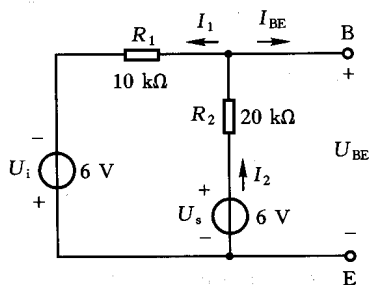


图 1.2.6 例 1.2.1 图

【练习与思考】

1.2.1 应用 $\sum (IR) = \sum E$ 或 $\sum U = 0$ 列回路方程的方法步骤有哪些相同点与不同点?