



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
电子信息、电气控制应用技术培训用书

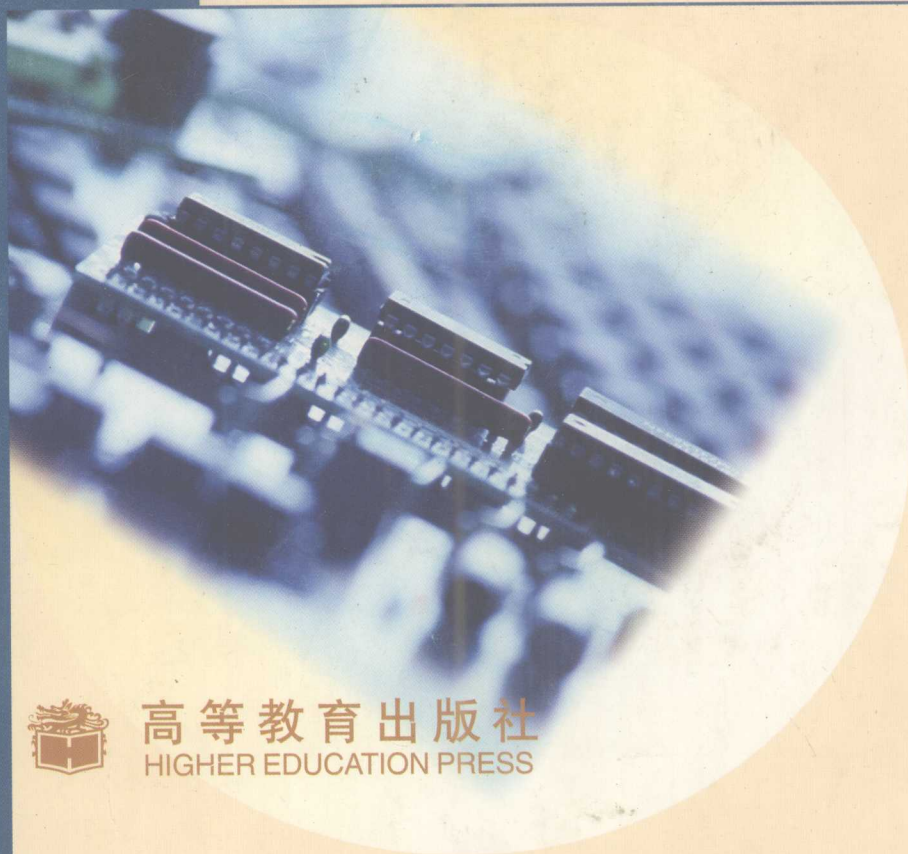
国家信息化
计算机教育认证

CEAC

指定教材

电工技术

王文瑾 张绪光 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
电子信息、电气控制应用技术培训用书

电工技术

王文瑾	张绪光	主 编
曾祥富	王慧玲	主 审

高等教育出版社

内容简介

本书是电气智能技术应用系列用书,是教育部职业教育与成人教育司推荐教材,并被信息产业部指定为“CEAC 电气智能技术应用工程师”认证专用培训教材。

本书为适应 21 世纪对电气智能技术应用型人才的需要编写,从工程应用的角度来介绍电路的基本概念、基本理论和基本的分析方法,内容包括直流电路、磁路、单相正弦交流电路、三相交流电路、电路的瞬态分析、变压器与电动机、常用低压电器和继电器接触器控制系统、高压配电与低压配电、安全用电、常用电工工具及测量。

本书可作为电子信息、电气控制应用技术培训用书、“CEAC 电气智能技术应用工程师”认证培训教材以及全国职业院校电类专业教学用书,也可供相关工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 王文瑾, 张绪光主编. —北京: 高等教育出版社, 2005.7
ISBN 7-04-017041-8

I. 电... II. ①王... ②张... III. 电工技术-技术培训-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051660 号

策划编辑	王卫民	责任编辑	许海平	封面设计	于涛	责任绘图	朱静
版式设计	胡志萍	责任校对	殷然	责任印制	杨明		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 11.5
字 数 270 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>

版 次 2005 年 7 月第 1 版
印 次 2005 年 7 月第 1 次印刷
定 价 21.00 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17041-00

前 言

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,实施《2003—2007 年教育振兴行动计划》中提出的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训计划”,高等教育出版社联合研发电气智能教学系统的企业(济南星科公司)组织教育专家、职业教育一线的骨干教师、企业的工程技术人员和工程师,编写了一套电气智能技术应用教材。该套教材根据技能型人才培养模式的要求,结合电气智能教学系统,在内容上强调所学知识与生产实际相结合,着重培养培训企业需求的技能型人才。

电工技术是一门技术基础课程,它的主要任务是为学习后续相关专业课程和从事电气智能技术应用的工作打好基础,并使读者受到必要的基本技能的训练。本书本着“先应用——后理论——再应用”的原则,从工程技术应用的角度入手,逐渐展开,从而激发出读者对本门课程的学习积极性。传统的电工技术课程所涉及的数学知识和物理知识较多,深奥的理论知识不好掌握,所以本书尽量避免繁琐而枯燥的理论推导,注重帮助读者理解和掌握基本概念、基本理论和基本的分析方法,注重培养读者对知识的应用能力,注重培养读者分析问题和解决问题的能力,从而把读者从烦琐而枯燥的理论推导中解放出来。

本书共分 10 章,其中,第 1 章为直流电路,主要介绍了电路的基本概念、基本定律和基本的分析方法。电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律以及支路电流法是本章的重点。第 2 章为磁路,主要介绍了磁场的基本物理量、电磁感应、磁性材料的磁性能、磁路欧姆定律和电磁铁等内容。考虑到有关磁的基本概念和电磁感应等内容已在物理学中讲过,为了保持教材的系统性,这些内容仍被列入本章。第 3 章为单相正弦交流电路,主要介绍了正弦交流电的基本概念、正弦交流电路的分析方法——相量法、单一参数的交流电路、电阻和电感的串联电路、功率因数的提高以及谐振电路等内容。在学习本章时,一定要树立起交流的概念,尤其是相位的概念,要注意交流电路与直流电路的区别和联系,否则,很容易出现错误。第 4 章为三相交流电路,主要介绍了三相对称电源、三相负载的连接以及三相电路的功率。重点应放在三相对称电路的电压、电流和功率的计算上。第 5 章为电路的瞬态分析,着重讨论了电容器的充放电规律和影响瞬态过程快慢的电路的时间常数。第 6 章为变压器与电动机,主要介绍了变压器的三个变换作用,三相异步电动机的转动原理、机械特性、使用、维护及故障检修等内容。另外,简单地介绍了单相异步电动机和直流电动机。变压器和三相异步电动机应作为本章的重点。第 7 章为常用低压电器和继电器接触器控制系统。主要介绍了常用低压电器的结构、工作原理、使用方法以及常用的笼型异步电动机控制电路的工作原理。第 8 章为高压配电与低压配电,主要介绍了高压配电系统与低压配电系统中常用的配电设备和低压配电线的选择。第 9 章为安全用电,介绍了安全用电的基本知识,重点介绍了预防触电的安全措施。第 10 章为常用电工工具及测量,主要介绍了常用的电工工具及测量仪表的使用方法。建议将验电器、电烙铁、万用表以及瓦时计的使用方法作为学习的重点。本书中打“*”号的章节为选学内容。本书的参考学时数为 60 学时,学时分配如下表所示:

II 前言

课 程 内 容	学 时 数			
	合计	讲授	实验与 实训	机动
第1章 直流电路	6	4	2	—
第2章 磁路	2	2	—	—
第3章 单相正弦交流电路	8	8	—	—
第4章 三相交流电路	6	4	2	—
第5章 电路的瞬态分析	2	2	—	—
第6章 变压器与电动机	10	10	—	—
第7章 常用低压电器和继电器接触器控制系统	12	8	4	—
第8章 高压配电与低压配电	6	4	2	—
第9章 安全用电	2	2	—	—
第10章 常用电工工具及测量	4	2	2	—
机动	2	—	—	2
总计	60	46	12	2

本书配有多媒体助学、助教光盘,形象生动地展示了电气智能实验教学系统的模拟、仿真画面,使读者真实感受企业电气操作的信号流程,使用本书有助于改变过去单纯以传授知识为主的教学观念和教学方法,打破传统的授课模式,充分利用现代化的教学手段,使教学内容更加形象、直观。同时,重视实践环节,有利于提高读者对知识的应用能力和创新能力。

本书由王文瑾(教育部职业技术教育中心研究所)、张绪光(山东轻工业学院)任主编,参加本书编写的还有:沈阳师范大学职业技术学院的吴建军(编写第1章和第5章)和温丹丽(编写第6章)、山东轻工业学院的刘在娥(编写第7章)和张莉(编写第8章)、上海应用技术学院的胡春慧(编写第2章)和刘玉琴(编写第9章和第10章)以及福州电子职业中专学校的程宇(编写第3章和第4章)。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点、错误和其他不足之处,恳切希望使用本书的广大读者批评指正。

编 者
2005年3月

目 录

第1章 直流电路	1	2.4.2 磁性材料的分类	26
1.1 电路的组成和作用	1	2.5 磁路欧姆定律	26
1.1.1 电路的组成	1	2.6 电磁铁	27
1.1.2 电路的作用	1	2.6.1 基本结构和工作原理	27
1.2 电路模型	2	2.6.2 电磁铁的分类及应用	28
1.2.1 理想的无源元件	2	习题	29
1.2.2 理想的电源元件	3	第3章 单相正弦交流电路	30
1.3 电流和电压的参考方向	4	3.1 正弦交流电的基本概念	30
1.3.1 电流的参考方向	4	3.1.1 周期、频率和角频率	30
1.3.2 电压的参考方向	4	3.1.2 正弦交流电的有效值	31
1.3.3 关联与非关联参考方向	4	3.1.3 相位、初相位和相位差	31
1.4 电能和电功率	6	3.2 正弦交流电的相量表示法	33
1.4.1 电能	6	3.2.1 矢量表示法	33
1.4.2 电功率	6	3.2.2 用相量法进行正弦量的加减运算	34
1.5 分析与计算电路的基本定律	7	3.3 三种理想的电路元件	35
1.5.1 欧姆定律	7	3.3.1 电阻元件	35
1.5.2 基尔霍夫定律	8	3.3.2 电感元件	36
1.6 电阻的串联和并联	10	3.3.3 电容元件	37
1.6.1 电阻的串联	10	3.4 单一参数的交流电路	38
1.6.2 电阻的并联	11	3.4.1 纯电阻电路	38
1.7 支路电流法	13	3.4.2 纯电感电路	40
习题	15	3.4.3 纯电容电路	42
第2章 磁路	17	3.5 电阻、电感串联电路	44
2.1 磁场的基本物理量	17	3.5.1 电压与电流的关系	44
2.1.1 磁的基本概念	17	3.5.2 功率	45
2.1.2 磁场的基本物理量	18	3.6 功率因数的提高	47
2.2 电磁感应	19	3.7 谐振电路	49
2.2.1 法拉第电磁感应定律	19	3.7.1 串联谐振电路	49
2.2.2 楞次定律	20	3.7.2 并联谐振电路	51
2.3 自感与互感	21	习题	52
2.3.1 自感	21	第4章 三相交流电路	54
2.3.2 互感	22	4.1 三相对称电源	54
2.4 磁性材料	25	4.1.1 三相对称电压的产生	54
2.4.1 磁性材料的主要性能	25		

4.1.2 三相电源绕组的连接	55	6.3.4 直流电动机的运行与控制	103
4.2 三相负载的连接	56	6.3.5 直流电动机故障检修	104
4.2.1 三相负载的星形联结	57	习题	106
4.2.2 三相负载的三角形联结	58	第7章 常用低压电器和继电器接触器	
4.3 三相电路的功率	60	控制系统	107
习题	61	7.1 常用低压电器	107
第5章 电路的瞬态分析	63	7.1.1 开关电器	107
5.1 瞬态过程与换路定律	63	7.1.2 主令电器	109
5.1.1 瞬态过程	63	7.1.3 交流接触器	110
5.1.2 换路定律	63	7.1.4 继电器	110
5.2 电容器的充电过程	64	7.1.5 熔断器	112
5.3 电容器的放电过程	65	*7.1.6 起动器的使用	114
5.4 一阶线性电路的三要素法	66	7.2 笼型异步电动机的全压控制	115
习题	68	7.2.1 笼型异步电动机的直接起动控制	115
第6章 变压器与电动机	70	7.2.2 笼型异步电动机的正反转控制	116
6.1 变压器	70	7.2.3 行程(限位)控制	118
6.1.1 变压器的用途	71	7.3 笼型异步电动机的降压起动控制	119
6.1.2 变压器的结构	71	7.3.1 定子串电阻或电抗器的降压起动电路	119
6.1.3 变压器的工作原理	72	7.3.2 星形-三角形(Y- Δ)降压起动电路	119
6.1.4 特殊用途的变压器	74	7.3.3 自耦降压起动电路	120
6.1.5 变压器的铭牌数据	75	*7.3.4 软起动电路	121
6.1.6 变压器的运行与维护	76	7.4 笼型异步电动机的变速与制动控制	121
6.1.7 变压器的故障检修	76	*7.4.1 笼型异步电动机的变速控制	121
6.2 异步电动机	78	7.4.2 笼型异步电动机的制动控制	122
6.2.1 三相异步电动机的结构	78	7.5 控制电路的典型应用	123
6.2.2 三相异步电动机的转动原理	79	习题	125
6.2.3 三相异步电动机的机械特性	81	第8章 高压配电与低压配电	127
6.2.4 三相异步电动机的起动	84	8.1 电力系统概述	127
6.2.5 三相异步电动机的调速	89	8.1.1 发电厂	127
6.2.6 三相异步电动机的反转	92	8.1.2 电力网	128
6.2.7 三相异步电动机的制动	92	8.1.3 电力用户	128
6.2.8 三相异步电动机的铭牌数据	93	8.1.4 构成大型电力系统的优点	128
6.2.9 三相异步电动机的安装与运行维护	95	8.2 高压配电系统	129
6.2.10 三相异步电动机的故障检修	97	8.2.1 变、配电所的任务	129
6.2.11 单相异步电动机	98	8.2.2 工厂供、配电系统及其组成	129
6.3 直流电动机	100		
6.3.1 直流电动机的结构与分类	100		
6.3.2 直流电动机的工作原理	102		
6.3.3 直流电动机的铭牌数据	103		

8.2.3 高压配电设备	130	10.1.2 钢丝钳	156
8.2.4 电气主接线	132	10.1.3 尖嘴钳	157
8.3 低压配电系统	134	10.1.4 剥线钳	157
8.3.1 低压配电母线(WB)	134	10.1.5 螺钉旋具	158
8.3.2 低压配电设备	134	10.1.6 电工刀	159
8.3.3 低压配电线路	135	10.1.7 活络扳手	159
8.3.4 低压配电线的选择	136	10.1.8 冲击钻	160
习题	144	10.1.9 电烙铁	160
第9章 安全用电	145	10.2 万用表的使用及维护	161
9.1 安全操作规程	145	10.2.1 常用万用表的种类	161
9.1.1 选用安全电压	145	10.2.2 万用表的使用	161
9.1.2 保持安全距离	145	10.3 兆欧表的使用及维护	163
9.1.3 认清安全标志	146	10.3.1 常用兆欧表的种类	163
9.1.4 谨慎接触电器	146	10.3.2 兆欧表的使用	163
9.1.5 电气设备的安全防护	146	10.4 钳形电流表的使用及维护	165
9.1.6 正确安全地使用电动工具	146	10.4.1 常用钳形电流表的种类	165
9.2 人身安全	147	10.4.2 钳形电流表的使用	166
9.2.1 电流对人体的作用	147	10.5 离心转速表的使用和维护	166
9.2.2 触电形式	147	10.5.1 手持式离心转速表的规格 型号	166
9.2.3 触电急救	148	10.5.2 手持式离心转速表的使用	167
9.3 电气设施安全	149	10.6 瓦时计的使用及测量	168
9.3.1 使用安全电压	149	10.6.1 瓦时计的选择	168
9.3.2 接地和接零	150	10.6.2 瓦时计的使用及测量	168
习题	153	习题	170
第10章 常用电工工具及测量	155	部分习题答案	171
10.1 电工工具	155	参考文献	173
10.1.1 验电器	155		

第 1 章

直流电路

电路是电工技术的基础,本章将在物理学的基础上,从工程应用的角度出发,重点介绍直流电路的基本概念、基本定律和基本的分析方法。这些内容只要适当地加以扩展,便能适用于交流电路的分析和计算,同时也为今后进一步学习电子技术等课程打下坚实的理论基础。

1.1 电路的组成和作用

1.1.1 电路的组成

电路是电流的通路。它是为了某种需要由某些电工、电子设备或元件按一定方式组合起来的。电路的形式多种多样,有的简单,有的复杂,但不管具体结构如何,它都是由三个最基本的部分组成,即电源、负载和中间环节,如图 1.1.1 所示。

1. 电源

电源是将其他形式的能转化为电能的设备,它是电路中电能的提供者。如干电池和蓄电池将化学能转化为电能,发电机将机械能转化为电能等。

2. 负载

负载是把电能转化为其他形式能量的设备,它是电路中电能的使用者和消耗者。如白炽灯将电能转化为光能和热能,电动机将电能转化为机械能等。

3. 中间环节

中间环节把电源和负载连接起来,起输送、分配电能,控制电路通、断,保护或传递信息的作用。在图 1.1.1 中由导线和开关 S 组成中间环节。

1.1.2 电路的作用

电路的结构形式多种多样,下面以两个典型的电路为例来说明电路的作用。

1. 实现电能的输送和转换

如图 1.1.2 所示,在电力电路中,发电机是电源,是供给电能的设备,它可以把热能、原子能等非电能形式的能量转换成电能;电灯、电动机、电热设备等是负载,是消耗电能的设备,它们把电能转换为光能、机械能、热能等其他形式的能量,从而满足生产、生活的需要;变压器、输电线以及开关等是中间环节,用于连接电源和负载,起传输和分配电能、保证安全供电的作用。在这类电路中,一般电压较高,电流较大,通常称为强电电路。在强电电路中,要求在电能的输送和转换

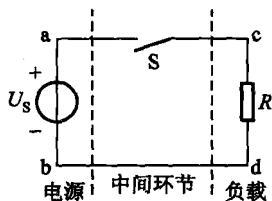


图 1.1.1 电路的组成

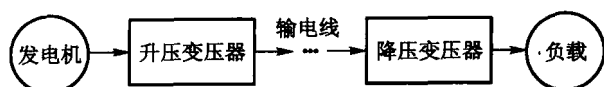


图 1.1.2 电力电路结构示意图

过程中,电路的能量损耗尽可能小,效率尽可能高。

2. 实现信号的传递和处理

电路的作用之二是实现信号的传递和处理。在如图 1.1.3 所示的电子电路中的扩音器示意图中,话筒是信号源(相当于电力电路中的电源),用于将声音信号转换为微弱的电信号;扬声器接收电信号并转换为声音,它是扩音器的负载;由于话筒输出的电信号很弱,不足以推动扬声器发声,因此用放大器来放大电信号。在这类电路中,虽然也有能量的传输和转换,但因电压、电流数值通常较小,称为弱电电路。在弱电电路中,较少考虑能量的损耗和效率问题,研究的重点是如何改善电路传递和处理信号的性能(如失真、稳定性、放大倍数、级间配合等问题)。



图 1.1.3 扩音器示意图

在电路中,电源或信号源所输出的电流和电压称为激励,由激励在电路其他部分产生的电流和电压称为响应。

1.2 电路模型

实际的电工设备或元器件的电磁性质往往比较复杂,不便于对电路进行分析和计算,为了便于对电路进行分析和计算,可以用理想电路元件模拟实际的电路元件,由理想电路元件组成的电路称为电路模型。实际电路的电路模型是由理想元件相互连接而成的,理想电路元件是组成电路模型的最小单元。

1.2.1 理想的无源元件

理想的无源元件包括理想的电阻元件、理想的电感元件和理想的电容元件。理想的电阻元件只具有消耗电能的性质(电阻性);理想的电感元件只具有储存磁场能的性质(电感性);理想的电容元件只具有储存电场能的性质(电容性)。

今后,把理想的电阻元件简称为电阻元件(或电阻);把理想的电感元件简称为电感元件(或电感);把理想的电容元件简称为电容元件(或电容)。电阻是耗能元件,电感和电容是储能元件。本书只讨论电阻、电感和电容都是常数的无源元件,这样的元件称为线性元件,由线性元件组成的电路称为线性电路,本书只讨论线性电路。电阻、电感、电容元件的图形符号和文字符号如图 1.2.1 所示。

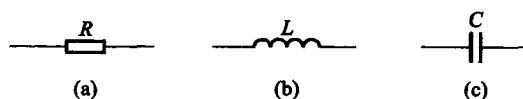


图 1.2.1 三种理想的无源元件模型

1.2.2 理想的电源元件

理想的电源元件包括理想电压源和理想电流源,这两种理想的电源都是实际电源的理想化模型。

1. 理想电压源

理想电压源又称为恒压源,其表示符号如图 1.2.2(a)或(b)所示,它的输出电压与输出电流的关系称为伏安特性,所对应的特性曲线称为伏安特性曲线,如图 1.2.2(c)所示。

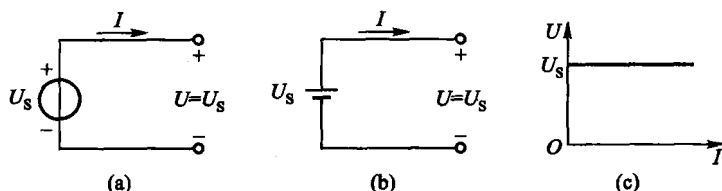


图 1.2.2 理想电压源

理想电压源的特点是:输出电压 U 只由其本身决定(等于电源的电动势)而与外电路无关;输出的电流与外电路有关。总之,恒压源具有“恒压不恒流”的特点。

实际的电源,例如干电池和蓄电池等,其内阻很小,若忽略不计的话,就可将其视为恒压源。若内阻不可忽略,则可将实际的电源用一个恒压源和内电阻的串联来等效地表示。

2. 理想电流源

理想电流源又称为恒流源,其表示符号如图 1.2.3(a)所示,伏安特性曲线如图 1.2.3(b)所示。

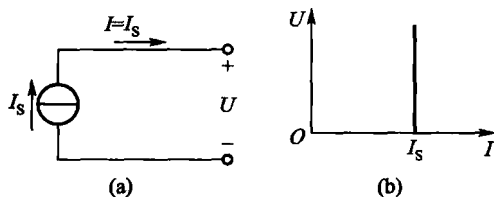


图 1.2.3 理想电流源

理想电流源的特点是:输出电流 I 由其本身决定,与外电路无关;输出的电压与外电路有关。总之,恒流源具有“恒流不恒压”的特点。

实际的电源,例如光电池,其内阻很大,若将其内阻视为无穷大且光照一定时,则可将其视为恒流源。

图 1.2.4(a)所示为含有一个电源(干电池),一个负载,即小白炽灯和两根连接导线的简单电

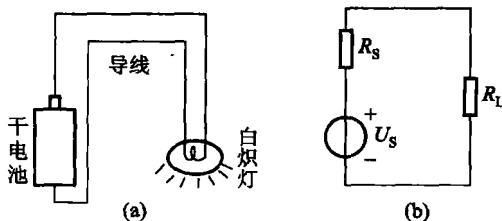


图 1.2.4 实际电路与电路模型

路,其电路模型如图 1.2.4(b)所示。在该图中,用电阻元件 R_L 作为小白炽灯的模型,干电池用恒压源 U_s (或用电动势 E) 和电阻元件 R_s 的串联组合作为模型,导线用电阻为零的理想导线表示。

1.3 电流和电压的参考方向

电流和电压的方向有实际方向和参考方向之分。电流的实际方向规定为正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向。电压的实际方向规定为由高电位(或“+”极性)端指向低电位(或“-”极性)端,即指向电位降低的方向,所以电压又常被称为电压降。对于简单的电路,电流和电压的实际方向很容易确定,但对于复杂的电路,电流和电压的实际方向就难以直观地判断出来。在交流电路中,电流和电压的方向又是变化的,也无法在电路图中用一个方向来表示其实际方向,于是引入参考方向(或称为正方向)的概念。

1.3.1 电流的参考方向

所谓电流的参考方向,顾名思义,就是不管电流的实际方向如何,任意选定一个方向作为电流的参考方向。当然,选定的参考方向不一定是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向一致时,电流为正值($I > 0$);当电流的参考方向与实际方向相反时,电流为负值($I < 0$)。电流的方向一般用箭头来表示,如图 1.3.1 所示。

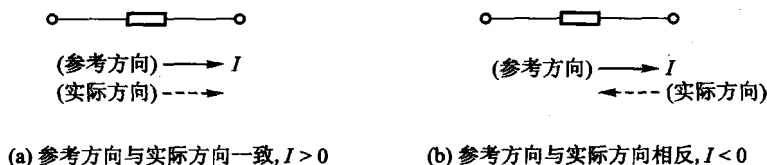


图 1.3.1 电流的参考方向

采用了电流的参考方向以后,电流就变为代数量(有正有负)。电路图上有了电流的参考方向,就可根据电流数值的正与负确定它的实际方向。

1.3.2 电压的参考方向

和电流一样,也可以任意假定电路中任意两点之间电压的方向,即电压的参考方向,只有在已经标定参考方向之后,电压的数值才有正、负之分。一般地,在元件或电路两端用符号“+”和“-”分别表示电压的正负极性,由正极指向负极的方向为电压的参考方向。电压的方向有时也用箭头表示,或者用带双下标的字母表示。如果电压 U 为正值,则实际方向与参考方向一致;如果 U 为负值,则实际方向与参考方向相反。

需要说明,电动势的方向也有实际方向和参考方向之分。电动势的实际方向规定为在电源内部由低电位(或“-”极性)端指向高电位(或“+”极性)端,即指向电位升高的方向,其表示方法与电压的相同。

1.3.3 关联与非关联参考方向

一个元件的电压或电流的参考方向可以独立地任意假定。如果指定流过元件的电流参考方

向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向;当两者不一致时,称为非关联参考方向。

在分析和计算复杂电路时,参考方向的规定常有一些习惯的做法。

① 在直流电路中,如果已经知道电流、电压或电动势的实际方向,则取它们的参考方向与实际方向一致;对于不能确定实际方向的电路,则一般采用关联参考方向。

② 用双下标表示电压与电动势的参考方向时,例如 U_{ab} 表示电路中 a、b 两点间电压的参考方向是从 a 点指向 b 点,而 U_{ba} 则表示电压的参考方向是从 b 点指向 a 点。显然, $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

③ 为了便于分析电路,常在电路中任意指定一点作为参考点,假定该点电位是零(用符号“ $\perp$ ”表示),则由电压的方向的规定可以知道,电路中的 a 点与参考点间的电压即为 a 点相对于参考点的电位,因此可以用电位的高低(大小)来衡量电路中某点电场能量的大小。电路中参考点的位置原则上可以任意指定,参考点不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。在实际电路中,常以大地或仪器设备的金属机壳(或底板)作为电路的参考点,参考点又常称为接地点。

综上所述,在分析和计算电路时,应首先画出电路图,并标出各部分电压和电流的参考方向,然后进行分析和计算。本书中,电流的参考方向一般用实箭头表示,电压或电动势的参考方向一般用正负极性表示。

【例 1.3.1】 在如图 1.3.2 所示的电路中,已知 $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = -16 \text{ V}$, $U_3 = -4 \text{ V}$, 试求 U_{ab} 。

【解】 a、b 两点间电压的参考方向如图 1.3.2 所示。则

$$\begin{aligned} U_{ab} &= -U_1 + U_2 - U_3 = [-10 + (-16) - (-4)] \text{ V} \\ &= -22 \text{ V} \end{aligned}$$

U_{ab} 为负值,表明电压的实际方向由 b 点指向 a 点,即 b 点是高电位点。

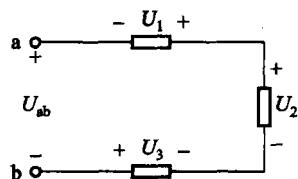


图 1.3.2 例 1.3.1 电路图

【例 1.3.2】 在如图 1.3.3 所示的电路中有五个电路元件,电流和电压的参考方向均已标在电路图上。

实验测得: $I_1 = I_2 = -8 \text{ A}$, $I_3 = 12 \text{ A}$, $I_4 = I_5 = 4 \text{ A}$; $U_1 = 200 \text{ V}$, $U_2 = 120 \text{ V}$, $U_3 = 80 \text{ V}$, $U_4 = -70 \text{ V}$, $U_5 = -150 \text{ V}$ 。

① 试指出各电流的实际方向和各电压的实际极性。

② 判断哪些元件是电源? 哪些是负载?

③ 指出各元件的电压与电流的参考方向是关联方向还是非关联方向。

【解】 由图 1.3.3 中所标电流、电压的方向可知,流过元件 1 和 2 的电流实际方向与参考方向相反,流过元件 3 的电流实际方向与参考方向相同;流过元件 4 和 5 的电流实际方向与参考方向相同。由于 U_1 、 U_2 和 U_3 均为正值,故 U_1 、 U_2 和 U_3 的实际极性与其参考极性相同,而 U_4 和 U_5 均为负值,故其实际极性与其参考极性相反。

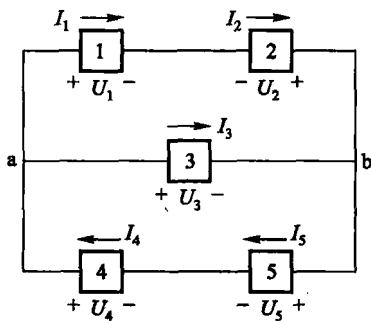


图 1.3.3 例 1.3.2 电路图

对于元件1和元件5,电流由低电位点流向高电位点,因此它们是电源;对于元件2、3和4,电流由高电位点流向低电位点,因此它们是负载。

按照关联参考方向的规定,元件1、3和5的电压与电流的参考方向是关联参考方向;元件2和4的电压与电流的参考方向是非关联参考方向。

1.4 电能和电功率

除了电压和电流外,电能和电功率也是电路的基本物理量。

1.4.1 电能

电路元件在时间 t 内吸收或发出的能量称为电能,又称为电功。

如图1.4.1所示,电流和电压取关联参考方向。设正电荷 Q 受电场力作用,在 t 时间内由 a 点运动到 b 点,则电场力所做的功 W ,即元件吸收的电能为

$$W = UQ = UIt \quad (1.4.1)$$

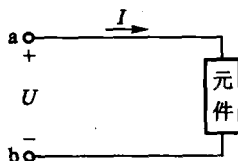


图 1.4.1 元件的
电能和功率

1.4.2 电功率

电流通过电路元件时发出或吸收电能的速率称为电功率,用符号 P 表示,所以,电路元件吸收的电功率为

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1.4.2)$$

上式表明,在直流电路中,电路元件所吸收的电功率等于电压与电流的乘积。

必须强调指出,当电压、电流取非关联参考方向时,式(1.4.1)和式(1.4.2)应增加一个负号。

在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦[特](W),常用单位还有千瓦(kW)和毫瓦(mW), $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$, $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$;电能的单位是焦[耳](J),1 J等于1 W的用电设备在1秒(s)时间内消耗的电能。

在电力工程中,电能常用“度”作单位,它是千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)的简称,1度等于功率为1 kW的用电设备在1小时内消耗的电能。即

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

由于电压与电流均为代数量,因而功率也是代数量,可正可负。若 $P > 0$,表示元件实际吸收或消耗功率;若 $P < 0$,表示元件实际发出或提供功率。

当规定电流和电压取非关联参考方向时, $P = UI$,则若 $P > 0$,表示元件实际发出或提供功率;若 $P < 0$,表示元件实际吸收或消耗功率。

【例 1.4.1】 计算图1.4.2中各元件的功率,指出是吸收还是发出功率,并求出整个电路的功率。已知电路为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$ 。

【解】 在图1.4.2中,元件1电压与电流为关联参考方向,由式(1.4.2)得

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 2 \text{ W} = 8 \text{ W}$$

故元件 1 吸收功率。

元件 2 和元件 3 中电压与电流是非关联参考方

向, 所以得

$$P_2 = -U_2 I = [-(-8) \times 2] \text{ W} = 16 \text{ W}$$

$$P_3 = -U_3 I = [-6 \times 2] \text{ W} = -12 \text{ W}$$

故元件 2 吸收功率, 元件 3 发出功率。

整个电路的功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = (8 + 16 - 12) \text{ W} = 12 \text{ W}$$

本例中, 元件 1 和元件 2 的电压与电流的实际方向相同, 二者吸收功率; 元件 3 的电压与电流的实际方向相反, 发出功率。由此可见, 当电压与电流的实际方向一致时, 电路一定是吸收功率的; 反之, 则是发出功率的。电阻元件的电压与电流的实际方向总是一致的, 其功率总是正值; 电源则不然, 它的功率可能是负值, 也可能是正值, 这说明它可能作为实际电源提供电能, 发出功率, 也可能作为负载, 吸收功率。

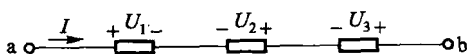


图 1.4.2 例 1.4.1 电路图

1.5 分析与计算电路的基本定律

分析和计算电路的基本定律有欧姆定律和基尔霍夫定律。这两个基本定律不仅适合于直流电路, 也适合于交流电路。其中, 欧姆定律只能用于简单的电阻电路, 而基尔霍夫定律对于简单电路和复杂电路均适用。

1.5.1 欧姆定律

通常流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 而与电阻的大小成反比, 这就是欧姆定律。它是分析和计算电路的基本定律之一。

对图 1.5.1(a) 所示的电路, 欧姆定律可用下式表示

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.5.1)$$

或

$$U = RI \quad (1.5.2)$$

式中, R 为该段电路的电阻。

由上式可见, 当所加电压 U 一定时, 电阻 R 愈大, 则电流 I 愈小。显然, 电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

在国际单位制中, 电阻的单位是欧[姆](Ω)。此外还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)。 $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$, $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

根据在电路图所选电压和电流的参考方向的不同, 在欧姆定律的表达式中可带有正号或负号, 当电压和电流的参考方向一致时[图 1.5.1(a)], 则得

$$U = RI \quad (1.5.3)$$

当两者的参考方向选得相反时[图 1.5.1(b)和图 1.5.1(c)], 则得

$$U = -RI \quad (1.5.4)$$

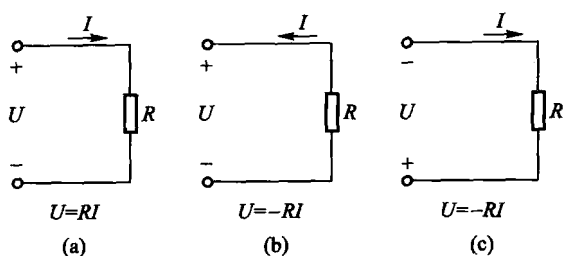


图 1.5.1 欧姆定律

这里应注意,一个式子中有两套正负号,式(1.5.3)和式(1.5.4)中的正负号是根据电压和电流的参考方向得出的。此外,电压和电流本身还有正值和负值之分。

【例 1.5.1】应用欧姆定律对图 1.5.2 的电路列出式子,并求电阻 R 。

【解】

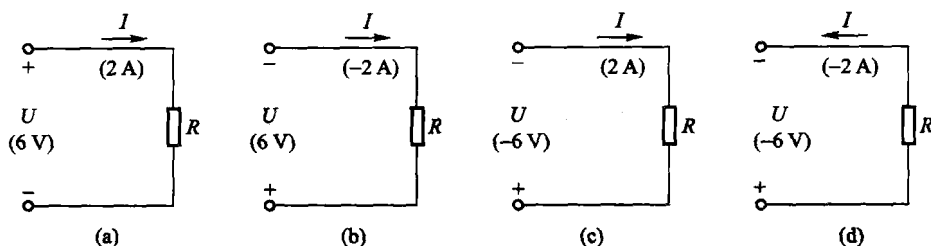


图 1.5.2 例 1.5.1 的电路

在图 1.5.2(a)中

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} \Omega = 3 \Omega$$

在图 1.5.2(b)中

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} \Omega = 3 \Omega$$

在图 1.5.2(c)中

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} \Omega = 3 \Omega$$

图 1.5.2 (d)中

$$R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-2} \Omega = 3 \Omega$$

1.5.2 基尔霍夫定律

和欧姆定律一样,基尔霍夫定律也是分析和计算电路的基本定律,包括第一和第二两个定律。

为了正确理解基尔霍夫定律,先介绍与定律有关的几个术语。

支路:电路中能够通过电流的每一分支称为支路。一条支路流过一个电流,称为支路电流。在图 1.5.3 中,共有 acb、adb 和 ab 三条支路,相应地具有三个支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

结点：电路中三条或三条以上的支路的连接点称为结点。在图 1.5.3 中共有 a 和 b 两个结点。

回路：在电路中由一条或者多条支路所组成的闭合的电路称为回路。在图 1.5.3 中共有 acba, adba 和 cadbc 三个回路。

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律又称为基尔霍夫第一定律,它指出:“任意时刻,对任一结点,所有流经结点的支路电流的代数和恒等于零”。电流的“代数和”是根据电流是流出结点还是流入结点来判断的。若流入结点的电流前面取“+”号,则流出结点的电流前面取负“-”号;电流是流出结点还是流入结点,均根据电流的参考方向判断。所以对任一结点,有

$$\sum I = 0 \quad (1.5.5)$$

对图 1.5.3 所示电路中的结点 a,其 KCL 方程为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.5.6)$$

或

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.5.7)$$

式(1.5.7)表明,基尔霍夫电流定律还可以这样表述:在任意时刻,流入某一结点的电流之和应等于流出该结点的电流之和。

KCL 通常用于结点,但对包围几个结点的闭合面也是适用的。如图 1.5.4 所示电路用虚线表示的闭合面 S 内有三个结点,即结点①、②和③。对这些结点分别有

$$-I_1 - I_4 + I_6 = 0$$

$$I_2 + I_4 - I_5 = 0$$

$$-I_3 + I_5 - I_6 = 0$$

将以上三式相加后,得对闭合面 S 的电流的代数和

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.5.8)$$

其中 I_1 和 I_3 流出闭合面, I_2 流入闭合面。

通过一个闭合面的支路电流的代数和恒等于零,或者说,流出闭合面的电流之和等于流入同一闭合面的电流之和,这称为电流的连续性。KCL 是电荷守恒的体现。

2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律又称为基尔霍夫第二定律,它指出:“任意时刻,沿任一回路绕行一周,回路中各部分电压的代数和恒等于零”。所以,沿任一回路有

$$\sum U = 0 \quad (1.5.9)$$

在对上式求和时,需要任意指定一个回路的绕行方向(顺时针或逆时针方向),若规定回路中各部分电压的参考方向与回路的绕行方向一致者,该电压前面取“+”号;则回路中各部分电压的参考方向与回路绕行方向相反者,该电压前面取“-”号。

基尔霍夫电压定律(KVL)适用于回路。

以图 1.5.5 所示电路为例,对由支路 1,2,3,4 构成的回路列写 KVL 方程时,需要先指定各

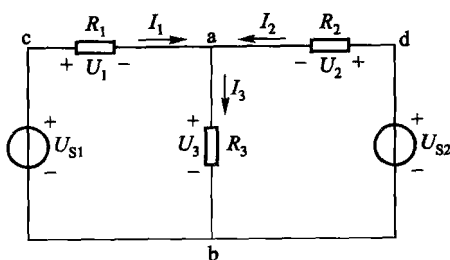


图 1.5.3

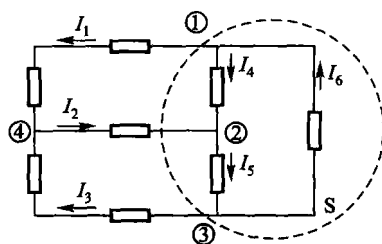


图 1.5.4 KCL