



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电路与电工技术

(第3版)

陆国和 主编
顾永杰等 修订



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电路与电工技术

Dianlu yu Diangong Jishu
(第3版)



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),根据教育部《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》修订而成。全书在编排上分为两大部分:电路分析基础,电工技术基础。内容包括电路的基本概念和基本定律,直流电路的基本分析方法,电路的暂态分析,正弦交流电路,三相交流电路和三相电力系统,变压器和异步电动机,继电-接触器控制电路及逻辑设计,可编程控制器。全书既有传统经典的原理和分析方法,又有电工技术中与生产实践相贴近的内容,同时还对电路的基本分析方法和继电-接触器控制电路的构成做了详尽的介绍和阐述。

本书在保持课程系统性和完整性的基础上,尽量压缩、简化理论上的推导过程,增加一些实用性和针对性较强、与生产实践相近的工程实例,并力求通俗易懂,以适应工科专业学生的学习要求,为学习“电工实训”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电力拖动”等后续课程打下基础,并为学生开发小制作、小产品和提高创新实践能力打下基础。

本书可作为高职高专院校、成人高校的电子、电气、电子信息、自动控制、计算机、机电一体化等专业的技术基础课程教材,也可以作为普通高校、高职高专院校、成人高校的非电类工科专业的电工技术课程教学用书,还可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电工技术 / 陆国和主编. —3 版. —北京:

高等教育出版社, 2010.6

ISBN 978-7-04-029092-9

I. ①电… II. ①陆… III. ①电路-高等学校: 技术学校-教材②电工技术-高等学校: 技术学校-教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 070074 号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 王莉莉 封面设计 张志奇
版式设计 王艳红 责任校对 金 辉 责任印制 毛斯璐

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 100120

经 销 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 19
字 数 460 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001 年 7 月第 1 版
2010 年 6 月第 3 版
印 次 2010 年 6 月第 1 次印刷
定 价 27.90 元

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 29092-00

第3版前言

近十年来,随着我国社会经济的巨大发展,我国的高等教育正在不断地进行改革,并取得了瞩目的发展成果,从精英教育到普及教育,对教材建设也提出了新的要求和课题。本书前两版出版以来,很多高校的专业教师、学生及高等教育出版社的编辑给作者提出了许多建设性意见和建议。综合上面两方面的考虑,我们对教材进行了修订再版。

参照《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》,本次修订中,我们继续突出“三基”:基本概念、基本分析方法、基础性实践应用,对部分章节安排、分析描述、应用性实例作了必要的调整和补充,主要体现在:

1. 为强化电路的基本分析方法,直流电路的分析方法单列一章。
2. 为使教材结构安排更加严谨和平衡,三相交流电路和三相电力系统在正弦交流电路后独立编为一章;原附录一“手持式编程器的使用”、附录二“计算机编程软件的使用”作为小节,修订编入“第8章 可编程控制器”。
3. 每章开头统一了提要性叙述。
4. 作为电气工作人员必须掌握的基础知识,在第1章增加了“电气设备的额定参数”一节。
5. 本版教材中的举例更加贴近应用实例。
6. 本版教材中,标记“*”的章节为一般性选用内容;标记“**”的章节,如与专业教学计划开设相关的后续课程相同,可不在本课程中安排教学。

教材的教学参考时数为72学时,其中讲课54学时,实验实训18学时。课程的实验实训环节可参考配套教材《电工实验与实训》,或根据所在院校的实验实训条件,选配合适的实验实训教材。

教材第3版修订工作由上海第二工业大学顾永杰、郑璞完成,其中郑璞修订了第8章,全书由顾永杰统稿。上海电机学院苏中义教授担任主审,他完整仔细地审阅了书稿,提出了许多中肯有益的修改意见和建议,作者对苏教授表示深深的谢意;上海第二工业大学机电学院姚国强老师对教材的绘图做了大量工作,作者对姚老师的大力支持表示深深的谢意;同时,作者对教材前两版的编写出版作出重要贡献和给予很大支持的上海第二工业大学陆国和、项建荣、胡社武、杨美华以及上海大学浦珠华、上海应用技术学院臧雯、上海交通大学朱承高教授等表示深深的谢意。

尽管作者十分努力、尽心地完成了书稿,但书中难免有不妥或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010年4月

于上海第二工业大学

第2版前言

本书自2001年8月第1版出版以来,经过几年的使用实践,也听取了有关高职高专院校的专业教师及学生的使用意见和建议,这次修订时,我们保留了第1版教材的整体结构,突出“三基”:基本概念、基本分析方法、基础性实践应用,对部分内容做了必要的调整和改动。

1. 对电路元件的交直流特性做了较详细的论述。
2. 对正弦交流电路的分析强调相量法的应用。
3. 增加了阻抗的分析与计算篇幅,把复阻抗概念与应用贯穿于正弦交流电路分析的始终。
4. 交流电路中的功率问题,从概念和测量计算方法上有别于直流电路中的功率问题,单独列一小节予以阐述。
5. 可编程控制器的编程应用做了适当补充。

本书总的参考教学时数为72学时,课程的实验实训环节可参照配套教材《电工实验与实训》。

本书第2版修订工作由上海第二工业大学顾永杰(编写第1章、第5章1~4节)、上海大学浦珠华(编写第2章、第3章1~5节)、上海应用技术学院臧雯(编写第4章)、上海第二工业大学项建荣(编写第3章6~8节、第5章5~6节)和郑璞(编写第6章)完成,全书由顾永杰统稿。

值第2版出版之际,感谢本书第1版主编陆国和副教授及胡社武高级工程师和杨美华老师所做的工作,感谢上海交通大学朱承高教授的指导帮助,感谢上海第二工业大学、上海大学、上海应用技术学院有关领导及教师的支持帮助。

书中不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年1月

于上海第二工业大学

第1版前言

高等职业技术教育是近几年发展起来的一种新的高等教育形式。其培养目标是：生产、管理、服务第一线的高等技术应用性专门人才。这类人才的主要作用是将已成熟的技术和管理规范变成现实的生产服务，在第一线从事管理和应用工作。这种教育要求我们在教学中必须加强实践环节的训练和对实践能力的培养，把学生培养成为既有一定的理论知识、又有较强的实践操作能力的劳动者。这就对教材的选用、内容的安排、实践能力的培养提出了新的更高的要求。

经过三年多的探索和实践，我们感到：对于电子、电气、信息、计算机类专业的学生，除了必修“电路”基础知识外，还必须加强“电工技术”基础知识的学习。同时，从学生就业后情况来看，即使非电类的学生，在生产岗位上也需要有一定的电方面基础知识。因此，学生除了学习一些必要的理论知识以外，还必须使学生对一般的工厂、企业所需要的能力得到培养和训练。我们把教学实践过程中所讲述的内容和学生在学习过程中遇到的问题进行整理、提炼，编写了这本教材。

由于电路理论涉及的内容广泛，因此在编写中不可能做到面面俱到，只能突出重点、保留其精华、以“够用”为原则，点到为止，压缩理论的证明和公式推导过程，加强实验和实训环节，注重操作能力的培养和训练。

在编写中，除了“电路”的基本内容之外还加强了“电工技术”的内容。例如，对继电—接触器控制电路的设计方法、可编程控制器在生产流水线上的应用等进行了详尽的介绍和阐述，使内容尽可能贴近生产实际，方便学生后续课程的学习，并使学生在踏上工作岗位后很快适应岗位的要求。

为了便于各专业对教学内容的选择，本书的部分内容作“*”号处理。如：*1.7 受控源电路的分析、*1.8 非线性电阻电路、*2.6 LC 振荡电路、*5.5 继电—接触器控制电路的逻辑设计等，各专业可根据要求自行增删。

本书的教学参考时数为72学时，其中讲课54学时，实验18学时。各专业也可根据需要对讲课时数稍作调整，但最多不超过72学时，实验必须保证不低于18学时。本书也可以删去“*”部分后作为非电专业的公共课程教材。

本书由上海第二工业大学陆国和(编写第1章、第5章1~4节)，上海大学浦珠华(编写第2章、第3章1~6节)，上海应用技术学院臧雯(编写第4章)，上海第二工业大学项建荣(编写第3章7~9节，第5章5、6节)和郑璞(编写第6章)编写，全书由陆国和副教授统稿并担任主编，上海交通大学朱承高教授主审。由于时间仓促，水平有限，书中难免会出现不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2001年2月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的组成和功能	1
1.1.2 电路模型和电路图	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压、电位、电动势	5
1.2.3 电功率与电能	7
1.2.4 电路变量的参考方向	8
1.3 电气设备的额定参数	10
1.3.1 额定电压和额定电流	10
1.3.2 额定功率	10
1.4 电路的基本定律与工作状态	12
1.4.1 欧姆定律	12
1.4.2 电路的工作状态	14
1.4.3 基尔霍夫定律	17
1.5 电路中电位的计算	22
习题 1	24

第 2 章 直流电路的基本分析方法

2.1 电路的等效变换	27
2.1.1 电路等效的一般概念	27
2.1.2 电阻的串联、并联及其等效变换	28
2.1.3 电阻的星形(Y形) - 三角形(Δ 形)等效变换	33
2.1.4 实际电压源与实际电流源的电路模型及其等效变换	36
2.2 支路电流法	43
2.2.1 电路方程的独立性问题	43
2.2.2 支路电流法	43

2.3 网孔电流法	44
2.4 结点电压法	47
2.5 叠加定理	50
2.6 戴维宁定理	54
2.6.1 戴维宁定理的表述	54
2.6.2 戴维宁定理应用	54
2.7 受控源电路的分析	59
2.8 非线性电阻电路	64
习题 2	66
第 3 章 电路的暂态分析	71
3.1 电路暂态的基本概念及换路定则	71
3.1.1 电路的稳态与暂态	71
3.1.2 储能元件及其特性	71
3.1.3 产生暂态过程的原因	77
3.1.4 换路定则	78
3.2 RC 电路的暂态分析	80
3.2.1 RC 放电电路	80
3.2.2 RC 充电电路	83
3.2.3 RC 暂态电路的应用	84
3.3 RL 电路的暂态分析	87
3.3.1 RL 电路的短接	87
3.3.2 RL 电路接通直流电源	90
3.4 一阶线性电路暂态分析的三要素法	91
3.5 LC 振荡电路	94
3.5.1 LC 振荡电路	94
3.5.2 自由振荡的物理过程	95
3.5.3 振荡频率与临界电阻	97
习题 3	98

第 4 章 正弦交流电路

4.1 正弦电压与正弦电流	101
4.1.1 正弦交流电路定义	101

4.1.2 正弦量的三要素	102	6.1 磁路及磁性材料	160
4.2 正弦量的相量表示法	105	6.1.1 磁场的基本物理量	160
4.2.1 复数基础	105	6.1.2 磁性材料的主要特性	161
4.2.2 正弦量的相量表示法	107	6.1.3 磁路及磁路欧姆定律	164
4.3 R 、 L 、 C 单一参数正弦交流电路	110	6.1.4 铁心线圈电路	165
4.3.1 纯电阻正弦交流电路	110	* 6.1.5 电磁铁	168
4.3.2 纯电感正弦交流电路	112	6.2 变压器	170
4.3.3 纯电容正弦交流电路	115	6.2.1 变压器的基本结构	170
4.4 RLC 正弦交流电路	118	6.2.2 变压器的工作原理	171
4.4.1 电压与电流的关系	118	6.2.3 变压器的外特性和额定值	177
4.4.2 复阻抗的概念及电路计算	119	6.2.4 三相变压器和特殊变压器	178
4.4.3 正弦交流电路中的功率	125	6.2.5 变压器同名端的判断	182
4.4.4 正弦交流电路的功率因数及其 提高	129	6.3 异步电动机及其运行特性	184
4.5 电路的谐振	132	6.3.1 三相异步电动机的基本结构	184
4.5.1 谐振的条件	132	6.3.2 三相异步电动机的工作原理	186
4.5.2 谐振频率	133	6.3.3 三相异步电动机的运行特性	190
4.5.3 串联谐振电路的特征	134	* 6.3.4 单相异步电动机	194
4.5.4 应用实例	134	6.4 三相异步电动机的使用	197
习题 4	137	6.4.1 三相异步电动机的技术数据和 选用	197
第 5 章 三相交流电路和三相电力 系统	141	6.4.2 三相异步电动机的起动	199
5.1 三相电源	141	6.4.3 三相异步电动机的制动	203
5.1.1 三相电源的产生	141	6.4.4 三相异步电动机的调速	206
5.1.2 三相电源的连接方式	142	习题 6	208
5.2 三相电路电压与电流的关系	144	第 7 章 继电 - 接触器控制电路 及逻辑设计	210
5.2.1 三相负载的星形联结	144	7.1 继电 - 接触器控制系统概述	210
5.2.2 三相负载的三角形联结	147	7.2 低压控制电器	210
5.3 三相功率	149	7.2.1 开关电器	211
5.3.1 三相功率的计算	149	7.2.2 主令电器	213
5.3.2 三相功率的测量	151	7.2.3 执行电器	214
5.4 三相电力系统	153	7.2.4 保护电器	220
5.4.1 发电、输电、配电简介	153	7.3 电动机的正转、点动及两地控制	221
5.4.2 电力系统导线的选择	154	7.3.1 电动机的正转控制	221
5.4.3 安全用电	155	7.3.2 电动机的点动和两地控制	222
习题 5	158	7.4 电动机的正反转控制和行程控制	223
第 6 章 变压器和异步 电动机	160	7.4.1 电动机的正反转控制	224
		7.4.2 电动机的行程控制	225

7.5 电动机的顺序控制和时间控制	226	8.2.2 可编程控制器的基本工作 原理	254
7.5.1 电动机的顺序起动	226	8.2.3 可编程控制器的特点和技术 性能	256
7.5.2 电动机的时间控制	228	8.3 可编程控制器的编程方法	258
*7.6 继电-接触器控制电路的逻辑设计 基础	232	8.3.1 编程语言	258
7.6.1 引言	232	8.3.2 指令系统	259
7.6.2 逻辑代数的基本运算	233	8.3.3 编程举例	266
7.6.3 逻辑设计的基本概念	237	8.4 手持式编程器的使用	270
7.6.4 检测元件的状态表	238	8.4.1 FX-20P 型便携式编程器的 一般情况	270
7.6.5 继电器逻辑函数的列写	238	8.4.2 编程方法	271
7.6.6 无记忆功能执行元件逻辑函数的 列写	241	8.5 可编程控制器编程软件的使用	275
*7.7 继电-接触器控制电路的逻辑设计 方法	243	8.6 可编程控制器的应用实例	278
7.7.1 继电器的设置方法	243	8.6.1 交通红绿灯的控制	278
7.7.2 逻辑设计方法的步骤	246	8.6.2 机械手运动控制	281
习题7	247	习题8	285
**第8章 可编程控制器	252	部分习题参考答案	286
8.1 概述	252	参考文献	290
8.2 可编程控制器的组成及工作原理	253		
8.2.1 可编程控制器的组成	253		

第1章 电路的基本概念和基本定律

本章重点介绍电路的基本概念、基本物理量及基本定律,它们是学习电路理论以及电工技术和电子技术的基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成和功能

先看一个例子:图 1.1.1 是一个人们熟悉的手电筒的实际电路结构示意图。图中,电池是产生电能的器件,它将化学能转变成电能,称为电源;电珠是消耗电能的器件,它将电能转变成光能,称为负载;开关是控制器件,控制电路的接通与断开;导线起传输电能的作用。

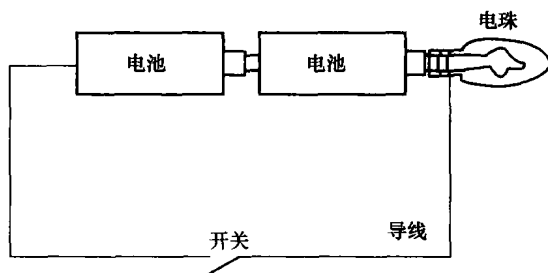


图 1.1.1 手电筒实际电路

这里给电路下一个定义:电路(又称网络)是各种电路元器件和设备按一定方式连接起来完成某种功能的整体,或通俗地说,是提供电流流通路径的“路”。

电路的种类很多。但不管电路的结构是简单或复杂,电路必定由电源、负载和中间环节三大部分组成。如图 1.1.1 中,电源(电池)是提供电能的装置;负载(电珠)是消耗电能的装置;其他部分为中间环节,它是连接电源和负载,具有输送、分配、控制电路通断功能的导线和开关。中间环节的结构根据工作需要既有简单的,也有复杂的。简单的如图 1.1.1 中仅由一个开关和导线组成;而电机控制电路、电视机电路等的中间环节就要复杂得多。

电路主要有两大类功能:

第一类是能量的转换、传输、分配,其典型例子是电力系统的输电线路。在电力电路中,发电厂将各种不同形式的能量(热能、水的势能、原子能、光能、风能等)转变成电能;负载将电能转变

为机械能或光能或热能等;中间环节(如变压器、高低压输电线路、放大电路等)起控制、传输和分配电能以及保护电路中电气设备的作用。

第二类是信息的传递与处理,在这一类电路中,起电源作用的常称信号源,又称激励。起负载作用的是各种终端设备(如计算机的打印机、电视机的扬声器和显示器、电话系统的电话机等)。在这类电路中,强调传递信息的可靠性,而不特别强调传输系统中的能量大小。电路的输出信号又称响应,它的能量只要能够满足负载设备的正常工作即可。这一类电路的中间环节通常由电子设备组成,相对较复杂,主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用。

1.1.2 电路模型和电路图

实际电路是由一些电工设备、电路元器件所组成的。不同电路和电路元器件的几何尺寸有大有小,各种电气设备的结构有繁有简。为便于对复杂的实际电路问题进行分析和计算,往往把这些器件设备理想化,就是用能表征其主要电磁性能和电气特征的假想元件(称为**理想电路元件**)来代替这部分电路,用理想电路元件构成的电路称为**电路模型**,用特定的符号表示实际电路元器件而连接成的图形称为**电路图**。

所谓能表征电路的特征,并且具有单一电磁性能和电气特征的假想元件,是指突出该部分电路的主要电或磁的性质,而忽略了次要的电或磁的性质。例如,电感线圈是由导线绕制而成的,它既有电感量又有电阻值,在考虑其主要电磁性质时往往忽略了线圈的电阻性质,而突出了它的电磁性质,把它表征为一个储存磁场能量的电感元件。同样,电阻丝是用金属丝一圈一圈绕制而成的,那么,它也既有电感量又有电阻值,在实际分析时往往忽略电阻丝的电感性质,而突出其主要的电阻性质,把它表征为一个消耗电能的电阻元件。电灯、电炉等器件都可用电阻元件来代替。

所谓用特定的符号,是指用国家标准化管理部门颁布的《电气简图用图形符号》中的标准符号,即用抽象的电路模型表示电路元器件。这种电路模型表征了这些设备或元器件在电路中所表现出的主要电气特性,所以,由电路模型构成的电路图能够代表实际电路图,从电路原理图中得出的分析结论能够适用于实际电路。

按经典电路理论,理想电路元件共有五种:电阻、电感、电容、电压源、电流源。其图形及符号如图 1.1.2 所示。

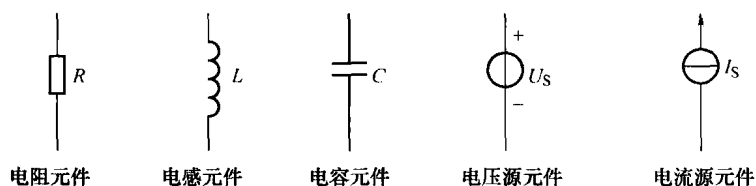


图 1.1.2 理想电路元件图形及符号

电阻元件是一个耗能元件,它消耗电能并把电能转化为热能和光能,用符号 R 表示。电感元件和电容元件都是储能元件。电感元件能把电能转化为磁场能量储存在电感线圈中,用符号 L 表示。电容元件能把电能转化为电场能量储存在电容器当中,用符号 C 表示。电压源元件是

指理想电压源,它两端的电压 U_s 固定不变,且所通过的电流可以是任意值,其大小取决于 U_s 及与它相连接的外电路。电流源元件是指理想电流源,它向外提供一个恒定不变的电流 I_s ,其两端的电压可以是任意值,其大小取决于 I_s 及与它相连接的外电路。

图 1.1.3 是图 1.1.1 所示手电筒实际电路的电路模型。图中, U_s 是一个理想电压源,给电路提供电能; R 是理想电阻元件,只消耗电能; S 是开关元件,控制电路的接通与断开,连接这三个元件的细实线是理想导线,起传输电能的作用。

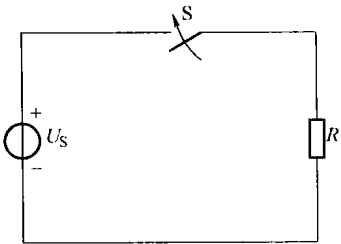


图 1.1.3 简单电路模型

1.2 电路的基本物理量

在电路问题中,分析和研究的物理量很多,电流、电压和电功率是电路中的基本物理量。

关于单位制,我国于 1984 年 2 月规定使用统一的国际单位制(简称 SI)。在国际单位制中,电磁学采用四个基本单位,即长度单位米(m)、质量单位千克(kg)、时间单位秒(s)、电流单位安(A)。

除了 SI 单位之外,根据实际情况,需要使用较大单位和较小单位时,则在 SI 单位上加词头,例如大的长度单位用千米(km)表示,小的长度单位用毫米(mm),微小的电流单位用毫安(mA)表示等。常用的词头见表 1.2.1。

表 1.2.1 SI 常用词头

词头	代号		因数	词头	代号		因数
	中文	英文			中文	英文	
兆(mega)	兆	M	10^6	厘(centi)	厘	c	10^{-2}
千(kilo)	千	k	10^3	毫(milli)	毫	m	10^{-3}
百(hecto)	百	h	10^2	微(micro)	微	μ	10^{-6}
十(deca)	十	da	10^1	皮(pico)	皮	p	10^{-12}

1.2.1 电流

按照原子物理理论,导体中含有正、负电子,电介质中含有正、负离子,统称带电质点(电荷)。在常态下,这些电荷或带电质点在内部作无规则的热运动,不能形成电流。若给导体或电介质两端加上电源 u_s ,即施加电场力,如图 1.2.1 所示,则电荷或带电质点进行有规则的定向运动,从而形成电流 i 。更确切地讲,这种电流称为传导电流。

衡量电流大小、强弱的物理量称为电流,用字母 i 或 I 表示。电流的数值是指:在电场作用下,单位时间里通过导体某一截面 A 的电荷量,如图 1.2.1 所示。若在 Δt 时间内通过横截面 A 的电荷量为 Δq ,则

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \tag{1.2.1}$$

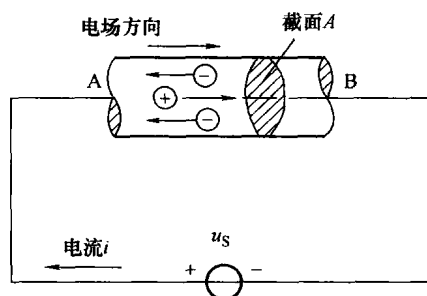


图 1.2.1 电流示意图

在极限情况下有

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.2)$$

在一般情况下, 电流 i 是随时间而变化的, 是时间 t 的函数。如果电路中电流的大小、方向都不随时间 t 变化, 则称为恒定电流, 又称直流电流(直流), 用大写字母 I 表示, 即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2.3)$$

按国际单位制规定, 电流的单位是: 库[仑]/秒, 即安[培], 用符号“A”表示。在电力系统中电流都比较大, 也以千安(kA)作为电流的计量单位, 而在电子线路中电流都比较小, 常以毫安(mA)、微安(μ A)作为电流的计量单位, 它们之间的换算关系是

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

电流的方向规定为正电荷运动的方向, 这一方向称为真实方向。简单电路中, 电流的真实方向是显而易见的, 即从电源的正极流出, 再从电源的负极流入。在一些复杂的电路中, 真实方向不易看出。表示电流方向的方法有两种: (1) 用箭头表示电流方向, 如图 1.2.1 所示。(2) 用双下标表示, 如 I_{ab} (表示电流从 a 流向 b)、 I_{ba} (表示电流从 b 流向 a)。由上可知: 电流不但有大小, 而且有方向。

电流可能随时间以不同的规律变化或无规律变化, 图 1.2.2 给出了一些例子。

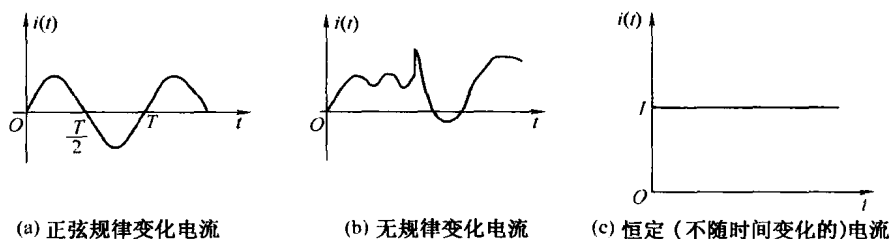


图 1.2.2 电流的不同形式

图 1.2.2(a) 是按正弦规律变化的电流; 图 1.2.2(b) 是无规律变化的电流; 图 1.2.2(c) 是恒定(不随时间变化的)电流。

图 1.2.2(a)、(b) 所示的有正、负变化的电流称为交流电流, 简称交流(ac 或 AC), 用小写字

母 i 或 $i(t)$ 表示;图 1.2.2(c) 是恒定不变的电流,称为直流电流,简称直流(dc 或 DC),用大写字母 I 表示。

1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压

在电源的外部电路中要使电荷运动形成电流,电荷上必须有电场力的作用。如图 1.2.3 所示,电源的 A 极板带正电荷,B 极板带负电荷,因而两极板间形成电场,其内部方向由 A 指向 B。当用导线将负载与电源的正、负极板连接成一个闭合电路时,正电荷在电场力作用下由正极板 A 经导线和负载向负极板 B(实际上是自由电子由负极板 B 经导线和负载流向正极板 A)运动而形成电流,这时电场力对正电荷做功,电场力做功的这种本领用电压来衡量。

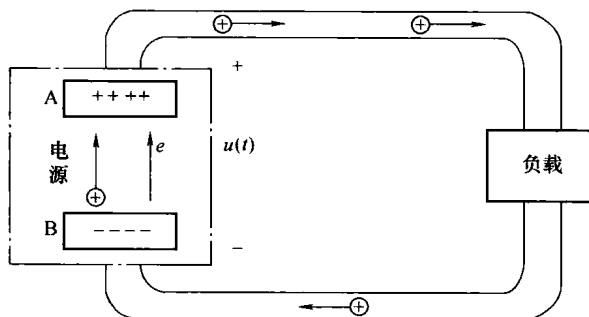


图 1.2.3 电压与电动势

A、B 两点的电压用 $u(t)$ 或 u_{AB} 表示,在数值上等于单位正电荷在电场力的作用下,由 A 点经外电路移动到 B 点电场力所做的功。若电场力移动电荷为 $dq(t)$,所做的功为 $dW(t)$,则 A、B 两点的电压 $u(t)$ 为

$$u(t) = \frac{dW(t)}{dq(t)} \quad (1.2.4)$$

如果电压的大小和方向都不随时间变动,则称为恒定电压或直流电压,用大写字母 U 表示。由恒定电压产生的电场是恒定电场,在恒定电场中,任意两点 A、B 之间的电压只与 A、B 两点的位置(起点与终点)有关,而和电荷移动的路径无关。

在国际单位制中,电压单位是焦[耳]/库[仑],即伏[特],用符号“V”表示。在各个类型电路中计量电压的单位可以不同,有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV),它们之间的换算关系是

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

对外电路,电压的真实方向规定为正电荷的运动方向。图 1.2.3 中,正电荷经负载由 A 点向 B 点运动,若用箭头表示 A、B 间的电压方向,则箭头由 A 指向 B;若用“+、-”表示,则 A 为“+”,B 为“-”。

2. 电位

电位是衡量电路中各点所具有的电位能大小的物理量。电路中某点 A 的电位在数值上被定义为:电场力将单位正电荷从给定点移动到参考点(又称零电位点或接地点)所做的功,记为 V_A ,而参考点常以图形符号“ $\perp$ ”表示。电路中某点电位的标记都在变量后带下标,以避免与电

位的单位(V)相混淆。

在图 1.2.4 所示各电路中,图(a)以 C 为参考点,则 A 点电位为 $V_A = 2\text{ V}$, B 点电位为 $V_B = 1\text{ V}$, C 点电位为 $V_C = 0\text{ V}$;图(b)以 B 为参考点,则 $V_A = 1\text{ V}$, $V_B = 0\text{ V}$, $V_C = -1\text{ V}$;图(c)以 A 为参考点,则 $V_A = 0\text{ V}$, $V_B = -1\text{ V}$, $V_C = -2\text{ V}$ 。由此可见,电位的数值与参考点的选择有关。

电位与电压有着内在的联系,在图 1.2.4(a)所示电路中, $V_C = 0\text{ V}$, $V_A = 2\text{ V}$, $V_B = 1\text{ V}$,则 A、B 间的电压

$$U_{AB} = V_A - V_B = (2 - 1)\text{ V} = 1\text{ V}$$

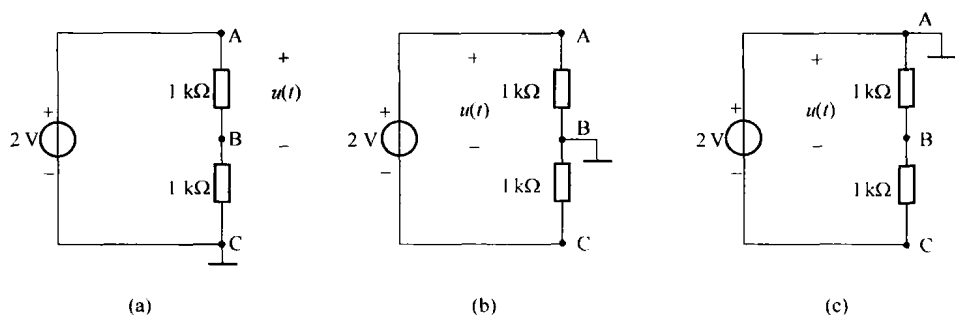


图 1.2.4 电压与电位

在图 1.2.4(b)所示电路中, $V_B = 0\text{ V}$, $V_A = 1\text{ V}$,根据电压和电位的定义,有

$$U_{AB} = V_A - V_B = (1 - 0)\text{ V} = 1\text{ V} \quad (1.2.5)$$

对于任一确定的电路,任意两点间的电压与参考点的选择无关,是固定不变的。

注意: 参考点确定后,电位具有“相对性”,而任意两点之间的电压只有一个唯一的数值,电压具有“绝对性”。即电位的数值与参考点的选择有关,而电压的数值与参考点的选择无关。

为了对电压的表示更为清楚,在电路分析中常用 U_{AB} 表示 A、B 两点之间的电压,用 U_{BC} 表示 B、C 两点之间的电压。下标字母,如 A、B,表示 A 点为电压的假设正极性, B 点为电压的假设负极性。显然,两点间的电压等于两点间的电位之差(无论参考点如何选择),因此,电压也称电位差。因为电压与电位都是以电场力移动正电荷做功来定义的,所以,电位的单位与电压的单位相同,也为伏[特](V)。

3. 电动势

电动势是对电源而言的。在图 1.2.3 所示电路中,正电荷在电场力的作用下不断从 A 极板经负载流向 B 极板,如果没有外力的作用, A 极板因正电荷的减小会使电位逐渐降低,而 B 极板则因正电荷的增多会使电位逐渐升高,故 A、B 两点之间的电位差减小,最后为 0。为了维持导线中的电流,必须使 A、B 两极板间保持一定的电压,这就要借助外力使移动到 B 极板的正电荷经过另一路径回到 A 极板,在这个过程中,外力克服电场力做功,这种外力是非电场力,称为电源力。为了衡量电源力对正电荷做功的能力,引入电动势这个物理量。电动势定义为:电源力将单位正电荷从电源负极(B 极板)移动到正极(A 极板)所做的功。对于变化的电动势用小写字母 e 或 $e(t)$ 表示,恒定电动势用大写字母 E 表示。

$$e(t) = \frac{dW(t)}{dq(t)} \quad (1.2.6)$$

式(1.2.6)与式(1.2.4)在表示形式上相同,但一定要区分清楚 $e(t)$ 是对电源内部而言的, $u(t)$ 是对电源以外的电路而言的。

电动势的实际方向规定为在电源内部正电荷运动的方向。若用箭头表示其方向,则在电源内部由电源负极指向正极,如图 1.2.3 所示。电动势的单位与电压相同,也为伏[特](V)。

直流电动势(通常指理想电池)文字符号为 E ,图形符号为 $\text{—}| \text{—}$,细长线端表示正极,粗短线端表示负极。

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

如前所述,在 dt 时间内,正电荷 $dq(t)$ 在电场力作用下,经负载从 A 点移动到 B 点所做的功为 $dW(t)$,则在单位时间内电场力所做的功记为 $p(t)$,称为电功率,即

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1.2.7)$$

根据电流和电压的定义,则有

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.2.8)$$

对直流电流和直流电压而言,电功率记为 P ,则

$$P = UI \quad (1.2.9)$$

在国际单位制中,功率的单位是瓦[特],用字母“W”表示,还可以用 MW、kW、mW 作单位,它们之间的换算关系为

$$1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW} \quad 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} \quad 1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW} \quad 1 \text{ mW} = 10^3 \mu\text{W}$$

可以把功率的计算 $p(t) = u(t)i(t)$ 或 $P = UI$ 用于任何一段有源电路。计算得到的功率 $p(t)$ 或 P 有正、负。所得功率为正,说明该段有源电路吸收(消耗)电功率,反之则是发出(提供)电功率。

注意: (1) 如果电压与电流的参考方向非关联,式(1.2.8)和式(1.2.9)应取“-”,关于参考方向及其相关性,下面将作介绍。(2) 有关功率在交流电路中的其他几种描述将在第 3 章介绍。

2. 电能

在一段时间 dt 内,电场力移动正电荷所做的功 dW 称为电场能,简称电能,其与电功率的关系为

$$dW = p(t)dt \quad (1.2.10)$$

或

$$W = Pt = UIt \quad (1.2.11)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦[耳],用字母“J”表示。

工程上常用“度”衡量电气设备消耗电能的多少,功率为 1 千瓦(kW)的设备用电 1 小时(h)所消耗的电能 1 度,即

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ 千瓦} \times 1 \text{ 小时} \quad (1.2.12)$$

1.2.4 电路变量的参考方向

根据定义,电流、电压、电动势都有方向,其方向都是正电荷的运动方向。电流、电压、电动势之间的方向必然存在一定的联系:在外电路中,正电荷受电场力的作用,从高电位流向低电位,即从电压的正极流向负极,此时,外电路消耗电能;在电源中,正电荷受外力的作用,从低电位流向高电位,即从电源负极流向正极,正是这一过程,将非电能转换成电能。

电路分析就是通过分析电路的连接关系,利用各元件上的电流与电压的关系(大小与方向的关系)计算出元件上的电流或电压,再去计算其他物理量。但是,复杂电路中有些元件上的电流或电压的实际方向很难判定,只有通过计算才能知道。因此,在分析计算之前,需要对**电流、电压先假设一个方向(电流用 $\rightarrow$ 符号表示,电压用 $+$ 、 $-$ 符号表示)**,这个方向称为**参考方向**。

由于电压、电流的参考方向不一定是它们的实际方向,所以,此时的电压、电流就成为有正、负之分的代数量。在对电压、电流先假设参考方向的前提下,经过分析计算,若电压、电流的数值为正,则说明电压、电流的实际方向与参考方向相同;若为负值,则说明电压、电流的实际方向与参考方向相反,如图 1.2.5 所示。

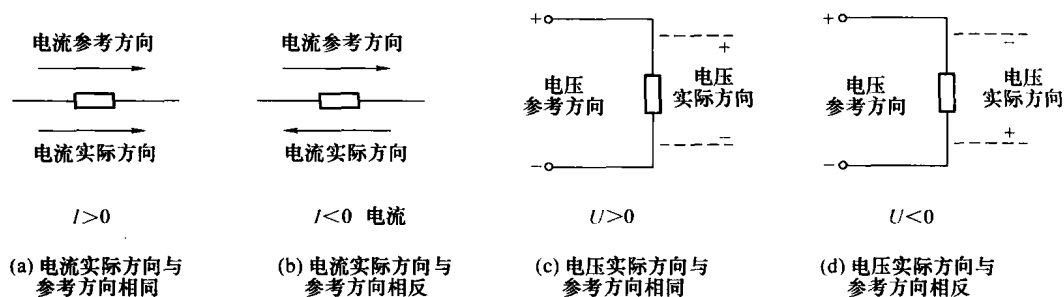


图 1.2.5 电压、电流的参考方向

如图 1.2.6(a) 所示一段电路,若假设电流 i 的参考方向由 a 流向 b,又假设电压 u 的参考方向 a 为“+”极性端,b 为“-”极性端,则称这段电路上**电流、电压具有参考方向关联**。否则,如图 1.2.6(b) 所示的电流、电压参考方向,称为**非关联参考方向**。判别一段电路上的电流、电压参考方向是否关联是非常重要的。

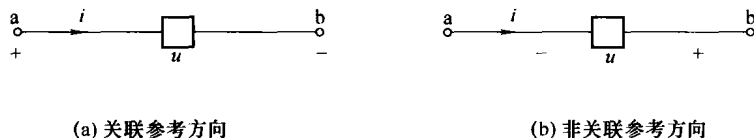


图 1.2.6 电压、电流参考方向的关联与非关联

尽管参考方向的选择是任意的,但在分析或计算一个具体电路时,必须先规定各有关电流及电压的参考方向。当参考方向选定以后在计算过程中就不可再作变更,电路中的电压或电流必须按照选定的参考方向列写电路方程式。电路方程式中的正、负号与代数量本身的正、负值必须严格区别,不可混淆。