



普通高校“十二五”规划教材

电工技术

主 编 张树团

副主编 张大为 王 晶

刘陵顺 王 昉



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

电工技术

主 编 张树团
副主编 张大为 王 晶
刘陵顺 王 昉

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是根据航空航天类院校非电专业学员的教学要求和实际需要编写的。其特点是遵循理论与实践相结合的原则,以提高应用能力为目的,整合内容,构建基础性与应用性并举的教学内容新体系。内容包括:直流电路的基本定律和分析方法、一阶动态电路、正弦交流电路、三相交流电路、航空直流电机、变压器与交流电机、继电器接触器控制系统、安全用电与电工测量。本书部分章节增加了航空相关知识点,并在有关章节引入拓展阅读环节,便于飞行相关专业学员拓宽知识面和提高学习兴趣。

本书可作为航空航天类院校飞行相关非电类专业本科生的教材,也可作为从事相关专业工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 张树团主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2013.9

ISBN 978-7-5124-1200-2

I. ①电… II. ①张… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 160047 号

版权所有,侵权必究。

电 工 技 术

主 编 张树团

副主编 张大为 王 晶 刘陵顺 王 昉

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:16 字数:341 千字

2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1200-2 定价:35.00 元

前 言

《电工技术》课程作为非电类专业一门重要的专业基础课程,应注重培养学生提出、分析、计算和解决电工技术问题的能力,使学生具有较强的创新意识和创新能力,为学生学习后续课程和今后的工作奠定基础。根据飞行学员的专业特点,为航空航天类院校与飞行相关的非电类专业编写了《电工技术》教材,突出了课程的系统性和实践性,本书也可作为从事相关专业工程技术人员的参考用书。

本书共分8章。第1章直流电路的基本定律和分析方法,主要介绍了电路的基本物理量、基本分析方法和基本的定律等。第2章一阶动态电路,主要介绍了一阶电路的零输入响应、零状态响应和全响应。第3章正弦交流电路,主要介绍了正弦量及其相量表示、正弦交流电路的分析与计算等内容。第4章三相交流电路,主要介绍了三相电源的产生和三相负载的联接方法等,并引入了航空电源有关的知识。第5章直流电机,主要介绍了直流电机的基本结构与工作原理、机械特性,并简要介绍了应用于现代飞机的永磁直流电机的特点和发展现状。第6章变压器与交流电机,主要介绍了变压器和三相异步电动机的结构与工作原理,并对其转矩和机械特性及调速等进行了详细的讲解,从新型航空电机的发展趋势角度考虑,对永磁式同步电动机的基本知识进行了介绍。第7章继电接触器控制系统,主要对常用的控制器件与控制电路进行了介绍。第8章安全用电与电工测量,主要对实际过程中常见用电安全事项和常用仪表使用方法进行了介绍。

书中带“△”部分内容为选学内容。本书的特点是遵循理论与实践相结合的原则,以提高应用能力为目的,整合内容,兼顾航天,构建基础性与应用性并举的教学内容新体系,力求体现电工技术课程的基础性、应用性和先进性。

本书由张树团担任主编,张大为、王晶、刘陵顺、王昉为副主编。其中第1章由王晶编写,第2章由刘迪和王昉编写,第3章由张海鹰编写,第4章由晋玉强和张海鹰编写,第5章由王昉编写,第6章由张树团编写,第7章由张大为编写,第8章由刘迪和林嘉新编写。海军航空工程学院的张凯、王朕、秦亮、谭学者等同志也参与了本书部分内容的编写工作。鲁芳副教授和李岩副教授为本书编写提出了宝贵的意见,姜静副教授和刘陵顺副教授担任主审。

在教材的编写过程中,参考了大量的优秀教材和参考资料,受益匪浅;北京航空航天大学出版社金友泉编辑付出了很多心血,在此一并表示诚挚感谢。

本书受海军航空工程学院“百部精优教材”建设项目资助,是飞行学员系列教材之一,教材的编写得到了海军航空工程学院训练部领导和控制工程系领导的大力支持与帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中如存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013年5月

目 录

绪 论	1
第 1 章 直流电路的基本定律和分析方法	3
1.1 电路和电路模型	3
1.1.1 电路的组成	3
1.1.2 电路的作用	4
1.1.3 电路模型	4
1.2 电路中的基本物理量	5
1.2.1 电流及其参考方向	5
1.2.2 电压及其参考方向	7
1.2.3 电动势	9
1.2.4 功 率	9
1.2.5 额定值	10
1.3 电路的基本元件	10
1.3.1 电阻元件	10
1.3.2 电容元件	12
1.3.3 电感元件	13
1.3.4 电压源	14
1.3.5 电流源	15
1.4 基尔霍夫定律	17
1.4.1 基尔霍夫电流定律	18
1.4.2 基尔霍夫电压定律	19
1.5 电阻电路的等效变换	21
1.5.1 电阻的联结与等效变换	22
1.5.2 电源的等效变换	26
1.6 电阻电路的一般分析方法	30
1.6.1 支路电流法	30
1.6.2 网孔电流法	33
1.6.3 节点电压法	35
1.7 电路定理	37
1.7.1 叠加定理	37
1.7.2 戴维南定理与诺顿定理	40

1.7.3 最大功率传输定理	44
本章小结	45
习 题	47
拓展阅读——飞机直流电源系统的发展概况	52
思考题	53

第2章 一阶动态电路

2.1 换路定则	54
2.2 一阶 RC 和 RL 电路的零输入响应	57
2.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应	57
2.2.2 一阶 RL 电路的零输入响应	60
2.3 一阶 RC 和 RL 电路的零状态响应	61
2.3.1 一阶 RC 电路的零状态响应	62
2.3.2 一阶 RL 电路的零状态响应	63
2.4 一阶 RC 和 RL 电路的全响应	64
2.4.1 一阶 RC 电路的全响应	65
2.4.2 一阶 RL 电路的全响应	65
2.5 三要素法	66
本章小结	68
习 题	69
拓展阅读——一阶电路在飞机交流发电机电压自动调节系统中的应用 ..	73
思考题	75

第3章 正弦交流电路

3.1 正弦电压与电流	76
3.1.1 正弦量的周期、频率和角频率	77
3.1.2 正弦量的瞬时值、最大值和有效值	78
3.1.3 正弦量的初相位与相位关系	79
3.2 正弦量的相量表示法	82
3.2.1 复数的基本特性	82
3.2.2 正弦量的相量表示法	84
3.3 单一参数的交流电路	85
3.3.1 单一参数交流电路的电压电流关系	86
3.3.2 单一参数交流电路的功率	88
3.4 简单正弦交流电路的分析与计算	91
3.4.1 相量形式的基尔霍夫定律	91

3.4.2 RLC 串联电路的分析	92
3.4.3 阻抗的串联与并联	96
3.5 谐振电路	99
3.5.1 串联谐振	99
3.5.2 并联谐振	102
3.6 功率因数的提高	104
3.6.1 提高功率因数的意义	104
3.6.2 提高功率因数的方法	105
本章小结	106
习 题	108
拓展阅读——交直流输电之争(一)	112
拓展阅读——我国供电频率 50 Hz 的起源(二)	113
思考题	114
第 4 章 三相交流电路	115
4.1 三相交流电源	115
4.1.1 三相电源的产生	115
4.1.2 三相电源的联结	116
4.2 三相交流电路负载的连接	118
4.2.1 三相交流电路负载的星形连接	118
4.2.2 三相交流电路负载的三角形连接	120
4.2.3 飞机三相供电系统的常见连接形式	124
4.3 三相电路的功率	124
4.3.1 有功功率	124
4.3.2 无功功率	125
4.3.3 视在功率	125
4.3.4 瞬时功率	125
本章小结	127
习 题	127
拓展阅读——飞机交流电源系统的发展概况	130
思考题	131
第 5 章 航空直流电机	132
5.1 引 言	132
5.2 磁路的基本知识	133
5.2.1 磁场的基本物理量	133

5.2.2 磁性材料的特性	135
5.3 直流电机的基本结构与工作原理	137
5.3.1 直流电机的基本结构	137
5.3.2 直流电机的工作原理	140
5.3.3 直流电机的励磁方式	142
5.4 直流发电机	143
5.4.1 稳定运行时的基本关系式	143
5.4.2 直流发电机外特性	144
5.5 直流电动机	145
5.5.1 稳态运行时的基本关系式	145
5.5.2 直流电动机的机械特性	146
5.5.3 直流电动机的使用	147
5.6 直流电机的额定数据与型号	152
5.6.1 直流电机的额定数据	152
5.6.2 直流电机的型号	152
5.7 航空直流启动发电机	152
本章小结	155
习 题	155
拓展阅读——稀土永磁电机在航空上的应用	156
思考题	158

第6章 变压器与交流电机..... 159

6.1 变压器	159
6.1.1 变压器的基本结构	159
6.1.2 变压器的工作原理	160
6.1.3 变压器的外特性	164
6.1.4 变压器的损耗及效率	164
6.1.5 三相变压器	164
6.1.6 变压器的型号及额定数据	166
6.2 三相异步电动机的基本结构	166
6.2.1 定 子	166
6.2.2 转 子	167
6.3 三相异步电动机的工作原理	167
6.3.1 旋转磁场	167
6.3.2 三相异步电动机的工作原理	170
6.3.3 三相异步电动机的三种工作状态	171

6.4 三相异步电动机的电路分析	172
6.4.1 定子电路分析	172
6.4.2 转子电路分析	173
6.5 三相异步电动机的转矩与机械特性	176
6.5.1 电磁转矩	176
6.5.2 机械特性	177
6.6 三相异步电动机的启动、调速	180
6.6.1 三相异步电动机的启动	180
6.6.2 三相异步电动机的调速	182
6.7 航空三相异步电机的额定数据	185
6.8 永磁式同步电动机	185
6.9 航空同步发电机	188
6.9.1 同步发电机的基本结构	188
6.9.2 同步发电机的基本工作原理	188
6.9.3 航空同步电机应用举例	189
6.9.4 航空同步电机型号与额定数据	190
本章小结	190
习 题	191
拓展阅读——交流发电机在多电飞机中的应用	193
思考题	193

第 7 章 继电接触器控制系统

7.1 常用控制电器	194
7.1.1 刀开关	194
7.1.2 组合开关	194
7.1.3 飞机设备常用开关简介	196
7.1.4 按 钮	196
7.1.5 熔断器	198
7.1.6 空气断路器	200
7.2 继电器	201
7.2.1 电磁式继电器	201
7.2.2 极化继电器	203
7.2.3 热继电器	206
7.2.4 速度继电器	207
7.2.5 飞机常用继电器简介	208
7.3 接触器	209

7.3.1 交流电磁式接触器	209
7.3.2 双绕组接触器	210
7.3.3 机械闭锁式接触器	211
7.3.4 磁保持接触器	211
7.3.5 飞机常用接触器简介	212
7.4 三相笼型异步电动机的常用控制线路	212
7.4.1 三相笼型异步电动机的启动	212
7.4.2 三相笼型异步电动机正/反转控制电路	217
7.4.3 三相笼型异步电动机制动控制电路	218
本章小结	221
习 题	221

第8章 安全用电与电工测量

8.1 安全用电	224
8.1.1 电力系统概述	224
8.1.2 触电类型	225
8.1.3 触电的防护	226
8.1.4 用电设备安全	228
8.2 电工测量的基本知识	228
8.2.1 电工测量仪表的分类	228
8.2.2 仪表的误差	230
8.2.3 电工测量仪表的类型	230
8.3 电流、电压与功率的测量	233
8.3.1 电流的测量	233
8.3.2 电压的测量	233
8.3.3 单相交流电路功率的测量	233
8.4 常用电工测量仪表	234
8.4.1 万用表	234
8.4.2 兆欧表	236
8.4.3 电度表	237
8.4.4 数字示波器	238
本章小结	241
习 题	242

参考文献

绪 论

1. 课程的定位

“电工技术”课程是高等院校非电类专业的重要基础课。通过对本课程的学习,使学员掌握电路的基本理论知识、基本分析方法和基本工作原理,为后续课程的学习打下基础,同时也为从事与电有关的工作打下基础。通过本课程的学习,还将培养学员分析问题能力、分析计算能力、动手实践能力和归纳创新能力。

根据与飞行相关的非电类专业学员的专业特点,并结合后续课程的教学情况,该课程增加了航空中的相关知识,突出了系统性和实践性,为后续专业课的学习奠定基础。

2. 电工技术发展简介

人类对电磁现象的认识开始于对静电和静磁现象的观察,在 18 世纪末和 19 世纪初这一时期,电磁现象方面的研究发展非常迅速。1785 年,法国物理学家库仑定量地研究了电荷间的相互作用,得出了库仑定律。1800 年,意大利物理学家伏特发明了伏打电池,它将化学能转变为电能,这一发明为人类研究电化学、电磁学以及它们的应用打下了坚实的基础。1820 年,丹麦物理学家奥斯特从实验中发现了电流的磁效应,揭开了电磁学理论新的一页;同年,法国科学家安培发现通有电流的线圈具有与磁铁相似的作用,并于 1825 年提出了安培环路定律,为电动机的发明作了理论上的准备。1831 年英国物理学家法拉第发现电磁感应现象,这一发现成为发电机和变压器的基本原理,使机械能变为电能成为可能。1834 年,俄罗斯人楞次提出感应电流方向的定律——楞次定律;同年,俄罗斯物理学家雅克比制造出世界上第一台电动机,证明了实际应用电能的可行性。1845 年,德国物理学家基尔霍夫提出了电路的两个基本定律(即基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律)。1883 年,法国工程师戴维南提出了戴维南定理,该定理是分析现行网络的重要定理。1864 年,英国物理学家麦克斯韦预言了电磁波的存在,1887 年德国物理学家赫兹证实了电磁波的存在。1876 年,美国科学家贝尔发明了电话,1879 年美国发明家爱迪生发明了灯泡,这一发明改变了人们的生活。

电动机的问世有力地促进了社会生产的飞速发展。俄罗斯工程师多利沃-多勃罗沃尔斯基发明和制造了三相异步电动机和三相变压器,并首先采用三相输电线,为电动机的飞速发展作出了巨大的贡献。随着现代科技的不断发展,各种各样的电动机被广泛应用于工农业生产和航空航天领域中。在航空领域中,现代飞行器中电能的广泛应用,已经成为提高飞行器性能的必要措施。飞机上的电能主要由飞机发动机带动的航空发电机产生,然后利用各种电气控制设备和电动机构来操控飞机。航

空电动机已经成为现代飞机电气化和自动化的重要组成部分,现代大型飞机上用电装置总功率已达数百千瓦以上,各种电动机有几十种,数量达到几百台。

3. 电工技术知识的应用

电工技术中的基础知识和基本理论广泛应用于工农业和航空生产过程中。比如,汽车后窗玻璃除霜器的栅格就是电阻电路的一个应用实例;照相机闪光灯电路就是一阶 RL 和 RC 电路的实际应用,一阶电路在飞机交流发电机电压自动调节系统中也得到很好的应用;工业和航空三相电源线电压与相电压之间的关系及其在各自领域中的应用是三相交流电路部分知识的实际应用;交直流发电机和电动机是电动机在工业或航空中的实际应用;生产中用到的塔吊或机床、航空中的作动控制系统等都是继电器接触器控制电路的实际应用等。因此,该课程中的相关知识广泛应用于实际生活和工作中,要求学员在学习的过程中尤其要注意培养工程意识,注重理论联系实际。

4. 电工技术课程的学习方法

结合本课程的教学特点和学员的专业特点,对本课程的学习提出以下几点建议:

- (1) 端正学习态度,明确学习目的;
- (2) 做到课前预习,课中认真听讲,课后复习巩固,培养系统意识和自学能力;
- (3) 掌握厚实的理论基础和分析方法,从更深层次去理解实践,培养分析问题、解决问题的能力 and 工程实践意识;
- (4) 重视实验教学环节,注重实践动手能力、探索问题能力和团队协作能力的培养,同时要有创新精神和举一反三的意识。

第 1 章 直流电路的基本定律和分析方法

关键词

电路元件(Circuit Element) 基尔霍夫定律(Kirchhoff's Law)

分析方法(Analysis Method) 电路定理(Circuit Theorem)

在各种机载设备中,其主要部件都是由各种不同的电路组成的。电路作为电工技术中的主要研究对象,其分析和计算十分重要。

本章主要介绍电路中的基本物理量、基本元件、基本定律、常用的电路分析方法和几个重要的电路定理。这些直流电路的基本定律和分析方法,不但可以用来分析直流电路,而且也是进行交流电路分析的基础。

1.1 电路和电路模型

电路是由电气设备和元件(如发电机、电动机和电炉)或电子器件(如二极管、三极管和集成电路)等按一定方式组合起来的,能够满足某种需要的电流通路。通俗地讲,电路就是电流的通路。

1.1.1 电路的组成

无论电路的结构和作用如何,都可以看成由电源、负载和中间环节 3 个基本部分组成。

1. 电 源

电源是电路中供应电能或产生信号的设备。电源可把化学能、光能、机械能等非电能转换为电能,如蓄电池、干电池、太阳能电池、发电机等。

2. 负 载

负载是电路中使用电能或输出信号的器件。负载能将电能转换成其他形式的能量,如照明灯、电炉、收音机、电视机和电动机等。

3. 中间环节

中间环节的作用是把电源和负载联结起来构成闭合电路,并对整个电路实行控制、保护或测量。主要有:联结导线、控制电器(如开关、插头、插座)、保护电器(如熔断器)、测量仪表(如电流表、电压表)等。

如图 1.1.1 所示是一个最简单的电路。电

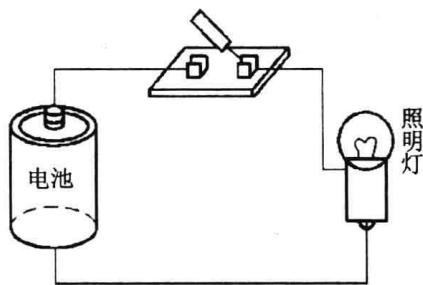


图 1.1.1 电 路

路中电池是电源,是将化学能转换为电能;照明灯是负载,是将电能转换成光能和热能;开关和导线为中间环节,将电池和照明灯联结起来构成完整的电路。

1.1.2 电路的作用

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,但其基本作用大致可分为两类。

1. 实现电能的转换、输送和分配

最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1.2 所示。

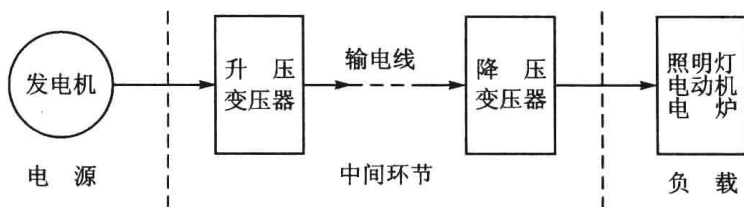


图 1.1.2 电力系统电路示意图

它的作用是实现电能的转换、输送和分配。在发电厂内可把热能、水能或核能转换为电能,发电机是电源。通过变压器和输电线等中间环节将电能送给负载(照明灯、电炉、电动机等),将电能转换为光能、热能、机械能等,从而实现了电能的转换、输送和分配。

2. 实现信号的产生、传递和处理

常见的例子如扩音器,其电路工作示意图如图 1.1.3 所示。送话器将声音(信息)转化为电信号(电压、电流),经过中间环节(导线与放大器等),电信号被放大,并传递到扬声器,还原原来的声音。送话器是输出信号的设备,称为信号源。

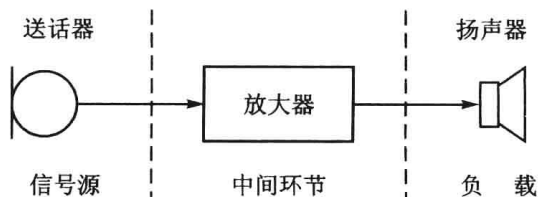


图 1.1.3 扩音器电路示意图

信号源也是一种电源,其主要作用是产生电压信号和电流信号。各种非电的信息和参量,如语言、音乐、图像、温度、压力、位移等均可变换成电信号,从而进行传递和转换。电路的这一作用广泛应用于电子技术、测量技术、无线技术和自动控制技术等许多领域。

1.1.3 电路模型

理想元件就是把实际元件理想化、模型化,在一定条件下突出其主要电磁性质,忽略其次要因素得到的单一性质的元件。现实中的电路元件种类繁多,特性各异,由

其组成的电路千变万化,十分复杂。为了便于对电路进行分析和计算,常用理想元件或它们的组合模拟实际器件。例如,在低频电路中,电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件所表现的主要特征是把电能转化为热能,可用“电阻元件”这样一个理想元件来反映消耗电能的特征。由理想元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。图 1.1.4 是图 1.1.1 所示实际电路的电路模型,图中 U_s 表示电源, R_0 表示电源等效内阻, K 表示开关, R 表示耗能元件。

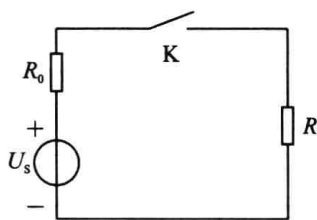


图 1.1.4 电路模型

电路模型是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在不同的工作条件下,同一实际器件可能采用不同的模型。模型取的恰当,对电路进行分析计算的结果就与实际情况接近;模型取的不恰当,则会造成很大误差甚至导致错误结果。

工程上为了把电路各个组成部分的电关系简明地表达出来,常用国家规定的电气图形符号及文字符号表示各电器元器件,如表 1.1.1 所列。

表 1.1.1 电路中常用的图形及文字符号

文字符号	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号	图形符号
直流电压源		电容 C		开关 K	
固定电阻 R		电压源 U_s		熔断器 FA	
可变电阻 R		电流源 I_s		电压表	
电感 L		照明灯		电流表	

1.2 电路中的基本物理量

电路中的基本物理量包括:电流、电压、电动势和功率。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷有规律的定向运动形成电流,电流强度是表示电流强弱的物理量。电流强度在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量,简称为电流,用 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

在国际单位制中,电流的单位为 A(安培,简称安),电荷的单位为 C(库仑,简称库)。实际中还常用毫安(mA),即 $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ 表示,等等。表 1.2.1 列出了国际

单位制(SI)中规定的用来构成十进倍数或分数的词头。

表 1.2.1 国际单位制(SI)倍数与分数词头

倍率	词头名称词		词头符号	倍率	词头名称词		词头符号
10^{12}	太[拉]	tera	T	10^{-1}	分	deci	d
10^9	吉[咖]	giga	G	10^{-2}	厘	centi	c
10^6	兆	mega	M	10^{-3}	毫	milli	m
10^3	千	kilo	k	10^{-6}	微	micro	μ
10^2	百	hecto	h	10^{-9}	纳[诺]	nano	n
10	十	deca	da	10^{-12}	皮[可]	pico	p

电流主要分为两类：一类为大小和方向均不随时间变化的电流，称为恒定电流，简称直流(简写 DC)，用大写字母 I 表示；另一类为大小或方向随时间作周期性变化的电流，称为交变电流，简称交流(简写 AC)，用小写字母 i 表示。直流和交流的电流波形如图 1.2.1 所示，其中图 1.2.1(a)为直流电流，图 1.2.1(b)为交流电流。

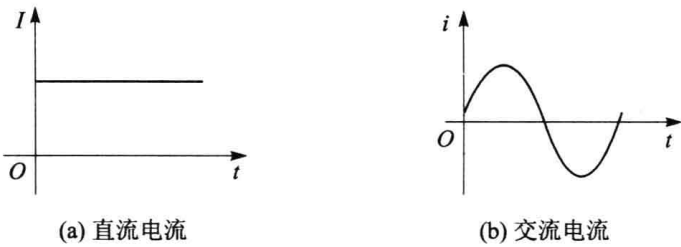


图 1.2.1 几种常见的电流波形

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。电流的实际方向是客观存在的，但在分析实际电路时，电流的实际方向往往难以确定，如交流电路中电流的方向是随时间变动的。为此，在分析和计算电路时，可任意选定某一方向作为电流的参考方向。电流的参考方向有两种表示方法，如图 1.2.2 所示。其中图 1.2.2(a)用箭头的指向表示；图 1.2.2(b)用双下标来表示，图中电流的参考方向是由 A 指向 B。

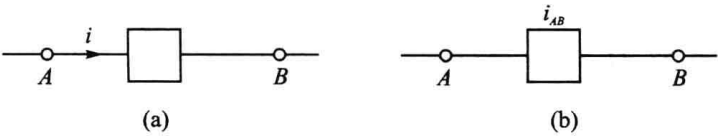


图 1.2.2 电流参考方向的两种表示方法

所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流参考方向与电流的实际方向一致时，电流为正值，即 $i > 0$ ；当电流的参考方向与实际方向不一致时，电流为负值，即 $i < 0$ 。参考方向选定后，电流就成为代数量。

注意:只有同时知道电流的正负和参考方向,才能判定电流的实际方向。

【例 1.2.1】 各电流的参考方向如图 1.2.3 所示。已知 $I_1 = 10\text{ A}$, $I_2 = -2\text{ A}$, $I_3 = 8\text{ A}$ 。试确定 I_1 、 I_2 、 I_3 的实际方向。

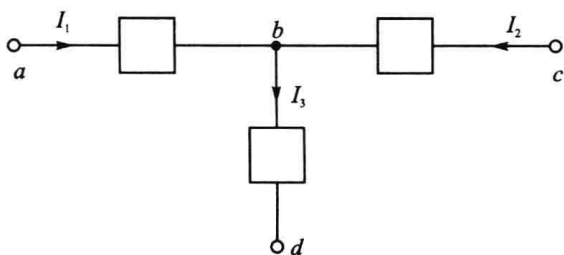


图 1.2.3 例 1.2.1 图

解: $I_1 = 10\text{ A} > 0$, I_1 的实际方向与参考方向相同, I_1 的实际方向由 a 流向 b 。

$I_2 = -2\text{ A} < 0$, I_2 的实际方向与参考方向相反, I_2 的实际方向由 b 流向 c 。 $I_3 = 8\text{ A} > 0$, I_3 的实际方向与参考方向相同, I_3 的实际方向由 b 流向 d 。

1.2.2 电压及其参考方向

在电路中电荷能定向移动是因为电路存在电场,电压就是衡量电场力移动电荷时做功的物理量。电路中 A 、 B 两点间电压的大小,等于电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功。直流电压用大写字母 U 表示,交流电压用小写字母 u 表示。电压的单位为 V (伏特,简称伏)。

在分析电子电路时,通常要用电位这个概念。譬如对于二极管,只有当阳极电位高于阴极电位时,才能导通;否则就截止。在电路中任选一点为电位参考点,在图中用接地符号“ $\perp$ ”表示,参考点的电位为 0,则某点到参考点的电压就称为这一点的电位。电位用大写字母 V 表示,单位也为 V (伏特,简称伏)。如图 1.2.4 中 B 点的电位,计作 V_B ,当选择 O 点为参考点时,有

$$V_B = U_{BO} = U_{S1} \quad (1.2.2)$$

当选择 A 点为参考点时,有

$$V_B = U_{BA} = U_{S1} + U_{S2} \quad (1.2.3)$$

电压与路径无关,两点间的电压就是两点间的电位差,图 1.2.4 中 B 、 A 两点的电压就等于两点的电位差,即

$$U_{BA} = V_B - V_A \quad (1.2.4)$$

必须特别注意,电位是相对的,电压是绝对的。电路中任意点的电位大小与参考点的选择有关,各点的电位值随参考点的改变而改变;但是任意两点之间的电压不变,与参考点无关。理论研究时常取无穷远处作为电位的参考点,工程上常选大地、仪器外壳或底板作参考点。

在电子电路中,为了简化电路,对一端接地的电源不再画出电源符号,而是用电