

电工学

上册

电工技术

管 旗 蒋 中 刘国林 编著



科学出版社
www.sciencep.com

电 工 学

上册

电 工 技 术

管 旗 蒋 中 刘国林 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是电工学上册,内容包括绪论、直流电路、暂态电路、正弦交流电路、三相交流电路、非正弦周期电路、变压器、电机、电气控制技术、计算机控制技术、低压配电系统、电工测量和实验等。本书采用国际电工学词汇(IEV)和图形符号,每章选用的例题和实验大部分来自工程实际,有利于激发读者的学习兴趣,了解电工学在其他学科方面的应用。本书配套的电子教案内容丰富、直观生动,有助于读者在较短时间内理解并掌握书中内容。

本书可作为高等院校非电类专业电工学(多学时)的教材,也可作为普通高等职业学校电类专业电工学(标以“△”、“*”号除外)的教材,还可供工程技术人员及备考注册电气工程师执业资格考试的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学.上册,电工技术/管旗,蒋中,刘国林编著. —北京:科学出版社, 2010.7

ISBN 978-7-03-027989-7

I. ①电… II. ①管…②蒋…③刘… III. ①电工学-高等学校-教材
②电工技术-高等学校-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113795 号

责任编辑:余 江 潘继敏 / 责任校对:朱光光
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencecp.com>

北京市农林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 7 月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1—3 500 字数:465 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书以教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会 2004 年 8 月修订的“电工学教学基本要求”为基础,精选经典内容,适当增加现行工程中广泛采用的新技术、新工艺、新产品等方面的内容,强调电气设备和工程安全,力求使本书成为适应工程教育需要的电工学教材。本书主要特色如下:

1) 精选内容

本书主要介绍电工电子技术的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法。在阐明物理概念和基本定律、基本定理的前提下,采用工程近似方法进行计算,略去一些不必要的数学推导。例如把变压器、电动机等作为一个元件,侧重讲解它们的外特性及应用。

2) 推陈出新

本书所讲述的内容,大多是近十年来国内外工程中所采用的新技术、新工艺、新材料和新设备等,力图反映 20 世纪 90 年代以来国内外工程界与学术界在电工学方面取得的最新成果,学以致用。

(1) 20 世纪 50 年代,由于我国铜材料紧张,配电变压器绕组采用铝线,其一次侧大多采用星形连接。80 年代以来,配电变压器绕组采用铜线,其一次侧大多采用三角形连接。90 年代以来,新技术、新工艺、新材料不断涌现,节能降耗的新型变压器逐步问世,表现在非晶合金导磁材料的采用,变压器心柱结构的改进,使变压器的用材和空载损耗大大降低。同时推荐配电变压器连接组别采用 Dyn11,以抑制 3n 次谐波电流的影响。在配电变压器制作过程中,可以嵌入传感器和外装智能终端,从而又可实现远距离检测其参数。

(2) 异步电动机的启动和调速,除了介绍传统的降压启动方式(如 Y- Δ 换接、自耦变压器启动等)和变极调速外,还增加了采用电子技术的变频调速(VVVF)等新技术。

(3) 随着电子技术、计算机技术和通信技术的发展,我国于 20 世纪 90 年代开始淘汰第一代产品低压电器,限制使用第二代产品,逐步采用第三代产品。第三代产品具有模块化、智能化和网络化的特点,可直接与计算机组成监控系统。

(4) 用信息技术改造传统工业,推进机电一体化,提高信息采集、传输和利用的能力,是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。本书结合电工、电子设备和电气控制系统,介绍数据通信、计算机网络、现场总线控制系统及 MODBUS 协议等基础知识。

(5) 反映近代电力电子技术的发展,如绝缘栅双极型晶体管及变流电路等内容。

(6) 非电量测试在现代工业中越来越重要,本书从系统的基本组成出发,介绍信息采集、信号处理、信号输出等基本原理和单元电路。

3) 强调安全

本书遵照现行的国家标准和国际电工委员会(IEC)的有关标准,在制造电工和电子设备中,要以人为本;在工程设计和施工中,应保证人身安全。

(1) 一般情况下,低配电系统采用中性点直接接地方式(即 TN 系统),对低压交流电动机的控制回路,当控制回路发生接地故障时,应避免保护和控制被大地短路,造成电动机意外启动或不能停车。因此,《通用用电设备配电设计规范》GB50055 规定,电动机一般在控制回路

中应装隔离电器(用于安全检修)和短路保护电器。控制电压应采用 220V,不宜采用 380V。

(2) 在三相四线制供电系统中,中性线必须连接牢固,不允许单独串接熔断器(开关)。

4) 突出应用

本书所选的例题和实验,大部分来自工程实践,电气控制图按工程施工图常规画法,这有助于学生在学习理论的同时能熟悉一些工程施工图,设计电工电子工程方案,绘制电工电子施工图,查阅电工电子产品手册(资料),掌握按照不同材料的性能指标和施工工艺进行施工的方法,熟练使用测试仪器仪表,提高学生的实际工作能力。

5) 学习基本理论和标准相结合

标准是衡量事物的准则。本书力求把现行的国家标准规范和 IEC 有关标准有机地结合到相应章节之中,帮助学生在基本理论的同时,了解电工、电子领域的标准及应用。学会查阅这些标准,为继续学习与本专业有关的工程技术、从事与本专业有关的科学研究等打下一定的基础。

6) 以学生为中心

制作了配套的多媒体电子教案,把教师从技术基础课呆板的课堂教学中解放出来;帮助学生理解、消化理论知识,激发学生的学习积极性与创新意识。通过多媒体教学及实验,让师生有机地结合,做到教学互动,给技术基础课的教学注入新的活力。

本书适用于“电工学(电工技术)”课程 32~64 学时的授课。由于各专业对电工学的要求不同,为了使本书具有灵活性,将本书内容分为三类:

(1) 基本内容。为教学基本要求所规定的内容。基本教学计划为 32 学时。

(2) 非共同性基本内容(标以“△”号)。视学时的多少和学生的实际情况由教师选讲。

(3) 参考内容(标以“*”号)。一般指加深加宽的内容,可在教师指导下让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授。

书中实验共 9 个,每个实验 3 学时,教师可视实际情况选做。

本书由多年从事电工学教学的教师以及相关的科研人员、设计人员和施工人员集体讨论编写大纲,吸取了相关教材的编写经验。参加本书编写的人员有管旗、蒋中、杜宇人、陈杰、钟小芳、金烨、江庆、吴沛然、包世应、傅依等,刘国林负责统稿。参加文字录入和部分绘图的有汪瑞玲、刘祥宇、汪芮、刘国新等。东华工程科技股份有限公司(化工部第三设计院)教授级高级工程师唐海洋等提出了许多中肯的修改意见,在此表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,殷切期望使用本书的广大读者给予批评指正。

作 者

2010 年 5 月

目 录

前言

绪论	1
0.1 电工学课程的任务	1
0.2 电工学的作用	1
0.3 学习电工学的方法	1
第1章 直流电路	4
1.1 电路的基本物理量	4
1.1.1 电路模型	4
1.1.2 电流	5
1.1.3 电压	6
1.1.4 功率	7
1.2 电路的基本状态	9
1.2.1 有载状态	9
1.2.2 开路状态	10
1.2.3 短路状态	10
1.3 电源及其等效变换	11
1.3.1 电压源	12
1.3.2 电流源	12
△1.3.3 实际电源模型及其等效变换	13
1.4 基尔霍夫定律	17
1.4.1 基尔霍夫电流定律	17
1.4.2 基尔霍夫电压定律	18
1.5 支路电流法	21
△1.6 节点电压法	22
1.7 叠加定理	24
1.8 等效电源定理	27
1.8.1 戴维南定理	27
*1.8.2 诺顿定理	29
△1.8.3 输入电阻和输出电阻	31
*1.9 受控电源	34
△1.10 非线性电阻电路	39
1.10.1 线性电阻计算	39
1.10.2 非线性电阻电路分析	40
第2章 暂态电路	43
2.1 电阻元件、电感元件和电容元件	43

2.1.1	电阻元件	43
2.1.2	电感元件	44
2.1.3	电容元件	45
△2.1.4	实际元件的主要参数及电路模型	46
2.2	换路的基本概念	48
2.2.1	暂态分析的基本概念	48
2.2.2	换路定律	49
2.3	RC 电路的暂态分析	51
2.3.1	RC 零状态响应	52
2.3.2	RC 零输入响应	53
2.3.3	RC 全响应	53
2.4	RL 电路的暂态分析	56
2.4.1	RL 零状态响应	56
2.4.2	RL 零输入响应	57
2.4.3	RL 全响应	57
第 3 章	正弦交流电路	60
3.1	正弦交流电的基本概念	60
3.1.1	正弦交流电的角频率	61
3.1.2	正弦交流电的初相位	61
3.1.3	正弦交流电的有效值	62
3.2	正弦量的相量表示法	63
3.3	单一参数的正弦交流电路	66
3.3.1	电阻电路	66
3.3.2	电感电路	67
3.3.3	电容电路	69
3.4	电阻、电容、电感的交流电路	73
3.4.1	电阻、电容、电感串联的交流电路	73
3.4.2	电阻、电容、电感并联的交流电路	74
3.5	交流电路的功率	79
3.5.1	交流电路的瞬时功率	80
△3.5.2	交流最大功率传输	81
3.5.3	交流电路的功率因数的提高	82
3.6	电路的频率特性	85
3.6.1	滤波电路	85
△3.6.2	电路谐振	89
*3.6.3	波特图	91
第 4 章	三相交流电路	95
4.1	三相交流电源	95
4.1.1	三相交流电源的产生	95
4.1.2	三相电源连接	96

4.2	三相负载	99
4.2.1	三相负载的星形连接	99
△4.2.2	三相负载的三角形连接	101
4.3	三相功率	103
第5章	非正弦周期电路	108
5.1	傅里叶级数	108
*5.2	傅里叶频谱	109
5.3	非正弦周期量的最大值、平均值和有效值	110
5.4	非正弦周期信号线性电路计算	112
第6章	变压器	118
6.1	磁路及其分析	118
6.1.1	磁路的基本物理量	118
*6.1.2	物质的磁性能	120
6.1.3	磁路分析	124
6.2	电磁铁	128
6.2.1	直流电磁铁	129
6.2.2	交流电磁铁	130
6.2.3	功率损耗	132
6.3	变压器	133
6.3.1	变压器的基本结构	134
6.3.2	变压器的工作原理	134
6.3.3	三相变压器	137
6.3.4	变压器特性	139
6.3.5	变压器技术参数	140
△6.3.6	特殊变压器	144
第7章	电机	149
7.1	三相异步电动机	149
7.1.1	三相异步电动机的工作原理	149
7.1.2	三相异步电动机的特性	153
7.1.3	三相异步电动机的技术参数	155
*7.2	同步电动机	159
7.2.1	同步电动机的工作原理	159
7.2.2	同步电动机的特性	159
△7.3	单相异步电动机	160
7.3.1	电容式电动机	161
7.3.2	罩极式电动机	161
△7.4	直流电机	162
7.4.1	直流电动机的工作原理	162
7.4.2	直流电动机的特性	163
7.4.3	直流电机的技术参数	166

7.4.4	直流电动机的调速	166
7.4.5	直流电动机的使用	168
△7.5	伺服电动机	170
7.5.1	交流伺服电动机	170
7.5.2	直流伺服电动机	171
* 7.6	测速发电机	172
7.6.1	交流测速发电机	172
7.6.2	直流测速发电机	174
△7.7	步进电机	175
7.7.1	步进电机的结构	175
7.7.2	步进电机的工作原理	175
7.7.3	步进电机的技术参数	177
△7.8	电动机的选择	179
第8章	电气控制技术	184
8.1	低压电器	184
8.1.1	低压电器概述	184
△8.1.2	熔断器	185
8.1.3	断路器	187
8.1.4	主令电器	190
8.1.5	接触器	193
△8.1.6	中间继电器	195
8.1.7	热继电器	195
8.1.8	行程开关	196
8.1.9	时间继电器	197
8.2	电气控制电路	198
8.2.1	异步电动机的直接启动控制电路	198
△8.2.2	异步电动机的降压启动控制电路	206
8.2.3	异步电动机的时间继电器控制电路	207
8.3	异步电动机调速	212
* 8.3.1	改变磁极对数调速	213
* 8.3.2	改变转差率调速	213
△8.3.3	改变电源频率调速	213
8.3.4	电动机启动与调速方式的选择	216
△8.4	电动机的制动	217
8.4.1	电气制动方法	217
8.4.2	机械制动方法	219
△8.5	电气控制电路原理图的阅读	219
8.5.1	阅读电气原理图的注意事项	219
8.5.2	阅读电气控制电路举例	220
* 8.6	电气控制电路设计	222

8.6.1	电气控制电路的基本原则	222
8.6.2	设计举例	223
8.6.3	电气控制电路应注意的问题	224
第9章	计算机控制技术	228
* 9.1	现场总线控制系统	228
9.1.1	CAN(控制器区域网络)	228
9.1.2	LON(局部操作网络)	229
* 9.2	Modbus 协议	230
△9.3	可编程控制器	232
9.3.1	可编程控制器的系统组成	232
9.3.2	PLC 存储器的寻址方式	234
9.3.3	PLC 的编程语言	235
9.3.4	PLC 的工作方式	238
9.3.5	PLC 的基本指令	238
9.3.6	可编程控制器的应用	247
第10章	低压配电系统	253
* 10.1	电力系统概述	253
10.2	低压配电系统	254
△10.2.1	低压配电方式	254
△10.2.2	配电箱(柜)	255
△10.2.3	低压线路敷设方式	256
* 10.2.4	电缆的选择	256
10.3	低压配电安全	260
10.3.1	电流对人体的危害	260
10.3.2	电击方式	260
10.3.3	供配电系统接地	261
10.3.4	防雷	264
10.3.5	防静电	264
△10.3.6	电磁环境	264
10.3.7	电器防火和防爆	266
10.4	电气工程图识读	267
△10.4.1	阅读电气工程图的基本知识	267
* 10.4.2	建筑电气工程图	268
* 10.4.3	动力工程图	271
第11章	电工测量	275
11.1	测量基础	275
11.1.1	测量误差	275
△11.1.2	测量结果的处理	276
11.2	基本电量测量	278
11.2.1	常用电工测量仪表的分类	278

11.2.2 基本电量测量·····	279
第 12 章 实验 ·····	284
实验须知·····	284
实验一 基尔霍夫定律·····	285
实验二 戴维南定理·····	287
实验三 日光灯电路及功率因数的改进·····	289
实验四 三相电路的负载连接及功率测量·····	290
△实验五 电路时域响应分析·····	291
实验六 单相变压器特性检测·····	294
实验七 三相异步电动机启动控制·····	296
△实验八 人行道按钮控制交通灯程序设计·····	298
* 实验九 EDA 基本原理和仿真知识 ·····	299
部分习题答案 ·····	301
参考文献 ·····	312
附录 A 常用的电气工程文字符号 ·····	313
附录 B 电气工程安装的标注方法 ·····	314

绪 论

0.1 电工学课程的任务

电工学高等学校本科非电类专业的一门技术基础课程。其作用与任务是使学生通过本课程的学习,获得电工电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工电子技术应用和我国电工电子事业发展的概况,为今后学习和从事与本专业有关的工作打下一定的基础。作为技术基础课程,它具有基础性、应用性和先进性的特点。

基础是指基本理论、基本知识和基本技能。所谓基础性,电工学应为后续专业课程打基础;应为学生毕业后从事有关电的工作打基础,也就是为自学、深造、拓宽和创新打基础。

非电类专业学生学习电工学重在应用,他们应具有将电工和电子技术应用于本专业和发展本专业的一定能力。为此,课程内容要理论联系实际应用,从实际出发;培养他们分析和解决实际问题的能力;重视实际技能的训练。

电工学课程的内容应反映国内外工程界与学术界在电工学方面取得的最新成果,保持与世界电工学发展同步。

0.2 电工学的作用

人类在生产活动和科学实验的过程中,不断总结和丰富着自己的知识。电工学就是在生产实践中逐步发展起来的。

在18世纪,由于生产发展的需要,电工技术发展很快。詹姆斯·瓦特(James Watt)于1769年发明了第一台蒸汽机;1782年,又发明了联动式蒸汽机,蒸汽机的发明与运用,使人类生产实现了由手工生产向机械化的飞跃,引起了一场划时代的工业革命。法拉第(M. Faraday)在总结前人科学成果的基础上,经过长达10年的反复试验,于1831年发现磁铁和铜丝圈之间做相对运动就能产生感应电流,并据此制成了世界上第一台电动机,开创了人类通向电气化的道路。正是蒸汽机、电动机的发明与运用,使科学与技术、科学技术与生产第一次有机地结合在一起。

如果说,19世纪电工技术的发展使人类实现了由机械化时代向电气化时代的飞跃,那么20世纪电子技术的发展使通信、控制和计算机相互有机结合,正在推动信息技术的变革,以Internet为代表的信息基础设施的出现,标志着人类已进入信息时代。21世纪将是不同领域的科学技术相互渗透和融合的时代,电工学与其他学科的结合或向其他学科的渗透,已经或正在促进这些学科的发展并开拓出新的学科领域。因此,21世纪的工程师,掌握和运用电工学是十分必要的。

0.3 学习电工学的方法

本课程的教学环节包括讲课、自学、解题和实验等。为了学好本课程,现就本课程的几个

教学环节提出学习中应注意之点,以供参考。

1. 听课与自学相结合

课堂教学是获得知识最快和最有效的学习途径。因此,务必认真听课,要抓住物理概念、基本理论、工作原理和分析方法;要理解问题是如何提出和引申的,又是怎样解决和应用的;要了解各章节的主要内容及其内在联系。

教师讲课往往只讲重点、要点和难点,其余则要靠自学,既要学习未讲过而要求掌握或了解的内容,还要认真做习题和及时复习已讲过的内容,逐步提高自己的科学思维能力。

2. 课堂教学和实践相结合

本课程实践性很强,除了在学习时要注意理论联系实际、注意其工程应用外,还要通过实验巩固和加深所学理论,训练实际技能,并培养严谨的科学作风。实验前务必认真准备,了解实验内容和实验步骤;实验时要积极思考,多动手,学会正确使用常用的电子仪器、电工仪表、电机和电器设备以及电子元器件等。能正确连接电路,能准确读取数据,并能根据要求设计简单线路;实验后要认真分析实验现象和实验数据,编写出整洁的实验报告。

3. 特性和共性相结合

本课程涉及的知识面很广,学习时要从共性中发现它们的特性,又能从特性中总结出共性。例如,电路是由各种电路实体抽象出来的电路模型。它是研究电路分析和计算的普遍规律。在学习时,需要从共性中去发现它们的特性,要注意理论的严密和计算的精确。电子技术中的管(电子器件)、路(电子电路)、用(实际应用)三者的关系是:管、路、用结合,管为路用,以路为主。要把重点放在最基本的电路上。对于电子器件则重点在于了解它们的外部性能及如何用于电路中,对分立电路和集成电路的关系来说,则是:分立为基础,集成是重点,分立为集成服务。又如低压电器和电机等则是讨论各种不同特性的,以及由它们组成的用以完成各种不同功能的电路。叙述中较多地强调了它们的应用特性。在学习时,要注意从这些特性中去发现它们的共性,要注意工程近似的分析方法。

4. 学习基本理论和标准相结合

标准是衡量事物的准则。本教材中所引用的标准,都标注出该标准的名称。学生在学习基本理论的同时,了解一些电工、电子的标准及应用,学会查阅这些标准。

标准按其作用和有效的范围,可以划分为不同层次和级别的标准。

- 国际标准由国际标准化或标准组织制定,并公开发布的标准是国际标准。
- 区域标准由某一区域标准或标准组织制定,并公布开发布的标准,如欧洲标准。
- 国家标准由国家标准机构制定并公开发布的标准。
- 行业标准由行业标准化机构发布在某行业的范围内统一实施的标准。
- 地方标准由一个国家的地方部门制定并公开发布的标准。
- 企业标准(又称公司标准)由企事业单位自行制定,发布的标准。

我国标准的编号由标准代号、标准顺序号和年号三部分组成。强制性国家标准代号为“GB”,推荐性国家标准代号为“GB/T”。行业标准代号由国务院标准化主管部门规定。如强制性电力行业标准代号为“DL”,推荐性电力行业标准代号为“DL/T”。地方标准的标准代号为DB加上省、自治区或直辖市的代码前两位数字。企业标准代号为Q加企业代号。

电器设备应按标准设计和制造,电气工程必须按标准设计和施工,而且应优先采用国家强制性标准或规范。如低压配电必须按《低压配电设计规范》GB50054—1995设计,按《建筑电气工程施工质量验收规范》GB50303—2002施工,才能保证人身安全和设备正常运行。

国际标准主要由国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)、国际电工委员会(International Electro technical Commission, IEC)和国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)等制定的标准。

ISO 是最大的国际标准化组织,负责除电工、电子领域之外的所有其他领域的标准化活动。IEC 主要负责电工、电子领域的标准化活动。ITU 是促进电信全球标准化制定的国际公众组织。

我国采用国际标准的程度分等同(identical, IDT)采用、修改(modified, MOD)采用、等效(equivalent, EQV)采用和非等同(not equivalent, NEQ)采用等。

第1章 直流电路

电路是电工技术和电子技术的基础。本章首先讨论电路的基本概念、电路的基本状态和电源及其等效变换等,然后介绍常用的电路分析方法,如基尔霍夫定律、支路电流法、节点电压法、叠加原理、电源等效定理、受控电源以及非线性电阻电路图解法等。这些内容都是分析和计算电路的基础。

本章学习要求:(1)理解电路模型及理想电路元件(电阻、电感、电容、电压源和电流源)的电压-电流关系,理解电压、电流参考方向的意义;(2)理解基尔霍夫定律,了解支路电流法、理解叠加定理和戴维南定理;(3)了解电功率和额定值的意义;(4)了解电源的两种模型及其等效变换;(5)了解非线性电阻元件的伏安特性及静态电阻,动态电阻的概念和简单非线性电阻电路的图解分析法。

1.1 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流和电压(电动势),复合物理量有电功率和电能等。这些物理量只有在一定环境才存在,即在电路中才存在,因此我们先介绍电路。

1.1.1 电路模型

电流流通的路径称为电路(electric circuit)。它是为了某种需要由某些电气设备或元件按一定方式组合起来的。例如,常用的手电筒是由干电池、电珠、开关和筒体组成的,电路模型如图 1.1.1 所示。在图 1.1.1 中,电珠是电阻元件,用 R 作为电路的模型;干电池是电源元件,用 E (电压源)和电阻元件 R_{eq} (等效电阻)串联组合作为电路的模型;筒体用导线(其电阻设为零)或线段表示。

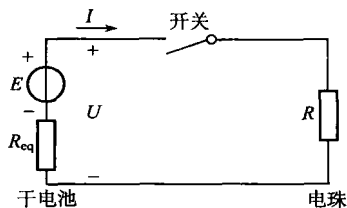


图 1.1.1 手电筒电路模型

一个完整的电路一般都是由电源(或信号源)、负载和中间环节(开关、导线等)三个基本部分组成的。电源(electric source)为电能的供电设备,例如蓄电池、发电机和信号源等。

其中蓄电池将化学能转换成电能,发电机将机械能转换成电能,而信号源则将非电量转换成电信号。负载(load)是将电能转换成非电形态能量的用电设备,例如电动机、照明灯和电炉等。其中电动机将电能转换成机械能,照明灯将电能转换成光能,而电炉则将电能转换成热能。导线(conductor)起着沟通电路和输送电能的作用。

实际的电路除以上三个基本部分外,还常常根据实际工作的需要增添一些辅助装置,例如保障安全用电断路器等。

从电源来看,电源本身的电流通路称为内电路(internal circuit),电源以外的电流通路称为外电路(external circuit)。

如果电路的某一部分只有两个端子与外部连接(图 1.1.2),则可将这一部分电路视为一

个整体,称为二端网络(two terminal network)。此外还有三端网络、四端网络等。内部不含电源的网络称为无源网络(passive network),含有电源的网络称为有源网络(active network)。

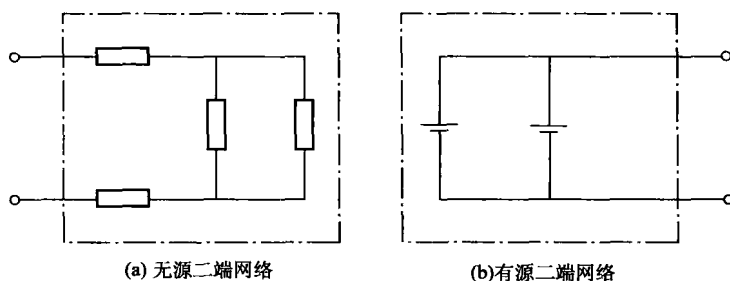


图 1.1.2 二端网络

电路有时称为系统(system)。系统是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。一个完整的电路就是一个电系统,它可以是一个较简单的电路,也可以是一个很复杂的电路。通常不必严格区分电路、网络 and 系统之间的差异,三者通用。

电路的结构形式和所能完成的任务多种多样。但按其功能可以分为两大类:一是进行电能的传输、分配和转换,如电炉在电流通过时将电能转成热能;二是进行信号的传递和处理,如电视机可将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。

1.1.2 电流

电路中带电粒子在电源作用下有规则移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子,半导体中的带电粒子是自由电子和空穴,电解液中的带电粒子是正、负离子,因此电流既可以是负电荷,也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

电荷[量]对时间的变化率称为电流,即

$$i = dq/dt \quad (1.1.1)$$

式中,电荷 q 的单位为库[仑](C)^①,时间 t 的单位为秒(s);电流 i 的单位为安[培](A)。

如果电流的大小和方向都不随时间变化,则称为直流电流(direct current, DC),用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交流电流(alternating current, AC),用小写字母 i 表示。

在分析计算电路时,为了列写与电流有关的表达式,必须预先假定电流的方向,称为电流的参考方向(也称为正方向),如图 1.1.3 所示。根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解后,如果电流为正值,则表示电流的实际方向和参考方向相同;如果电流为负值,则表示电流的实际方向和参考方向相反。交流电流的实际方向是随时间变化的,因此当电流的参考方向确定后,如果在某一时刻电流为正值,即表示在该时刻电流的实际方向和参考方向相同;如为负值,则相反。

① 方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略。圆括号中是单位的符号。

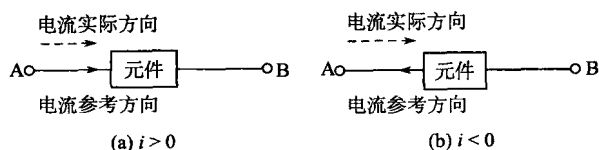


图 1.1.3 电流的参考方向与实际方向的关系

1.1.3 电压

图 1.1.4 是由电池和白炽灯组成的一个简单电路。电池具有电动势 E 。电动势是描述电源中非电场力对电荷做功的物理量,它在数值上等于非电场力在电源内部将单位正电荷从负极移至正极所做的功。单位为伏[特](V)。图 1.1.4 电路中,在电动势 E 的作用下,白炽灯两端得到电压 U_{ab} ,并有电流 I 流过。

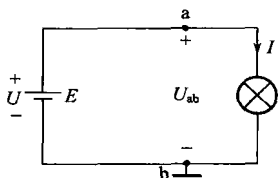


图 1.1.4 电动势、电压和电流的关系

电压是描述电场力对电荷做功的物理量。 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 就是 a 、 b 两点的电位差,它在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点移至 b 点所做的功。 a 点(或 b 点)的电位 V_a (或 V_b) 在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点(或 b 点)移至零电位点所做的功。零电位点又称参考点,可以任意设定。在电气工程中,常将电气设备的机壳与大地相连,称为保护接地,接地点用符号“ $\perp$ ”表示。

在电子电路中,一般都有一公共点与机壳或底板相连,用符号“ $\perp$ ”表示。在图 1.1.4 中设 b 为参考点(即 $V_b=0$),故 a 点的电位 V_a 就等于 a 、 b 间的电压 U_{ab} ,即 $U_{ab}=V_a-V_b=V_a$ 。因此如要知道某一点的电位,只要计算该点到参考点的电压就可得到。电压和电位的单位都是伏[特](V)。

电压是由于两点间电位的高低差别而形成的,它的方向是从高电位指向低电位,是电位降低的方向。而电动势的方向则是从低电位指向高电位,是电位升高的方向。

在分析计算电路时,为了列写与电压有关的表达式,必须预先假定电压或电动势的参考方向(也称参考极性)。在电路中,电压的参考方向可用正(+)、负(-)极性表示其高低电位,由高电位指向低电位,如图 1.1.5 所示。有时也用箭头表示或用双下标表示,如 u_{AB} 表示电压参考方向由 A 指向 B 。为了分析方便,如果电压、电动势的实际方向为已知,就常以其实际方向作为参考方向。图 1.1.4 电路中,在忽略电池的内阻和导线的电阻时,根据所标参考方向, a 、 b 间的电压 U_{ab} 和电池的电动势 E 相等,即 $U_{ab}=E$ 。无源元件内部常取电流与电压的参考方向相同,称为关联参考方向,即只给一个参考方向;对有源元件则常取电流与电压的参考方向相反,称为非关联参考方向。

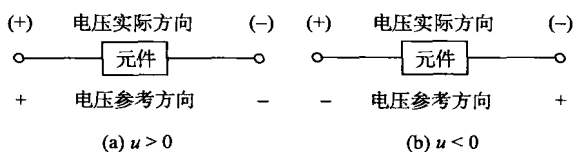


图 1.1.5 电压的参考方向与实际方向的关系