



全国高等职业教育规划教材

电工技术基础 与实训

主编 魏 华



电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电工技术基础与实训

主 编 魏 华

副主编 罗启平 蒙联光 张国伟 彭 越

参 编 黎兆林 李红斌 许建强 陈 梅

邓建青 郭伟浩 谭静霓

主 审 陈延明



机械工业出版社

本书主要内容包括电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路的分析、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、电动机与变压器、电动机的运行控制、企业供配电与安全用电、电工技术基础实验以及电工技术实训。本书充分体现了培养高职学生“技术应用能力”的目标,将技能实训内容贯穿始终,与理论教学内容有机融为一体,并与国家职业资格证书的要求相结合,是一本“理实一体化”教材。本书内容丰富,浅显易学,图文并茂,可满足不同层次的教学需要。

本书可作为高职高专院校、高级技工学校和中职中专学校的楼宇智能化、建筑电气工程技术、物业管理、电子信息、电气自动化、机电一体化等相关专业的电工技术课程的教材,也可供从事各种电气设备安装、维护和维修等相关工作的工程技术人员参考。

为配合教学,本书配有电子课件,读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费注册后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话 (010) 88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础与实训/魏华主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 9

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 39027 - 5

I. ①电… II. ①魏… III. ①电工技术 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 165695 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 吴鸣飞 王寅生 版式设计: 霍永明

责任印制: 杨 曦 责任校对: 陈秀丽

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 401 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 39027 - 5

定价: 35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 机电类专业委员会成员名单

主 任	吴家礼					
副 主 任	任建伟	张 华	陈剑鹤	韩全立	盛靖琪	谭胜富
委 员	(按姓氏笔画排序)					
	王启洋	王国玉	王晓东	代礼前	史新民	田林红
	龙光涛	任艳君	刘靖华	刘 震	吕 汀	纪静波
	何 伟	吴元凯	张 伟	李长胜	李 宏	李柏青
	李晓宏	李益民	杨士伟	杨华明	杨 欣	杨显宏
	陈文杰	陈志刚	陈黎敏	苑喜军	金卫国	奚小网
	徐 宁	陶亦亦	曹 凤	盛定高	程时甘	韩满林
秘 书 长	胡毓坚					
副秘书长	郝秀凯					

出版说明

根据“教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见”中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材,同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

《电工技术基础与实训》是高职高专楼宇智能化及其相关专业的基础课程,本书是结合当前我国高职高专楼宇智能化及其相关专业的教学实际,以就业为指导、以能力培养为根本,遵循科学性、先进性和实用性的原则进行编写的。内容突出高职高专职业技术教育的特色,贯穿基于工作过程导向的工学一体化的教学改革理念,重点突出实践能力和操作技能的培养。考虑高职院校生源的基础知识,按照楼宇智能化专业教学大纲,教学内容以“实用”、“够用”为度,满足楼宇智能化及其相关专业电工岗位职业技术需求。本书通俗易懂,内容深入浅出。在本书的编写过程中,重点突出以下特色:

1. 专业的适应性

本书突出楼宇智能化及其相关专业实用性,电路、电气等多为楼宇智能化及其相关专业实例。

2. 技能的实用性

本书以培养学生“技术应用能力”为目标,第8章、第9章突出技能实训,与理论教学内容有机融为一体,并与国家职业资格考试要求相结合,理实一体化。

3. 内容的新颖性

本书介绍了与楼宇智能化及其相关专业的新知识、新技术,如直线电动机、同步电动机在楼宇智能化及其相关专业的应用情况等。

4. 知识的系统、连贯性

本书各章节之间尽量相互协调、前后呼应、融为一体,避免了内容的重复。

对于本书基本知识和基本操作方法的叙述力求层次分明、重点突出、言简意赅。每章开始处介绍知识目标、能力目标、技能目标;每章结尾附本章小节、电工小常识或典型案例等。通过对本书的学习,不仅能让学生对楼宇智能化及其相关专业电工所需的应知应会的基本知识有一个完整的初步了解,而且对提高学生的实际动手能力大有裨益。

本书由魏华主编,广西大学陈延明教授主审。参与本书编写的人员还有:罗启平、蒙联光、张国伟、彭越、许建强、李红斌、陈梅、黎兆林、邓建青、郭伟浩、谭静霓。具体如下分工:广西经贸职业技术学院魏华编写第1章、第5章、第6章;健雄职业技术学院李红斌编写第2章;邕江大学陈梅编写第3章;广西机电职业技术学院张国伟编写第4章;广西机电职业技术学院罗启平编写第7章;广西经贸职业技术学院黎兆林编写第8章;邕江大学彭越、邓建青编写第9章。广西经贸职业技术学院蒙联光参与第3、4、5、7、8、9章的编写及修改工作。北京劳动保障职业学院老师许建强参与第3、5、6章的编写工作。广西经贸职业技术学院郭伟浩、谭静霓参与第2、4章的编写工作。

本书是编者从事多年楼宇智能化及其相关专业工作、教学和实践的总结。在编写过程中,走访了许多楼宇智能化、建筑电气、物业管理及其相关专业的企业专家、经理,吸收了他们的宝贵意见。同时参阅了国内许多优秀教材,查阅了大量相关的文献,在此,特向他们表示深切的敬意和衷心的感谢!

由于编者水平有限，书中难免有疏漏与不妥之处，敬请专家、同行和广大读者批评指正。有关的意见及建议可发送至本书作者的电子邮箱：wantoof@163.com。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 电路的基本概念和基本定律 1

1.1 电路及电路模型 1

1.1.1 电路的组成与作用 1

1.1.2 理想电路元件 2

1.1.3 电路模型 3

1.1.4 电路的工作状态 3

1.2 电路的基本物理量 4

1.2.1 电流 4

1.2.2 电压、电位、电动势 6

1.2.3 电功率 9

1.3 基尔霍夫定律 10

1.3.1 基尔霍夫电流定律 11

1.3.2 基尔霍夫电压定律 12

第2章 直流电阻电路的分析 15

2.1 电阻及欧姆定律 15

2.1.1 线性电阻 15

2.1.2 欧姆定律 15

2.1.3 电阻元件的功率 16

2.1.4 电阻器及额定值 16

2.2 简单电路的分析 17

2.2.1 电阻的串联 17

2.2.2 电阻的并联 18

2.2.3 电阻的混联 19

2.3 复杂电路的分析 21

2.3.1 支路电流法 21

2.3.2 节点电压法 21

2.3.3 网孔电流法 22

2.4 电源模型及电压源与电流源的

等效变换 23

2.4.1 实际电源的两种模型 23

2.4.2 电压源与电流源的等效变换 25

2.5 电路定理 27

2.5.1 叠加定理 27

2.5.2 戴维南定理 28

第3章 单相正弦交流电路 34

3.1 正弦交流电的基本概念 34

3.1.1 正弦交流电的三要素 34

3.1.2 正弦量的相位差 36

3.1.3 正弦交流电的有效值 36

3.2 正弦交流电的表示方法 37

3.2.1 复数及其运算 37

3.2.2 正弦量的表示方法 38

3.3 电路基本定律的相量形式 40

3.3.1 基尔霍夫电流定律的相量形式 40

3.3.2 基尔霍夫电压定律的相量形式 41

3.4 单一参数电路 42

3.4.1 电阻元件 42

3.4.2 电感元件 43

3.4.3 电容电路 45

3.5 简单正弦交流电路的分析 47

3.5.1 RLC 串联电路及复阻抗 47

3.5.2 RLC 并联电路及复导纳 51

3.6 正弦交流电路的功率及功率因

素的提高 53

3.6.1 正弦交流电路的功率 54

3.6.2 功率因数的提高 56

3.6.3 正弦交流电路负载获得最大功率

的条件 58

第4章 三相正弦交流电路 64

4.1 三相正弦交流电源 64

4.1.1 三相交流电的产生 64

4.1.2 三相电源的连接 65

4.2 三相电路中负载的连接 67

4.2.1 三相负载的星形(Y)联结 67

4.2.2 负载三角形(Δ)联结 71

4.3 三相电路的功率 72

第5章 电动机与变压器 78

5.1 单相异步电动机 78

5.1.1 单相异步电动机的结构与应用 78

5.1.2 单相异步电动机的工作原理 78

5.1.3 单相异步电动机的起动方法	79	6.5.3 反接制动	153
5.2 三相异步电动机	82	第7章 企业供配电与安全用电	157
5.2.1 三相异步电动机的结构与应用	82	7.1 供配电系统概述	157
5.2.2 三相异步电动机的工作原理	84	7.1.1 电力系统简介	157
5.2.3 三相异步电动机的技术参数和 选择	85	7.1.2 企业的变配电系统	160
5.2.4 三相异步电动机的故障检修	87	7.1.3 电力系统中负荷的分级	162
5.3 直流电动机	89	7.2 企业变配电主结线图	163
5.3.1 直流电动机的结构与应用	89	7.2.1 企业高压配电所主结线图	163
5.3.2 直流电动机的励磁方式	92	7.2.2 企业车间变配电所主结线图	164
5.4 直线电动机简介	92	7.3 安全用电与建筑物防雷	165
5.4.1 直线电动机的基本结构	93	7.3.1 安全用电及接地保护	165
5.4.2 直线电动机的工作原理	95	7.3.2 建筑物防雷技术	168
5.4.3 直线电动机的应用	95	7.3.3 静电防护和电气防火防爆	174
5.5 永磁同步电动机及无齿轮永磁同 步曳引机简介	96	第8章 电工技术基础实验	180
5.6 变压器	100	8.1 常用电工仪表	181
5.6.1 磁路基本知识	100	8.2 万用表及其使用	181
5.6.2 变压器的基本结构	103	8.3 兆欧表及其使用方法	183
5.6.3 单相变压器	104	8.4 接地电阻测量仪的使用	184
5.6.4 三相变压器	106	8.5 钳形表使用技能	185
5.6.5 特殊变压器	108	8.6 功率表与电功率的测量技能	186
第6章 电动机的运行控制	118	8.7 直流电路基本参数的测量 实验	187
6.1 常用低压电器	118	8.8 电路中电位的测试	189
6.1.1 概述	118	8.9 基尔霍夫定律与叠加定理 的实验	190
6.1.2 接触器	122	8.10 戴维南定理及功率传输最 大条件的实验	192
6.1.3 继电器	124	8.11 提高功率因数的实验(荧光 灯电路实验)	193
6.1.4 熔断器	129	8.12 单相变压器实验	195
6.1.5 低压断路器	131	8.13 三相交流电路功率的测量	197
6.1.6 手控电器	133	8.14 单相电能的测量	199
6.1.7 主令电器	135	第9章 电工技术实训	201
6.2 电气控制系统图的基本知识	139	9.1 安全用电及急救技能	201
6.3 电气控制电路基本控制规律	141	9.1.1 电工安全操作规程	201
6.4 电动机的起动控制	146	9.1.2 触电事故的种类和急救基本 知识	205
6.4.1 三相笼型异步电动机降压 起动	146	9.1.3 预防触电的防护措施	208
6.4.2 三相绕线转子电动机的起动 控制	148	9.2 电工常用工具及线材	214
6.4.3 直流电动机的起动	150	9.2.1 电工工具及基本操作技能	214
6.5 电动机的制动控制	151		
6.5.1 机械制动	151		
6.5.2 能耗制动	152		

9.2.2 电工常用导线及其选用	219	实训	236
9.3 室内配电及室内电器安装		9.4.4 时间继电器的检修和校验	
技能	224	实训	238
9.3.1 常用灯具与安装	224	9.4.5 单向点动与连续运行控制电路	
9.3.2 开关、插座及吊扇的安装	228	的安装和调试实训	240
9.3.3 风扇安装	230	9.4.6 三相异步电动机正反转控制安	
9.3.4 单相电度表安装	232	装与检修	242
9.4 电工技能实训	234	9.4.7 工作台自动往返控制电路的安	
9.4.1 单相异步电动机的拆装与检修		装与检修实训	245
实训	234	9.4.8 三相异步电动机Y-Δ启动控	
9.4.2 低压开关的拆装与检修实训	234	制安装与检修实训	247
9.4.3 交流接触器的拆装与检修		参考文献	250

第1章 电路的基本概念和基本定律

【知识目标】

1. 了解电路的组成，理解电路模型的概念及理想电路元件的伏安关系；
2. 理解电压与电流参考方向的意义，能对元件的电源或负载性质进行判断；
3. 掌握分析与计算简单直流电路和电路中各点电位的方法；
4. 理解电路基本定律（欧姆定律、基尔霍夫电流定律、基尔霍夫电压定律）并能正确应用。

【能力目标】

1. 具有分析电路一般问题和计算电路基本物理量的能力；
2. 学会发现问题、探究问题和解决问题的方法，会应用电路理论解决生产、生活中的实际问题。

【技能目标】

1. 掌握基本的电工仪表（电流表、电压表、万用表等）的使用方法；
2. 掌握电流、电压、电位的测量方法，能对测量的数据进行分析；
3. 具有识读电路图，根据电路图搭接电路的能力。

众所周知，与其他形式的能量相比，电能具有两个显著的特点：一是容易产生、输送、分配和使用；二是容易转换成其他形式的能量。因此，电能在生产、生活、国防、科研等各个领域得到了广泛的应用。

电能的应用离不开电路。实际电路的功能各异，繁简不一，结构形式多样，但有其共同的规律。本课程的主要任务就是掌握电路的基本规律，学会分析、计算电路的基本方法，掌握电工技术的基本技能，为进一步学习后续课程和将来从事电类专业的实际工作奠定基础。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的组成与作用

1. 电路的组成

电路就是由一些电气设备和电子元器件按一定方式组合起来，实现某一特定功能，使电流得以流通的闭合路径。人们在日常生活、生产和科学实验中，常常会遇到各种各样的电路，例如，家喻户晓的照明电路给人们带来光明；收音机、电视机、DVD的放大电路把语音等信号放大；计算机电路按人们的指令对指定的信息进行处理；飞机、轮船、火车、汽车、电梯的动力电路驱动牵引设备运动等。

实际电路的组成复杂、形式多变，通常由电源、中间环节和负载最基本的3个部分组成，以最简单的手电筒电路为例，干电池是电源，灯泡是负载，开关和连接导体是中间环

节，其实际电路如图 1-1a 所示。

电源是为电路提供能量的装置，其主要作用是把其他形式的能量转换成电能。例如，电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换成电能。此外，通常把将一种形式的电能转换成另外一种形式的电能的装置称为电源，如直流稳压电源将交流电转换为直流电，并保持输出电压在一定范围内稳定不变。

负载是电路中使用电能的装置，其主要作用是把电能转换成其他形式的能量。常见的负载有电灯、电炉、电动机等，其中灯泡和电炉将电能转换成光能和热能，电动机将电能转换成机械能。

中间环节是连接电源和负载的装置，用于构成电流的通路，把电源的能量输送给负载，并根据需要控制电路的接通和断开，其主要作用是传输、分配和控制电能。最简单的中间环节是连接电源和负载的导线，控制电路通断的开关。有的电路还有保证安全用电的保护电器（如熔断器）、测量电路参数的检测装置（如电压表、电流表、电度表）等。更为复杂的中间环节可由多种元件或电气设备组成网络系统，电源和负载则分别接在它的输入端和输出端。

2. 电路的作用

电路的基本作用有两个：一是产生、输送、分配、转换和使用电能，进行电能与其他形式能量之间的转换，如电力系统用电网把发电厂的电能输送到用电设备，供用户使用，如图 1-2 所示；二是传递、处理、保护信息，如电话电路、扩音机电路、计算机电路等。



图 1-2 电力输配系统

1.1.2 理想电路元件

实际电路由具有各种不同作用的电路元件组成，其电磁性质一般比较复杂。如电阻器，在通过电流时，除了具有消耗电能的性质外，还会产生磁场，因而还兼有电感的性质。

为便于对电路进行分析和计算，必须将实际电路元件进行概括和抽象，使其理想化（或模型化），即在一定条件下，突出实际电路主要的电磁性质，忽略其次要因素，近似地用一个足以表征其主要电磁性能的理想电路元件来表示该电路元件。如电阻器的电感比电阻小得多，分析计算电路时可以突出其电阻性质，忽略其电感性质，近似地用理想电阻元件来表示电阻器的电磁性质。

基本理想电路元件（简称电路元件）有两大类：不产生能量的无源元件和为电路提供能量的有源元件。吸收电源能量，并将这些能量转化为其他形式，或将它储存在电场或磁场中的元件为无源元件，包括理想电阻元件、理想电容元件和理想电感元件，其中，电阻是表征电路中消耗电能的理想元件，电容是表征电路中储存电场能的理想元件，电感是表征电路

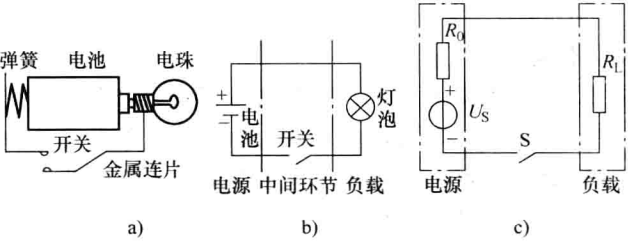


图 1-1 手电筒电路

a) 实际电路 b) 电路原理图 c) 电路模型

中储存磁场能的理想元件。能向电路网络提供能量的元件为有源元件，有源元件包括理想电压源和理想电流源。

常用理想电路元件的文字符号和图形符号见表 1-1。需要说明的是，理想导体是阻值为零的电阻元件，用线段表示。

表 1-1 常用理想电路元件的文字符号和图形符号

元 件 名 称	文 字 符 号	图 形 符 号	元 件 名 称	文 字 符 号	图 形 符 号
电阻	R		电位器	RP	
电感	L		电压源	U_s	
电容	C		电流源	I_s	

1.1.3 电路模型

用理想电路元件及其组合代替实际电路元件，用特定的符号代表理想元件，用特定符号绘制的电路图代替实际电路图的连接关系及功能，称之为实际电路的电路模型。图 1-1a 所示电路中的干电池用电压源 U_s 和内阻 R_0 代替，小灯泡用电阻元件 R_L 代替，连接导体用理想导线代替，就构成了手电筒实际电路相对应的电路模型，如图 1-1c 所示。

对电路模型的分析所得出的结论有着广泛的实际指导意义。若无特别说明，本书所说电路元件均为理想电路元件，电路均指电路模型，并用由理想电路元件构成的电路模型来阐述电路的基本规律，讲解分析计算电路的基本方法。

1.1.4 电路的工作状态

电路的工作状态包括负载状态、开路状态和短路状态 3 种形式，如图 1-3 所示。

1. 负载状态

在图 1-3a 中，开关 S 闭合，电路构成一个完整的闭合回路，电路中有电流流过，该状态称为电路的有载状态，又称负载状态。该工作状态有如下 3 种情况。

1) 额定工作状态是指电源、负载和中间环节都能长期处于安全可靠、经济合理，并能保证电气设备有一定的寿命（电气寿命和机械寿命）的工作状态，又称“满载”。此时，电路中流过的电流称为额定电流。

2) 轻载状态是指电路中流过的电流小于额定电流的工作状态。该状态电气设备安全，但没有得到充分的利用。

3) 过载状态是指电路中流过的电流大于额定电流的工作状态。短时间内少量的过载不会立即导致电气设备损坏；但长时间的严重过载可能大大缩短电气设备使用寿命，甚至使电气设备因过热而烧损。

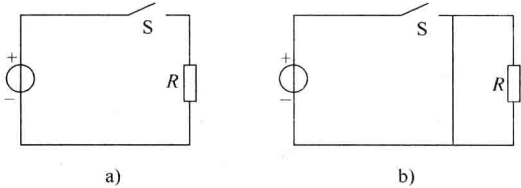


图 1-3 电路的 3 种工作状态
a) 负载状态和开路状态 b) 短路状态

2. 开路状态

在图 1-3a 中, 若开关 S 正常断开, 或电路的某处因故障断开, 电路未构成闭合回路, 电路中的电流为零, 该状态称为电路的开路状态。该工作状态有如下两种情况。

1) 空载状态是指电路正常, 人为控制开关 S 断开的状态。如人们离开办公室, 通过断开照明灯开关来关闭照明灯等。

2) 断路状态是指开关闭合, 电路的某处非正常断开的状态。该状态电路无电流流过, 不能正常工作。如实际电路中的断线、脱焊等。

3. 短路状态

在图 1-3b 中，当电路的一部分被电阻忽略不计的导线连接时，则这部分电路处于短路状态。在该状态下，短路点的电压为零，电路中流过的电流称为短路电流，其值可能达到额定电流的几倍甚至几十倍，从而使电气设备因过热而烧损，严重时可能引起火灾。

显然，电路最理想的工作状态是额定工作状态。过载状态、断路状态和短路状态都是电路的故障状态。其中，短路是电路最严重的故障。人们往往在电路中接入熔断器、自动开关、断路器等保护设备，当电路发生电路故障时，这些设备自动断开故障电路，以避免短路可能造成的危害。

【思考与练习】

1) 向电路提供电能的设备和器件称为_____, 例如_____; 将电能转变为其他形式的电能加以利用的设备和器件称为_____, 例如_____; 用_____将它们按一定方式连接起来, 为电流流通提供路径。

2) 由 构成的电路称为实际电路的电路模型。

3) 在电路模型中, 每一个电路元件反映_____种物理性能。一个实际电路元件可以用_____个或者_____个理想元件的组合来表示电路的物理性能。

4) 电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源的图形符号分别为_____、_____、_____、_____、_____。

5) 电路有哪几种工作状态? 各种工作状态对电路有何影响?

6) 汽车前大灯照明电路由蓄电池、灯泡、导线、图 1-4 汽车前大灯照明电路
汽车金属底盘、开关等组成,其实际电路如图 1-4 所示,该电路通过汽车底盘导电形成电流回路。画出其电路模型,说明电源、负载和中间环节。

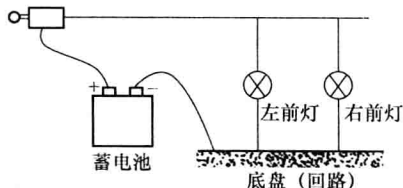


图 1-4 汽车前大灯照明电路

1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压和电功率，现分别介绍如下。

1.2.1 电流

1. 电流的定义

带电粒子在电源作用下有规律的定向运动形成电流。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。

电流的大小用电流强度来衡量。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电量，电流强度简称电流，用 $i(t)$ 表示。

设在 Δt 时间内通过横截面 S 的电荷量为 Δq ，则通过该截面的电流为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

式中， Δq 是在时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

若电流的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流，用大写字母 I 表示，并有

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中， Q 是在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安，用大写字母 A 表示。为方便，通常大电流以千安 (kA) 为单位，小电流以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位，其关系为 $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$ ， $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ， $1 \mu \text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ 。

2. 电流的参考方向

电流的方向习惯上规定为正电荷运动的方向。但是，在电路的分析计算中，电流的实际方向很难预先判断出来，而且有时实际的电流方向是不断变化的，因此很难也没有必要在电路中标明电流的实际方向。因此，在分析、计算电路时，可预先任意假设某一方向为电流的正方向，称为电流的“参考方向”。

电流的参考方向是任意指定的。在电路中，电流的参考方向有两种表示方法，如图 1-5 所示，一是用带有箭头的实线表示；二是用双下标表示，如 i_{ab} ，表示参考方向是由“a”指向“b”。

电流的实际方向根据电流的参考方向和电流的正、负确定，用带有箭头的虚线表示，如图 1-5。若电流的实际方向与电流的参考方向一致，则

电流为正值 ($I > 0$)；若电流的实际方向与电流的参考方向相反，则电流为负值 ($I < 0$)。

电流的参考方向是电路中的一个重要概念，学习时应注意以下 3 点。

- 1) 电流的参考方向是人为任意假设的。
- 2) 电流的参考方向一经假设就不得改变。
- 3) 不标参考方向的电流没有任何意义。

【例 1-1】如图 1-6 所示，试说明电流的实际方向。

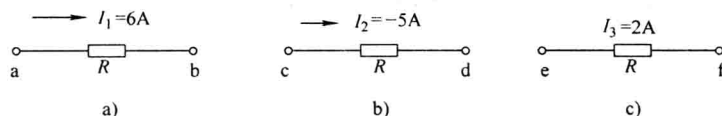


图 1-6 例 1-1 图

解 图 1-6a 中，已知 $I_1 = 6 \text{ A} > 0$ ，数值“6”说明电流的大小为 6A； $I > 0$ ，说明其值为正，即实际方向与参考方向相同，故电流的实际方向为由 a 流到 b。

同理, 图 1-6b 中, $I_2 = -5\text{A} < 0$, 为负值, 说明电流的实际方向与参考方向相反, 即从 d 流到 c。

图 1-6c 中, 未设定电流的参考方向, 给出的 $I_3 = 2\text{A} > 0$ 无物理意义, 无法判断实际电流方向。

电流是既有大小又有方向的物理量。只有当电流的参考方向选定以后, 电流的正负才有意义。在参考方向一定的情况下, 数值表示电流的大小, 正负表示电流的方向。离开参考方向来谈电流的正负是没有意义的。

1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压

(1) 电压的定义

在电路中, 使电荷做定向运动形成电流的条件是两点间具有电位差, 称之为电压, 如图 1-7 所示。

电压是衡量电场力移动电荷做功能力的物理量。一般规定电场力把单位正电荷从电路中的 a 点移至 b 点所做的功称为 a、b 两点间的电压。设电场力把正电荷 Δq 从 a 点移到 b 点所做的功为 ΔW_{ab} , 则 a、b 间的电压 u_{ab} 为

$$u_{ab} = \frac{\Delta W_{ab}}{\Delta q} \quad (1-3)$$

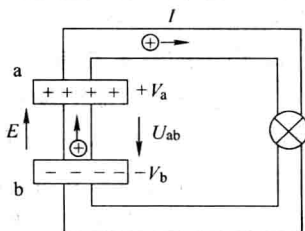


图 1-7 电动势与电压

大小和方向都不随时间变化的电压称为直流电压, 用 U_{ab} 表示, 即

$$U_{ab} = \frac{w_{ab}}{q} \quad (1-4)$$

在国际单位制中, 电压的单位是伏特, 简称伏, 用大写字母 V 表示。为使用方便, 通常大电压以千伏 (kV) 为单位, 小电压以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位, 其关系为 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$, $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

(2) 电压的参考方向

电压的实际方向是正电荷在电场中受电场力移动的方向, 一般规定为从高电位点指向低电位点, 即电压降落的方向。与分析电流类似, 在分析、计算电路时, 可预先任意假设某方向为电压的参考方向。

在电路图中, 电压的参考方向有 3 种表示方法。一是用箭头表示, 从高电位点指向低电位点, 如图 1-8a 所示; 二是用极性符号来表示, “+” 表示高电位, “-” 表示低电位, 如图 1-8b 图所示; 三是用双下标表示, u_{ab} 表示 “a” 为高电位, “b” 为低电位, 如图 1-8c 图所示。

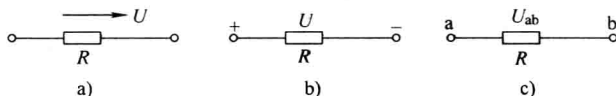


图 1-8 电压参考方向的表示方法

若电压的实际方向与电压的参考方向一致, 则电压为正值 ($U > 0$); 若电压的实际方向与电压的参考方向相反, 则电压为负值 ($U < 0$)。

电压的参考方向是电路中的一个重要概念，学习时应注意以下 3 点。

- 1) 电压参考方向是人为任意假设的。
- 2) 电压的参考方向一经假设就不得改变。
- 3) 不标参考方向的电压没有任何意义。

【例 1-2】 电阻 R 上的电压参考方向如图 1-9 所示，已知 $U_1 = 6\text{V}$ ， $U_2 = -3\text{V}$ ，试说明电压的实际方向。

解 图 1-9a 中， $U_1 = 6\text{V} > 0$ ，为正值，说明电压的实际方向与参考方向相同，即从 a 指向 b；图 1-9b 中， $U_2 = -3\text{V} < 0$ ，为负值，说明电压的实际方向与参考方向相反，即从 b 指向 a。

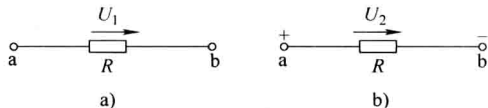


图 1-9 例 1-2 图

【例 1-3】 将电荷量为 0.003C 的正电荷在电场中从 a 点移到 b 点，电场力所做的功为 0.06J ，试求：

- 1) $U_{ab} = ?$
- 2) 该电压将电荷量为 0.04C 的正电荷从 a 点移到 b 点，电场力所做的功为多少？

解

1) 根据已知条件，得 $U_{ab} = \frac{w_{ab}}{q} = \frac{0.06}{0.003} = 20\text{V}$ 。

2) 该电压将电荷量为 0.04C 的正电荷从 a 点移到 b 点，电场力所做的功为 $w_{ab} = q \times U_{ab} = 0.04 \times 20 = 0.8\text{J}$ 。

思考：如果将电荷量为 0.04C 的正电荷从 b 点移到 a 点时，电场力所做的功又是多少？

(3) 关联参考方向和非关联参考方向

原则上，电压、电流的参考方向可以分别任意假设。但为了分析、计算的方便，常采用关联参考方向。当电流、电压的参考方向一致时，则称之为关联参考方向，如图 1-10a 中的 U 和 I ，反之称为非关联参考方向，如图 1-10b 中的 U 和 I 。

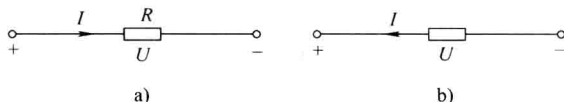


图 1-10 电压、电流参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

一般来说，负载采用关联参考方向，电源采用非关联参考方向。

当选择电压、电流的参考方向关联时，在电流图中可以只标出二者之一的参考方向；反之，当只标出了一个参考方向时，可认为电压、电流为关联参考方向。

2. 电位

(1) 电位的定义

把电路中某点与参考点之间的电压差称为该点的电位。电位用带下标的大写字母 V 表示，单位与电压相同，用伏特 (V) 表示。

与电压、电流的参考方向类似，参考点是在分析电路时事先假定的，又称零电位点。换句话说，电位也可以定义为：在电路中，电场力把单位正电荷从某一点移动到零电位点所做的功等于该点的电位。

若选择 A 点为电位参考点，则电路中 M、N 两点的电位分别为

$$V_M = U_{A0} \quad V_N = U_{A0} \quad (1-5)$$