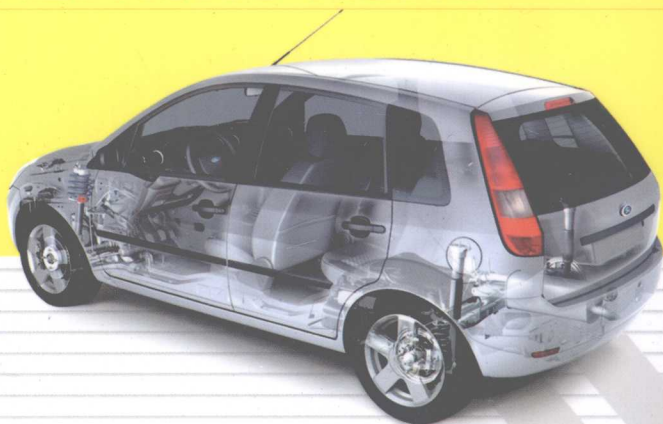




高职高专汽车类专业技能型教育规划教材

汽车电工电子 技术基础

QICHE DIANGONG
DIANZI JISHU JICHU



万捷 编著



赠教学课件
www.cmpedu.com
www.golden-book.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专汽车类专业技能型教育规划教材

汽车电工电子技术基础

万捷 编著

张俊 / 100 目 录 附录 参考文献

第一章 绪论 1.1 汽车电工电子技术的发展概况 1.2 汽车电工电子技术的应用

1.3 汽车电工电子技术的学习方法

第二章 直流电路 2.1 电路的基本概念和基本定律 2.2 电阻电路的等效变换

2.3 含有受控源的电路 2.4 电路定理

2.5 功率 2.6 动态电路的时域分析 2.7 动态电路的稳态分析

2.8 一阶线性动态电路的时域分析 2.9 二阶线性动态电路的时域分析

2.10 交流电路的功率 2.11 交流电路的谐振

2.12 交流电路的功率因数 2.13 交流电路的功率因数校正

2.14 交流电路的功率因数提高 2.15 交流电路的功率因数降低

2.16 交流电路的功率因数提高 2.17 交流电路的功率因数降低

2.18 交流电路的功率因数提高 2.19 交流电路的功率因数降低

2.20 交流电路的功率因数提高 2.21 交流电路的功率因数降低

2.22 交流电路的功率因数提高 2.23 交流电路的功率因数降低

2.24 交流电路的功率因数提高 2.25 交流电路的功率因数降低

2.26 交流电路的功率因数提高 2.27 交流电路的功率因数降低

2.28 交流电路的功率因数提高 2.29 交流电路的功率因数降低

2.30 交流电路的功率因数提高 2.31 交流电路的功率因数降低



机械工业出版社

北京机械工业出版社

本书依据教育部颁布高职高专汽车类专业电工电子技术教学基本要求编写。内容包括：直流电路、电磁现象及其应用、正弦交流电路、电动机与发电机、半导体器件及应用、数字电路。各章均配有练习题，书后附有部分习题答案。为培养学生必备的实操能力，书后有针对性地安排了许多实训项目，供实训时选用。

本书通俗易懂，实用性强，学生易学，教师易教，可作为高职高专院校汽车类专业电工电子基础课程教材，也可供广大汽车工程师和电工自学之用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术基础/万捷编著. —北京：机械工业出版社，2009.6

高职高专汽车类专业技能型教育规划教材

ISBN 978-7-111-26873-4

I. 汽… II. 万… III. ①汽车—电工—高等学校：技术学校—教材 ②汽车—电子技术—高等学校：技术学校—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 060919 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：徐 巍 责任编辑：高金生 版式设计：霍永明

责任校对：陈延翔 封面设计：王伟光 责任印制：李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12 印张·293 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-26873-4

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：(010)68326294

购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010)88379353

封面无防伪标均为盗版

“高职高专汽车类专业技能型教育规划教材”

编委会

主任 蔡兴旺 (韶关大学)

副主任 胡光辉 (湖南交通职业技术学院)

梁仁建 (广东轻工职业技术学院)

编委 (按姓氏笔画排序):

万捷 (北京劳动保障职业学院)

马纲 (江苏城市职业学院)

仇雅莉 (湖南交通职业技术学院)

戈秀龙 (嘉兴职业技术学院)

王飞 (广州城市职业学院)

王一斐 (甘肃交通职业技术学院)

王海林 (华南农业大学)

刘威 (北京劳动保障职业学院)

刘兴成 (甘肃交通职业技术学院)

纪光兰 (甘肃交通职业技术学院)

何南昌 (广州科技职业技术学院)

吴松 (广东轻工职业技术学院)

张涛 (沈阳理工大学应用技术学院)

李幼慧 (云南交通职业技术学院)

李庆军 (黑龙江农业工程职业学院)

李建兴 (宁波城市职业技术学院)

李泉胜 (嘉兴职业技术学院)

陈红 (广州科技职业技术学院)

范爱民 (顺德职业技术学院)

范梦吾 (顺德职业技术学院)

贺大松 (宜宾职业技术学院)

赵彬 (无锡商业职业技术学院)

赵海波 (沈阳理工大学应用技术学院)

夏长明 (广州金桥管理干部学院)

钱锦武 (云南交通职业技术学院)

曹红兵 (浙江师范大学职业技术学院)

黄红惠 (江苏城市职业学院)

谭本忠 (广州市凌凯汽车技术开发有限公司)

序 言

据统计,“十一五”期间中国汽车运用维修人才缺口 80 万。未来 5 年汽车人才全面紧缺,包括汽车研发人才、汽车营销人才、汽车维修人才和汽车管理人才等。2003 年,教育部启动了“国家技能型紧缺人才培养项目”,“汽车运用与维修”是其中的项目之一。2006 年,教育部和财政部又启动了国家示范性高等职业院校建设计划,其中的一个重要内涵就是以学生为主体,以就业为导向,建立新的职教课程体系、教育模式与教学内容,而教材建设是最重要的一环。

为适应目前高等职业技术教育的形势,机械工业出版社汽车分社召集了全国 20 多所院校的骨干教师于 2007 年 6 月在广东省韶关大学组织召开“高职高专汽车类专业技能型教育规划教材”研讨会,确定了本套教材的编写指导思想和编写计划,并于 2007 年 8 月在湖南长沙召开“高职高专汽车类专业技能型教育规划教材”主编会,讨论并通过了本套教材的编写大纲。

本套教材紧紧围绕职业工作需求,以就业为导向,以技能训练为中心,以“更加实用、更加科学、更加新颖”为编写原则,旨在探索课堂与实训的一体化,具有如下特点:

1. 教材编写理念:融入课程教学设计新理念,以学生为主体,以老师为指导,以提高学生实践职业技能和创新能力为目标,理论紧密联系实际,思想性和学术性相统一。理论知识以够用为度,技能训练面向岗位需求,注重结合汽车后市场服务岗位群和维修岗位群的岗位知识和技能要求,使学生学完每一本教材后,都能获得该教材所对应的岗位知识和技能,反映教学改革和课程建设的新成果。

2. 教材结构体系:根据职业工作需求,采用任务驱动、项目导向的新模式构建新课程体系。理论教学与技能训练有机融合,系统性与模块化有机融合,方便不同学校、不同专业、不同实验条件剪裁选用。

3. 教材内容组织:精选学生终身有用的基础理论和基本知识,突出实用性、新颖性,以我国保有量较大的轿车为典型,注意介绍现代汽车新结构、新技术、新方法和新标准,加强“实训项目”内容的编写,引导学生在“做”中“学”。内容安排采用实例引导的方式,以激发学生的阅读兴趣,符合学生的认知规律。

4. 教材编排形式:图文并茂,通俗易懂,简明实用,由浅入深,深浅适度,符合高职学生的心理特点。每一章均结合人力资源和社会保障部职业资格考试要求,给出复习思考题,使教学与职业资格考试有机结合。

此外,为构建立体化教材,方便教师和学生,本套教材配备了实训指导光盘和多媒体教学课件。实训指导光盘的内容为实训项目的规范性操作录像和相关资料,附在教材



中；多媒体教学课件专供任课教师采用，可在中国科技金书网(www.goldenbook.com)免费下载。

虽然本套教材的各参编院校在教、学、做一体化教学方面进行了有益的探索,但限于认识水平和工作经历,教材中难免仍有许多不足之处,恳请各位专家、同行给予批评指正。

高职高专汽车类专业技能型教育规划教材编委会

前言

从汽车类人才培养目标出发,掌握必须的电工电子技术是成为汽车检测与维修人才的必备条件之一。作为一门专业基础课程,原来采用的适合机电类学生的教材已经不能满足教学的需要。教学内容需要调整,教学方式需要改革,要在讲述理论的同时,需进行必要的实践技能训练。在这种形势下,编写一本适合汽车类专业学生使用、理论和实训相结合的教材成为亟待解决的问题。本教材就是从教学实际需要出发,在总结了多年教学经验的基础上编写的,十分适合汽类专业学生使用。

“汽车电工电子技术”是一门汽车类专业的专业基础课,经过多年的教学研究和实践,以“必需”、“够用”为度,对原来经典的“电工电子学”课程内容进行了整合,并融进实践技能训练内容。在课程中体现了汽车专业特点,列举了大量汽车电路实例,与汽车专业紧密结合。

本书主要特色如下:

(1) 本书对传统学科型教材进行了整合,在教学内容选取上,保证了汽车类专业所需的最基本、最主要的电工电子基础的内容,尽量避免内容之间不必要的交叉和重叠,淡化学科体系,减少学时数,提高课堂教学效率。

(2) 基本知识点的选取以“必需”、“够用”为度,没有过多的理论推导。为体现汽车专业特色,本书列举了许多汽车电子电路实例,使学生将电工电子基础知识与汽车专业知识迅速结合起来,以培养学生分析专业问题和解决实际问题的能力。

(3) 本书在内容叙述上通俗易懂、深入浅出,对于各种基本概念与基本原理的阐述力求简明扼要。采用大量插图,对知识的应用进行详尽说明,力求使学生尽快掌握基本技能,将理论知识迅速转变为技术应用能力。

(4) 本书理论与实践相结合。在每个知识点后面,均附带相应的操作类内容,将理论知识与实际应用紧密结合在一起,并在附录A中设计了实训教学内容,是一本理论与实训相结合的教材。

(5) 为便于教师教学和学生自学,每章前有学习目标,章后有一定量的练习题,附录B还有部分练习题答案。

本书由蔡兴旺教授主审,他对书稿进行了认真的审阅,提出了很多宝贵的意见和建议,在此深表感谢。

限于编者水平,书中难免有不妥或错误之处,敬请广大读者批评指正,以便今后修订提高。

编者

录

序言

前言

第1章 直流电路 1

1.1 电路的基本概念与基本定律 1

1.1.1 电路概述 1

1.1.2 电路的基本物理量 3

1.1.3 欧姆定律 6

1.1.4 功率及其计算 7

1.1.5 电路的三种状态 9

1.1.6 基尔霍夫定律 12

1.1.7 电位的概念及计算 14

1.2 电路的基本分析方法 15

1.2.1 电阻串并联的特点 15

1.2.2 电源的两种模型及其等效变换 18

1.3 电容器 21

1.3.1 电容器的构成和电容量 21

1.3.2 电容器的充放电特性 22

1.3.3 电容器的选用 23

本章小结 23

练习题 24

第2章 电磁现象及其应用 28

2.1 磁场与磁路欧姆定律 28

2.1.1 磁铁与磁场 28

2.1.2 电流的磁场 29

2.1.3 磁场的基本物理量 32

2.1.4 磁路欧姆定律 33

2.2 磁场对电流的作用 34

2.2.1 磁场对通电导体的作用 34

2.2.2 磁场对通电半导体的作用 36

2.3 电磁感应 37

2.3.1 直导体的感应电动势 38

2.3.2 线圈中的感应电动势 39

2.3.3 自感现象 41

2.3.4 互感现象 43

本章小结 44

练习题 45

第3章 正弦交流电路 46

3.1 正弦交流电的基本概念 46

3.1.1 正弦交流电 46

3.1.2 正弦交流电的方向 46

3.1.3 正弦交流电的三要素 47

3.2 正弦量的相量表示法 50

3.3 单相交流电路 51

3.3.1 单一参数电路 51

3.3.2 RLC 串联电路 53

3.4 三相交流电路 55

3.4.1 三相电源 55

3.4.2 三相负载的连接 57

本章小结 58

练习题 59

第4章 电动机与发电机 61

4.1 直流电动机 61

4.1.1 直流电动机的结构 61

4.1.2 直流电动机的工作原理 63

4.1.3 直流电动机的分类与机械特性 64

4.1.4 直流电动机的反转与调速 65

4.1.5 永磁电动机在汽车上的典型 66

应用 66

4.2 汽车交流发电机 70

4.2.1 交流发电机的结构 70

4.2.2 交流发电机的工作原理 73

与励磁方式 73

4.2.3 交流发电机的型号 74

4.3 伺服电动机 74

4.3.1 传统直流伺服电动机 75

4.3.2 无电刷直流电动机 75

4.4 步进电动机 76

4.4.1 转子永磁式步进电动机的结构 76

和工作原理 76

4.4.2 转子永磁式步进电动机的应用 77

本章小结 78

练习题 78



第5章 半导体器件及应用 80

5.1 半导体基础知识 80

5.1.1 半导体 80

5.1.2 PN结 83

5.2 二极管 83

5.2.1 二极管的结构与分类 83

5.2.2 二极管的伏安特性 84

5.2.3 二极管主要参数 85

5.2.4 二极管的检测 85

5.2.5 二极管在汽车电子电路中的

应用 86

5.2.6 特殊二极管及其在汽车电子

电路中的应用 87

5.3 晶体管 91

5.3.1 晶体管的结构与符号 91

5.3.2 电流分配与放大原理 92

5.3.3 晶体管的特性曲线 93

5.3.4 晶体管的主要参数 94

5.3.5 晶体管管型和管脚的判别 95

5.4 晶体管基本放大电路 96

5.4.1 基本放大电路的组成和工作

原理 96

5.4.2 放大电路的性能指标 98

5.4.3 基本放大电路的类型和特点 100

5.4.4 基本放大电路在汽车检测中的

应用 102

5.5 其他半导体器件 103

5.5.1 光敏晶体管 103

5.5.2 热敏电阻 105

5.6 集成运算放大器 106

5.6.1 集成运算放大器概述 106

5.6.2 基本运算电路 109

5.6.3 电压比较器 113

本章小结 118

练习题 118

第6章 数字电路 122

6.1 数字电路的基本概念 122

6.1.1 数字信号和数字电路 122

6.1.2 数制和码制 123

6.2 门电路 124

6.2.1 基本门电路 125

6.2.2 复合逻辑门 127

6.2.3 门电路在汽车电子电路中的

应用 128

6.3 触发器 130

6.3.1 RS触发器 130

6.3.2 边沿JK触发器 133

6.3.3 边沿D触发器 134

6.3.4 T和T'触发器 135

6.3.5 触发器在汽车电子电路中的

应用 136

6.4 单稳态触发器和无稳态触发器 139

6.4.1 555定时器 139

6.4.2 555定时器组成的单稳态

触发器 141

6.4.3 555定时器组成的多谐振荡器 143

本章小结 146

练习题 146

附录 149

附录A 实训参考项目 149

实训1 万用表的使用 149

1.1 指针式万用表 149

1.2 数字式万用表 152

实训2 电压、电流和电阻的测量 153

2.1 实训目的 153

2.2 实训设备与器材 153

2.3 实训内容与步骤 153

实训3 二极管和晶体管的识别与

检测 155

3.1 实训目的 155

3.2 实训设备与器材 155

3.3 实训内容与步骤 155

实训4 汽车交流发电机的测量与

拆解 156

4.1 实训目的 156

4.2 实训设备与器材 156

4.3 实训内容与步骤 156

实训5 汽车起动机的测量与拆解 161

5.1 实训目的 161

5.2 实训设备与器材 161

5.3 实训内容与步骤 161

实训6 常用电子仪器的使用 164

6.1 实训目的 164

6.2 实训说明 164



6.3 实训设备与器材	171	8.2 实训设备与器材	173
6.4 实训内容与步骤	171	8.3 实训内容与步骤	173
实训7 熟悉放大电路的组成、各元器 件的作用、电路工作原理	172	实训9 电子秒表	174
7.1 实训目的	172	9.1 实训目的	174
7.2 实训设备与器材	172	9.2 实训设备与器材	174
7.3 实训内容与步骤	172	9.3 实训内容与步骤	174
实训8 简单抢答器	173	附录B 部分习题参考答案	176
8.1 实训目的	173	参考文献	181

第1章

直流电路



学习目标:

- 理解电路的基本概念, 掌握电路的基本定律。
- 掌握电路中电位的意义及计算。
- 理解电源的等效变换法, 掌握电阻串并联的特点及电路的计算。
- 了解电容器的充放电特性, 理解电容的意义。

直流电路是指含有直流电源, 并且电路各处的电压、电流、电动势等物理量的大小和方向都不随时间变化的电路。本章主要讨论电路的基本概念、基本定律、基本分析方法以及电容器。其中有些内容虽然已在物理课中讲过, 但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要, 仍列入本章中, 以使读者(可以通过自学)对这些内容的理解能进一步巩固和加深, 并能充分运用和扩展这些内容。

本章所引出的概念和方法具有普适性, 不仅适用于直流电路, 对交流电路及其他线性电路也同样适用。其次, 本章的概念和方法是整个课程的基础, 地位十分重要, 应予重视。

1.1 电路的基本概念与基本定律

1.1.1 电路概述

1. 电路的作用与组成

图 1-1a 是汽车照明电路, 它由蓄电池、车灯、开关、连接导线等组成, 当开关闭合时, 电流从蓄电池正极出发经车灯再流回负极形成电路, 因此电路就是电流通过的路径。

电路按作用的不同分为电工电路和电子(信号)电路两大类, 它们的作用不同, 组成也不同。

电工电路的作用是电能的产生、传输控制和转换, 它由电源、负载、中间环节组成。最能说明问题的例子是汽车照明电路(图 1-1a), 在开关闭合时, 蓄电池产生的电能经开关、连接导线送给车灯, 由车灯转换成热能并以光的形式反映出来, 实现了电能的产生、传输控制和转换。在电路中, 蓄电池是提供电能的设备, 是电源, 它将化学能转换成电能。车灯是使用电能的设备, 是负载, 也称用电器, 其作用是将电能转换成热能。这一转换是不可逆的, 说明电能被消耗掉了, 因此车灯是一电阻性负载。开关和连接导线位于电源和负载之



间,称为中间环节,在电路中起着电能的传输和控制作用。可见电源、负载、中间环节组成了照明电路,图 1-1b 为其电路模型。

与电工电路不同,电子电路的作用是电信号的产生、处理传输和变换,由信号源、负载和中间环节组成。典型的例子是扩音机电路,其框图如图 1-2 所示。话筒产生的电信号(电压或电流)经放大器处理后传送给扬声器,由扬声器转换为声音。实现了电信号的产生、处理传输和变换功能。在电路中,话筒是输出电信号的设备,称为信号源,在电路中它将声音信号变换为电压或电流信号。扬声器是接受和转换电信号的设备,是负载。放大器处于信号源与负载之间为中间环节,在电路中用来放大电信号。可见信号源、负载和中间环节组成了扩音机电路。

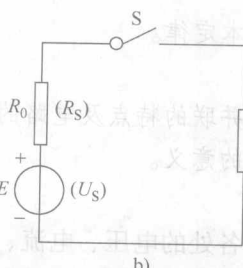
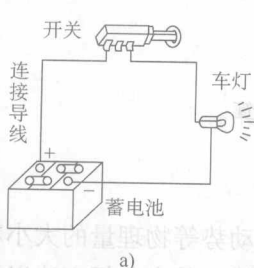


图 1-1 汽车照明电路及其模型

图 1-2 扩音机

a) 汽车照明电路 b) 电路模型

需要指出,电工电路和电子(信号)电路是全体电路的代表,它们的作用和组成反映了全体电路的作用与组成情况,了解这一点有助于回答电路的作用和组成问题。

2. 电路模型

电路的结构通常可用实物图、框图、电路模型等多种形式表示。其中,实物图绘图繁琐,框图没有表示出实际元件的内部结构,无法使用定理、定律计算,因此电路通常用电路模型表示。为了搞清表示方法,首先介绍理想电路元件的概念。

理想电路元件是指只有一种电磁性质的假想元件。基本的理想电路元件有:电阻元件、电感元件、电容元件以及理想电压源和理想电流源共 5 种,它们的符号如图 1-3 所示,图中每一种理想元件的性质都是用其参数表示的:电阻 R 表示电阻元件具有消耗电能的性质,即电阻性;电感 L 表示电感元件具有储存磁场能的性质,即电感性;电容 C 表示电容元件有储存电场能的性质,即电容性; $E(U_S)$ 表示理想电压源有输出电压不变的性质,即恒压性; I_S 表示理想电流源具有输出电流不变的性质,即恒流性。因为每种理想元件只有一个参数,因此又称为单一参数元件。

理想电路元件用于表示实际元件。一般实际元件有一种不可忽略的性质时,只需用一个理想元件表示,当有多个不可忽略的性质时,需用多个理想元件表示。例如,车灯除了具有消

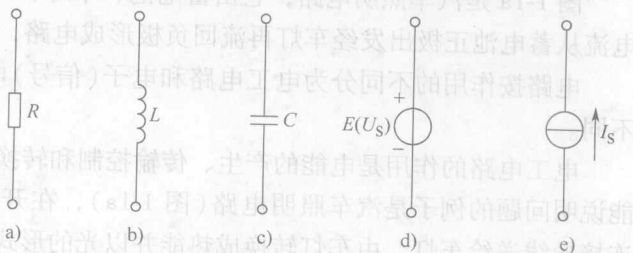


图 1-3 基本的理想电路元件

a) 电阻 b) 电感 c) 电容 d) 理想电压源 e) 理想电流源



耗电能的电阻性外,通过电流时还会产生磁场,具有电感性,但因为电感微小,通常忽略不计,所以车灯可用一个电阻元件表示。又如蓄电池,除具有将非电能转换成电能的性质外,还有通过电流时发热,消耗电能的性质,就是电阻性,这两种性质不能忽略,因此需要用理想电压源与电阻元件的串联电路表示。

电路模型就是将实际元件用理想元件及其组合表示之后所得到的图形,如图 1-1a 所示汽车照明电路,蓄电池用理想电压源 $E(U_s)$ 和电阻 $R_0(R_s)$ 的串联电路表示,车灯用电阻 R_L 表示,开关和连接导线用 S 和理想导线(即电阻为零的导线)表示,所得到的图形就是汽车照明电路的电路模型,如图 1-1b 所示。

实际电路用电路模型表示之后,绘图和计算变得简单、容易,因此实际电路经常用电路模型表示,如今后分析的实际电路都是用其电路模型表示的。

为叙述方便,今后电路模型一律简称为电路。电路的分析就是在已知电路结构和参数的条件下,确定电流、电压等基本物理量的大小和方向。为此,必须对电路的物理量有一个明确的认识。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电流是电荷在电场力的作用下作定向运动形成的。例如,在金属导体中,自由电子在电场力的作用下作定向运动形成电流,而在电解液(如蓄电池)或者被电离的气体中,正、负离子在电场力的作用下作相反运动形成电流。因此,电流的大小和方向都与电荷有关。

电流的大小定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在 t 内通过导体横截面的电荷量为 Q ,则通过该截面的电流为二者之比,即

$$I = \frac{Q}{t}$$

根据国家标准,不随时间变化的电流叫恒定电流,简称直流,用大写字母表示。而随时间变化的电流称为交变电流,简称交流,用小写字母表示。因此,上式为直流的表达式。

交流的表达式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

式中 dq —— dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

电流的标准单位是安(A),1A 的电流表示在 1s(秒)内通过导体横截面的电荷量为 1C(库)。计量大电流时,为方便起见,用千安(kA)作单位,计量小电流时用毫安(mA)、微安(μ A)作单位,其换算关系为 $1\text{kA} = 10^3\text{A}$, $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

电流的方向(实际方向)定义为正电荷的运动方向。在简单直流电路中,电流的实际方向很容易确定,但是在复杂的直流电路中,某一段电路中的电流方向有时难以判定;对于交流讲,其方向还随时间而变,在电路上也无法用一个箭头表示它的实际方向。为此,在分析计算电路时,经常任选一个方向作为电流的参考方向。所选的电流参考方向有可能与实际方向相同,也可能相反。若相同,则根据参考方向计算出来的电流为正值,如图 1-4a 所示;



若相反,则根据参考方向计算出来的电流为负值,如图1-4b所示。因此参考方向与实际方向的关系不同,电流的正负值也不同。

需要指出,为了避免重复,在没有特别指明的情况下,电路图上所标注的电流方向都是其参考方向。此外,电流的参考方向除用箭头表示外,还可用双下标表示。如电流 I_{ab} 表示参考方向由 a 指向 b。

2. 电压与电动势

在图1-5中,a、b是电源的正负极,a为正极带正电荷,b为负极带负电荷。正、负电荷相互作用在电极a、b之间形成电场,其方向由a指向b。如果用导体(连线和负载)将a和b连接起来,则在电场力的作用下,正电荷将由a向b运动,在此过程中,电场力做功。为了衡量电场力做功的本领,引入电压这一物理量。在电路中,a、b两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力将单位正电荷从a点移到b点所做的功。设由a到b电场力作的功为 W ,被移动的电荷量为 Q ,则二者之比就是a、b间的电压,即

$$U_{ab} = \frac{W}{Q}$$

电压有直流和交流之分,上式为直流电压的表达式,交流电压要用电功的变化量 dw 与电荷的变化量 dq 之比表示,即

$$U_{ab} = \frac{dw}{dq}$$

在图1-5中,正电荷在电场力的作用下,从正极a向负极b移动,在导体中形成电流。正电荷到达负极b后,就要与负极b的负电荷中和,使电极间的电场减弱,电流相应减小。如果中和过程持续下去,电极间的电场逐渐减小到零,电流减小到中断。为了使电流持续不断并保持稳定,在电源内部必须具有有一种力,它能把正电荷从负极b推到正极a,使电极间始终维持稳定的电场强度。所有的电源都具有这种力,在电池中,这种力是由化学反应产生的化学力,而在发电机中,这种力是由电磁作用产生的电磁力。由于这种力存在于电源内部,因而称为电源力。电源力在推动正电荷移动时会做功。因此,为了衡量电源力做功的能力,引入了电动势这一物理量。

电源的电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力将单位正电荷从电源的负极b经电源内部移到正极a所作的功。设由b到a电源力作的功为 W ,被移动的正电荷为 Q ,则它们的比值,就是电动势 E_{ba} 。即

$$E_{ba} = \frac{W}{Q}$$

电压和电动势的单位相同,标准单位都是伏(V)。1V就是电源力把1C(库)的电荷从一点移到另一点做1J(焦)的功。其他常用单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)。它们与伏(V)之间的换算关系为: $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{V} = 10^3\text{mV}$ 。

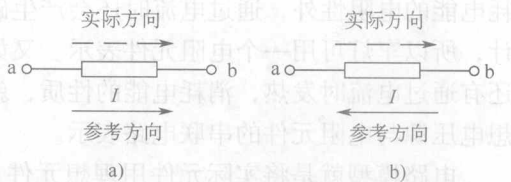


图1-4 电流的参考方向与实际方向

a) 正值 b) 负值

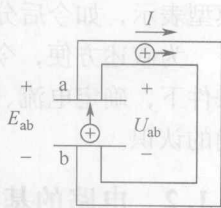
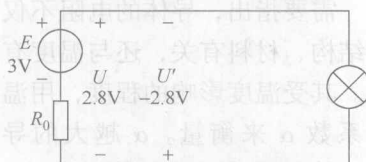


图1-5 电荷的回路



电压和电动势都是标量,但在分析电路时,和电流一样,也说它们具有方向性。电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端,即为电位降落的方向。如在图 1-5 中 a 端电位高(用“+”号表示)、b 端电位低(用“-”号表示),则电压的方向为由 a 指向 b。电动势的方向与电压的方向相反,规定为由电源的低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。如在图 1-5 中 b 端电位低(用“-”号表示)、a 端电位高(用“+”号表示),则电动势的方向为由 b 指向 a。b 端为电源的负极、a 端为正极,因此电动势的方向为电源的负极指向正极的方向。

和电流一样,在电路图上所标的电压和电动势的方向也都是参考方向。它们是正值还是负值,视选定的参考方向而定。例如,在图 1-6 中,电压 U 的参考方向与实际方向一致,故为正值;而 U' 的参考方向与实际方向相反,故为负值。两者可写为 $U = -U'$ 。



电压、电动势的参考方向除用“+”“-”号表示外,图 1-6 电压和电动势的参考方向也可用双下标表示。以电压为例,a、b 间的电压 U_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b。如果参考方向选为由 b 指向 a,则为 U_{ba} , $U_{ab} = -U_{ba}$ 。这几种方法所代表的意义是相同的,因此在实际使用时可以任选一种。

3. 导体的电阻

导体具有两面性,一方面对电流有良好的传导性,另一方面对电流也有一定的阻碍作用(这种阻力是自由电子作定向运动时与导体的原子发生碰撞产生的),这种阻碍作用的大小用电阻来表示。在一定温度下,导体的电阻 R 大小与导体的长度 l 成正比、与截面积 S 成反比,而且还与导体的电阻率 ρ 有关,这一关系称为电阻定律,即

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

电阻 R 的标准单位是欧(Ω), 1Ω 的概念是:当导体两端的电压为 1V,而通过的电流是 1A 时,则这段导体的电阻就是 1Ω 。常用的单位还有 $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧),它们与 Ω (欧)的换算关系是: $1k\Omega = 10^3\Omega$, $1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$ 。

电阻率 ρ 的单位是欧·米($\Omega \cdot m$),其大小取决于材料的性质,性质不同的导体其电阻率也不同,用途也不一样。表 1-1 列出常用导体材料的电阻率 ρ 及温度系数 α 。

表 1-1 常用导体材料的电阻率 ρ 和电阻温度系数 α (20°C)

用 途	材 料 名 称	电阻率 $\rho/\Omega \cdot m$	电阻温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$
导 电 材 料	银	0.0165×10^{-6}	0.0038
	铜	0.0175×10^{-6}	0.0040
	铝	0.0283×10^{-6}	0.0042
	低碳钢	0.12×10^{-6}	0.0060
	铁	$(0.13 \sim 0.3) \times 10^{-6}$	0.0060
电 阻 材 料	锰铜	0.42×10^{-6}	0.000005
	康铜	$(0.4 \sim 0.51) \times 10^{-6}$	0.000005
	镍铬合金	1.1×10^{-6}	0.00013
	铁铬铝合金	1.4×10^{-6}	0.00005
	碳	10.0×10^{-6}	-0.0005



由表 1-1 可见,银、铜、铝的电阻率都很小,说明它们的导电性能很好。因此,常用作导电材料。其中铜、铝由于价格低廉而被广泛用于制造各种导线、电磁电器和电磁设备的线圈等。银的导电性能虽然最好,但由于价格贵,只在有特殊要求的位置上使用,如半导体器件的引线、电器的触点等位置。镍铬合金、铁铬铝合金电阻率都较高,而且还具有耐高温的能力,因此常用来制造各种电热器件,如车用点烟器和车用空调的发热丝。

需要指出,导体的电阻不仅与结构、材料有关,还与温度有关。其受温度影响的程度,用温度系数 α 来衡量。 α 越大的导体,其电阻受温度的影响越大,反之,受温度的影响越小。由表 1-1 看出,锰铜、康铜的温度系数 α 近似为零,说明它们的电阻几乎不受温度变化的影响,十分稳定,而且它们的电阻率比铜要

大几十倍,是很好的电阻材料,因此在实际应用中广泛用来制造各种电阻器等。常用电阻器的外形图如图 1-7 所示。

由表 1-1 还可看出,大部分导体的温度系数 α 为正值,但也有个别导体的温度系数 α 为负值如碳导体,它的电阻随着温度升高而减小,因此常用于制作温度补偿元件,用在电子电路中。

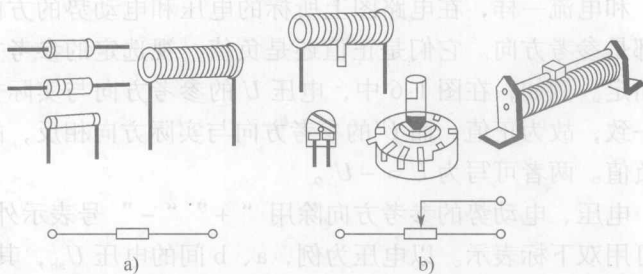


图 1-7 常用电阻器外形及符号

a) 固定电阻器 b) 可变电阻器

1.1.3 欧姆定律

在一段电路或全电路中,各基本物理量之间存在着一定的制约关系,这种制约关系称为欧姆定律。欧姆定律是电路的基本定律之一,有部分电路和全电路两种形式。

1. 部分电路欧姆定律

不含电源的一段电路称为部分电路,如图 1-8a 所示。实验证明,在一段电路中,通过电路的电流与这段电路两端的电压成正比,而与电阻成反比,这一关系称为部分电路欧姆定律。在 U 、 I 参考方向相同时,如图 1-8a 所示,欧姆定律为

$$I = \frac{U}{R}$$

当 U 、 I 参考方向相反时,如图 1-8b 所示,欧姆定律为

$$I = -\frac{U}{R}$$

式中负号表示 U 、 I 的参考方向相反。

例 1-1 电路如图 1-8 所示,已知 $R = 10\Omega$, $U = 10V$, 分别求图 a、图 b 的电流 I 。

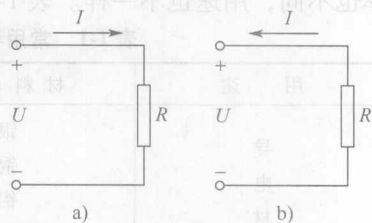


图 1-8 部分电路的欧姆定律



解：对图 a 而言

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{10} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

对图 b 而言

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{10}{10} \text{ A} = -1 \text{ A}$$

电流为正值，说明电流的实际方向与参考方向相同；电流为负值，说明电流的实际方向与参考方向相反，因此只要知道参考方向和计算结果就可推定实际方向。参考方向的这种作用不仅电流有，电压、电动势也有，具有普遍性。

2. 全电路欧姆定律

含有电源的闭合电路称为全电路，如图 1-9 所示。其中直流电源用理想电压源 E 和内阻 R_0 的串联电路表示， U 是电源的端电压(输出电压)， R_L 是负载的电阻，电路中各物理量的方向均为参考方向。全电路欧姆定律的内容是：在一个全电路中，电流 I 的大小与电源电动势 E 成正比，与电路的总电阻 $R_L + R_0$ 成反比。在 E 与 I 参考方向一致时，如图 1-9 所示，则欧姆定律的形式为

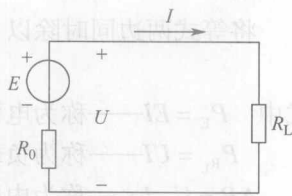


图 1-9 全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R_L + R_0}$$

当 E 与 I 参考方向相反时(未画出)，则欧姆定律的形式为

$$I = -\frac{E}{R_L + R_0}$$

例 1-2 电路如图 1-9 所示，已知 $E = 3 \text{ V}$ ， $R_0 = 0.4 \Omega$ ， $R_L = 9.6 \Omega$ ，求电流 I 、内阻压降 IR_0 及电源端电压 U 。

解：由全电路欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} = \frac{3}{9.6 + 0.4} \text{ A} = 0.3 \text{ A}$$

内阻电压降

$$IR_0 = 0.3 \times 0.4 \text{ V} = 0.12 \text{ V}$$

电源端电压

$$U = IR_L = 0.3 \times 9.6 \text{ V} = 2.88 \text{ V}$$

可见

$$E = U + IR_0$$

所以

$$U = E - IR_0 = (3 - 0.12) \text{ V} = 2.88 \text{ V}$$

$E = U + IR_0$ 称为电压平衡方程，当电源开路时， $E = U$ ，因此只要测出 U 的大小即可确定 E 的大小，这一点在实际应用中具有实际意义。

1.1.4 功率及其计算

功率是电路分析中常用的一个术语，其计算也是电路分析的一个重要方面。

1. 实际方向下功率的计算及元件性质的判别

在图 1-10 中，假定电流、电压、电动势的方向均为实际方向。在电路中，电源电动势 E 发出电能，而负载电阻 R_L 和电源内阻 R_0 吸收电能。电源电动势 E 发出电能用电源力所做的功表示，而电阻 R_L 和 R_0 吸收的电能可用电场力所做的功表示。根据电动势的定义，电源