



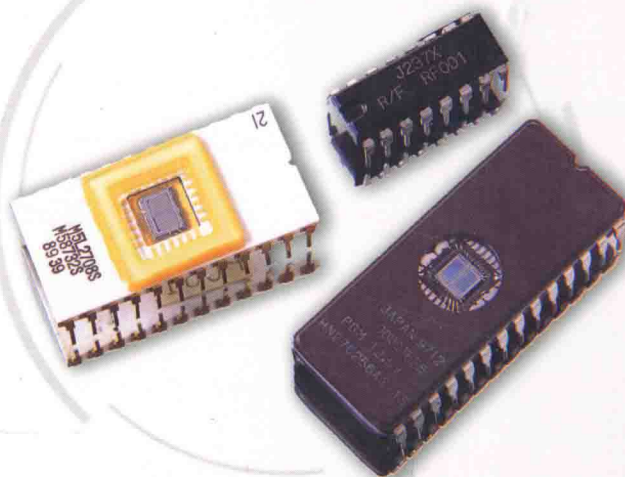
全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

电工电子技术 基础与应用

◎ 孙泰旭 主编

**Diangong Dianzi Jishu
Jichu Yu Yingyong**



免费下载

www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

电工电子技术基础与应用

主 编 孙泰旭
副主编 李俊涛 韦文忠
参 编 张启滔 唐 斌 朱芳翠 李伟军
 韦 丽 阮 苘 阮 莹
主 审 莫禾胜



机械工业出版社

本书贴近职业教育教学实际,按“深入浅出、知识够用、突出技能”的编写思路编写,突出能力本位的职业教育思想,理论联系实际,以满足学生实际应用需要。本书涵盖了强电、弱电的知识,共分为19个单元模块,其中电工基础内容分为10个单元,包括:电路的基本知识,电路的串联、并联与混联,电功与电功率,复杂电路问题的解决方案,磁与电磁,电磁感应,电容器,单相交流电,三相交流电,安全用电;电动机与变压器、电力拖动内容分为4个单元,包括:变压器,三相异步电动机;常用低压电器和三相异步电动机简单控制电路,CA6140卧式车床电气控制电路;电子技术基础内容分为5个单元,包括:二极管及其应用电路,晶体管及其应用电路,集成运算放大器及其应用电路,功率放大器及其应用电路,晶闸管及其应用电路。各单元相对独立又相互衔接,增加了教材的灵活性和延展性,以适应不同专业、不同地区、不同学校、不同学制的教学需要。

本书可作为技工院校、中等职业学校机电专业及相关专业的教学用书,也可作为职业培训机构的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础与应用/孙泰旭主编. —北京:机械工业出版社,2012.8
全国技工院校“十二五”系列规划教材
ISBN 978-7-111-38820-3

I. ①电… II. ①孙… III. ①电工技术-技工学校-教材
②电子技术-技工学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第168729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:陈玉芝 责任编辑:陈玉芝 王寅生

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀丽

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2012年8月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·14印张·342千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38820-3

定价:29.00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

全国技工院校“十二五”系列规划教材 编审委员会

顾 问：郝广发

主 任：陈晓明 李 奇 季连海

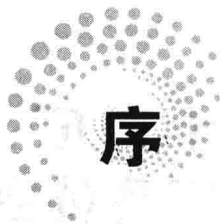
副主任：（按姓氏笔画排序）

丁建庆	王 臣	刘启中	刘亚琴	刘治伟	李长江
李京平	李俊玲	李晓庆	李晓毅	佟 伟	沈炳生
陈建文	徐美刚	黄 志	章振周	董 宁	景平利
曾 剑	魏 葳				

委 员：（按姓氏笔画排序）

于新秋	王 军	王 珂	王小波	王占林	王良优
王志珍	王栋玉	王洪章	王惠民	方 斌	孔令刚
白 鹏	乔本新	朱 泉	许红平	汤建江	刘 军
刘大力	刘永祥	刘志怀	毕晓峰	李 华	李成飞
李成延	李志刚	李国诚	吴 岭	何立辉	汪哲能
宋燕琴	陈光华	陈志军	张 迎	张卫军	张廷彩
张敬柱	林仕发	孟广斌	孟利华	荆宏智	姜方辉
贾维亮	袁 红	阎新波	展同军	黄 樱	黄锋章
董旭梅	谢蔚明	雷自南	鲍 伟	潘有崇	薛 军

总策划：李俊玲 张敬柱 荆宏智



序

“十二五”期间，加速转变生产方式，调整产业结构，将是我国国民经济和社会发展的重中之重。而要完成这种转变和调整，就必须有一大批高素质的技能型人才作为后盾。根据《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》的要求，至2020年，我国高技能人才占技能劳动者的比例将由2008年的24.4%上升到28%（目前一些经济发达国家的这个比例已达到40%）。可以预见，作为高技能人才培养重要组成部分的高级技工教育，在未来的10年必将会迎来一个高速发展的黄金期。近几年来，各职业院校都在积极开展高级工培养的试点工作，并取得了较好的效果。但由于起步较晚，课程体系、教学模式都还有待完善与提高，教材建设也相对滞后，至今还没有一套适合高级技工教育快速发展需要的成体系、高质量的教材。即使一些专业（工种）有高级工教材也不是很完善，或是内容陈旧、实用性不强，或是形式单一、无法突出高技能人才培养的特色，更没有形成合理的体系。因此，开发一套体系完整、特色鲜明、适合理论实践一体化教学、反映企业最新技术与工艺的高级工教材，就成为高级技工教育亟待解决的课题。

鉴于高级技工教材短缺的现状，机械工业出版社与中国机械工业教育协会从2010年10月开始，组织相关人员，采用走访、问卷调查、座谈等方式，对全国有代表性的机电行业企业、部分省市的职业院校进行了历时6个月的深入调研。对目前企业对高级工的知识、技能要求，各学校高级工教育教学现状、教学和课程改革情况以及对教材的需求等有了比较清晰的认识。在此基础上，他们紧紧依托行业优势，以为企业输送满足其岗位需求的合格人才为最终目标，组织了行业和技能教育方面的专家精心规划了教材书目，对编写内容、编写模式等进行了深入探讨，形成了本系列教材的基本编写框架。为保证教材的编写质量、编写队伍的专业性和权威性，2011年5月，他们面向全国技工院校公开征稿，共收到来自全国22个省（直辖市）的110多所学校的600多份申报材料。在组织专家对作者及教材编写大纲进行了严格的评审后，决定首批启动编写机械加工制造类专业、电工电子类专业、汽车检测与维修专业、计算机技术相关专业教材以及部分公共基础课教材等，共计80余种。

本系列教材的编写指导思想明确，坚持以达到国家职业技能鉴定标准和就业能力为目标，以各专业的工作内容为主线，以工作任务为引领，由浅入深，循序渐进，精简理论，突出核心技能与实操能力，使理论与实践融为一体，充分体现“教、学、做合一”的教学思想，致力于构建符合当前教学改革方向的，以培养应用型、技术型、创新型人才为目标的教材体系。

本系列教材重点突出了三个特色：一是“新”字当头，即体系新、模式新、内容新。

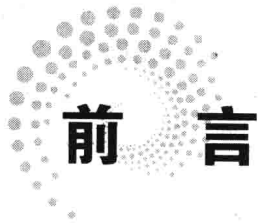
体系新是把教材以学科体系为主转变为以专业技术体系为主；模式新是把教材传统章节模式转变为以工作过程的项目为主；内容新是教材充分反映了新材料、新工艺、新技术、新方法。二是注重科学性。教材从体系、模式到内容符合教学规律，符合国内外制造技术水平实际情况。在具体任务和实例的选取上，突出先进性、实用性和典型性，便于组织教学，以提高学生的学习效率。三是体现普适性。由于当前高级工生源既有中职毕业生，又有高中生，各自学制也不同，还要考虑到在职人群，因此教材在内容安排上尽量照顾到了不同的求学者，适用面比较广泛。

此外，本系列教材还配备了电子教学课件，以及相应的习题集，实验、实习教程，现场操作视频等，初步实现了教材的立体化。

我相信，本系列教材的出版，对深化职业技术教育改革，提高高级工培养的质量，都会起到积极的作用。在此，我谨向各位作者和所在单位及为这套教材出力的学者表示衷心的感谢。

原机械工业部教育司副司长
中国机械工业教育协会高级顾问

郝广发



前言

“电工电子技术基础与应用”是机电类、汽修类专业的一门专业基础课程。传统教学方法一般是先讲理论知识，有少量实验验证，到集中实习时才有应用性实践，理论和实际联系不够紧密，造成了学生学习的茫然性、无目的性，使学生学习兴趣下降。围绕就业导向和提高学生职业能力培养而进行的教育改革，推动了职业学校教学从学科本位向能力本位的转变，在“学生学什么？怎么学？教师教什么？怎么教？”的讨论中，职业教师的教学观念发生了深刻的变化——按照职业能力形成的规律，根据职业学校学生的智力结构和认知特点进行教学，成了教学改革的基本共识。教材是教学改革的载体，没有载体教学改革就变成了一句空话。在这样的形势下，我们编写了这本《电工电子技术基础与应用》教材。

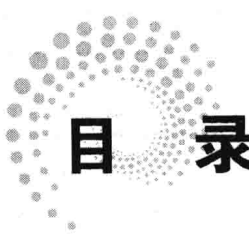
本书根据职业教育的培养目标，坚持“以全面素质为基础，以就业为导向，以能力为本位，以学生为主体”的原则，贴近职业教育教学实际，按“深入浅出、知识够用、突出技能”的思路编写，突出能力本位的职业教育思想，理论联系实际，以满足学生的实际应用需要。在编写的体系结构上，采用模块式结构，在学习过程中体现连贯性、针对性、选择性，让学生学得进、用得上；在方法上注重学生兴趣，融知识、技能于一体，使学生在学习、实践中能体验到成功的喜悦。

本书涵盖了强电、弱电的知识，共分为 19 个单元模块，其中电工基础内容分为 10 个单元 28 个任务；电动机与变压器、电力拖动内容分为 4 个单元 12 个任务；电子技术基础内容分为 4 个单元 8 个任务，各单元相对独立又相互衔接，增加了教材的灵活性和延展性，以适应不同专业、不同地区、不同学校、不同学制的教学需要。

本书由孙泰旭担任主编，李俊涛、韦文忠担任副主编，参加编写的还有张启滔、唐斌、朱芳翠、李伟军、韦丽、阮荷、阮萃，全书由莫禾胜主审。本书的编写工作得到学校领导的大力支持，在此表示诚挚感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请使用本书的师生和读者批评指正。

编者



目录

序	
前言	
单元1 电路的基本知识	1
任务1 认识电路	1
任务2 用万用表测量电路中的物理量	4
任务3 学习欧姆定律	11
单元2 电路的串联、并联与混联	18
任务1 学习电阻的连接	18
任务2 学习电源的连接	25
任务3 电压表、电流表的改装	26
单元3 电功与电功率	29
任务1 了解电流做功	29
任务2 学习电功率	31
任务3 电流热效应的利与弊	36
单元4 复杂电路问题的解决方案	40
任务1 学习基尔霍夫定律	40
任务2 学习叠加原理	46
任务3 学习戴维南定理	49
单元5 磁与电磁	54
任务1 认识磁与电磁	54
任务2 认识磁场的基本物理量	58
任务3 了解磁场对电流的作用	62
单元6 电磁感应	68
任务1 认识电磁感应现象	68
任务2 认识自感现象	72
任务3 认识互感现象	74
单元7 电容器	78
任务1 认识电容器	78
任务2 电容器的充放电	81
任务3 电容器的连接方式	84
单元8 单相交流电	87

任务 1	认识正弦交流电	87
任务 2	不同负载元件的单相交流电路	94
单元 9	三相交流电	105
任务 1	三相交流电的产生和输送	105
任务 2	三相负载的联结方式	110
单元 10	安全用电	117
任务 1	学习安全用电常识	117
任务 2	保护接地与保护接零措施	120
任务 3	触电急救方法	121
单元 11	变压器	124
任务 1	变压器的基本知识	124
任务 2	认识变压器	127
单元 12	三相异步电动机	132
任务 1	认识三相异步电动机	132
任务 2	三相异步电动机的运行与维护	134
单元 13	常用低压电器和三相异步电动机简单控制电路	138
任务 1	学习低压开关中的刀开关和按钮	138
任务 2	学习交流接触器和中间继电器	141
任务 3	安装与检修三相异步电动机点动控制电路	144
任务 4	安装与检修三相异步电动机单方向连续运转控制电路	146
任务 5	学习熔断器、热继电器和低压断路器	148
任务 6	安装与检修三相异步电动机正反转控制电路	156
任务 7	安装与检修Y- Δ 减压起动控制电路	160
单元 14	CA6140 型车床电气控制电路	164
单元 15	二极管及其应用电路	170
任务 1	半导体二极管的识别与检测	170
任务 2	二极管整流滤波电路的装接	174
任务 3	二极管整流稳压电源的组装与调试	179
单元 16	晶体管及其应用电路	183
任务 1	晶体管的识别检测	183
任务 2	晶体管放大电路的组装与调试	188
单元 17	集成运算放大器及其应用电路	195
单元 18	功率放大器及其应用电路	200
单元 19	晶闸管及其应用电路	205
参考文献		211

单元1 电路的基本知识

任务1 认识电路

学习目标

了解电路的基本组成以及各部分的作用，认识常用电气元器件的图形符号，学会搭建简单的电路图，并能根据电路图连接实物电路。

任务引入

电路的应用几乎渗透到各行各业，电路知识的应用在日常生活、生产中经常遇到，譬如照明电路、汽车电路、机床电路等。本任务在已经学过的初中物理知识基础上，学习认识电路图，并根据电路图连接实物电路，在实践的过程中理解电路各部分的作用，了解电路的3种状态。

相关知识

一、电路概述

1. 电路的功能

电路是由各种元器件（或电工设备）按一定方式连接起来的总体，为电流的流通提供了路径。图1-1所示即为一个简单的直流电路。

电路的主要功能有两类：一类是进行能量的转换、传输和分配，例如供电电路可将发电机发出的电能经输电线传输到各个用电设备，再由用电设备转换成热能、光能、机械能等；另一类是实现信息的传递和处理，例如计算机电路、电话电路、扩音机电路等。

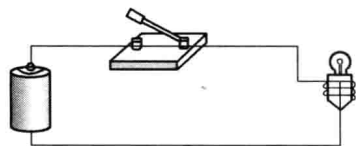


图1-1 简单的直流电路

2. 电路的基本组成

电路的基本组成包括以下4个部分：

- (1) **电源（供能元件）** 为电路提供电能的设备和器件（如电池、发电机等）。
- (2) **负载（耗能元件）** 使用（消耗）电能的设备和器件（如灯泡、电视机等）。
- (3) **控制器件** 控制电路工作状态的器件或设备（如开关等）。
- (4) **连接导线** 将电器设备和元器件按一定方式连接起来的电缆线（如各种铜、铝线等）。

3. 电路的状态

(1) **通路（闭路）** 电源与负载接通，电路中有电流通过，电气设备或元器件获得一定的电压和电功率，进行能量转换。

(2) **开路（断路）** 电路中没有电流通过，又称为空载状态。

(3) **短路** 电源两端的导线直接相连接，输出电流过大，对电源来说属于严重过载，如没有保护措施，电源或电器会被烧毁或发生火灾，所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器、熔体等保险装置，以避免发生短路时出现不良后果。

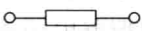
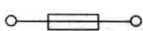
二、电路图

用电气符号描述电路连接情况的图，称电路原理图，简称电路图。

实际电路的元器件品种繁多，功能各异。有的元器件主要是消耗电能，如各种电阻器、电灯和电炉等；有的元器件主要是提供电能，如电池和发电机等；有的元器件主要是储存磁场能量，如各种电感线圈；有的元器件主要是储存电场能量，如各种类型的电容器等。

【理想元器件】 电路是由电特性相当复杂的元器件组成的，为了便于使用数学方法对电路进行分析，可将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元器件（模型）来代替，而对它实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。常用理想元器件及符号见表 1-1。

表 1-1 常用理想元器件及符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

由理想元器件构成的电路叫做实际电路的电路模型，也叫做实际电路的电路原理图。图 1-2 所示为手电筒电路原理图。

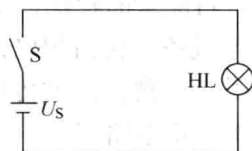


图 1-2 手电筒电路原理图



知识拓展

验 电 器

在电工作业中有高压验电器和低压验电器。低压验电器就是俗称的测电笔。它用来直观地确定电气设备或电路是否带电的一种电工工具，其检测方法既方便又简单。图 1-3 所示是

一种常用的笔式低压验电器，它由笔管、金属笔尖、高电阻、氖灯、弹簧和金属笔尾（笔卡）等部件组成。

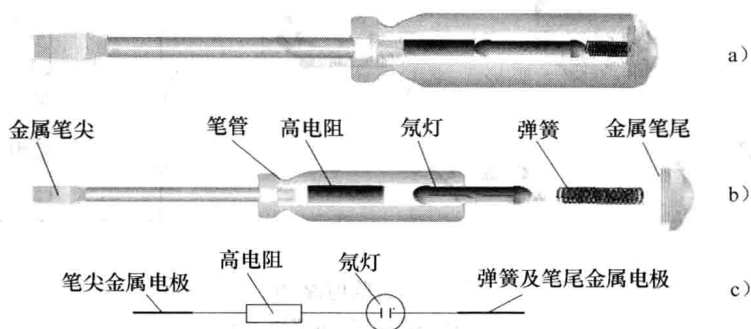


图 1-3 笔式低压验电器的外形、结构及电路原理

低压验电器只能在 380V 以下（含 380V）的电压系统和设备上使用，当金属笔尖接触到低压带电设备时，氖灯就会发出红光。电压越高氖灯发出的光越亮，电压越低氖灯发出的光越暗。因此，可以根据氖灯发光的亮度判断电压的高低。

高压验电器是用来检测 6 ~ 35kV 电网中的配电设备、架空线路及电缆等是否带电的工具。高压验电器可分为发光型、声光型和风车式 3 类。高压验电器必须由持有高压电工作业上岗证的人员才可以使用。



动手实践——认识电路图，搭建实物电路



【目的要求】

1. 根据电路图中元器件符号找到相应的实物。
2. 通过实验掌握电路基本的组成及各部分的作用。
3. 认识常用理想元器件及符号，学会看简单电路图。
4. 根据电路图连接实物电路。

【实验器材】

1. 直流电源 1 台。
2. 单刀开关 2 个。
3. 用电器（电阻、小灯泡、指示灯等）若干。
4. 导线若干。

【操作内容及步骤】

1. 按图 1-4a 所示的实物连接图接好线。
2. 合上开关，观察小灯泡的情况。观察用电器能否正常工作。如不能正常工作，请分析故障原因。
3. 根据实物图画出电路图。
4. 根据图 1-4b 所示电路原理图连接好实物电路。
5. 合上开关，观察小灯泡的亮、暗情况。

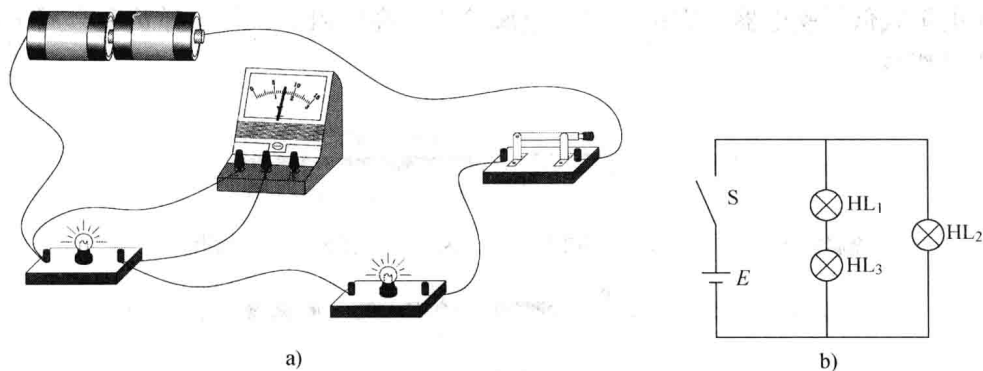


图 1-4 实验电路图

a) 实物电路图 b) 电路原理图



思考与练习

根据图 1-5a 所示的电路图，用笔画线代替导线，连接图 1-5b 所示的实物电路。

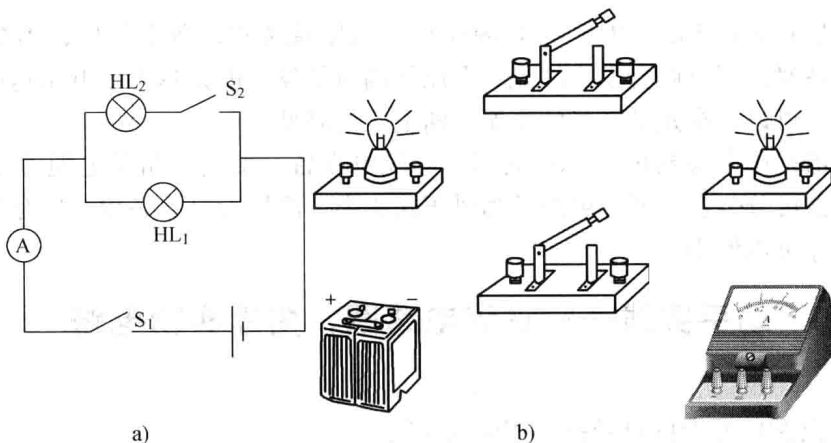


图 1-5

a) 电路图 b) 实物电路图

任务 2 用万用表测量电路中的物理量



学习目标

理解电路中几个基本物理量的意义，掌握用万用表测量物理量的正确方法，掌握各个物理量的单位及换算关系。



任务引入

万用表是电工最常用的多功能测量仪表，一般用来测量电阻、交（直）流电压、交（直）流电流等，学习电工学知识和技能，必须先学会使用它。本节首先要学习理解电路中常用的几个基本物理量的意义，并掌握测量各物理量的方法，为后续课程的学习打下基础。



相关知识

电路中有几个基本物理量经常用到，这几个物理量主要是电流、电压、电位、电动势、电流密度、电阻。

一、电流

1. 电流的形成

电荷的定向移动形成电流。

2. 电流形成条件

1) 导体内必须有自由移动的电荷。在电场力作用下，自由电荷定向移动形成电流，如果电荷不能自由移动，即使有电压，也不能形成电流。

2) 导体两端有电位差（电压）存在。像水流从高处流向低处一样，电流也是从电位高处流向低处。怎样才能使导体两端保持有电压存在呢？那就必须有电源，电源能使导体两端保持一定的电压。

3. 电流的计算

单位时间内流过导体横截面的电荷量越多，就表示流过该导体的电流越强。单位时间内通过导体横截面的电荷量，称为电流。其大小为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

式中 Δt ——时间间隔，单位为 s；

Δq ——在 Δt 时间内通过导体横截面的电量，单位为 C；

I ——电流，单位为 A。

常用的电流单位还有毫安（mA）、微安（ μA ）、千安（kA）等，它们与安培的换算关系为

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

4. 电流方向

习惯上把正电荷定向移动的方向规定为电流的方向。在金属导体内，形成定向移动的是电子流，电流方向与电子流移动的方向相反。

5. 电流的测量（用电流表测量）

1) 对交、直流电流应分别使用交流电流表和直流电流表。

2) 电流表必须串联到待测电路中。

3) 直流电流表表壳接线柱上标明的“+”、“-”记号，应和电路的极性相一致，不能接错，否则指针要反转，既影响正常测量，也容易损坏电流表。

4) 合理选择电流表的量程。在不知道被测电流大小范围时，量程的选择从大到小，否则容易把表烧坏。

二、电流密度

流过导体横截面单位面积上的电流叫做电流密度。其大小为

$$J = \frac{I}{S}$$

式中 I ——流过导体的电流, 单位为 A;

S ——导体的横截面积, 单位为 mm^2 ;

J ——电流密度, 单位为 A/mm^2 。

在选用导线时, 就要考虑它的载流量与导线横截面大小的匹配, 例如铜芯线允许的最大电流密度是 $6\text{A}/\text{mm}^2$, 额定电流为 10A 的负载, 就要根据 $S = I/J = 10/6\text{mm}^2 = 1.7\text{mm}^2$ 计算结果, 选横截面略大于 1.7mm^2 的铜芯线。

三、电压

1. 电压的定义

电压又称电位差, 是衡量电场力做功本领大小的物理量。电压越高, 做功本领越大。其定义为: 在电场中电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

式中 U_{AB} —— A 点到 B 点之间的电压, 单位为 V;

W_{AB} ——电场力将正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功, 单位为 J;

Q ——电荷量, 单位为 C。

常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等, 它们与伏特的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}; 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}; 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V} = 10^{-3}\text{mV}。$$

2. 电压的测量 (用电压表测量)

- 1) 对交、直流电压应分别使用交流电压表和直流电压表。
- 2) 电压表必须并联到被测电路的两端。
- 3) 直流电压表表壳接线柱上标明的“+”、“-”记号应和被测两点的电位高低相一致, 即“+”端接高电位,“-”接低电位, 接错会造成指针反转, 严重时损坏电压表。
- 4) 合理选择电压表的量程。当待测电压大小范围无法预测时, 量程的选择应该从大到小。

四、电动势

1. 电动势的定义

电动势是衡量电源将非电能转换为电能本领的物理量。其定义为: 在电源内部外力将单位正电荷从电源的负极移动到电源正极所做的功, 即

$$E = \frac{W}{Q}$$

式中 E ——电动势, 单位为 V;

W ——外力将正电荷从电源的负极移动到电源正极所做的功, 单位为 J;

Q ——电荷量, 单位为 C。

2. 电动势的方向

【电动势的方向规定】 在电源内部由负极指向正极。因此, 电源电动势指向电压升高的方向, 外电路负载上的电压从高到低。

3. 电压与电动势的联系与区别

电源既有电动势又有端电压。电动势只存在于电源内部, 其方向由负极指向正极; 而端

电压则是电源加在外电路两端的电压，其方向由正极指向负极。一般情况下，电源的端电压总是低于电源内部的电动势，只有当电源开路时，二者才相等。

五、电位

1. 电位的定义

电路中某一点 M 的电位 U_M 就是该点到电位参考点 A 的电压，也即 M 、 A 两点间的电位差，即

$$U_M = U_{MA}$$

2. 电位参考点（即零电位点）

在电路中选定某一点 A 为电位参考点，规定该点的电位为零，即 $U_A = 0$ 。电位参考点的选择方法如下：

- 1) 在工程中常选大地作为电位参考点。
- 2) 在电子电路中，常选一条特定的公共线或机壳作为电位参考点。

在电路中通常用符号“ $\perp$ ”标出电位参考点。

3. 电路中某点电位的计算方法

- 1) 确认电位参考点的位置。
- 2) 确定电路中的电流方向和各元器件两端电压的正负极性。

4. 电位与电压的联系与区别

- 1) 电路中任意两点之间的电位差（电压）与这两点电位的的关系是

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

2) 电位具有相对性，即电路中某点的电位值随参考点的改变而改变；而电压具有绝对性，即任意两点间的电位差值与电路中参考点的选取无关。

例 1-1 如图 1-6 所示电路，已知 $E_1 = 45V$ ， $E_2 = 12V$ ，电源内阻忽略不计； $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 4\Omega$ ， $R_3 = 2\Omega$ 。求 B 、 C 、 D 3 点的电位 U_B 、 U_C 、 U_D 。

解：利用电路中 A 点为电位参考点（零电位点），假设电流方向为顺时针方向，则有

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 3A$$

B 点电位： $U_B = U_{BA} = -R_1 I = -15V$ ；

C 点电位： $U_C = U_{CA} = E_1 - R_1 I = (45 - 15)V = 30V$ ；

D 点电位： $U_D = U_{DA} = E_2 + R_2 I = (12 + 12)V = 24V$ 。

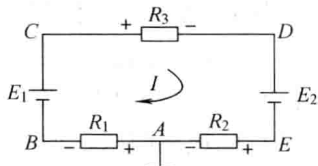


图 1-6

必须注意的是，电路中两点间的电位差（即电压）是绝对的，不随电位参考点的不同发生变化，即电压值与电位参考点无关；而电路中某一点的电位则是相对电位参考点而言的，电位参考点不同，该点电位值也将不同。

例如，在例 1-1 中，假如以 E 点为电位参考点，则

B 点的电位变为 $U_B = U_{BE} = -R_1 I - R_2 I = -27V$ ；

C 点的电位变为 $U_C = U_{CE} = R_3 I + E_2 = 18V$ ；

D 点的电位变为 $U_D = U_{DE} = E_2 = 12V$ 。

六、电阻

1. 电阻的定义

自由电荷在导体中做定向移动形成电流会遇到阻碍，我们把这种阻碍电流通过的作用叫

做电阻，用字母 R 表示。任何物体都有电阻，当有电流流过时，都要消耗一定的能量，电阻是导体本身具有的属性。

在国际单位制中，电阻的单位是欧姆，符号是 Ω 。电阻的常用单位还有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)，它们之间的关系为

$$1k\Omega = 10^3\Omega; \quad 1M\Omega = 10^6\Omega.$$

2. 电阻定律

实验证明：导体电阻的大小不仅与导体的材料有关，还与导体的尺寸有关。在温度不变时，一定材料的导体的电阻跟它的长度成正比，跟它的截面积成反比，这个规律叫做电阻定律。其数学表达式为

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

式中 ρ ——制成电阻的材料电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ；

l ——绕制成电阻的导线长度，单位为 m ；

S ——绕制成电阻的导线横截面积，单位为 m^2 ；

R ——电阻值，单位为 Ω 。

3. 电阻元件

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件，例如灯泡、电热炉等电器。

4. 电阻的测量方法

电阻的测量在电工测量技术中占有十分重要的地位，工程中所测量的电阻值，一般是在 $10^{-6} \sim 10^{12}\Omega$ 的范围内。为减小测量误差，应选用适当的电阻测量方法。测量电阻的方法很多，常用的方法分类如下：

(1) 按获取测量结果方式分类

1) 直接测阻法。采用直读式仪表测量电阻，仪表的标尺是以电阻的单位 (Ω 、 $k\Omega$ 或 $M\Omega$) 刻度的，根据仪表指针在标尺上的指示位置，可以直接读取测量结果。例如用万用表的欧姆挡或兆欧表等测量电阻，就是直接测阻法。

2) 比较测阻法。采用比较仪器将被测电阻与标准电阻器进行比较，在比较仪器中接有检流计，当检流计指零时，可以根据已知的标准电阻值，获取被测电阻的阻值。

3) 间接测阻法。通过测量与电阻有关的电量，然后根据相关公式计算，求出被测电阻的阻值。例如得到广泛应用的、最简单的间接测阻法就是电流、电压表法测量电阻（即伏安法）。它是用电流表测出通过被测电阻中的电流、用电压表测出被测电阻两端的电压，然后根据欧姆定律即可计算出被测电阻的阻值。

(2) 按被测电阻的阻值的大小分类

通常将电阻按其阻值的大小分成 3 类，即小电阻 (1Ω 以下)、中等电阻 ($1\Omega \sim 0.1M\Omega$) 和大电阻 ($0.1M\Omega$ 以上)。

1) 小电阻的测量。测量小电阻时，一般是选用毫欧表。要求测量精度比较高时，则可选用开尔文〔双〕电桥法测量。

2) 中等电阻的测量。测量中等电阻最为方便的方法是用欧姆表进行测量，它可以直接读数，但这种方法的测量误差较大。中等电阻的测量也可以选用伏安表测阻法，它能测出工作状态下的电阻值。其测量误差比较大。若需精密测量可选用惠斯顿电桥法。