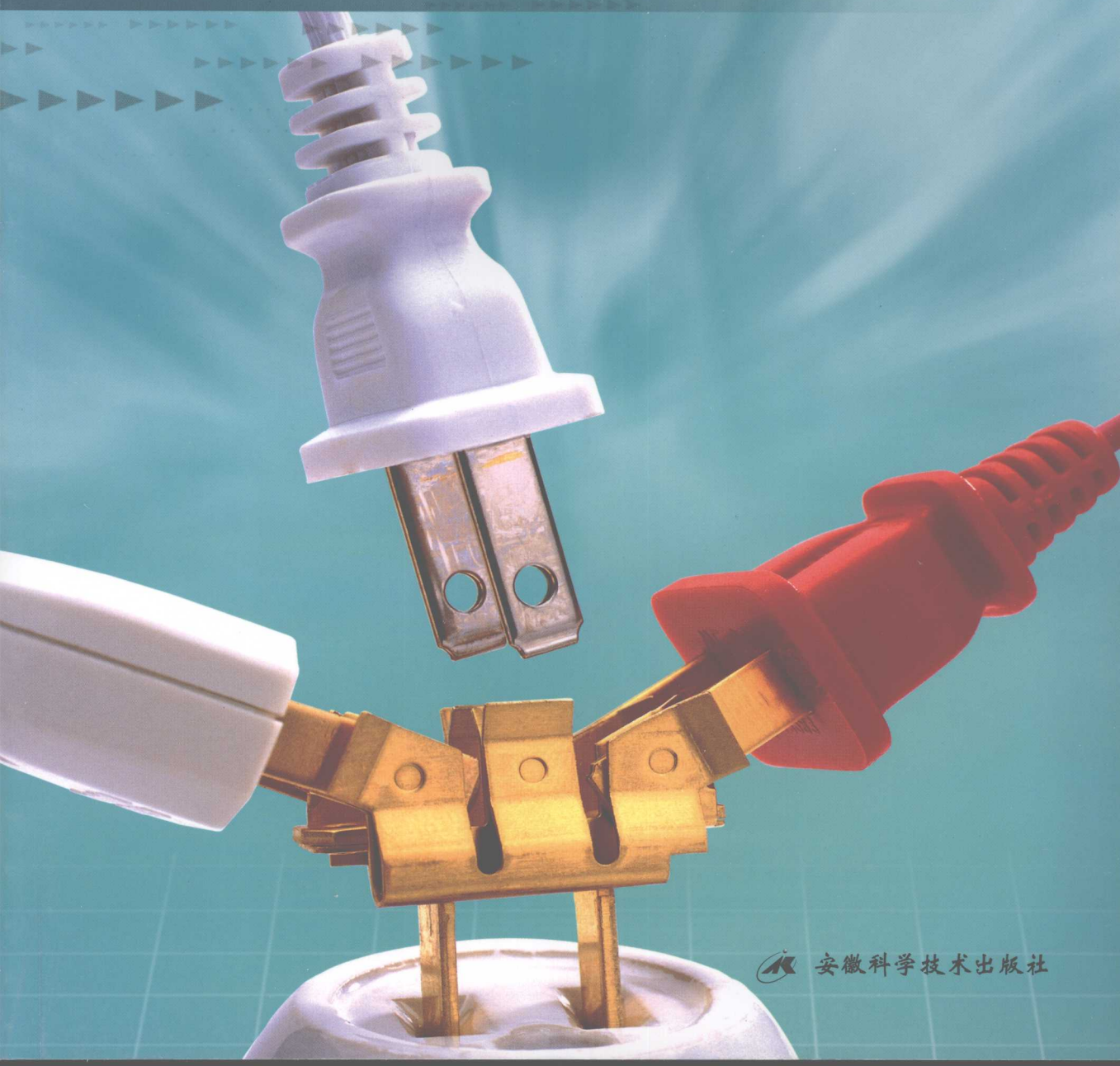


职业教育电工电子系列教材

电工技术

DIANGONG JISHU

主编 高平 主审 徐黎



安徽科学技术出版社

图例标注(CIP)第2版

由电工技术主编：高平、白小和、程汉平、伍枫、沈慰椿、胡伟、张晓丽、徐黎

2008.9

职业教育电工电子系列教材

ISBN 978-7-233-14075-9

I. 电… II. 高… III. 电… IV. 电…

W. TM

中国标准书号(CIP)第2版(2008)第139970号

电工技术

主 编 高 平
副主编 白小和 程汉平
编 者 高 平 白小和 程汉平
沈慰椿 伍 枫 程银燕
胡 伟 张晓丽
主 审 徐 黎

电工技术

出版人：王 芳

责任编辑：王 芳

封面设计：王 芳

出版发行：安徽科学技术出版社（合肥市政务文化新区圣泉路1118号）

出版发行：安徽科学技术出版社（合肥市政务文化新区圣泉路1118号）

电话：(0551) 3533330

网址：www.ahjtp.net

E-mail: yougoudu@sina.com

经 销：新华书店

安徽科学技术出版社有限公司

安徽科学技术出版社有限公司

本：787×1092 1/16

张：14

字：340千

次：2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

印：1500

价：26.80元



安徽科学技术出版社

(本册为教材)

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/高平主编. —合肥:安徽科学技术出版社,
2008.9

(职业教育电工电子系列教材)

ISBN 978-7-5337-4072-6

I. 电… II. 高… III. 电工技术-专业学校-教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 136970 号

木工工串

平 高 编 主

平 高 编 主

平 高 编 主

平 高 编 主

平 高 编 主

电工技术

高 平 主编

出 版 人: 朱智润

责任编辑: 王菁虹 文字编辑: 沙 莹

封面设计: 王 艳

出版发行: 安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场, 邮编: 230071)

电 话: (0551)3533330

网 址: www.ahstp.net

E - mail: yougoubu@sina.com

经 销: 新华书店

排 版: 安徽事达科技贸易有限公司

印 刷: 安徽新华印刷股份有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 14

字 数: 340 千

版 次: 2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 500

定 价: 26.80 元

(本书如有印装质量问题, 影响阅读, 请向本社市场营销部调换)

编 委 会

主 任(排名不分先后): 寿培聪 吴丁良 姚成秀

副主任(排名不分先后): 施正和 翟 敏 黄庭曙 包太平 姚志浩
郝登峰 任祖明 王礼义 李涤新 肖 山 王立升 陈爱娥
刘淑凤 刘树钢 王亚平 石晓峰 丁士中 张 敏 王华君
唐久春 范铭祥 韩 云 王宏锦

委 员(排名不分先后): 徐 黎 刘纯根 李惠兰 江 涛 储立群
刘尚华 吴桂荣 邢良言 葛冬云 汪建安 徐万赋 开 俊
姚卫宁 胡晓红 吴成群 张艺国 彭 建 刘 彦 陆伟生
张 李 魏 敏 吴晓东 李方显 朱晓华 张 强 周 斌
丁淑荃 汤 峰 陈洪金 顾 宏 周致远 陆思忠 朱振宇
窦祥国 潘 新 李国辉

前 言

电工技术是研究电能与其他能量之间相互转换的规律及其在工程技术领域中应用的一门学科,现已成为高科技和工程领域的一项重大课题,在工农业生产中发挥着巨大的作用。

本书着眼于技能型紧缺人才培养目标,紧紧扣住“电工”这个特点予以必要的延伸、拓宽。全书从实用角度出发,系统、全面地介绍了电工技术及其应用。

全书共分为七个项目,项目一讲述了电工技术的基本知识;项目二介绍了变压器的基本原理;项目三阐述了电工仪表及其测量;项目四介绍了电动机的基本原理;项目五分析了电动机的控制部分;项目六介绍了供用电常识;项目七对电能及其转换技术做了简单分析。为帮助学生思考、复习和总结,本书备有配套习题教材《电工技术习题及实训》。

编者在编写过程中,参阅了大量的同类书籍及相应报刊,借鉴了其中的精华部分来充实本书。力求体现职业教育的性质、任务和培养目标,坚持以就业为导向、以能力培养为本位的原则,突出教材的实用性、适用性和先进性。

在编写本套教材时,努力贯彻以下原则:

(1)任务驱动。以浅显易学的内容带动理论学习,教材各部分的课程都从完成某一任务着手,按照提出的问题和设定的目标,通过实验或阅读完成任务。

(2)激发学生的学习兴趣。采用深入浅出、通俗易懂、生动活泼和图文并茂的形式,以激发学生的学习兴趣和创新意识。

本书共需 90 课时完成(按每学期 15 周计算,每周 6 课时,共 90 课时)。具体课时分配如下:电工技术基础 24 课时,变压器 14 课时,电工仪表及测量 14 课时,电动机 14 课时,电动机的控制 16 课时,供用电常识 4 课时,电能转换技术 4 课时。若按每周 4 课时安排,电动机及电动机的控制可作为选修内容。

本书由高平主编,白小和、程汉平任副主编,沈慰椿、伍枫、程银燕、胡伟和张晓丽参加了部分章节的编写。其中项目一由白小和、伍枫、沈慰椿、胡伟、高平编写;项目二由沈慰椿编写;项目三由胡伟和张晓丽编写;项目四由程银燕编写;项目五由伍枫编写;项目六由高平编写;项目七由程汉平编写。高平负责全书的统稿,徐黎担任本书的主审。

本书可作为职业学校机电、数控、汽车、焊接、模具等专业电工技术的教学用书,也可作为电工技术开发维护人员的参考书。

本书的编写仅是对职业教育教材改革的一次尝试,也是一次愉悦的合作过程。我们只是抛砖引玉,希望通过电工技术老师及学生们的共同努力,把本课程和教改不断推向深化,使我们培养的学生能更好地为祖国的建设服务。由于编者业务水平所限,以及调查研究、理解教改精神方面的局限,书中疏漏和错误之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

项目一 电工技术基础	1
课题一 直流电路	1
任务一 了解电路组成	1
任务二 了解电路主要物理量及相互关系	3
任务三 掌握电路的状态及电气设备的额定值	17
任务四 掌握电阻的连接	21
任务五 掌握电压源与电流源	29
任务六 掌握电路概念及基尔霍夫定律	32
任务七 掌握支路电流法	33
任务八 认识叠加定理	35
任务九 认识戴维南定理	36
课题二 单相交流电路	37
任务一 概述	37
任务二 了解正弦交流电的基本概念	39
任务三 了解正弦交流电的表示法及简单运算	47
任务四 认识单一参数的正弦交流电路	51
任务五 掌握电阻、电感、电容串联电路	59
任务六 认识电阻、电感、电容并联电路	69
课题三 三相交流电路	71
任务一 了解三相交流电路的基本概念	71
任务二 认识三相电源及三相负载的连接	73
小结	76
项目二 变压器	79
课题一 磁与电路	79
任务一 了解电流的磁场	79
任务二 了解磁场对电流的作用	80
任务三 了解磁化与磁性材料	81
任务四 认识电磁感应定律	82
课题二 变压器的基本概念	84
任务一 了解变压器的用途	84
任务二 认识单相变压器的基本结构	85
任务三 掌握变压器的工作原理	85
任务四 掌握变压器的工作特性	88
课题三 变压器实例	88
任务一 认识三相变压器	88
任务二 认识自耦变压器	90
小结	91

项目三 电工仪表及测量	93
课题一 电工仪表的基本知识	93
任务一 了解电工仪表的分类	93
任务二 掌握电工仪表常用符号	94
任务三 了解电工仪表的误差和准确度	96
任务四 掌握常用电工仪表的组成及工作原理	99
课题二 电流的测量	100
任务一 认识直流电流测量及电流表量程的扩大	100
任务二 认识交流电流测量及电流表量程的扩大	101
任务三 了解电流互感器	103
课题三 电压的测量	104
任务一 认识直流电压测量及电压表量程的扩大	104
任务二 认识交流电压测量及电压表量程的扩大	105
任务三 认识电压互感器	105
课题四 电阻的测量	107
任务一 掌握伏安法	107
任务二 掌握欧姆表法	108
任务三 认识电桥法	109
课题五 单相交流电路功率及电能的测量	111
任务一 认识单相交流电路功率的测量	111
任务二 认识单相交流电路电能的测量	112
课题六 万用表	113
任务一 掌握指针式万用表	113
任务二 掌握数字式万用表	115
小结	117
项目四 电动机	120
课题一 概述	120
课题二 三相异步电动机	120
任务一 了解三相异步电动机的旋转原理	120
任务二 认识三相异步电动机的结构和铭牌	122
任务三 认识三相异步电动机的运行原理	125
任务四 认识三相异步电动机的运行特性	127
任务五 了解三相异步电动机的使用与维护	129
课题三 单相异步电动机	131
任务一 认识单相异步电动机的结构和工作特点	131
任务二 认识电容分相单相异步电动机	133
任务三 了解电阻分相单相异步电动机	134
任务四 了解单相罩极式异步电动机	135
任务五 了解单相异步电动机的使用与维护	136
课题四 直流电动机	136
任务一 了解直流电动机的旋转原理	136
任务二 了解直流电机工作的可逆性	138

任务三 认识直流电动机的结构	138
任务四 认识并励电动机	140
任务五 认识串励电动机	141
任务六 认识直流电动机的调速与反转	142
课题五 特殊电机	143
任务一 了解直线电动机	144
任务二 认识伺服电动机	145
任务三 认识步进电动机	147
任务四 认识测速发电机	149
任务五 认识小型同步电动机	151
小结	153
项目五 电动机的控制	160
课题一 概述	160
课题二 三相异步电动机的直接启动控制	160
任务一 了解三相异步电动机的直接启动	160
任务二 了解刀开关控制三相异步电动机单向启动电路	160
任务三 认识接触器控制三相异步电动机单向启动电路	161
任务四 认识断路器控制三相异步电动机单向启动电路	162
任务五 了解三相异步电动机的正反转启动电路	163
课题三 三相异步电动机的降压启动控制	164
任务一 了解三相异步电动机的降压启动	164
任务二 了解鼠笼式异步电动机串电阻的降压启动	164
任务三 了解鼠笼式异步电动机用自耦变压器的降压启动	165
任务四 了解鼠笼式异步电动机的 Y- Δ 降压启动	166
任务五 认识绕线式三相异步电动机的启动	168
课题四 三相异步电动机的调速	169
任务一 了解变极调速	169
任务二 认识改变电动机转差率的调速	170
任务三 认识变频调速	171
课题五 三相异步电动机的制动控制	172
任务一 了解三相异步电动机制动	172
任务二 了解三相异步电动机的机械制动	172
任务三 认识三相异步电动机的反接制动控制	173
任务四 认识三相异步电动机的能耗制动控制	174
课题六 单相异步电动机的控制实例	175
任务一 认识电风扇的调速电路	175
任务二 认识电冰箱电路	176
任务三 认识家用洗衣机电路	177
任务四 认识空调器电路	179
课题七 常用生产机械控制电路实例	180
任务一 了解 C620-1 型车床控制电路	180
任务二 了解 Z3040 型摇臂钻床的电气控制电路	182

任务三 了解用凸轮控制器控制绕线式三相异步电动机电路	185
小结	187
项目六 供用电常识	190
课题一 电能的生产、输送与分配	190
任务一 了解电能的生产	190
任务二 认识电能的输送与分配	190
课题二 安全用电	191
任务一 认识人体触电	191
任务二 掌握防止触电的保护措施	193
课题三 节约用电	194
任务一 合理使用电气设备	195
任务二 提高用电功率因数	195
任务三 节约照明用电	195
任务四 推广节电新技术	195
小结	195
项目七 电能转换技术简介	197
课题一 电热转换技术	197
任务一 认识电阻加热	197
任务二 认识电弧加热	198
任务三 认识介质加热	199
任务四 认识感应加热	200
课题二 电光转换技术	200
任务一 掌握电气照明设备与控制线路	200
任务二 认识光电池	205
课题三 电声转换技术	206
任务一 了解声振动到电振动的转换	206
任务二 了解电振动到声振动的转换	208
课题四 电化学转换技术	209
任务一 掌握电池	209
任务二 认识电镀	211
任务三 认识电解	212
小结	212
参考文献	214

项目一 电工技术基础

人在日常生活、生产和科学研究等领域中,电路被广泛地应用。电路的形式多种多样,可归纳为两类,一类是进行能量传输、分配和转换;另一类是进行信息的处理。在前一类中,分为直流电路和交流电路两种。本项目先学习直流电路和交流电路的基础知识、基本规律,之后学习三相交流电的概念和连接方法。

课题一 直流电路

任务一 了解电路组成

(一) 电路组成

电路就是电流通过的路径。图 1-1 是手电筒的实物电路,它是简单的直流电路。在手电筒中,电流从电源的正极发出,经过开关、小灯泡到电源的负极,再经过电源的内部到正极,形成一个电流流通的路径,这个流通路径就是手电筒的电路。手电筒电路中的干电池是电源,小灯泡是电源的负载,开关和导线是中间环节。可见,完整的电路是由电源、负载和中间环节三部分组成的,常把完整的电路叫做全电路。

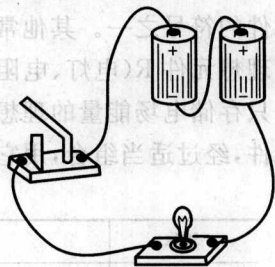


图 1-1 手电筒的实物电路

一个全电路还可以看成由内电路和外电路两个部分组成。

内电路即电源内部的电路,指的是从电源负极经内部到电源正极这一段电路。电源有两个重要的属性,我们以 5 号干电池为例来说明:在干电池空载(没有接负载因而不向外电路提供电流)时,用电压表连接在电池的两极间,能够测量到一定的电压值,一般略大于 1.5 伏特(V),这个电压的大小叫做该电池的电动势大小。也就是说,电源具有在两极间产生电压的属性,而且这个属性是用电动势这一物理量来表示的。测量证明了电源具有电动势,通常用字母 E 代表电源的电动势。在上述测量中,电池的电动势 E 约等于 1.5 V。电源的另一个属性是内电路具有微弱的阻碍电流通过的作用,这种阻碍作用叫做电源的内电阻,简称为内阻,用字母 r 表示。通过实验也能够把内阻 r 测量出来,干电池的内阻约等于 1 欧姆(Ω)。

外电路就是电源以外的电路,指的是从电源正极经中间环节和负载到电源负极这一段电路。连接在外电路中的负载对电流具有阻碍作用,因此外电路上有电阻,外电路的电阻表示为 R 。在电源的作用下,外电路的两端能够获得一定的电压,外电路两端的电压叫做路端电压,用 U 表示。

(二) 电路各部分的作用

在全电路中,三个组成部分的主要作用各不相同。

电源的作用是把其他能转换成电能。例如,干电池和蓄电池把化学能转换成电能;光电把太阳能转换成电能;发电机把机械能转换成电能;火力发电站把热能转换成电能;核电站把

原子能转换成电能等。这些能够把其他能转换成电能的装置都是电源。

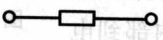
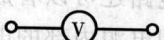
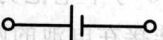
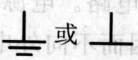
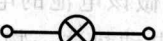
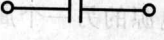
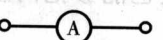
导线、开关等中间环节连接在电源和负载之间,在电能的传送过程中起着调整、分配和保护的作用。在照明电路中,开关和配电柜通过控制电路的通断来调整和分配电能;熔断器能够在电流过大的情况下自动切断电路,防止烧毁电气设备。

负载的作用是把得到的电能转换成需要的能量。在手电筒中,小灯泡可以把电能转换成热能和光能;在工厂的动力电路中,电动机可以把电能转换成机械能。正是这些负载,使人们方便地实现了电能向其他能的转换。所以整个电路的作用就是把其他能转换成电能,再把电能进行传输和转换。

(三) 电路元件

每一个电路都是由若干个实际电器连接而成的,这些电器就是电路元件,比如干电池、开关、小灯泡、电阻器等都是电路元件。为了方便研究电路的规律,需要将电路元件不重要的、与电学无关的性质忽略不计,同时突出元件最本质的电学特性来代表实际元件的主要功能,这种经过抽象的、只有本质特性的元件叫做理想元件。例如,一个干电池具有体积 V 、质量 m 、内阻 r 、电动势 E 等多种特性,其中内阻 r 和电动势 E 是它的电学特性。另外,内阻 r 很小,有时可以不计。人们忽略干电池的体积 V 、质量 m 和内阻 r ,认为它只有电动势 E ,这种只有电动势 E 的干电池就被抽象为理想电源。理想电源的符号是“ $\text{—}|$ ”,这是国家统一规定的、用来代表电器元件的符号之一。其他常用的理想电器元件的符号见表1-1。其中有把电能只转换成热能的理想元件 R (电灯、电阻炉、电烙铁等);只存储磁场能量的理想电感元件 L (各种电感线圈);只存储电场能量的理想电容元件 C (各种类型的电容器)。 R 、 L 、 C 这三种是最基本的理想元件,经过适当组合,用它们可以代表种类繁多的负载。

表 1-1 常用理想元件及符号

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	

利用符号代替实际元件,可以方便地绘制电路图。图1-2就是手电筒的电路图。

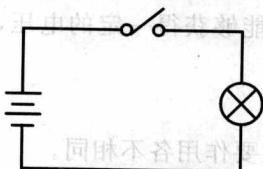


图 1-2 手电筒电路

任务二 了解电路主要物理量及相互关系

(一) 电流、电流密度

1. 电流

在电源与负载连接的时候,负载能够工作。例如电动机能够转动;电镀设备可以对工件进行电镀;电灯能够发热发光……实验表明,这些转动、化学反应和发光现象,都是由于电流经过负载而产生的。所谓电流就是做有规则定向运动的电荷。电荷总是附着在物体上,此时的物体是电荷的载体,因此也把带有电荷的物体叫做载流子。通常提到的自由电子、带正电和带负电的离子都是载流子。电荷与载流子的关系就像旅客与客车的关系,客车是旅客的载体,当客车行驶时旅客随之移动。同样的道理,载流子的定向运动使电荷也定向运动,这种定向运动的电荷就是电流。在金属导体中,电流是自由电子做有规则的定向运动而形成的;而在电解液或者气体中,电流则是带正电和带负电的离子做有规则的定向运动而形成的。这些自由电子、正离子和负离子都是带电物体,凡是带电物体的定向运动都形成电流。

电流的符号为 $I(\text{A})$,在数值上等于单位时间 $t(\text{s})$ 内通过导体横截面的电荷量 $Q(\text{C})$ 。即

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

在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安(A)。根据式(1-1)可知,如果导体中的电流是1安,则1秒内通过导体横截面的电荷量是1库仑(C)。即

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

常用电流的单位从高级向低级依次排列为千安(kA)、安培(A)、毫安(mA)、微安(μA),它们依次的换算关系是 10^3 。

电流的实际大小也可以用万用表内的电流表(安培表)来直接测量,用电流表测量时要求:

(1) 对交、直流电流应分别使用交流或直流电流表。

(2) 电流表必须串接到被测量的电路中。

(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。如图1-3所示。

(4) 合理地选用电流表的量程。如果量程选用不当,例如用小量程去测量大电流,就会烧坏电流表;若用大量程去测量小电流,会影响测量的准确度。在进行电流测量时,一般要先估计被测电流的大小,再选择电流表的量程。若一时无法估计,可先用电流表最大量程挡,当指针偏转不到三分之一刻度时,再改用较小一挡去测量,直到测得正确数值为止。

电流不但有大小,而且有方向,电流有方向是客观存在的。习惯上规定正电荷定向运动的方向为电流的实际方向。

负电荷定向运动也能形成电流,其方向应当如何确定呢?当负电荷向某个方向定向运动时,使导体内部的电荷分布发生改变,这种改变与正电荷朝反方向运动引起的改变等效,所以负电荷的运动就相当于等量正电荷在朝相反方向运动,可见,负电荷形成的电流方向跟它的定

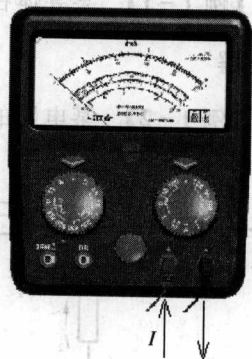


图 1-3 MF500 型万用表

向运动方向相反。

在分析比较复杂的电路时,往往难以判断电流的实际方向,而且交流电流的方向还随时间交变,更难表示出实际方向。为了解决这一困难,人们在分析电路时,往往完全不考虑电流的实际方向,而是假设一个电流方向,把这个假定的电流方向称为电流的正方向。在研究电流的实际方向时,电流的正方向起着参考的作用,因而把表示正方向意义的电流叫做参考电流。

正方向可以任意选定,用箭头或用双下标表示,如图 1-4 所示。

在图 1-4(a)中,参考电流可写为 I_{ab} ,表示电流正方向从 a 点指向 b 点,由于实际方向与正方向一致,实际电流也可以表示为 I_{ab} ,且实际电流 $I_{ab} > 0$ 。

在图 1-4(b)中,实际电流应表示为 I_{ab} ,参考电流应表示为 I_{ba} 。因 I_{ba} 为参考电流总是正值,故实际电流 $I_{ab} = -I_{ba} < 0$ 。

人们规定:如果电流的正方向与实际方向一致,则实际电流为正值;如果电流的正方向与实际方向相反,则实际电流为负值。这样就可利用实际电流的正、负值并结合正方向来确定电流的实际方向。

在图 1-5 中,箭头所示为电流的正方向,它从 a 指向 b。如果计算出来的电流 $I_{ab} < 0$,则说明电流的实际方向与正方向相反,那么实际电流的方向是从 b 指向 a 的。今后电路中所标注的电流方向都是正方向,不一定是电流的实际方向。

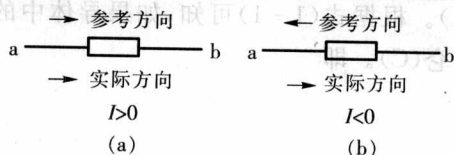


图 1-4 用箭头表示电流的正方向

图 1-5 电流实际方向的确定

以图 1-5 所示为例,在求实际电流 I 时,先把实际电流 I 的方向假定成与正方向 I_{ab} 一致,这就把参考电流 I_{ab} 暂时看成实际电流 I ,然后计算假定的实际电流 I_{ab} 的值。例如计算结果是 $I_{ab} = 1 \text{ A}$ 为负值,则说明前面对实际电流方向的假定错了,实际电流的方向应从 b 指向 a,也可以改正为 $I = I_{ba} = 1 \text{ A}$ 。

【例 1-1】 某导体在 0.5 s 内均匀通过的电荷量为 3 C,求导体中有多少电流通过?

解

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3 \text{ C}}{0.5 \text{ s}} = 6 \text{ A}$$

【例 1-2】 某电路的局部电路如图 1-6 所示。已知电流 $I_1 = 2 \text{ A}$,从 a 指到 d; $I_3 = 5 \text{ A}$,从 b 指到 d。求电流 I_2 。

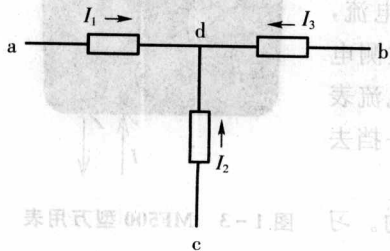


图 1-6 例 1-2 附图电路

解 首先假定 I_2 的实际方向与图中的正方向一致,由 c 指向 d。

分析 由日常观察可知,电流通过导体时,电路上的任何一点都不会出现载流子的积累。假设 d 点在长期通电的过程中不断积累自由电子,d 点的导体就会不断胀大体积,但这不符合日常观察的结果。也就是说在 d 点不会堆积电荷,所有流入 d 点的电荷都必然流出 d 点,经过 d 点的电流之和应当为 0。

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$2 \text{ A} + I_2 + 5 \text{ A} = 0$$

所以

代入数值

得

$$I_2 = -5 \text{ A} - 2 \text{ A} = -7 \text{ A}$$

可见 I_2 的实际大小是 7 A, 实际方向从 d 指向 c。

2. 电流密度

电流通过导体时, 电流在导体横截面上各点的分布可以是均匀的, 也可以是不均匀的。当电流在不均匀导体或者在高频电路中, 各点的电流分布就不均匀了。

为了描述导体内各点电流分布的情况, 引入电流密度这个物理量。电流密度就是当电流在导体的横截面上均匀分布时, 该电流 I 与导体横截面 S 的比值。电流密度用 J 来表示, 即

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-2)$$

式中 I ——电流(A);

S ——导体的横截面积(mm^2);

J ——电流密度(A/mm^2)。

由上式可得: $I = JS$, 所以导线允许通过的电流受到导体允许的电流密度 J 和导体截面积 S 大小的限制。导线截面积越大, 允许通过的电流也大。如果导线中通过的电流超过允许值时, 导线将因发热过多而出现事故。

【例 1-3】 如果横截面为 4.5 mm^2 的导线内, 通过 18 A 的电流, 试求导线中的电流密度。

解

$$J = \frac{I}{S} = \frac{18 \text{ A}}{4.5 \text{ mm}^2} = 4 \text{ A}/\text{mm}^2$$

(二) 电位、电位差、电压

1. 电场和电位能

大家知道, 磁体能够自发地在其周围空间产生磁场, 一个磁体可以通过自己产生的磁场对另一个磁体施加力的作用。与之相似, 电荷也能够自发地在其周围空间产生电场, 一个电荷也可以通过自己产生的电场对另一个电荷施加力的作用, 这是电荷的基本属性。

另外, 在物理学中, 功这个物理量是用来对能量变化了多少进行量度的。如果功不等于零时, 表明物体的能量一定会改变。

现在我们运用以上观点考察以下现象:

设想甲电荷在其周围产生了电场, 我们把一个电量为 Q 的乙电荷放到该电场的 A 点, 电场就对乙电荷施力, 把这个电荷移动到另一点 B, 在移动过程中电场力对乙电荷做了功 W_{AB} 。如前所述, 电场既然对乙电荷做了功, 表明乙电荷的能量会发生增加或减少的改变。一个电荷在电场中, 如果从 A 点移动到 B 点时能量出现减少, 则说明该电荷处于 A 点时所具有的能量高, 处于 B 点时所具有的能量低。显然, 这个能量的高低与位置有关, 这种与电荷在电场中所处的位置有关的能量叫做电位能。电荷在 A、B 点的电位能分别记为 W_A 和 W_B 。电位能的改变量 ($W_A - W_B$) 跟功 W_{AB} 相等。即

$$W_{AB} = W_A - W_B \quad (1-3)$$

2. 电位

如前所述, 同一个电荷 Q 在电场中的不同位置 A、B 时, 就具有不同的电位能 W_A 和 W_B 。可见, 不同位置的电场使电荷获得能量的性质也不同, 为了表示电场与能量相关的性质, 引入电位的概念如下。

电位的定义: 设有一个电量是 Q 的正电荷处在电场中的 A 点, 它所具有的电位能是 W_A , 物理学中把比值 $\frac{W_A}{Q}$ 叫做 A 点电场的电位, 用 φ_A 表示。

$$\text{即} \quad \varphi_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-4)$$

电位的国际单位是伏特,单位符号是V。如果 $W_A=1\text{J}$, $Q=1\text{C}$,则 $\varphi_A=1\text{J}/1\text{C}=1\text{V}$ 。可见,某点电场的电位,在数值上等于单位正电荷在该点所具有的电位能。

与用 φ_A 表示A点电场的电位一样,我们同样地可以用 φ_B 表示B点电场的电位。

上式可以改为 $W_A=\varphi_A Q$,同样 $W_B=\varphi_B Q$ 。在 Q 相同的情况下,如果 $\varphi_A>\varphi_B$,则 $W_A>W_B$,即电荷 Q 在A点电场中获得的电位能更高。所以,电位 φ_A 表示了A点电场的能量性质更强。

需要强调指出的是:在电源上,由于正极含有最多的正电荷,负极具有最多的负电荷,所以电源正极的电位最高,负极的电位最低。在内电路上,越接近电源正极的位置电位越高;在外电路上,越接近电源正极的位置电位越高。

在进行电路分析时,还要研究电路中各点电位的高低。为了求得电路中各点的电位值,必须在电路中选择一点,把它作为比较各点电位高低的参考点。参考点的电位规定为零,因此又叫零电位点。参考点的位置可以任意选择,在实际电路中常以接机壳或接地作为公共参考点,即零电位点。用接地符号表示为: $\perp$ 。

如果改变了参考点的位置,电路中各点电位值通常也会随之改变。

【例1-4】以电场中的C点为参考点,电量是 $Q=2\text{C}$ 的电荷在电场中的A点时,具有10J的电位能;该电荷被电场力移动到B点时,它具有4J的电位能。求:(1)A点电场的电位;(2)B点电场的电位。

解 (1)A点电场的电位 $\varphi_A = \frac{10\text{J}}{2\text{C}} = 5\text{V}$

(2)B点电场的电位 $\varphi_B = \frac{4\text{J}}{2\text{C}} = 2\text{V}$

由于相对于C点而言, φ_A 比 φ_B 的数值更大,所以A点的电位比B点的电位高。

3. 电位差

在外电路上,越接近电源正极的位置电位越高,越接近电源负极的位置电位越低。那么,这两个位置之间就存在电位的差别。为表示两点间电位的差别有多少,需要引入电位差的概念。电路中A、B两点间的电位差 φ_{AB} 就是这两点电位的差。即

$$\varphi_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-5)$$

电位差的国际单位也是伏特。

如果改变了参考点的位置,电路中各点的电位通常会改变,但是两点间的电位差不会改变。这就像当测量楼房的基准平面改变时,被测楼房的高度值会改变,但是楼顶到楼底的高度差不会改变一样。

4. 电压

通过前面的学习,我们已经知道电场力对置于其中的电荷能够做功。为了表示电场做功的能力大小,我们引入电压这一物理量。电压就是用来描述电场做功本领大小的物理量。

设有一个电荷量为 Q 的正电荷处于电场中的A点,在电场力的作用下移动到B点,电场力对正电荷做的功为 W_{AB} 。我们定义:电场力把正电荷 Q 从A点移到B点所做的功 W_{AB} 与被移动的电荷量 Q 的比值称为A、B两点间的电压,用符号 U_{AB} 表示,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-6)$$

式中 W_{AB} ——电场力做的功(J);

Q ——电荷量(C);

U_{AB} ——A、B 两点间的电压(V)。

常用的电压单位从高级向低级依次排列为千伏(kV)、伏(V)、毫伏(mV)、微伏(μ V), 它们的换算关系是 10^3 。

由公式(1-6)得 $W_{AB}=QU_{AB}$, 可见在 Q 相同的情况下, 如果 U_{AB} 越高, 则功 W_{AB} 越大。所以, 电压 U_{AB} 表示了电场做功本领的大小。

电压 U_{AB} 越高时, 电场对电荷做的功就越大, 电荷被移动得就越快, 形成的电流也越大; 电压 $U_{AB}=0$ 时, 电场对电荷不做功, 就没有电荷被移动, 因而不能形成电流。所以, 电压是形成电流的原因。

电源能够在电路的两端维持一定的电压, 因此电路中才有电流。

电压与电位差的关系紧密, 现推导说明如下

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} = \varphi_A - \varphi_B$$

即 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ (1-7)

可见, 电路中某两点的电压就是该两点的电位差, 故电压也称电位差。正是这个原因, 使得电压的高低与参考点的选择无关。

5. 电压的方向和电压的测量

电压也有方向。电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即为电位降的方向。例如外电路两端的电压就是从电源的正极经过负载指向负极的。

在分析某段电路时, 可以在该电路上任意选定一个方向, 把它作为实际电压的参考方向, 这个参考方向叫做该段电路电压的正方向, 这个电压又叫做参考电压。选定电压正方向的方法用图 1-7 所示的电路加以说明: 任选一点例如 A 点并设为高电位点, 标以“+”号。B 点相对于 A 点就是低电位点, 标以“-”号。那么, 这段电路电压的正方向是从 A 点指向 B 点, 当电压的正方向与实际电压的方向一致时实际电压为正值; 反之为负值。因此, 当电压的正方向选定后, 电压就成为代数量。

电压的正方向有三种表示法: 如图 1-8 所示。图 1-8(a)用“+”“-”标号分别表示假定的高电位端和低电位端; 图 1-8(b)则用箭头的指向表示, 箭头由高电位端指向低电位端; 图 1-8(c)用双下标来表示, 电压的方向即从下角标的第一个字母指向第二个字母, 如 U_{AB} 即表示 A 点的电位高, B 点的电位低。这三种表示方式可以互相代用。

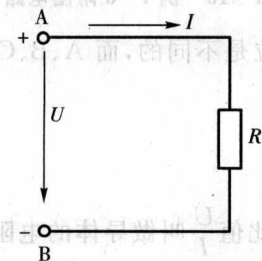


图 1-7 电压的正方向

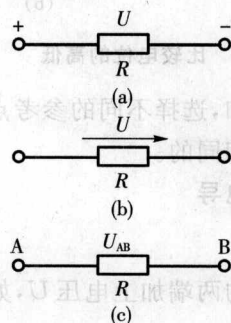


图 1-8 电压正方向的表示法

电路中两点之间的电压可以用万用表内的电压表(伏特表)来测量。在测量电压时应注意

下列几点:

- (1) 对交、直流电压应分别使用交流电压表和直流电压表。
- (2) 电压表必须并联在被测电路的两端。
- (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相一致,即“+”端接高电位,“-”端接低电位;否则指针会反转,并损坏电压表。
- (4) 合理地选择量程,其方法和电流表相同。

测量电压的方法也可用于测量电路中某点的电位。由于参考点的电位规定为零,所以电路中某点的电位值就等于该点与参考点之间的电压。

【例 1-5】 如图 1-9 所示,求 C、A 两点之间的电压。

解 在(a)图中,以 A 为参考点

$$\begin{aligned} U_{CA} &= \varphi_C - \varphi_A \\ &= 9 \text{ V} - 0 = 9 \text{ V} \end{aligned}$$

在(b)图中,以 B 为参考点

$$\begin{aligned} U_{CA} &= \varphi_C - \varphi_A \\ &= 6 \text{ V} - (-3 \text{ V}) = 9 \text{ V} \end{aligned}$$

【例 1-6】 求图 1-10 所示电路中 A、B、C 点的电位及它们之间的电位差。

解 在(a)图中,以 A 点为参考点

$$\begin{aligned} \varphi_A &= 0, \varphi_B = -5 \text{ V}, \varphi_C = +5 \text{ V} \\ U_{AB} &= \varphi_A - \varphi_B = 0 - (-5 \text{ V}) = +5 \text{ V} \\ U_{BC} &= \varphi_B - \varphi_C = (-5 \text{ V}) - (+5 \text{ V}) = -10 \text{ V} \end{aligned}$$

在(b)图中,以 B 点为参考点

$$\begin{aligned} \varphi_B &= 0, \varphi_A = +5 \text{ V}, \varphi_C = +10 \text{ V} \\ U_{AB} &= \varphi_A - \varphi_B = (+5 \text{ V}) - 0 = +5 \text{ V} \\ U_{BC} &= \varphi_B - \varphi_C = 0 - (+10 \text{ V}) = -10 \text{ V} \end{aligned}$$

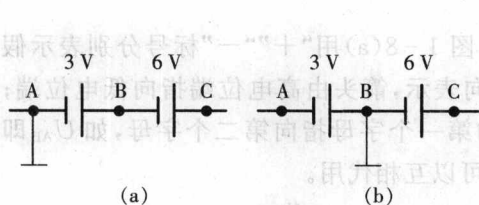


图 1-9 比较电位的高低

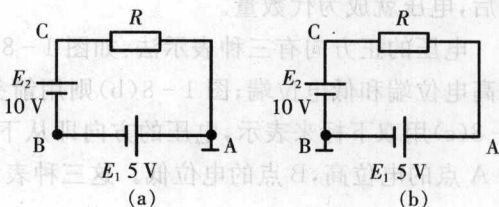


图 1-10 例 1-6 附图电路

由此计算可知,选择不同的参考点时,A、B、C 三点的电位是不同的,而 A、B、C 任意两点之间的电压却是相同的。

(三) 电阻和电导

1. 电阻

在一段导体的两端加上电压 U ,如果导体中的电流为 I ,比值 $\frac{U}{I}$ 叫做导体的电阻。电阻用字母 R 表示。则有

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-8)$$