

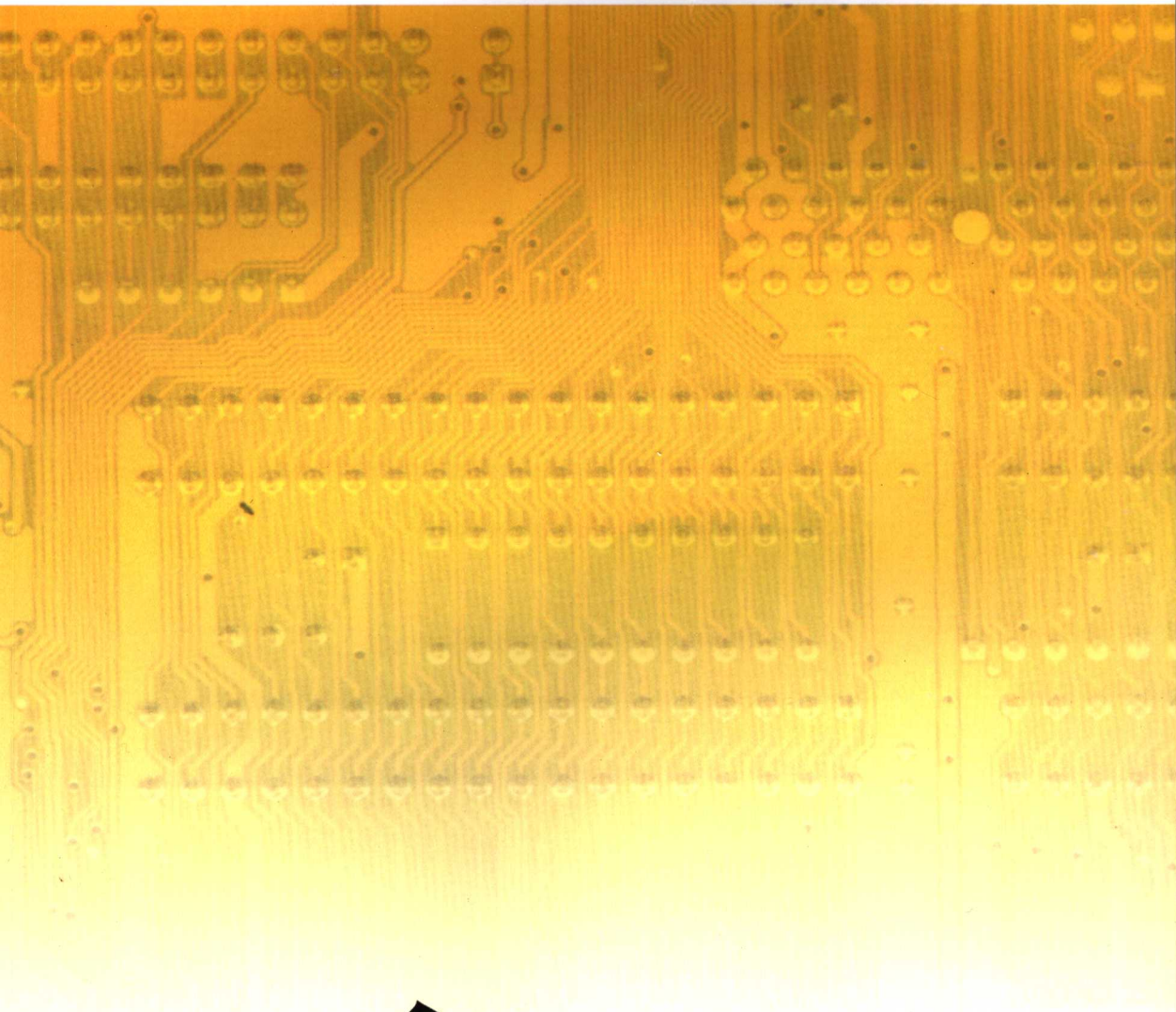


教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

Diangong Jichu

电工基础

主 编 王继达 罗贵隆



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

电工基础

主 编 王继达 罗贵隆
副主编 左朝君 王欢海 陈毅朋

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

内容提要

“电工基础”是电类专业的专业基础课程,具有基础性、应用性和先进性的特点。电工基础知识的应用极为广泛,日益渗透到其他领域,在我国经济建设中占有重要的地位。

本书主要介绍电路的基本定律、分析方法、正弦交流电路、非正弦交流电路、三相电路、电路的暂态分析、电工仪表、安全用电等。学生通过对本书的学习能够系统地掌握电工学的基本概念、基本定律、基本理论和基本分析方法,从而逐步培养分析问题、解决问题的能力。

本书可作为高等职业教育电子信息大类的电工基础、电工学教材,也可作为其他相关专业的辅助参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/王继达,罗贵隆主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006.5

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

高等职业教育应用电子技术专业系列教材

ISBN 7-5629-2367-1

I. 电… II. ①王… ②罗… III. 电工学-高等学校:技术学校-教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 155144 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮政编码 430070)

HTTP://www.techbook.com.cn

duanchao@mail.whut.edu.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:14.75

字 数:290 千字

版 次:2006 年 5 月第 1 版

印 次:2006 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~5000 册

定 价:23.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

凡使用本教材的教师,可拨打(027)87385610 或通过邮件免费索取电子教案光盘。

前 言

“电工基础”是高等职业院校电类专业的重要专业基础课程。本书是根据国家教育部最新制订的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》，结合当前高职高专电子电工类专业“电工基础”课程实际教学需要编写的一本专业基础课教材，可供高等职业院校电子电工类专业及从事电力、电信等行业的工程技术人员参考。

本书充分考虑适应当前职业教育教学改革的需要，教材内容注重各章节知识的连贯性及知识深度，理论联系实际，以必须够用为度，尽量降低纯理论分析，加强对学生实用技能的培养。教材编写力求做到叙述简练、概念清晰、通俗易懂。例题、习题安排合理，结合实际并具有一定的代表性。同时，书后还附有 10 个基本实验项目，以便加深学生对基本概念的理解。

本书由王继达（山东省第二技术学院）、罗贵隆（山西综合职业技术学院）担任主编。参加本书编写的人员还有：左朝君（山东省第二技术学院）、王欢海（山东省第二技术学院）、陈毅朋（山西综合职业技术学院）、赵玲（山东省第二技术学院）。

本书在编写过程中得到了武汉理工大学出版社的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 1 月

目 录

1 电路的基本知识和基本定律	(1)
1.1 电路及电路图	(1)
1.1.1 电路和电路的组成	(1)
1.1.2 电路图	(2)
1.1.3 电路的工作状态	(3)
1.2 电流	(3)
1.2.1 电流的形式	(3)
1.2.2 电流的方向	(3)
1.2.3 电流的大小	(4)
1.2.4 电流密度	(5)
1.3 电压与电位	(5)
1.3.1 电压	(5)
1.3.2 电位	(6)
1.3.3 电压与电位的关系	(6)
1.4 电阻与电导	(8)
1.4.1 电阻	(8)
1.4.2 电阻定律	(8)
1.4.3 电阻与温度的关系	(8)
1.4.4 电阻器的主要指标	(10)
1.4.5 电导	(12)
1.5 部分电路欧姆定律	(12)
1.5.1 部分电路欧姆定律	(12)
1.5.2 电压、电流关系曲线	(13)
1.6 电动势	(14)
1.6.1 电动势	(14)
1.6.2 电动势与端电压的关系	(15)
1.7 全电路欧姆定律	(16)
1.7.1 全电路欧姆定律	(16)
1.7.2 电源的外特性	(17)
1.8 电路中各电位的计算	(17)

1.8.1	电位的计算	(18)
1.8.2	电路中两点间电压的计算	(19)
1.9	电功与电功率	(20)
1.9.1	焦耳定律	(20)
1.9.2	电功	(21)
1.9.3	电功率	(21)
	思考题与习题	(24)
2	简单直流电路	(27)
2.1	电阻的串联	(27)
2.1.1	电阻的串联	(27)
2.1.2	串联电路的特点	(28)
2.1.3	应用举例	(29)
2.2	电阻的并联	(30)
2.2.1	电阻的并联	(30)
2.2.2	并联电路的特点	(30)
2.2.3	应用举例	(31)
2.3	电阻的混联	(33)
2.3.1	分析步骤	(33)
2.3.2	应用举例	(33)
2.4	直流电桥平衡的条件	(35)
2.4.1	直流电桥电路	(35)
2.4.2	直流电桥的原理	(35)
2.4.3	直流电桥电路应用举例	(36)
2.5	负载获得最大功率的条件	(36)
	思考题与习题	(38)
3	复杂直流电路	(40)
3.1	基尔霍夫定律	(40)
3.1.1	常用电路名词	(40)
3.1.2	基尔霍夫电流定律(KCL)	(41)
3.1.3	基尔霍夫电压定律(KVL)	(42)
3.2	支路电流法	(43)
3.3	电压源、电流源及等效变换	(43)
3.3.1	电压源	(43)
3.3.2	电流源	(44)
3.3.3	两种实际电源模型之间的等效变换	(44)

3.4 叠加定理	(46)
3.4.1 叠加定理的内容	(46)
3.4.2 应用举例	(46)
3.5 戴维宁定理	(48)
3.5.1 二端网络的有关概念	(48)
3.5.2 戴维宁定理	(48)
3.5.3 典型例题	(48)
3.6 节点电压法	(50)
3.6.1 节点电压	(50)
3.6.2 节点电压法	(50)
3.6.3 典型例题	(50)
思考题与习题	(52)
4 电容器	(57)
4.1 电容器及电容量	(57)
4.1.1 电容器	(57)
4.1.2 电容	(58)
4.1.3 平行板电容器的电容	(59)
4.1.4 电容的基本特性	(59)
4.2 电容器的连接	(60)
4.2.1 电容器的串联	(60)
4.2.2 电容器的并联	(61)
4.3 电容器的充电和放电	(62)
4.3.1 电容器的充电	(62)
4.3.2 电容器的放电	(62)
4.3.3 电容器充放电电流	(63)
4.3.4 电容器中的电场能量	(63)
4.3.5 电容器在电路中的作用	(64)
4.3.6 电容器质量的判别	(64)
4.4 RC 电路的暂态过程	(64)
4.4.1 RC 电路的充电	(64)
4.4.2 RC 电路的放电	(65)
4.4.3 时间常数	(66)
4.5 电容器的种类和选用	(67)
4.5.1 电容器的种类	(67)
4.5.2 电容器的选用	(68)

思考题与习题	(70)
5 磁路	(72)
5.1 磁的基本知识	(72)
5.1.1 磁体与磁极	(72)
5.1.2 磁场与磁力线	(73)
5.1.3 电流的磁场	(73)
5.2 磁通和磁感应强度	(75)
5.2.1 磁通	(75)
5.2.2 磁感应强度	(75)
5.3 磁导率和磁场强度	(76)
5.3.1 磁导率	(76)
5.3.2 磁场强度	(77)
5.4 磁场对载流导体的作用	(78)
5.4.1 磁场对载流直导体的作用	(78)
5.4.2 磁场对直线电流的作用力	(79)
5.4.3 磁场对通电矩形线圈的作用	(80)
5.4.4 电流表工作原理	(81)
5.5 铁磁性物质的磁化	(82)
5.5.1 铁磁性物质的磁化	(82)
5.5.2 磁化曲线	(83)
5.5.3 磁滞回线	(84)
5.6 电磁感应	(85)
5.6.1 电磁感应现象	(85)
5.6.2 电磁感应定律	(86)
5.6.3 右手定则与楞次定律的一致性	(90)
5.7 自感电动势与自感系数	(91)
5.7.1 自感现象	(91)
5.7.2 自感系数	(92)
5.7.3 电感的计算	(92)
5.7.4 自感电动势	(93)
5.7.5 自感现象的应用	(93)
5.7.6 自感的危害	(94)
5.7.7 磁场能量	(94)
5.8 互感现象与同名端	(95)
5.8.1 互感现象	(95)

5.8.2	互感系数	(95)
5.8.3	耦合系数	(96)
5.8.4	互感电动势	(96)
5.8.5	互感线圈的同名端	(97)
5.8.6	互感线圈的串联	(98)
5.9	RL 电路暂态过程	(99)
5.9.1	RL 电路接通电源	(99)
5.9.2	RL 电路切断电源	(99)
5.10	磁路与磁路欧姆定律	(101)
5.10.1	磁路的概念	(101)
5.10.2	磁路的欧姆定律	(102)
5.10.3	全电流定律	(102)
5.11	电磁铁	(103)
5.12	涡流	(105)
5.12.1	涡流	(105)
5.12.2	磁屏蔽	(107)
	思考题与习题	(111)
6	单相正弦交流电	(115)
6.1	正弦交流电动势的产生	(115)
6.1.1	交流电的概念	(115)
6.1.2	正弦交流电动势的产生	(116)
6.1.3	正弦交流电	(118)
6.1.4	交流发电机简介	(118)
6.2	正弦交流电的基本物理量	(119)
6.2.1	周期与频率	(119)
6.2.2	瞬时值、最大值和有效值	(120)
6.2.3	相位、初相位和相位差	(121)
6.3	正弦交流电的相量图表示	(123)
6.3.1	解析式表示法	(123)
6.3.2	波形图表示法	(123)
6.3.3	相量图表示法	(123)
6.4	纯电阻正弦交流电路	(125)
6.4.1	电压、电流的瞬时值关系	(125)
6.4.2	电压、电流的有效值关系	(125)
6.4.3	相位关系	(125)

6.4.4 纯电阻电路的功率	(126)
6.5 纯电感电路	(127)
6.5.1 电流与电压的关系	(127)
6.5.2 感抗的概念	(128)
6.5.3 感抗的因素	(128)
6.5.4 线圈在电路中的作用	(129)
6.6 纯电容电路	(129)
6.6.1 电容对交流电的阻碍作用	(129)
6.6.2 电流与电压的关系	(129)
6.7 RL 串联电路	(130)
6.7.1 电压与电流的关系	(130)
6.7.2 阻抗	(131)
6.8 RC 串联电路	(132)
6.9 RLC 串联电路	(132)
6.9.1 RLC 串联电路的电压关系	(132)
6.9.2 RLC 串联电路的阻抗	(133)
6.9.3 RLC 串联电路的性质	(133)
6.10 串联谐振电路	(134)
6.10.1 谐振条件与谐振频率	(134)
6.10.2 串联谐振电路的特点	(135)
6.10.3 串联谐振的应用	(135)
6.11 并联谐振电路	(137)
6.11.1 电感线圈和电容的并联电路	(137)
6.11.2 并联谐振电路的特点	(137)
6.12 提高功率因数的意义和方法	(138)
6.12.1 正弦交流电路功率的基本概念	(138)
6.12.2 电阻、电感、电容电路的功率	(140)
6.12.3 功率因数的提高	(141)
思考题与习题	(146)
7 三相正弦交流电	(150)
7.1 三相正弦交流电源电动势的产生	(150)
7.1.1 三相交流电动势的产生	(150)
7.1.2 对称三相电动势	(150)
7.1.3 相序	(151)
7.2 三相电源绕组的连接	(152)

7.2.1 三相电源绕组的星形(Y形)接法	(152)
7.2.2 三相电源绕组的三角形(Δ 形)接法	(152)
7.3 三相负载的连接	(153)
7.3.1 负载的星形连接	(153)
7.3.2 负载的三角形连接	(154)
7.4 对称三相电路的分析	(155)
7.4.1 电源与负载均作星形连接的对称三相电路	(155)
7.4.2 电源与负载均作三角形连接的对称三相电路	(156)
7.5 三相电路的功率	(159)
7.6 特殊不对称三相电路的分析	(160)
7.7 中线的作用	(164)
7.7.1 中点位移	(164)
7.7.2 三相四线制不对称电路	(164)
思考题与习题	(166)
8 非正弦交流电	(169)
8.1 非正弦交流电的产生	(169)
8.2 非正弦交流电的分解	(170)
8.2.1 非正弦波的合成	(170)
8.2.2 非正弦波的分解	(170)
8.2.3 常见的非正弦波形	(171)
8.3 非正弦交流电的计算	(172)
8.3.1 有效值	(172)
8.3.2 非正弦交流电的平均值	(172)
8.3.3 波形因数与波顶因数	(172)
8.3.4 平均功率	(173)
思考题与习题	(174)
9 安全用电	(175)
9.1 电流对人体的伤害及触电方式	(175)
9.1.1 电流对人体的伤害	(175)
9.1.2 触电方式	(176)
9.2 电气设备的接地与接零	(177)
9.2.1 工作接地	(177)
9.2.2 保护接地	(178)
9.2.3 保护接零	(178)
9.2.4 重复接地	(180)

9.3 安全用电常识	(181)
9.3.1 安全用电须知	(181)
9.3.2 触电急救常识	(181)
思考题与习题	(182)
10 电工测量	(184)
10.1 概述	(184)
10.1.1 常用电工测量仪表的分类	(184)
10.1.2 电工仪表的准确度等级	(185)
10.2 磁电式仪表和电磁式仪表	(186)
10.2.1 磁电式仪表	(186)
10.2.2 电磁式仪表	(188)
10.3 电流和电压的测量	(189)
10.3.1 电流的测量	(189)
10.3.2 电压的测量	(191)
10.4 电动式仪表、功率测量	(192)
10.4.1 电动式仪表	(192)
10.4.2 功率的测量	(193)
10.5 万用表	(196)
思考题与习题	(200)
实验	(203)
实验一 电位的测量	(203)
实验二 欧姆定律的验证	(204)
实验三 基尔霍夫定律验证	(205)
实验四 叠加定律验证	(207)
实验五 戴维宁定理验证	(208)
实验六 电磁感应	(211)
实验七 互感现象	(212)
实验八 电容器的充放电	(214)
实验九 日光灯线路的安装及提高功率因数的方法	(215)
实验十 三相负载的星形-三角形连接	(217)
参考文献	(222)

1 电路的基本知识和基本定律

本章提要

1. 掌握电路的基本组成。
2. 掌握电位的相对性和电压的绝对性。
3. 掌握欧姆定律及其计算。
4. 掌握电路中各点电位的计算。
5. 掌握电功和电功率。

1.1 电路及电路图

1.1.1 电路和电路的组成

在日常生活中,把一个灯泡通过开关、导线和干电池连接起来,就组成了一个照明电路,如图 1.1 所示。当合上开关,电路中就有电流通过,灯泡就亮起来。在工厂的动力用电中,电动机在开关、导线和电源接通时,有电流通过,电动机就转起来。这种把各种电气设备和元件,按照一定的连接方式构成的电流通路称为电路。换句话讲,就是电流所流经的路径称为电路。

任何一个完整的实际电路,不论其结构和作用如何,通常总是由电源、负载和中间环节(导线和开关)等基本部分组成。

1. 电源

电源是将其他形式的能量转变成电能的装置,即电路中产生电能的设备。如发电机、蓄电池、光电池等都是电源。发电机是将机械能转换成电能;蓄电池是将化学能转换成电能;光电池是将光能转换成电能。电源在电路中的作用是提供电能。

2. 负载(用电器)

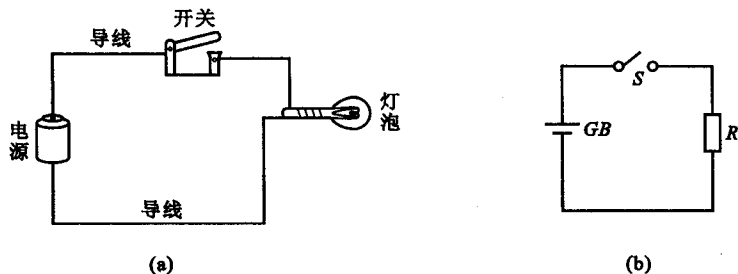


图 1.1 实际电路及其电路模型

负载是将电能转换成其他形式能量的装置。电灯泡、电炉和电动机等都是负载。电灯泡是将电能转换成光能；电炉是将电能转换成热能；电动机是将电能转换成机械能。负载的作用是利用电能。

3. 导线和开关

导线是用来连接电源和负载的元件。它能把电源产生的电能输送到用电器。常用铜、铝等材料制成。开关是控制电路接通和断开的装置。导线的作用是传递电能；开关的作用是控制电路。

电路中根据需要还装配有其他辅助设备，如各种测量仪表、熔断器等。

1.1.2 电路图

图 1.1(a)所示是用电气设备的实物图形表示的实际电路。它的优点是直观，但画起来很复杂，不便于分析和研究。因此，在分析和研究电路时，总是把这些实际设备抽象成一些理想化的模型，用规定的图形符号表示，画出其电路模型图，如图 1.1(b)所示。这种用统一规定的图形符号画出的电路模型图称为电路图。

电路图中常用的部分图形符号如表 1.1 所示。

表 1.1 部分电工图形符号 (摘自 GB 4728—85)

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻器		接机壳
	电池		电位器		接地
	发电机		电容器		端子
	线圈		电流表		连接导线
	铁芯线圈		电压表		不连接导线
	抽头线圈		二极管		熔断器
					灯

1.1.3 电路的工作状态

1. 通路(闭合)

通路就是电路各部分连接成的闭合回路,也就是图 1.1 所示电路中开关合上时的工作状态,这时电路中有电流通过。必须注意处于通路状态的各种电气设备的电压、电流、功率等数值不能超过其额定值。

2. 断路(开路)

断路就是电源与负载未接成闭合电路,也就是图 1.1 所示电路中开关断开时的工作状态,这时电路中没有电流通过。在实际电路中,电气设备之间,电气设备与导线之间连接时的接触不良也会使电路处于断路状态。

3. 短路

短路就是把电路中某一部分的两端直接由导线(导体)构成通路,电流从短路线上通过,如图 1.2 所示。电源 U 被 ab 短路, R 也由 ab 短路。电源两端短路时,电路中流过比正常工作时大得多的电流,可能烧坏电源和其他设备,所以应严防电路中电源两端发生短路。

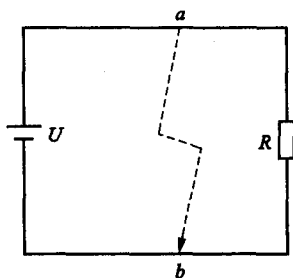


图 1.2 短路

1.2 电 流

1.2.1 电流的形式

电荷的定向移动形成电流。在金属导体中,电流是电子在外电场作用下有规则的运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正离子或负离子在电场力作用下有规则的运动形成的,所以要在导体中形成持续的电流,首先要有能够自由移动的电荷——自由电荷。但只有自由电荷不能形成电流,这些自由电荷只做无规则的热运动,自由电荷朝任何方向运动的几率都一样,故不能形成电流。如果把导体放入电场中,导体中的自由电荷除了做无规则的热运动外,还会在电场力作用下做定向移动形成电流。这就是导体中形成电流的条件。

1.2.2 电流的方向

在不同的导电物质中,形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至两者都有。规定以正电荷移动的方向为电流的方向。

在分析计算电路时,常常要求出电流的方向,但当电路比较复杂时,某段电

路中电流的实际方向往往难以确定,此时可先假定电流的参考方向,然后列方程求解,当解出电流为正值时就认为电流方向与参考方向一致,如图 1.3(a)所示;反之,当电流为负值时,就认为电流方向与参考方向相反,如图 1.3(b)所示。

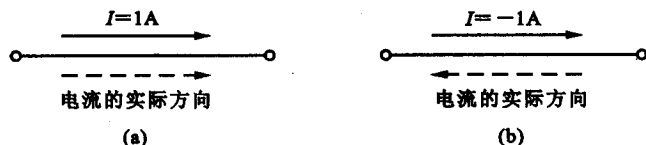


图 1.3 电流的方向

1.2.3 电流的大小

电流既是一种物理现象,又是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量。电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电量,通过的电量越多就表示流过该导体中的电流越强,反之越弱。通常以单位时间内通过导体横截面的电量来表示电流的大小,以字母 I 表示。若在 t 秒钟内通过导体横截面的电量是 q ,则电流可用下式表示:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.1)$$

在国际单位制中,电流单位的名称是安培,简称安,用符号 A 表示。电量单位的名称是库仑,简称库,用 C 表示。若在 1s 内通过导体横截面的电量为 1C,则电流强度就是 1A。

电流的单位还有 kA、mA、 μ A,其换算关系是:

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

电流分直流电流和交流电流两大类。凡大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流,简称直流(简写作 DC);凡大小和方向都随时间变化的电流,称为交变电流,简称交流(简写作 AC)。

交流电流的大小是随时间变化的,我们可以在一个很短的时间 Δt 内研究它的大小。在 Δt 时间内,若通过导体横截面的电量是 Δq ,则瞬时电流强度 i 为:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.2)$$

一个实际电路中的电流大小可以用电流表来测量。测量直流电流时,必须将电流表串联在电路中,并使电流从电流表的正端流入,负端流出。同时要选择好电流表的量程(测量范围),使其大于实际电流的数值,否则可能损坏电流表。

【例 1.1】 某导体在 5min 内均匀通过的电荷量为 4.5C,求导体中的电流是多少?

解

$$I = \frac{q}{t} = \frac{4.5}{60 \times 5} = 0.015\text{A}$$

1.2.4 电流密度

在实际工作中,有时需要选择导线的粗细(截面),这就要用到电流密度这一概念。所谓电流密度就是当电流在导体横截面上均匀分布时,该电流与导体横截面面积的比值。电流密度 J 可用下式表示:

$$J = \frac{I}{S} \quad (1.3)$$

在式(1.3)中,当电流的单位为 A,面积的单位为 mm^2 时,电流密度单位为 A/mm^2 。导线允许通过的电流根据导体横截面不同而不同。例如: 1mm^2 的铜导线允许通过 6A 的电流; 2.5mm^2 的铜导线允许通过 15A 的电流。当导线中实际通过的电流超过允许电流时,导线将会发热,甚至造成事故。

【例 1.2】 某照明电路中需要通过 21A 的电流,问应采用多粗的铜导线?(设铜导线的允许电流密度为 $6\text{A}/\text{mm}^2$)

解

$$S = \frac{I}{J} = \frac{21}{6} = 3.5\text{mm}^2$$

1.3 电压与电位

1.3.1 电压

带电体的周围存在着电场(电场),电场对处在电场中的电荷有力的作用。当电场力使电荷移动时,我们就说电场力对电荷做了功。如图 1.4 所示的电场中,电场力 F 把正电荷 Q 从 a 点移到 b 点,所做的功 $A_{ab} = FL_{ab}$ 。如果电荷的电荷量增加一倍,那么作用在电荷上的电场力也增加一倍,电场力所做的功也相应增加一倍。也就是说,电场力所做的功 A_{ab} 是与电荷量成正比的。为了衡量电场力移动电荷做功的能力,我们引入电压这个物理量,规定电场力把单位正电荷从电场中 a 点移动到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点的电压,用 U_{ab} 表示:

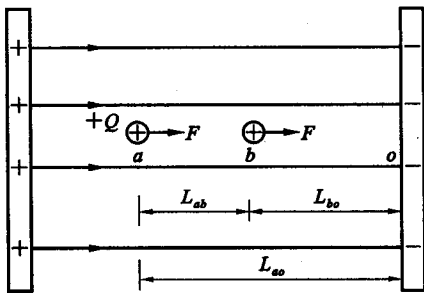


图 1.4 电场力对电荷做功

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1.4)$$

电压的单位名称是伏特,简称伏,用符号 V 表示。当电场力把 1C 电量的正电荷从 a 点移到 b 点,如果所做的功为 1J,那么 a 、 b 两点间的电压就是 1V。