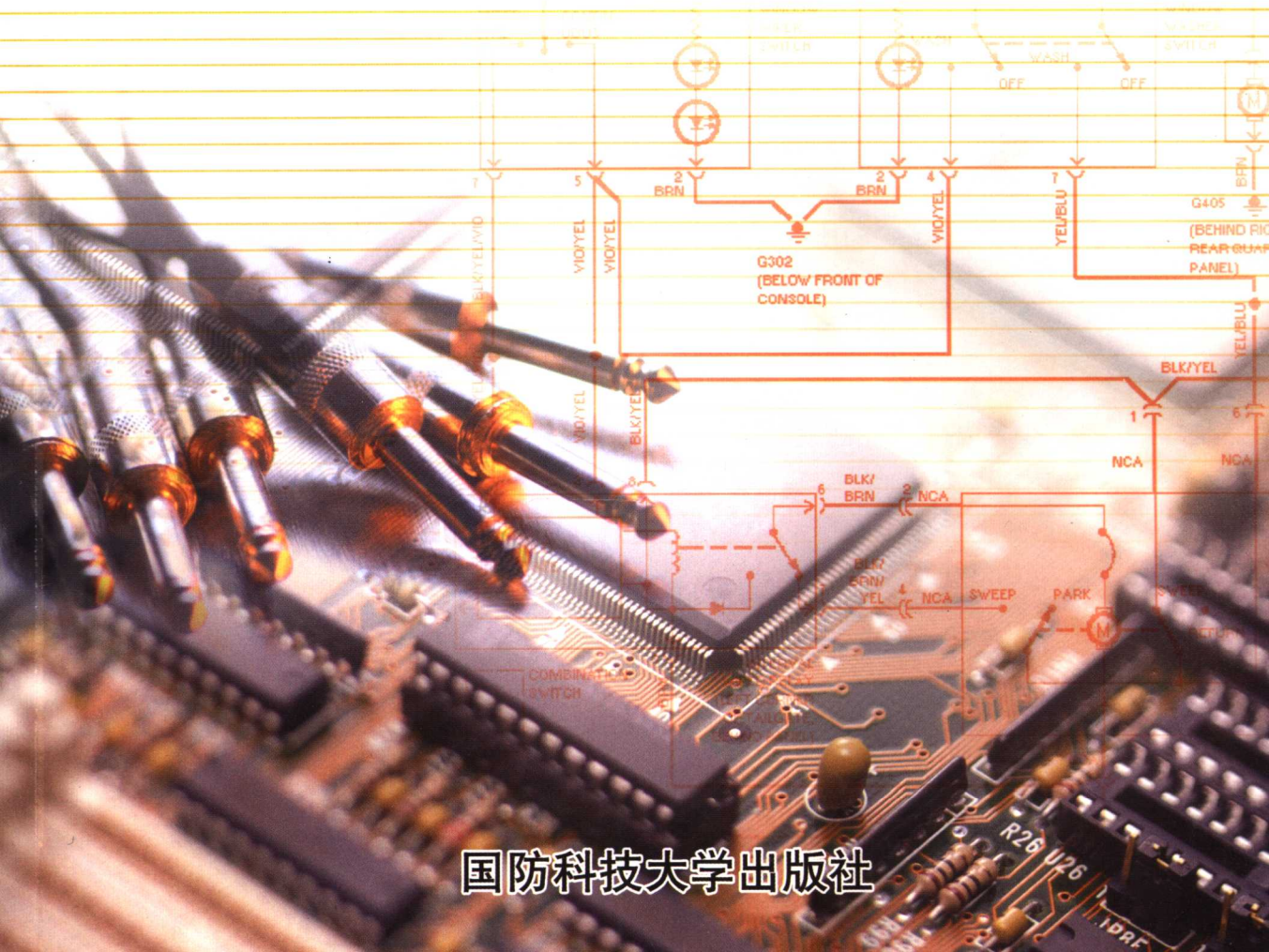


中等职业学校专业基础课通用教材

电工基础

主编 边长禄



国防科技大学出版社

中等职业学校专业基础课通用教材

电工基础

主 编： 边长禄
主 审： 祝月明
编 委： 张延杰 周立平 张海涛
 张 涛 刘兴远 刘宝泉
 邹太保 脱小龙 高 军
 李富书 吴惠东 安险峰

国防科技大学出版社

内 容 提 要

本书是根据教育部颁布的《中等职业学校电工基础教学大纲》编写,并参照了有关行业职业技能鉴定规范,适用于电工类专业。主要内容有:电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路、电容和电感、正弦交流电路、三相交流电路、变压器、瞬态过程和信号与系统概述等。

本书是中等职业学校三、四年制专业基础课通用教材,也可供技工学校、职业技术学院及技术工人自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/边长禄主编. —长沙:国防科技大学出版社,2006.3
ISBN 7-81099-283-X

I. 电... II. ①边... III. 电工基础 IV. TP15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004927 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

E-mail:faxing@gfkdcbs.com

责任编辑:陈靖

全国各新华书店经销

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:12.5 字数 300 千字

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1~3000 册

定价:16.50 元

前 言

本书依据教育部颁发的中等职业教育《电工基础》教学大纲,参照电工类职业技能鉴定规范和中级电工考核标准,从目前中等职业学校的学生实际出发,淡化理论教学,突出能力培养,着重培养学生接受知识的学习能力、分析问题的思维能力、应用知识解决问题的能力和动手操作的能力,使学生通过学习达到中级电工所需的理论知识和实践操作水平,力图通过两个学期的学习使学生形成终生学习电工知识的能力,形成钻研技术锐意创新的理念。本书可作为中等职业学校电子电器类和机电类在校学生的专业基础教材,也可以作为岗位培训教材和对口升学的辅导教材。

教材在编写时,考虑到便于不同年制的学生应用,分必修内容和选修内容(带*的章节)。为了方便学生自学,每章开头都列出了教学大纲和有关行业要求,课后配有适量复习题,以便使形成的能力得以巩固和拓展。为了改变《电工基础》教材重理论,轻实践的传统思路,我们在每章的后面都加了大量的技能训练,突出动手能力的培养。同时,引入当前电工类的一些新知识、新工艺和新方法,便于引导读者与行业最新知识接轨,为行业的发展壮大作出自己能作的贡献。

本书分两学期进行,总课时约140课时,各章节大体分配如下,各地教师可根据当地学生的实际灵活调整。

课时参考表(单位:课时)

章 节	理论知识	技能训练	测验考核
第一章	13	4	2
第二章	15	5	2
第三章	20	2	2
第四章	22	3	2
第五章	10	2	2
第六章	10	3	2
第七章	12	3	2
第八章	5		1

本书由边长禄任主编,临朐职业教育中心祝月明主审,参加编写的有张延杰、周立平、张海涛、张涛、刘兴远、刘宝泉、邹太保、脱小龙、高军、李富书、吴惠东、安险峰。

由于时间比较仓促,加上经验不足,教材中难免会有缺点和错误,希望使用本教材的师生与广大读者提出批评和改进意见,以便进一步修改。

编者

2006年3月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1	复习题	27
1.1 电路和电路模型	1	2.3 电阻混联电路	28
1.1.1 电路的概念	1	复习题	29
1.1.2 电路的状态	2	2.4 电池的连接	30
1.1.3 电路模型	2	2.4.1 串联电池组	30
1.2 电路的基本物理量	3	2.4.2 并联电池组	30
1.2.1 电流	4	2.4.3 混联电池组	31
1.2.2 电压	5	复习题	31
1.2.3 电位	6	2.5 电路中各点电位的计算	32
1.2.4 电动势	7	2.5.1 电位和零电位点	32
1.2.5 电功率	8	2.5.2 电位的计算	32
1.2.6 电能	9	复习题	33
复习题	10	2.6 基尔霍夫定律	33
1.3 电阻元件	10	2.6.1 基尔霍夫第一定律(KCL)—节点电流定律	34
1.3.1 电阻和电阻定律	10	2.6.2 基尔霍夫第二定律(KVL)—回路电压定律	35
1.3.2 线性电阻和非线性电阻	12	复习题	36
1.3.3 欧姆定律	12	2.7 支路电流法	37
复习题	14	复习题	38
1.4 电压源和电流源	14	2.8 电压源与电流源及其等效变换	38
1.4.1 电压源模型	14	2.8.1 电压源	38
1.4.2 电流源模型	15	2.8.2 电流源	38
复习题	16	2.8.3 电源模型的等效变换	39
本章小结	17	复习题	40
技能训练一 单相电度表的使用	17	2.9 戴维宁定理	40
技能训练二 电阻器的三种标称	18	复习题	42
本章习题	20	2.10 叠加定理	42
第二章 直流电阻电路	22	复习题	44
2.1 电阻串联电路	22	本章小结	44
2.1.1 电阻串联电路的特点	22	技能训练三 万用表欧姆挡的使用	45
2.1.2 电阻串联的实际应用	23	技能训练四 伏安法测电阻	49
复习题	25	技能训练五 电动势和内阻的测量	50
2.2 电阻并联电路	25	本章习题	50
2.2.1 电阻并联电路的特点	25		
2.2.2 电阻并联的实际应用	27		

第三章 电容和电感	53	4.1.2 交流电的产生	89
3.1 电容	53	复习题	91
3.1.1 电容器在电路中的作用	54	4.2 交流电的物理量	88
3.1.2 电容器储存电场能的能力	55	4.2.1 描述交流电特征的物理量	88
3.1.3 电容器的电容与哪些因素有关	56	4.2.2 实际中使用交流电的量值	93
复习题	57	复习题	94
3.2 电容器的连接方式	57	4.3 交流电的描述	94
3.2.1 电容器的并联	58	4.3.1 用数学表达式描述交流电	94
3.2.2 电容器的串联	59	4.3.2 用波形图描述交流电	95
复习题	60	4.3.3 用相量图描述交流电	97
3.3 磁场	60	4.3.4 确定两个交流电的相位差	99
3.3.1 判断通电导线产生的磁场方向	60	复习题	100
3.3.2 确定通电导线在磁场中受到的作用力	62	4.4 两个交流电的叠加	100
3.3.3 描述磁场的物理量	63	复习题	102
复习题	65	4.5 交流电路的常用元件和特点	103
3.4 电磁感应定律	65	4.5.1 纯电阻交流电路的特点	103
3.4.1 确定感应电动势的大小	65	4.5.2 纯电感交流电路的特点	105
3.4.2 确定感应电动势的方向	67	4.5.3 纯电容交流电路的特点	107
3.4.3 产生感应电动势的基本方法	69	复习题	110
复习题	70	4.6 两个元件串联的交流电路	111
3.5 电感元件	70	4.6.1 RL 串联电路的交流电路的特点	111
3.5.1 电感	70	4.6.2 RC 串联电路的交流电路的特点	115
3.5.2 电感电动势的大小和方向	71	复习题	117
3.5.3 电感线圈在电路中的作用	71	4.7 RLC 串联的交流电路	118
3.5.4 电感元件	72	4.7.1 RLC 串联的交流电路中各物理量之间的关系	118
复习题	73	4.7.2 串联谐振	120
* 3.6 铁磁材料的性质	73	复习题	123
3.6.1 磁介质	73	4.8 RLC 并联交流电路	123
3.6.2 磁场强度	75	4.8.1 RLC 并联交流电路中各物理量之间的关系	124
3.6.3 铁磁材料的特性	75	4.8.2 电路的功率因数	126
3.6.4 铁磁材料的分类	77	4.8.3 并联谐振	127
复习题	78	复习题	130
本章小结	79	本章小结	130
技能训练六 电容器的识别与挑选	80	技能训练八 学习使用双踪示波器	131
技能训练七 电感器的识别与挑选	83	本章习题	132
本章习题	87	第五章 三相交流电路	135
第四章 正弦交流电路	88	5.1 三相交流电的产生	135
4.1 交流电的产生	88	5.1.1 三相对称交流电动势的产生	135
4.1.1 交流电	88		

5.1.2 三相对称交流电动势的表示	136	6.4.3 三相变压器	160
5.1.3 相序	137	6.4.4 变压器的铭牌和额定值	160
复习题	137	复习题	161
5.2 三相电源的联结	137	本章小结	162
5.2.1 三相电源的星形联结	137	技能训练十 测定单相变压器的极性与外特性	162
5.2.2 三相电源的三角形联结	139	本章习题	164
复习题	139	第七章 瞬态过程	165
5.3 三相负载的联结	140	7.1 瞬态过程的基本概念与换路定律	165
5.3.1 三相负载的星形联结	140	复习题	168
5.3.2 三相负载的三角形联结	142	7.2 RC 电路的瞬态过程	168
复习题	143	7.2.1 充电过程中的瞬态分析	168
5.4 电压和电流对称三相电路的计算	144	7.2.2 放电过程中的瞬态分析	170
复习题	145	复习题	170
5.5 三相电路的功率	145	7.3 RL 电路的瞬态过程	171
复习题	146	7.3.1 接通直流电源时的瞬态过程	171
本章小结	147	7.3.2 断开直流电源后 RL 电路短接时的瞬态过程	172
技能训练九 三相负载的联结	147	复习题	174
本章习题	149	本章小结	174
第六章 变压器	150	技能训练十一 RC 电路的瞬态过程	175
6.1 变压器的构造	150	技能训练十二 RL 串联交流电路	176
6.1.1 变压器的作用和用途	150	本章习题	179
6.1.2 变压器的类别	150	第八章 * 信号与系统概述	183
6.1.3 变压器的基本结构	151	8.1 信号的基本知识	183
复习题	151	8.1.1 直流信号和交流信号	184
6.2 变压器的工作原理	152	8.1.2 模拟信号和数字信号	184
6.2.1 变压器变换电压	152	8.1.3 确定信号和随机信号	185
6.2.2 变压器变换电流	153	8.1.4 周期信号和非周期信号	185
6.2.3 变压器变换阻抗	153	复习题	186
6.2.4 变压器绕组的同极性端及其测定	154	8.2 调制与解调	186
6.2.5 变压器的外特性和电压变化率	155	复习题	188
复习题	156	8.3 信号与系统	188
6.3 变压器的功率和效率	156	8.3.1 系统的概念	188
6.3.1 变压器的功率	156	8.3.2 系统的功能	188
6.3.2 变压器的效率	157	8.3.3 计算机网络	189
复习题	157	复习题	189
6.4 几种常用变压器	157	本章小结	190
6.4.1 自耦变压器	158	本章习题	190
6.4.2 互感器	158		

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章概述:

电路是电工技术和电子技术的主要研究对象,电工理论是电工基础的主要组成部分。本章介绍的电路基本概念和基本规律,是对各种电路进行分析和研究的基础,要求了解电路的概念和基本组成及各部分的作用。

学习目标:

- 了解什么是电路、怎样组成最基本的电路。
- 了解组成电路的各个部分有什么作用,什么是电路模型。
- 了解什么是电阻和电阻器及导体电阻的计算和导体电阻与温度的关系。
- 了解什么是线性电阻、什么是非线性电阻。
- 掌握电阻元件电压与电流关系的欧姆定律。
- 理解什么是电压源、什么是电流源。
- 掌握电压源和电流源电压与电流的关系。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的概念

通过初中物理的学习,我们已经掌握了简单的电路知识。概括地说,电路是由各种电气器件按一定方式连接起来组成的总体。如我们熟悉的手电筒电路可以简单地用下图 1-1 表示。电路有四部分组成,即:一是电源,它的作用是将其他形式的能转化为电能,如图 1-1 中所示的干电池,将化学能转化为电能,常用的还有蓄电池、发电机等;二是负载,又称为用电器,即将电能转化为其他形式能的装置,确切地说,就是消耗电能的装置,如图 1-1 中所示的灯泡,常见的还有我们熟悉的电炉、电吹风和电动机等;三是控制和保护装置,它的作用是接通或断开电路,

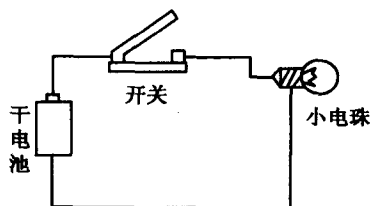


图 1-1 手电筒电路

或保护电路不被损坏等,如图 1-1 中所示的开关,常见的还有照明电路中的刀开关、熔断器(俗称保险丝)以及漏电保护器等;四是连接导线,连接电源、负载及保护控制装置,它的作用主要是形成传输电能的通道,常见的有各种金属导线和各种印制电路板上的覆铜板等。

通常所说的电路,是指电流通过的路径,因此,电路也叫做网络,它有两个作用:一是传输和转换电能,例如照明电路、电动机电路和电力传输系统等;二是传递和处理信号,例如电视机电路、计算机电路以及各种自动控制电路等。

1.1.2 电路的状态

电路通常有三种状态,即:通路、开路和短路。

(1) 通路:又称闭路。电路构成闭合回路,有电流通过,负载正常工作。

(2) 开路:又称断路。电路中一处或多处呈断开状态,不能形成闭合回路,电路中没有电流,负载不能工作。

(3) 短路:又称捷路。由于意外或接线错误,使电源两端的导线直接相连,电源输出的电流不经过负载,只经过连接导线直接流回电源,称为短路。短路时,电路中的电阻很小,致使电流很大,容易损坏电源和导线,甚至引起火灾,短路是应当尽力避免的。

1.1.3 电路模型

关于电路的知识,本书中主要分析和研究其能量转换的一般规律,即电路中最本质最普遍的规律。而组成实际电路的元器件,如发电机、变压器、电动机和白炽灯等,其电磁特性是比较复杂的。以电阻器为例,当电流通过电阻器时,除了产生热效应表现电阻性之外,电流还产生磁场和电场,并有电感性和电容性。考虑到实际元器件多种电磁特性在强弱程度上不同,可以将组成电路的实际元器件加以近似化、理想化,保留它的一个主要性质,忽略其次要性质,并用一个足以反应其主要性质的模型来表示,这个模型人们习惯上称它为理想元件。如对于白炽灯、电炉和电暖气等,由于绝大多数电能转化成了热能,在一定频率范围内可以忽略其电容和电感,因此其主要电磁特性就是电阻性。我们把它们理想化处理,认为它们都是理想电阻元件,只有电阻性。同样,对于理想电感器,只考虑电感性,对于理想电容器,只考虑电容性等。

如图 1-1 所示,电路结构简单,用各种实物图形把构成电路的各部分都画了出来,但在实际生活和工作中,组成电路的各种电气设备和元器件种类繁多,在进行电路设计、分析和计算时,也不可能将这些设备或元器件一一画出。通常都是用一些简单而又能代表它们主要电磁性能的图形符号和文字符号来代替实际中的设备或元器件。这些符号忽略掉了设备和元器件有形质点的形状,只选择其主要性能来表示,即将实际电气设备和元器件理想化处理,看作是理想元件。如果用理想电路元件表示和代替实际电路元件,按照实际电路的逻辑规律连接,就形成了一种有理想元件构成的电路,我们称之为电路模型。今后我们分析的都是电路模型,并且用图形符号和文字符号表示,称为电路图,简称电路。这样,图 1-1 所示的电路,就可以用图 1-2 来表示了。

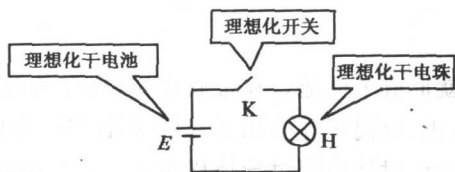


图 1-2 简单电路图

如图 1-3 所示列出了一些常用元器件的图形符号和文字符号。

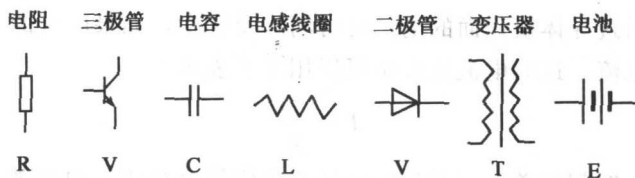
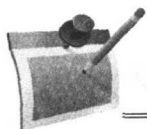


图 1-3 常用元器件的图形符号和文字符号



复习题

- 下列设备中一定是电源的是()。
 - 发电机
 - 冰箱
 - 蓄电池
 - 电炉
- 在电路中,开关的作用是()。
 - 提供能量
 - 连接负载和电源
 - 接通和断开电路
 - 转化能量
- 电路能正常工作时的状态是()。
 - 通路
 - 短路
 - 断路
 - 以上都对
- 电路的下列状态中最有可能造成火灾的是()。
 - 通路
 - 短路
 - 断路
 - 以上都对
- 负载将电能转换为()。
 - 机械能
 - 光能
 - 热能
 - 以上都可能
- 什么是电路模型?电路有哪几部分组成?各部分的作用是怎样的?
- 电路有哪几种工作状态?熨烫衣服的电熨斗通常处于什么状态?熨衣服时处于什么状态?

1.2 电路的基本物理量

学习电工基础的过程中,会经常用到一些表征电路状态和各部分之间能量转换的物理量,这些基本物理量有:电流、电压、电位、电动势、电能和电功率等。认识和了解这些物理量是学习电工基础,分析和计算电路的基础,本节将陆续介绍有关知识。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动就形成了电流。在金属导体中,带负电的自由电子在电场力作用下运动形成电流。在电解液中,正、负离子在电场力作用下沿相反方向运动形成电流,可以说,电流是一种物理现象。通常用单位时间内通过导体横截面的电荷量的多少来表示电流的强弱,即电流强度,简称电流。从这方面说,电流就是电路的一个基本物理量。若用 Δq 表示在 Δt 时间内通过导体横截面的电量,则电流的大小可以表示为

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

因此说,电流是通过导体横截面的电量对时间的变化率。如果电流的大小和方向都不随时间变化,则称为恒定电流。这时电流的大小可以用下式表示

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2 \text{ 式})$$

在国际单位制中,时间的单位是秒(s),电量的单位是库仑(C),电流的单位是安培(A),即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

用字母表示就是

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

此外,电流常用的单位还有千安(kA)毫安(mA)和微安(μA),它们之间的进制为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$$

电路中电流的大小可以用电流表(安培表)进行测量,如图 1-4 所示。测量时可以按以下方法进行:

(1) 确定被测量的电流是直流电流还是交流电流,选择相应的直流电流表或交流电流表。

(2) 估测被测量的电流,合理选择电流表的量程。若用小量程去测大电流,会烧坏电流表,若用大量程测小电流,测量值则误差大,准确度低。没法估计时,可先用大量程试测,然后选择较合适的量程。

(3) 将电流表串接在被测电路中。注意直流电流表接线柱上标明的“+”、“-”号,要使电流从“+”极流进,“-”极流出,不能接错,否则指针会反偏,甚至损坏电流表。

电流不仅有大小,而且还有方向。在电工学中,一般规定正电荷移动的方向为电流的方向。在金属导体中,由于移动的是自由电子,因而其运动方向与电流的方向相反,如图 1-5 所示。

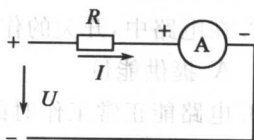


图 1-4 用电流表测量电流

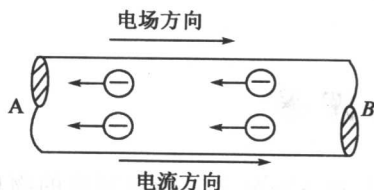


图 1-5 金属导体中电流运动方向与电子运动方向相反

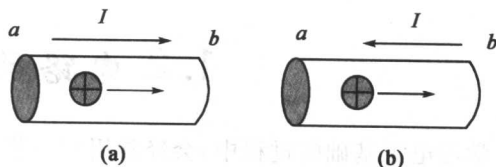


图 1-6 判断电流方向

很多时候,为了研究分析的方便,需要知道电流的方向,但有时电路中电流的方向很难确定,此时,往往需要先假设一个参考方向,然后求解。若求得的值是正值,说明电流的实际方向与参考方向相同;反之,若求得的值是负值,说明电流的实际方向与参考方向相反。

如图 1-6 所示,设流过导体的电流是 0.5A,在图 1-6(a)中,参考方向与实际方向相同, $I_{ab}=0.5A$;在图 1-6(b)中,参考方向与实际方向相反, $I_{ab}=-0.5A$ 。这也说明,同一个电流,选择的参考方向不同,可能是正值,也可能是负值。一段电路中电流的参考方向虽然可以任意选定,但是在可能的情况下,一般选取参考方向与真实方向一致。还要注意:电流的参考方向一经确定,整个计算分析的过程中不能随便改动。没有特殊说明时,本书中标注的电流方向一般是指参考方向。

1.2.2 电压

电压又称为电位差,是衡量电场力做功能力强弱的一个物理量。如图 1-7 所示,若电场力把正电荷 q 从 A 点移动到 B 点,所做的功为 W_{AB} ,则功与电荷 q 的比值就称作 AB 两点间的电压,用 U_{AB} 表示,即

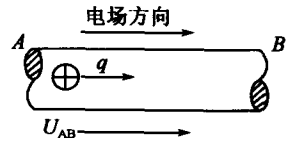


图 1-7 正电荷在电场中运动

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-3 \text{ 式})$$

在国际单位制中,功的单位是焦耳(J),电量的单位是库仑(C),电压的单位是伏特(V)。若电场力将 1C 的电荷从 A 点移到 B 点所做的功是 1J,则 AB 两点间的电压就是 1V。电压常用的单位还有千伏(kV),毫伏(mV)等,其进制关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV}$$

电路中的电压的大小可以用电压表(伏特表)来测量,如图 1-8 所示。测量时要注意:

(1) 交流、直流电压的测量分别使用相应的交流电压表和直流电压表。

(2) 估测被测量电压时,合理选择电压表的量程。若用小量程去测大电压,会烧坏电压表,若用大量程测小电压,测量值误差大,准确度低。没法估计时,可先用大量程试测,然后用选择较合适的。

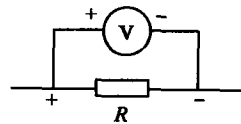


图 1-8 用电压表测量电压

(3) 将电压表并联在被测电路中。注意直流电压表接线柱上标明的“+”、“-”号,要使电流从“+”号流进,“-”号流出,不能接错,否则指针会反偏,甚至损坏电压表。

电压的方向在电路中有两种表示方法,一是用“+”、“-”号表示,如图 1-9(a)所示;另一种是用箭头表示,如图 1-9(b)所示。

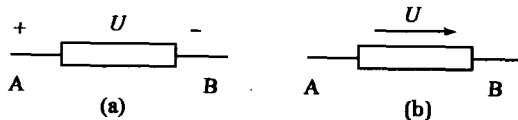


图 1-9 电压的方向表示

对于负载来说,规定电流流进端为电压的“+”,电流出端为电压的“-”;对于用箭头表示

的,箭头从电流流进端指向电流流出端。在实际方向难以确定的情况下,可以先假设一个参考方向,计算所得的值为正,说明参考方向同实际方向相同;计算所得的值为负,说明参考方向同实际方向相反。对于同一个负载而言,如图 1-10 所示,有 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

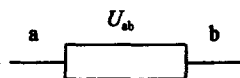


图 1-10 电阻两端的电压

【例 1-1】 如图 1-11 所示,若 $U_1 = 5V, U_2 = -5V$, 试说明电流 I 的正负。

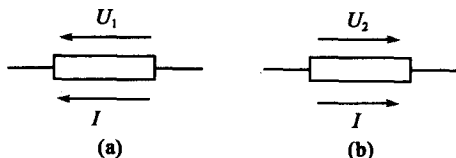


图 1-11 例 1-1 图

解:在图 1-11(a)中 $U_1 = 5V$, 是正值,说明参考方向同实际方向相同,电流的实际方向是从右端流向左端,与参考方向相同,故而, I 取正值。同理可知在图 1-11(b)中, $U_2 = -5V$, 是负值,说明电压的参考方向与实际方向相反,电压的实际方向应是由右指向左,电流的实际方向也应由此指向左,与参考方向相反,故而 I 取负值。

1.2.3 电位

如图 1-7 所示,若以 B 为参考点,电场力将正电荷 q 从任意点 A 移到参考点所做的功 W_A 跟电荷量 q 的比值,称作 A 点对参考点 B 的电位,记作

$$V_A = \frac{W_A}{q} \quad (1-4 \text{ 式})$$

由此可见,电路中某点 A 的电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移动到参考点所做的功。电位的单位也是伏特(V)。电路中任意两点的电位差就是这两点间的电压,即

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

电位是表示电路中某一点性质的物理量,而且是相对于参考点来说的,通常规定参考点的电位为零电位。电位是一个相对物理量,如果不确定参考点,讨论电位也就没有意义了。参考点的选择原则上是任意的,但在实际研究问题时,一般选择无穷远处或大地为零电位参考点。以后在分析电路时,通常选择电路中的接地点为零电位参考点。需要注意的是,在同一个电路中,当选定不同的参考点时,同一点的电位是不同的。但是参考点一经确定,各点的电位也就是确定的,即电路中其余各点的电位都有唯一确定的值。当电位为正值时,说明其电位高于参考点电位;电位为负值时,说明其电位低于参考点的电位,这就是电位的单值性原理。

【例 1-2】 如图 1-12 所示,试分析分别以 A、B、C 三点为参考点时的 $V_A、V_B$ 和 V_C 以及 $U_{AB}、U_{BC}$ 和 U_{AC} 。

解:以 A 为参考点时有

$$V_A = 0V, V_B = -3V, V_C = -4.5V,$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 3V, U_{BC} = V_B - V_C = 1.5V,$$

$$U_{AC} = V_A - V_C = 4.5 \text{V}.$$

同理, 当以 B 为参考点时, 有

$$V_B = 0 \text{V}, V_A = 3 \text{V}, V_C = -1.5 \text{V},$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 3 \text{V}, U_{BC} = V_B - V_C = 1.5 \text{V}, U_{AC} = V_A - V_C = 4.5 \text{V}.$$

当以 C 为参考点时, 有

$$V_C = 0 \text{V}, V_A = 4.5 \text{V}, V_B = 1.5 \text{V},$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 3 \text{V}, U_{BC} = V_B - V_C = 1.5 \text{V}, U_{AC} = V_A - V_C = 4.5 \text{V}.$$

通过【例 1-2】的分析可以看出, 参考点不同, 电位数值不同, 但不管参考点怎么变化, 两点间的电压是不变的。

1.2.4 电动势

我们已经知道, 电源是将其他形式的能转化为电能和设备, 要想使闭合回路中保持持续的电流, 在电源内部, 必须有非电场力做功使电流从电源的负极经电源内部又流回到电源的正极。有人称这种非电场力为电源力或局外力。为衡量电源将其他形式的能转化为电能的能力大小, 我们引入一个新的物理量, 即电动势。其定义为: 在电源内, 非电场力将单位正电荷从电源的负极经电源内部移到电源的正极所做的功, 称为电动势。对直流电动势, 表示为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-5 \text{式})$$

电动势的单位也是伏特(V)。电动势也是有方向的, 一般规定为电动势在电源内部由电源负极指向正极。对于一个电源来说, 既存在电动势, 又存在端电压。电动势只存在于电源内部, 端电压存在于电源加在外电路的两端, 由电源正极指向负极。当外电路开路时, 端路电压的值在数值上与电动势相等。电动势与电压是两个不同的概念, 但是都可以用来表示电源正负极之间的电位差。而且从电源对外电路表现的客观效果来看, 即可用正负极间的电动势来表示, 也可用其间的电压来表示, 二者有区别又有联系。如图 1-13 所示的电路中, E 和 U_{AB} 的参考方向刚好相反, 这是因为它们的物理意义不同: 电动势的参考方向表示电位升高, 电压的参考方向表示电位降低, 但它们反映的是同一客观事实, 即 A 点的电位比 B 点的电位高。因此, 我们也常用一个与电动势大小相等、方向相反的电压来表示电源。如图 1-14 所示, 是电动势常用的两种表示方法。

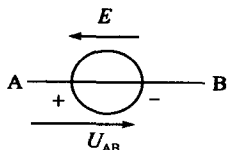


图 1-13 E 和 U_{AB} 方向的不同

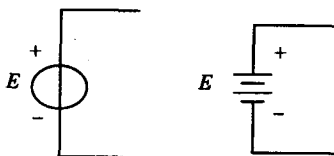


图 1-14 电动势的表示方法

在分析和计算时, 对电动势也常选取参考方向。当电动势的真实方向和参考方向相同时, 电动势为正值; 相反时, 电动势为负值。如图 1-15 中(a)所示是电动势的真实方向, 数值是 5V, 图(b)所示的参考方向下, $E = -5 \text{V}$, 图(c)所示的参考方向下, $E = +5 \text{V}$ 。

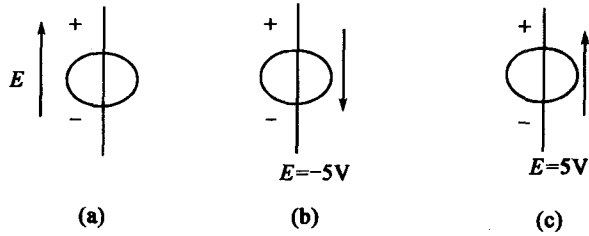


图 1-15 电动势参考方向的选择

【例 1-3】 如图 1-16 所示, 已知电动势 $E=3V$, 试写出电压 U 的数值。

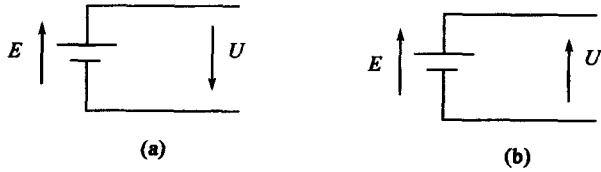


图 1-16 简单的电路

解: 图(a)中, 电压与电动势规定正方向相反时 $U=E=3V$,

图(b)中, 电压与电动势规定正方向相同时 $U=-E=-3V$ 。

1.2.5 电功率

电路的功能之一就是传输电能, 分析电路经常用到有关电功率的计算。如图 1-17 所示电路中, 正电荷 q 从 A 点移到 B 点, 电场力做功 $W=qU_{AB}$, 由电流的定义知道 $q=It$, 因此, $W=U_{AB}It$ 。将该式变换一下可以得到

$$U_{AB}I = \frac{W}{t}$$

令 $P = \frac{W}{t}$, 则有

$$P = \frac{W}{t} = U_{AB}I \quad (1-6 \text{ 式})$$

P 称作电功率, 即单位时间内电场力所做的功。在国际单位中, 电压的电位是伏特(V), 电流的电位是安培(A), 电功率的电位是瓦特(W), 简称瓦。常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW), 其进制关系为

$$1\text{kW} = 10^3 \text{W} = 10^6 \text{mW}$$

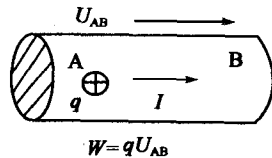


图 1-17 点电荷在电场中运动

有时需要根据计算的功率判别元件是消耗电功率还是产生电功率。为了方便判别,我们引入关联和非关联参考方向;如图 1-18(a)所示,选择元件两端电压 U 与流过元件的电流 I 的参考方向一致,称为关联参考方向,如图 1-18(b)所示,选择元件两端电压 U 与流过元件的电流 I 的参考方向相反,称为非关联参考方向。对于负载而言,常取关联参考方向,对于电源而言,常取非关联参考方向。具体方法如下:

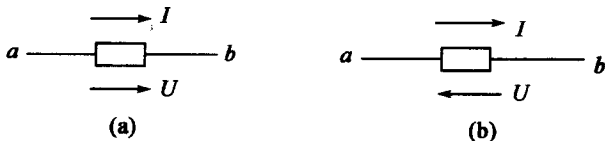


图 1-18 关联方向与非关联方向

(1) 关联参考方向:若 $P=UI>0$, 元件消耗功率,是负载;若 $P=UI<0$, 元件产生功率,是电源。

(2) 非关联参考方向:若 $P=UI>0$, 元件产生功率,是电源;若 $P=UI<0$, 元件消耗功率,是负载。

电源有时发出功率,有时消耗功率。例如,蓄电池,充电时为负载,工作时,为电源。

【例 1-4】如图 1-19 所示的简单电路中,已知(1) $U=5\text{V}$, $I=-3\text{A}$; (2) $U=5\text{V}$, $I=3\text{A}$ 。试说明两种情况下,电路是产生电能还是消耗电能?

解:在图中,电压和电流的方向一致,是关联参考方向

(1) $P=UI=5\text{V}\times(-3\text{A})=-15\text{W}<0$,为电源,产生电能。

(2) $P=UI=5\text{V}\times 3\text{A}=15\text{W}>0$,为负载,消耗电能。

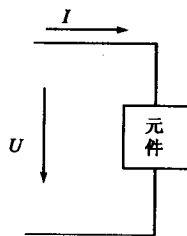


图 1-19 简单电路

1.2.6 电能

电流流过负载或电源时,若一段时间内电路消耗或产生的电能用 W 表示,则由(1-6 式)可知

$$W = Pt \tag{1-7 式}$$

在国际单位制中,电能的单位是焦耳(J)。工程应用中,电器设备用电量常用千瓦时($\text{kW}\cdot\text{h}$)作为单位,俗称度,

$$1 \text{ 度} = 1\text{kW}\cdot\text{h} = 3.6\times 10^6\text{J}$$

电能的大小可以用电度表测量。

【例 1-5】某 54cm 彩色电视机的功率是 75W , 平均每天开机 3 小时,设每度电需交 5 角 4 分电费,那么,该用户一个月(30 天)要交多少电费?

解:消耗电能 $W = Pt = 75\times 10^{-3}\times 3\times 30 = 6.75\text{kW}\cdot\text{h}$

需交电费 $6.75\times 0.54 \approx 3.65$ 元