

中等职业学校教材

电工基础

湖南省中等职业教育教材编审委员会编审

湖南科学技术出版社



中等职业学校教材

电工基础

湖南省中等职业教育教材编审委员会编审

主 编:赵承荻

副主编:彭团禧

主 审:苏芑云

湖南科学技术出版社

职高教材,版权所有,不得翻印,盗印。
发现盗版举报有奖! (举报电话:0731 - 4413274 4375852)

中等职业学校教材

电 工 基 础

编 审:湖南省中等职业教育教材编审委员会

责任编辑:彭少富 陈澧晖

出版发行:湖南科学技术出版社

社 址:长沙市湘雅路 280 号

<http://www.hnstp.com>

印 刷:株洲冶金印刷厂

厂 址:株洲市荷塘区大坪路 18 号

邮 编:412000

(印装质量问题请直接与本厂联系)

出版日期:1993 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 18 次印刷

开 本:787mm × 1092mm 1/32

印 张:12.5

字 数:238000

书 号:ISBN 7 - 5357 - 1348 - 3/TM · 13(课)

定 价:13.50 元

(版权所有·翻印必究)

目 录

概 述	(1)
第一章 直流电路的基本概念	(5)
第一节 电路和电路图	(5)
第二节 电流、电压、电位及电动势	(9)
第三节 电阻	(16)
第四节 欧姆定律	(22)
第五节 电阻的联接	(29)
第六节 电路中各点电位的计算	(37)
第七节 电功与电功率	(40)
习题一	
第二章 直流电路的分析与计算	(46)
第一节 克希荷夫定律	(46)
第二节 电阻电路的 $Y-\Delta$ 等效变换	(54)
第三节 电压源、电流源及其等效变换	(58)
第四节 节点电压法	(71)
第五节 戴维南定理	(73)
第六节 迭加原理	(79)
第七节 电桥电路	(83)
第八节 负载获得最大功率的条件	(88)
第九节 电容器及其联接	(93)
习题二	
第三章 电磁与磁路	(118)
第一节 磁场	(118)
第二节 磁通与磁感应强度	(122)

第三节	磁导率与磁场强度·····	(124)
第四节	磁场对电流的作用力·····	(125)
第五节	铁磁物质的磁化·····	(129)
第六节	磁路与磁路基本定律·····	(135)
第七节	无分支磁路的计算·····	(139)
第八节	电磁感应定律·····	(142)
第九节	自感及自感电动势·····	(147)
第十节	互感及互感电动势·····	(152)
第十一节	涡流及涡流损失·····	(157)
第十二节	磁场的能量·····	(158)
习题三		
第四章	单相正弦交流电路·····	(165)
第一节	正弦交流电动势的产生·····	(165)
第二节	交流电的周期、频率与角频率·····	(169)
第三节	交流电的相位与相位差·····	(172)
第四节	交流电的有效值·····	(175)
第五节	正弦交流电的表示法·····	(179)
第六节	纯电阻电路·····	(183)
第七节	纯电感电路·····	(186)
第八节	纯电容电路·····	(191)
第九节	电阻、电感串联的交流电路·····	(195)
第十节	电阻、电感、电容串联的交流电路·····	(201)
第十一节	并联交流电路·····	(205)
第十二节	正弦交流电路的符号法·····	(210)
第十三节	欧姆定律和克希荷夫定律的符号形式·····	(215)

第十四节 交流电路中的谐振	(219)
习题四	
第五章 三相交流电路	(232)
第一节 三相对称电动势的产生	(232)
第二节 三相电源的连接	(235)
第三节 三相负载的连接	(241)
第四节 对称三相电路的计算	(246)
第五节 中线的作用	(250)
第六节 三相电路的功率	(253)
习题五	
第六章 非正弦交流电路	(260)
第一节 周期性非正弦交流量的产生和表示方法	(260)
第二节 周期性非正弦交流量的有效值、平均值及 表示波形特性的一些系数	(265)
第三节 非正弦交流电路中的功率	(269)
第四节 非正弦交流电路的分析计算	(272)
第五节 对称三相电路中高次谐波的特点	(278)
习题六	
第七章 线性电路的过渡过程	(289)
第一节 电路中产生过渡过程的原因	(289)
第二节 换路定律及初始值的确定	(292)
第三节 一阶线性电路的三要素法	(298)
第四节 RC 电路的过渡过程	(302)
第五节 RL 电路的过渡过程	(308)
习题七	

概 述

《电工基础》是研究电磁现象的基本原理、基本规律及其在电工技术中应用的科学。它是电工专业的一门重要的技术基础课。

在物理学中我们已经知道,自然界中存在有热能、光能、电能、机械能、化学能、原子能等各种能源,而且它们是可以相互转换的。而电能是各种能量之间相互转换的中间环节,即先将其它形式的能量转换成电能,然后由电能又转换成其它形式的能量,供人们使用。电能的优越性主要表现在:

1. 转换方便。电能可以通过水能(水力发电)、热能(火力发电)、原子能(原子能发电)、化学能(电池)、太阳能(电池)等转换而得,同时又很方便地将其转换成其它的能量。如利用电动机将电能转换成机械能;利用电炉将电能转换成热能;利用电灯将电能转换成光能;利用喇叭将电能转变为声能等等。现代技术还通过各种传感器将温度、速度、压力等直接转换成电信号以实现自动控制与自动调节;通过无线电遥控、遥测技术对目标进行控制与测量等等。

2. 输送方便。发电站发出的电能可以通过高压输电线路将电能方便地输送到各用电部门,距离可长达数百、几千公里,而且输电设备较简单,输电效率高,输送成本低。因此目前世界上各个国家基本上都形成了集中统一的强大电网,各发电站发出的电能都并入电网,再集中调度、统一输送到各用电部门。这样发电站可以建立在能源产地或交通运输方便的地区,以降低发电成本。电能不仅输送方便,而且分配、使用也很

容易。不同种类、不同容量的用电设备,只要一接上电源,即能灵活地使用电能工作。例如照明灯一拉开关就亮,电风扇一按开关就转,电加热器一通电源就发热,城市电车、地铁电动车辆、铁路牵引用的电力机车司机一操动控制器就可行驶,不象烧煤的蒸汽机车要提前几个小时烧热锅炉、产生蒸汽才能开动。

3. 控制容易。最简单的办法就是利用一个开关即可控制用电设备的工作,并能对某区域、某部门、甚至全部实行集中统一控制。目前生产过程及设施的自动控制、程序控制、数字控制等都靠电来实现。电子计算机的广泛采用又为控制、计算、信息处理等开辟了一条崭新的渠道。

如果没有电,我们很难设想当今世界会是一个什么样子。因此发电量的多少已成为衡量一个国家工业化程度及文明程度的重要标志。

任何一门科学都有它的发展史,都是人类长期实践活动和理论思维的产物。早在两千多年前人类就发现了摩擦起电的现象。我国是世界上最早发现磁能吸铁及利用磁性原理制造指南器具,如司南勺、指南鱼及航海用的指南针的国家。18世纪以后,欧洲人对电磁现象的规律及应用方面作了大量的研究及实验,主要成就有1800年伏特发明的电池,从此对电的研究由静电扩大到动电方面。1827年欧姆通过大量实验总结出欧姆定律,奠定了电学最重要的理论基础;1847年克希荷夫建立了电路的两个基本定律,从而为电路的分析研究及应用奠定了基础。1820年奥斯特发现了电流的磁效应,确立了电与磁之间的联系。1831年法拉弟发现了电磁感应现象。这些重大发现为19世纪后半叶发电机、变压器、电动机的发

明奠定了理论基础,也是使电能从理论研究走向社会广泛应用的里程碑。1873年麦克斯韦又集前人成果之大成,建立了电磁场理论,并预言电磁波的存在。1888年赫芝用实验证明了麦克斯韦的预言,从此开辟了应用电磁能量的新纪元。无线电通讯、电报、电视、传真等实用技术也就应运而生。二次大战以后出现的电子计算机技术对推动社会物质文明、精神文明发展已起了无法取代的作用。总之,从认识电能的实际应用价值到被广泛采用,虽然还只有近百年的历史,但电能对人类社会所创造的物质财富及精神财富却远远超过了以往几千年人类历史的长河。

由于长期的封建社会制度及帝国主义的侵略,使我国的经济十分落后,1949年解放时全国发电设备容量仅185万千瓦(还不到葛洲坝发电站的容量),年发电量仅43亿度。经过四十多年的努力,目前我国已能生产单机容量达60万千瓦的发电机组,1992年全国发电设备容量已达1.65亿千瓦(为1949年的89倍)。大亚湾核电站和秦山核电站也即将建成。

电工基础对电专业来讲是一门十分重要的技术基础课,它为后续的专业课程的学习铺平了理论基础知识和基础操作技能之路,因此必须认真学好。

电工基础本身是一门理论性很强的课程,学习的难度较大,因此在学习中必须深入理解、掌握必要的基本概念和基础理论。在学习中应积极思考、认真钻研,掌握基本的运算技能,不断提高自己分析问题和解决问题的能力。

电工基础又是一门实践性很强的课程。在学习中必须注意尽量做到理论结合实际,能运用所学理论知识分析及解决实践中遇到的各种问题。我们还必须认真对待实验课和各种

演示实验。通过实验学会电路的联接原理与方法、元件参数的测定、主要电工测量仪表的使用方法及测量技术,学会电路的一般故障分析和处理方法,以培养实际操作技能,为今后学习各专业课及工作打下牢固的基础。

第一章 直流电路的基本概念

电路可分直流电路和交流电路两大类。电路按其组成的不同又可分简单电路和复杂电路两种类型。本章主要叙述简单的直流电路的基本概念,是学习本书的基础。本章部分内容虽已在物理学中学过,但将结合电工技术的需要向实际应用方面拓宽。本章所述的电路基本分析计算方法虽在直流电路中提出,但同样也适用于交流电路。

第一节 电路和电路图

一、电路的组成和作用

电路是指由电源及电气设备组成的一个总体,为电流流通提供了路径。若工作时电流的大小和方向均不随时间而变化,就称为直流电路。图 1—1 所示为手电筒电路和蓄电池对白炽灯供电电路,这是最常见的直流电路。由图中可见电路必须由三个基本部分组成:

1. 电源:电路中提供电能的设备或器件称为电源。它能将其它的能量转变为电能。例如直流发电机是将机械能转变成电能;干电池、蓄电池是将化学能转变成电能。

2. 负载(用电设备):电路中消耗电能的设备称负载。它能将电能转换成其它形式的能量。例如直流电动机是将电能转

换成机械能；电烙铁、电炉将电能转换成热能；电灯将电能转换成光能。

3. 中间环节：用来将电源和负载联接起来以构成闭合的回路，并对整个电路实行控制（如开关）、保护（如熔断器）及测量（如电流表）。因此它包含有联接导线、控制电器、保护电器、测量仪表等等。

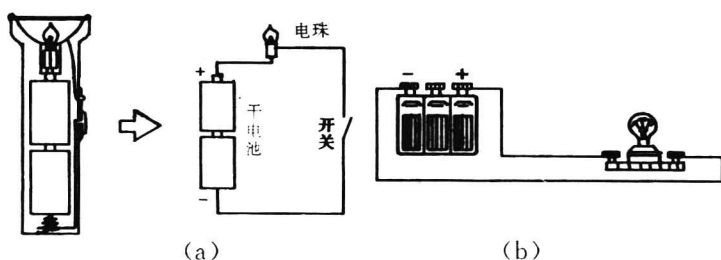


图 1—1 简单的直流电路

(a) 手电筒电路

(b) 蓄电池电路

从电路所完成的功能来看，电路可分两大类，即供电电路及信息处理电路，前面我们讲的电动机电路、照明电路、电热电路等均属供电电路。其特点是将电能直接转换成其它形式的能量供人们使用，一般电路中的电流较大、消耗的电功率大，习惯上称为“强电”。而用热电偶测量温度、用电阻应变仪测量材料的变形。收音机、电视机、电话、电传等则属于信息转换和处理电路。图 1—2 示出热电偶电路及最简单的收音机电路。

图 1—1 及图 1—2 都是电路的结构示意图，在工程使用中往往很不方便，为此对于电路中的各种元件，国家都规定了用标准的图形符号及文字符号来表示。常用的电路元件和仪

表的符号如表 1—1。当结构示意图用规定的图形及文字符号

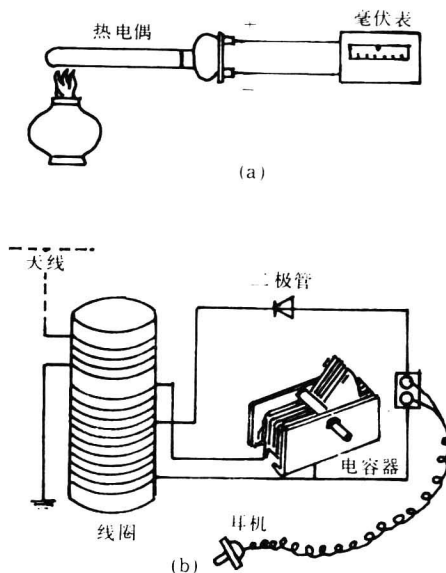


图 1—2 信息转换及处理电路

(a) 热电偶测温电路

(b) 最简单的收音机电路

表示时所构成的简图称电路图,如图 1—3 所示为图 1—1 的电路图。电路图只表示电路的全部基本组成及连接关系,而不考虑其实际形状及位置。由于电路图绘制较方便,因而在电工技术中被广泛采用。

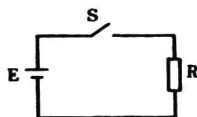


图 1—3 手电筒电路图

表 1-1 常用电路元件的图形及文字符号

名 称	图 形 符 号	文 字 符 号	名 称	图 形 符 号	文 字 符 号
蓄电池		E	电容器		C
理想电压源			可变电容器		C
理想电流源			连接的交叉导线		
电阻器		R	不连接的交叉导线		
滑动触点电位器		R	刀开关		S
可变电阻		R	熔断器		FU
照明灯		EL	接地		
电感器		L	电流表		A
带铁芯的电感器		L	电压表		V

二、单位制

根据国家有关规定,我国法定计量单位采用国际单位制(SI)。在国际单位制中有 7 个基本单位:长度以米(m)为单位;质量以千克(kg)为单位;时间以秒(s)为单位;电流以安培(A)为单位;温度以开尔文(k)为单位;物质的量以摩尔(mol)

为单位;发光强度以坎德拉(cd)为单位。其它物理量的单位可由这些基本单位中导出,例如电荷量的单位为库仑(C), $1\text{C}=1\text{A}\cdot\text{S}$;力的单位为牛顿(N), $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ 。为了使单位含意清楚,并简化单位的名称及符号,有些物理量的导出单位也可用专门名称的 SI 导出单位表示,如功率单位为瓦特(W), $1\text{W}=1\text{J}/\text{S}$;电压单位为伏特(V), $1\text{V}=1\text{W}/\text{A}$ 。

除主单位外,有时需用主单位的十进制倍数单位和十进制分数单位,则可在原单位上冠以词头,例如 $1\text{KA}=10^3\text{A}$; $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$ 等,常用词头如表 1-2 所示。

表 1-2 国际单位制中的常用词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
中文	吉	兆	千	百	十	厘	毫	微	纳	皮
符号	G	M	K	h	d.	C	m	μ	n	p

第二节 电流、电压、电位及电动势

一、电流及电流密度

电荷的定向移动形成电流。电流的大小用电流强度(简称“电流”)来表示。

如电流的大小和方向均不随时间改变而改变,称为直流电,简写作 dc 或 DC。其电流强度 I 定义为单位时间 t 内通过导体横截面的电荷量 q,即:

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

如电流大小及方向随时间而变动则称为交流电。我们将在第五章中讨论,其电流强度 i 的表达式为:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \text{ (或 } i = \frac{dq}{dt} \text{)} \quad (1-2)$$

电流的单位是安培(A),它相当于 1 秒内通过导体横截面 1 库仑的电量。除安培外,有时也用千安(KA), $1\text{KA} = 10^3\text{A}$;毫安(mA), $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$;微安(μA), $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 表示。

在金属导体中,电流是自由电子有规则的定向运动形成的,亦即是负电荷的流动。但习惯上一直沿用正电荷的流动方向作为电流的实际方向。本书仍遵循这个习惯,规定正电荷流动的方向作电流的实际方向。在图 1-3 这个简单电路中,运用已有的知识,我们很容易判断在电源内部电流从负极流向正极,在电源外部电路中,电流从正极流向负极。但在复杂电路中,某段电路中电流的实际方向往往很难确定,有时电流的实际方向还会不断地改变,为了解决这个问题,引入了电流的“参考方向”这一概念。它是在一段电路中事先选定一个方向作为电流的参考方向,如图 1-4 中实线箭头所示。若电流的实际方向(图中虚线)与所选参考方向一致,则电流为正值,即 $I > 0$;若电流的实际方向与参考方向相反,则电流为负值,即 $I < 0$ 。这样在指定电流的参考方向后,由计算求得的电流如为正值,即表示实际电流方向即为图中所标的参考方向;如求得的电流为负值,即表示实际电流方向与图中所标的参考方向相反。



图 1-4 电流的参考方向与实际方向

电流的参考方向可以任意假定,而电流的实际方向是客观存在的,不会因参考方向的改变而改变。

有关电流实际方向及参考方向的概念我们在以后的电路分析中会经常遇到。

例 1-1:如图 1-5 所示,一段电路中电流的参考方向 I_1 及 I_2 已选定,最后计算求得 $I_1 = -5$ 安, $I_2 = 3$ 安,试指出电流的实际方向。

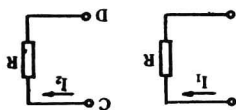


图 1-5 例 1-1 附图

解: $I_1 < 0$, 表示电流的实际方向与参考方向相反,即电流由 B 点流向 A 点。

$I_2 > 0$, 表示电流的实际方向与参考方向相同,即电流由 C 点流向 D 点。

测量电路中电流的仪表叫电流表(安培表)。电流表必须串联接在被测电路中。使用直流电流表时必须注意电流表的极性与电源的极

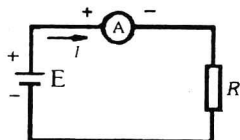


图 1-6 电流表的接法

性,如图 1-6 所示接法(电流表正极接电源的正端),不能接反,否则指针将反转而使电流表损坏。