

教育部规划教材
中等职业学校 3、4 年制非电专业通用

电工技术

主编 赵承荻



高等教育出版社

教育部规划教材
中等职业学校3、4年制非电专业通用

电 工 技 术

赵承荻 主编

高等教育出版社

内容简介

本书根据 2000 年 8 月教育部颁发的中等职业学校非电类相关专业 3、4 年制通用(多学时)电工技术教学大纲编写,同时参考了有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准,是教育部规划教材。

本书主要内容有:直流电路、交流电路、变压器、电工仪表及测量、电机、电动机的控制、供电及用电等。内容上突出实践性、应用性,体现新知识、新技术、新产品、新应用。

本书采用模块式加套筒式编写方式,可供中等职业学校 3、4 年制对电类知识要求较高的非电类专业使用,也可作为岗位培训用书

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/赵承荻主编. —北京:高等教育出版社,
2001.7(2006 重印)

ISBN 7-04-009523-8

I. 电… II. 赵… III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01133 号

电工技术

赵承荻 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京新丰印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.75
字 数 300 000

版 次 2001 年 7 月第 1 版
印 次 2006 年 12 月第 6 次印刷
定 价 16.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 9523-00

前 言

本书根据 2000 年 8 月教育部颁发的中等职业学校非电类相关专业 3、4 年制通用(多学时)电工技术教学大纲编写。本书主编作为教育部全国中等专业学校电工学与工业电子学课程组成员,参加了该教学大纲的全部起草、审定工作,在这个过程中,感到原有教材与新教学大纲存在一定差距。为了及时出台与新教学大纲配套的教材,在编制新教学大纲的同时,编者即着手考虑教材的编写工作,编写时还参考了有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准。

随着我国社会、经济、科技的发展和教育结构的调整,全国中等职业学校的培养目标和业务规格定位在以 3 年制为主的“高素质劳动者和中初级专门人才”上。因此,本教材与以前编写的适用于 4 年制、培养以“技术员类人才”为主的中专用《电工学》教材相比,在教材结构体系、教材内容及深广度等方面均作了较大的变动,主要体现在以下几方面:

(1) 教材名称由《电工学》改名为《电工技术》,以体现实践性、应用性较强,知识面较宽,但对基础理论和基本概念的难度要求可以有所下降,有重在应用和对实践能力培养要求较高的含义。

(2) 教材内容按教学大纲要求采用模块式结构,按不同专业、不同学制及学时数划分为“基本模块”及“选用模块”,标有“*”号者为选用内容,各校可按实际需要选取。

(3) 降低了基础知识和基本理论的深度,尽量简化电路的理论计算。例如,取消了电压源、电流源的等效变换;将叠加定理及戴维南定理作为选学内容,降低了计算要求;简化了正弦交流电基本量的分析计算,简化了旋转矢量的分析及矢量运算;尽量简化交流电路的分析计算等。

(4) 简化电机、变压器、电器的内部机理分析,重在其外部特性及应用。例如,简化了变压器空载运行及负载运行的理论分析及公式推导;取消了旋转磁场产生的理论分析及公式推导,只给出结论;取消了三相异步电动机转子各量与转差率的关系及转矩公式的分析与推导,把重点放在机械特性的分析及应用上;将三相异步电动机的起动、反转、调速与制动内容抽出来,放在电动机控制一章中结合控制线路一起介绍;简化了常用低压电器内部结构的叙述,重在其应用,并且低压电器内容不单列,融入控制线路中一起介绍等。

(5) 拓宽知识面,注意教材的实用性及先进性。例如,增加了有关电气测量方面的知识及技能要求;增加了电热转换技术的应用知识;增加了电光转换技术(含光纤传输、光电池等)的原理介绍及应用;增加了电声转换技术、电化学转换技术的应用内容;加强并突出了有关单相异步电动机的运行及具体应用方面的知识;增加了常用特殊电机的性能及应用知识等。全书图形符号、文字符号全部采用新国标,已经不生产的产品代号及外形图等尽量不再出现。

本教材配有实验与实训指导书,总教学时数为 50~80 学时,其中实验与实训学时应保证不少于总学时的 25%。

本教材由全国中等专业学校电工学与工业电子学课程组组织编写,由株洲铁路电机学校赵

承获主编,具体分工为赵承获编写第一、二、三、四、五章,广州轻工业学校李乃夫编写第六章,株洲铁路电机学校肖耀南编写第七章。

本教材由苏州高级工业学校周绍敏主审,并先后两次召开了编审会议,参加审稿的除主审及编者外,有高等教育出版社楼史进、胡淑华、韦晓阳、武汉水运工业学校张友汉、安徽省轻工业学校程周、上海机电工业学校孙正铨、抚顺煤炭工业学校佟俊澄、吉林化工学校姜敏夫等。他们以严谨的科学态度和高度的负责精神,认真审阅了书稿,提出了许多宝贵的意见,对保证和提高本教材的质量起了重要的作用。对他们,特别是高等教育出版社的三位编辑及主审的辛勤劳动和贡献,编者表示衷心的感谢。

本教材的编写是中等职业教育改革中的一次尝试,编者的本意是力争能突出职业教育的特色,以能力为本位,培养应用型人才。但由于编者学识和水平有限,教材中必然存在一些缺点、疏漏及其他不足之处,恳请使用本教材的教师、学生及其他读者批评指正。

编者

2000年10月

目 录

绪论	1	第五节 单相交流电路功率及电能的测量	92
第一章 直流电路	4	第六节 万用电表	93
第一节 电路的作用和组成	4	* 第七节 非电量的电测法	97
第二节 电流、电位、电压、电动势、电阻、电功率及其相互关系	5	第五章 电机	99
第三节 电路模型和电路元件	11	第一节 概述	99
第四节 电阻的连接	13	第二节 三相异步电动机	100
第五节 电路的三种状态	17	第三节 单相异步电动机	113
第六节 基尔霍夫定律	18	* 第四节 直流电动机	118
* 第七节 叠加定理与戴维南定理	21	* 第五节 微型特种电机	127
第二章 交流电路	26	第六章 电动机的控制	137
第一节 概述	26	第一节 概述	137
第二节 正弦交流电的基本概念	27	第二节 三相异步电动机的直接起 动控制	138
第三节 正弦交流电的表示法及简单 运算	29	第三节 三相异步电动机的降压起 动控制	151
第四节 单一参数正弦交流电路	31	第四节 三相异步电动机的调速及 控制	154
第五节 串联交流电路	37	第五节 三相异步电动机的制动 控制	157
第六节 并联交流电路	46	第六节 单相异步电动机的控制 实例	160
第七节 三相交流电路	48	第七节 读图训练	165
第三章 变压器	62	第七章 供电及用电	173
* 第一节 磁路	62	第一节 电能的产生、输送与分配	173
第二节 变压器的基本概念	66	第二节 电能转换技术	175
* 第三节 三相变压器和自耦变压器	74	第三节 安全用电	191
第四章 电工仪表及测量	80	第四节 节约用电	194
第一节 电工仪表及测量的基本知 识	80	参考书目	197
第二节 电流的测量	84		
第三节 电压的测量	87		
第四节 电阻的测量	89		

绪 论

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。它的内容非常广泛,主要包括:电工技术基础理论,电机、电器的构造及应用,电力拖动系统,电能的产生、输送及使用,电气仪表与测量,电能的转换技术等。随着科学技术的发展与进步,电工技术的内容还在不断扩展与延伸。

本课程的任务是使学生掌握高素质的劳动者和中初级专门人才必须具备的电工技术基础知识和基本技能;为学习专业知识和职业技能,增强适应职业的应变能力,全面提高学生素质打下一定的基础。

从物理学的学习中我们知道,自然界存在有热能、光能、电能、机械能、化学能、核能等各种不同形式的能量,而且它们是可以互相转换的。电能是现代工业、农业、交通运输、国防以及国民经济的其他各个部门得到了越来越广泛的应用,目前它已成为各种能源之间相互转换的极为重要的中间环节,即先将其他形式的能量转换成电能,然后又将电能转换成其他形式的能量供人们使用。电能之所以具有如此重要的地位,是因为它与其他能量相比有以下的优点:

一、转换方便

电能可以由水能(水力发电)、热能(火力发电)、核能(核能发电)、化学能(电池)、太阳能(太阳能电站)等转换而得,同时又可以很方便地转换成其他形式的能量。如利用电动机将电能转换成机械能;利用电热设备将电能转换成热能;利用电灯将电能转换成光能;利用扬声器将电能转换成声能等,如图 0.1 所示。正因为电能转换容易,加上各种电量如电压、电流、电阻等的测量方便、准确,在现代工业技术中又被广泛用于非电量的电测法和构成数据采集系统。非电量的电测法是将非电量(温度、速度、压力等)通过各种传感器转换成电信号加以检测和控制。数据采集系统是将现场中的各种模拟量自动进行采集并变成数字量,再送到计算机中去进行处理、传输、显示、存储或打印。

二、输送方便

发电站发出的电能可以通过高压输电线路方便地向远距离输送,而且输电线路较简单、输电效率高、输送成本低。因此目前世界各国基本上都已形成集中统一的强大电力网,各发电站发出的电能都并入电力网,集中调度,统一输送到各用电部门。这样电站可以建立在能源产地或交通运输方便的地区。电能不仅输送方便,而且分配也很容易,不同种类、不同容量的用电设备只要接上电源,均能灵活地取得电能而正常工作。

电能除用导线、电缆等进行有线传输外,目前无线通信技术获得了飞速的发展。声音、文字、图像等首先被转换成高频电信号,通过天线向空间发射,接收机通过天线将接收到的高频电信号

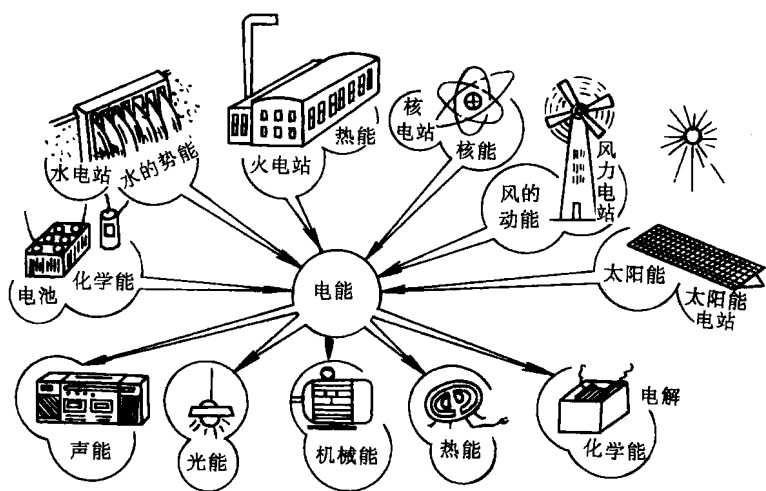


图 0.1 电能与其他能量之间的相互转换

再还原成原来的声音、文字、图像,达到了远距离传输的目的,如收音机、电视机、电报、电传、各种移动通信设备、卫星通信技术等等。

三、控制方便

最简单的办法就是利用一个开关控制用电设备的工作。对电能的控制基本上可以不受距离的限制,而且电气设备的操纵与动作非常迅速,所以利用电能可以实现生产的高度自动化。能自动控制生产设施及生产过程,实现程序控制及最佳状态控制,并实现自动调节和自动化管理等。而电子计算机的广泛应用又为计算、控制、信息处理等开辟了一条崭新的途径。

社会生产力的发展及社会进步与电气化程度有着密切的联系,从某种意义上讲,电气化程度的高低已成为衡量一个国家发达程度的主要标志之一。

人们很早就对电现象及磁现象进行了研究,我国是世界上最早发现磁现象的国家,并利用磁

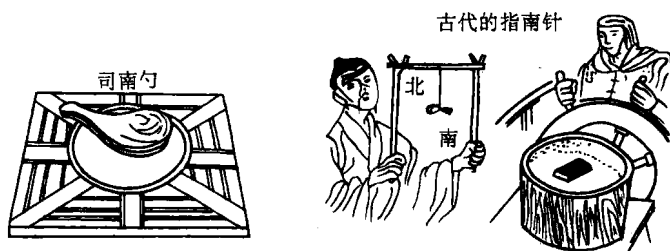


图 0.2 指南器具

性原理制造了各种指南器具,如司南勺、指南鱼及航海用的指南针等,见图 0.2。18 世纪以后,欧洲人对电现象及磁现象进行了大量的研究与实验,发现了发电机原理及电动机原理,从此电能才真正具有了实用价值并被人类广泛地应用。虽然只有 100 多年的时间,但电能对人类社会所创

造的物质财富及精神财富都大大超过了以往几千年的历史。

解放前我国的电力工业基础非常薄弱,许多部门都处于空白状态,1949年全国发电设备容量仅185万千瓦(还不到一个葛洲坝发电站的装机容量),年发电量仅43亿千瓦时。经过50余年的努力,目前我国已经能够生产单机容量60万千瓦的发电机组,世界上第一台双水内冷发电机组就是在我国诞生的。2000年全国发电设备总容量已达3.16亿千瓦,年发电量为13500亿千瓦时(为1949年的314倍),已居世界第二位。电力工业的发展促进了我国其他各经济领域的飞速发展,整个社会的物质文明和精神文明水平也得到空前提高,相信在全国人民的共同努力下,在不远的将来,一个社会主义现代化的强国将屹立在地球的东方。

第一章 直流电路

学习目标

1. 了解电路的含义及主要组成部分。
2. 掌握直流电路中电流、电压、电位、电动势、电功率的定义、单位及正方向的确定。
3. 掌握电阻的基本概念及连接方法,了解电阻元件的特性及应用。
4. 会运用欧姆定律对简单电路进行分析和计算。
5. 理解电路的三种状态,了解有关额定值的基本含义及实际运用。
6. 理解基尔霍夫定律,能用支路电流法分析计算一般复杂的电路。
7. 了解用戴维南定理和叠加定理分析求解电路的基本思路和方法。

第一节 电路的作用和组成

在现代社会的各个领域,电工和电子设备被广泛地应用。为了实现某种应用的目的,需要将各种电工、电子器件及设备与电源按一定的方式相互连接起来,以形成电流的通路,实现电能与其他能量之间的相互转换。

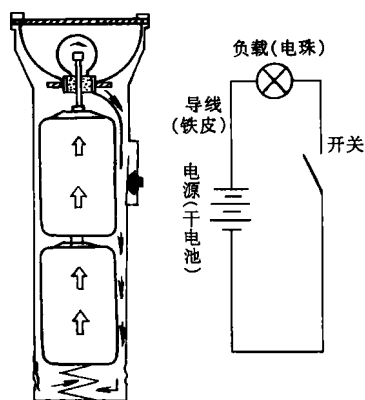
电路就是电流流通的路径。它由某些电气设备、元件和电源(或信号源)组成,是为实现能量的传送和转换,或实现信号的传递和处理而组合成一体的总称。例如图 1.1 手电筒电路中的电源(干电池)通过开关使电流通过电珠,将电能转变为光能作照明之用。由图中可见电路主要由以下几部分组成:

一、电源

它是电路中提供能源的设备,把化学能、光能、机械能等非电能转换为电能,如蓄电池、干电池、太阳能电池、发电机等。

二、负载

负载是电路中的用电设备,它可将电能转变成其他形式的能量,如电灯、电炉、收音机、电视机、电动机等。



(a) 实物图

(b) 原理图

图 1.1 手电筒的电路

三、中间环节

其作用是把电源和负载连接起来形成闭合电路,并对整个电路实行控制、保护及测量,主要包括有:连接导线、控制电器(如开关、插头、插座等)、保护电器(如熔断器等)、测量仪表(如电流表、电压表等)。

图 1.1(a)是手电筒的实物图,清楚明了,但画起来比较麻烦,工程上为了把电路各个组成部分的电关系简明地表达出来,常用国家规定的电气图形符号及文字符号表示各电气元器件,把实物图简化成电路原理图,如图 1.1(b)所示。表 1.1 列出了电路图中几种常用的图形及文字符号。

表 1.1 电路图中常用的图形及文字符号

直流电源 E		电容 C		开关 S	
固定电阻 R		电压源		熔断器 FU	
可变电阻 R		电流源		电压表	
电感 L		电灯 EL		电流表	

电路种类繁多,根据其使用大体可分两大类。一类是用于实现电能的传输及转换,如上面所述的照明电路及给电动机负载供电的动力电路,习惯上称为“强电”电路,本书主要讲述这类电路;另一类是用来进行电信号的传递和处理,如收音机、电视机电路、晶体管测温度电路等,习惯上称为“弱电”电路,这类电路将在电子技术中讲述。根据供电电源的不同电路又可分直流电路(由直流电源供电)和交流电路(由交流电源供电)两大类。此外在一个闭合的电路中,电源内部的电路称内电路,电源外部的电路称外电路。

第二节 电流、电位、电压、电动势、电阻、电功率及其相互关系

一、电流及参考方向

电路中电荷在电源的作用下定向移动即形成电流。电路中有电流产生需满足两个基本条件:一是有电源供电,另一个是必须形成闭合回路。电流的大小等于单位时间(t)内流过导体中的电荷[量](Q),用字母 I 表示。

$$I = \frac{Q}{t}$$

(1.1)

电流 I 的单位为安[培](A),电荷量 Q 的单位为库[仑](C),时间 t 的单位为秒(s)。有时电流还用千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)表示,它们之间的换算关系如表 1.2 所示。

表 1-2 单位换算

中文代号	吉	兆	千	百	十	个	分	厘	毫	微	皮
国际代号	G	M	k	h	d	-	d	c	m	μ	p
倍乘数	10^9	10^6	10^3	10^2	10	-	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-12}

如果电流的大小和方向都不随时间变化,称为直流电(简称为 DC)。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交流电(简称为 AC)。本章讲述直流电路,下章讲述交流电路。

电流的方向规定为正电荷运动的方向。如图 1.2 所示,因此在电源内部电流由负极流向正极,而在电源外部电流则由正极流向负极,以形成闭合回路。

在进行电路分析计算时,电流的实际方向有时难以确定,这时可先假定一个电流方向,并在电路图中用箭头标出,称为参考方向(或正方向)。然后根据所假定的参考方向列出电路方程求解,如计算结果为正,表示电流实际方向与参考方向相同;如为负,表示电流实际方向与参考方向相反,如图 1.3 所示。因此电流参考方向的假定在电路分析计算时是必不可少的,必须特别予以注意。同样在分析电动势、电压、电位等物理量的正负时,也与参考方向(或参考点)的选择有关。

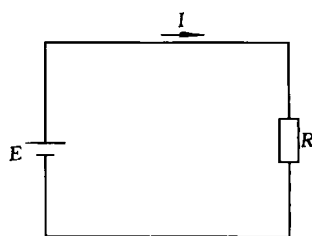


图 1.2 电路中电流的方向

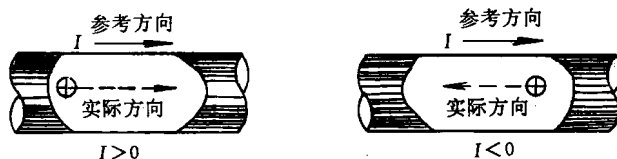


图 1.3 电流的正负

测量电流的仪表叫电流表,使用直流电流表时,必须把电流表串接在被测电路中,让被测电流从电流表通过,表的正端“+”接电流的流入端,表的负端“-”接电流的流出端,如图 1.4 所示。

二、电位

生活实践告诉我们,水总是由高处往低处流,高处的水位高,低处的水位低,它们之间因存在水位差而形成水流。与此类似,电路中各点均有一定的电位,带正电荷的某点具有高电位,带负电荷的某点具有低电位,在外电路中电流从高电位流向低电位。另外在讲高度时,总有一个计算高度的起点,通常以海平面作为基准参考点。电路中讲电位也必须有一个计算电位的起点,通常以大地作为零参考点,在电子电路中则以金属底板,机壳或公共点作为零参考点,用符号“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”表示。

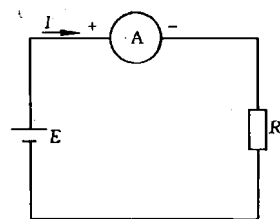


图 1.4 电流表的接法

某一点的电位是指电场力将单位正电荷 Q 从电场中的某一点移到参考点时所做的功,用 W 表示。电位用字母 V 表示,单位为伏[特](V)。

$$V = \frac{W}{Q} \quad (1.2)$$

式中, W 的单位为焦[耳](J); Q 的单位为库[仑](C); V 的单位为伏[特](V)。

必须特别注意, 电路中任意点电位的大小与参考点的选择有关。当参考点的选择不同时, 则该点的电位也随之改变。例如在图 1.5 中, 如果以 A 为参考点, 则 $V_A = 0, V_B = 3V, V_C = 9V$; 如以 B 点为参考点, 则 $V_B = 0, V_A = -3A, V_C = 6V$ 。

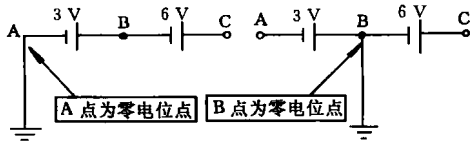


图 1.5 电位的参考点

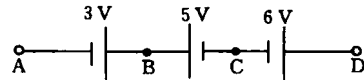


图 1.6 例 1.1 附图

例 1.1 如图 1.6 所示, 分别求 A 点为参考点, B 点为参考点, D 点为参考点时各点的电位。

解 A 点为参考点时:

$$V_A = 0, V_B = 3V, V_C = (-5 + 3)V = -2V, V_D = (6 - 2)V = 4V$$

B 点为参考点时:

$$V_B = 0, V_A = -3V, V_C = -5V, V_D = (6 - 5)V = 1V$$

D 点为参考点时:

$$V_D = 0, V_C = -6V, V_B = (5 - 6)V = -1V, V_A = (-3 - 1)V = -4V$$

三、电压(电位差)

水位差是循环水路中形成水流的原因, 同样电位差是电路中形成电流的原因, 当然水流和电流在本质上是两种不同的运动形式。

电路中某两点之间的电位差称为该两点间的电压, 即

$$U_{AB} = V_A - V_B \tag{1.3}$$

电压的数值等于单位正电荷 Q 在电场力的作用下从一点移到另一点时所做的功, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \tag{1.4}$$

电压用字母 U 表示, 它的单位也是伏[特](V), 电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 本书中用“+”“-”极性表示, 即从“+”端指向“-”端, 如图 1.7 所示。在进行电路计算时, 如一时无法判定电压的实际方向, 也可先假设一个电压的参考方向, 如计算结果为正, 则表示电压的实际方向与参考方向一致; 如结果为负, 则表示电压实际方向与参考方向相反。

电压参考方向和电流参考方向可以分别加以假定。但在电路分析计算时常假定电压参考方向和电流参考方向相一致, 称关联参考方向, 这样比较方便和清楚, 如图 1.7 中流过 R 中的电流及 R 两端的电压方向即一致。

必须特别指出: 电路中任意两点之间的电压值与参考点的选择无关。例如在图 1.5 中, 若以 A 点为参考点, 则 $U_{CA} = V_C - V_A = (9 - 0)V = 9V$; 若以 B 点为参考点, 则 $U_{CA} = V_C - V_A = [6 - (-3)]V = 9V$ 。

测量电压的仪表叫电压表, 使用直流电压表测量电压时必须

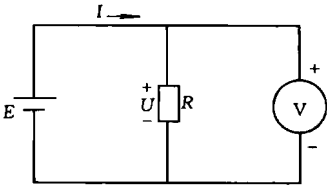


图 1.7 电压表的接法

把电压表跨接(并联)在被测电路的两端,电压表的正端(+)接电路中的高电位端,电压表的负端(-)接电路中的低电位端,如图 1.7 所示。

四、电动势

前面已经讲过,水位差是产生水流的原因,在循环水路中如何产生水位差呢?靠水泵把水从低水位提升到高水位。与此类似,电位差是产生电流的原因,在电路中则靠电源来维持任意两点间的电位差,因此电源是电路中提供电能的装置,它将非电能转换成电能。电源内部将其他形式的能量转换为电能并在电源两极间所建立的电位差叫电动势 E ,其数值等于电源内部电源力将单位正电荷 Q 从电源负极经电源内部移到正极所做的功 W_s ,即

$$E = \frac{W_s}{Q} \tag{1.5}$$

电动势 E 的单位也是伏(V),电动势的方向规定为从电源负极指向正极。

五、电阻

理论及实践都证明,导体对电流的通过具有一定的阻碍作用,称为电阻,用字母 R 表示,单位为欧[姆](Ω)。金属导体的电阻大小可用下式计算

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{1.6}$$

式中, l 为导体长度(m); A 为导体横截面积(m^2); ρ 为导体电阻率($\Omega \cdot m$);各种不同金属材料的电阻率 ρ 是不同的,参见表 1.3。

由表 1.3 可见,在常用的导电材料中,银、铜、铝的电阻率都很小,即对电流的阻碍作用小。其中铜、铝被广泛用来制造各种导线,电机、变压器、电器的线圈及各种导电元器件。银的电阻率虽然最小,但由于价格较贵,只在有特殊要求的场合下应用,如制作半导体器件的引线、电器的触点等。电阻率比较高的材料主要用来制造各种电阻元件,例如镍铬合金及铁铬铝合金的电阻率较高,并有长期承受高温的能力,因此常用来制造各种电热器件,如电炉、电熨斗、电热水器、电吹风等的发热电阻丝。图 1.8 所示为各种常用电阻器的实物图。

表 1.3 金属材料的电阻率 ρ 和电阻温度系数 α (20℃)

用 途	材料名称	电阻率 $\rho/\Omega \cdot m$	电阻温度系数 $\alpha/(1/^\circ C)$
导 电 材 料	银	$0.016\ 5 \times 10^{-6}$	0.003 8
	铜	$0.017\ 5 \times 10^{-6}$	0.004 0
	铝	$0.028\ 3 \times 10^{-6}$	0.004 2
	低碳钢	0.12×10^{-6}	0.006 0
	铁	$(0.13 \sim 0.3) \times 10^{-6}$	0.006 0
电 阻 材 料	锰铜	0.42×10^{-6}	0.000 005
	康铜	$(0.4 \sim 0.51) \times 10^{-6}$	0.000 005
	镍铬合金	1.1×10^{-6}	0.000 13
	铁铬铝合金	1.4×10^{-6}	0.000 05

导体的电阻不仅与材料有关,还与温度有关,金属导体在温度升高时其电阻也随着增加,其关系可用下式表示

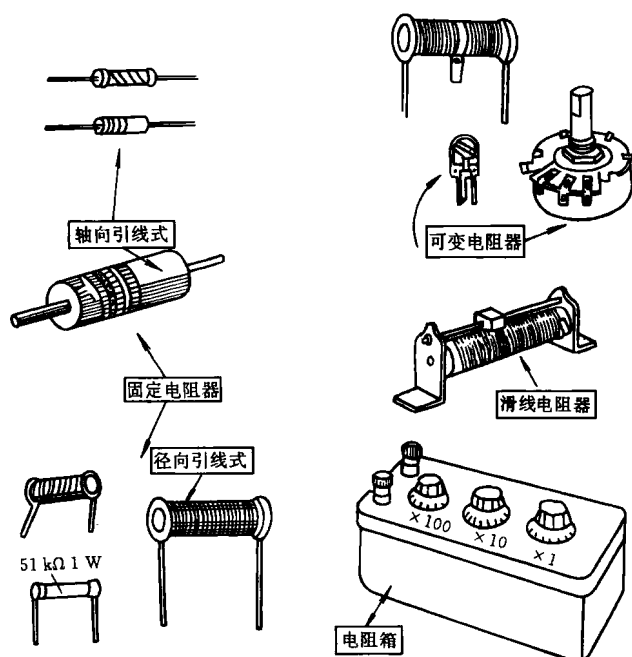


图 1.8 常用电阻器的实物图

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1.7)$$

式中, R_1 为导体对应于温度 t_1 时的电阻, 单位为欧(Ω); R_2 为导体对应于温度 t_2 时的电阻, 单位为欧(Ω); α 为导体的电阻温度系数 $1/^\circ\text{C}$ 。

许多电气设备(如电动机、变压器等)在使用过程中会发热, 利用公式(1.7)通过测量其线圈电阻的变化, 即可方便地测量其温度的变化。

例 1.2 某电动机在未运转前测得其铜线圈的电阻 $R_1 = 3.7 \Omega$, 此时周围的环境温度为 $t_1 = 20^\circ\text{C}$, 当电动机通电运行 1 小时(h)后, 电动机线圈因发热而使温度上升, 此时测得线圈的电阻 $R_2 = 4.5 \Omega$, 求该电动机线圈的温度 t_2 及温升 $t_2 - t_1$ 。

解 由表 1.3 查得铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004/^\circ\text{C}$, 由式(1.7)得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \left(\frac{4.5 - 3.7}{0.004 \times 3.7} + 20 \right) ^\circ\text{C} = 74^\circ\text{C}$$

则线圈的温升

$$t_2 - t_1 = (74 - 20) ^\circ\text{C} = 54^\circ\text{C}$$

由表 1.3 可见, 少数铜合金(康铜、锰铜)的电阻几乎不受温度的影响, 即 α 近似为零, 因此被广泛用来制造各种标准电阻、滑线变阻器及测量仪表中的分流器和分压器等。

另外还有一些物质, 例如某些半导体、碳导体、电解液等, 当温度升高时, 其电阻反而减小, 称为负温度系数。常用在电子线路中作温度补偿元件。

人们在实践中还发现有些金属材料的电阻随温度下降而不断地减小, 当温度降到一定值(称

临界温度)时,其电阻将突然降为零,这种现象称为超导现象,具有上述性质的材料称为超导材料。

超导现象虽然在 1911 年就被发现,但由于没有找到合适的超导材料以及受获取低温技术的限制,长期以来没有得到应用,20 世纪 60 年代起人们才开始积极研究,主要是寻找临界温度较高的超导材料。目前,在超导技术研究方面我国已居世界前列,发现了临界温度 132 K ($-141\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和 164 K ($-109\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的铋铅铋锶钙铜氧超导体,从而可以使用便宜的液氮取代昂贵的液氮作降温用的冷却剂。

目前超导技术已较广泛地应用于核能、计算机、航空探测等技术领域,并开始应用于发电设备、电动机及输电系统、交通运输业等。例如目前研制成功的超导变压器,由于变压器的线圈在超导状态下工作,它的电阻为零,从而可以极大地减小变压器的体积(与同类变压器相比可减小约 $2/3$),降低变压器的损耗(可减小约 $1/2$)。利用超导现象制造的磁悬浮列车,可以使列车行驶时悬浮于钢轨之上,列车运行速度可达 500 km/h 以上。可以预料,超导技术的发展,必将对今后世界的经济及技术发展带来重大的影响。

六、欧姆定律

欧姆定律是反映电路中电动势、电压、电流、电阻等物理量之间内在联系的一个极为重要的定律,也是电工技术中的一个最基本的定律。

(一) 一段电阻电路的欧姆定律

实验证明:在一段不含电源只有电阻的电路中,流过电阻的电流 I 的大小和加在电阻两端的电压 U 成正比,与电阻 R 成反比,即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.8)$$

这就是欧姆定律表达式,欧姆定律的另外两种表达形式是

$$U = RI \text{ 及 } R = \frac{U}{I}$$

使用式(1.8)时必须注意电流 I 与电压 U 的参考方向必须一致,如不一致将出现负号,现举例说明。

例 1.3 如图 1.9 所示,已知 $R = 10\text{ }\Omega$, $U_{AB} = 10\text{ V}$,分别求(a)图及(b)图中的电流 I 。

解 对(a)图而言

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{10}{10} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

对(b)图而言

$$I = \frac{U_{BA}}{R} = \frac{-U_{AB}}{R} = \frac{-10}{10} \text{ A} = -1 \text{ A}$$

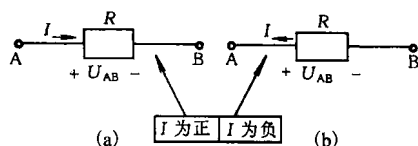


图 1.9 欧姆定律的方向

电流为负值表示该电阻上实际电流方向与图中所标的方向相反。

(二) 全电路欧姆定律

含有电源和负载的闭合电路称全电路,其欧姆定律表达式为

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1.9)$$

式中, R_0 为电源内电阻, 如图 1.10 所示。

(三) 线性电阻与非线性电阻

公式(1.8)中的电阻 $R = \frac{U}{I}$, 是一个常数, 它的大小不随电压、电流的变化而变化, 称为线性电阻。线性电阻的电压电流关系曲线即伏安特性曲线是通过原点的一条直线, 如图 1.11(a)所示, 所有的电阻器、电阻炉等元件均可近似看作线性电阻。另外还有一类电阻元件, 当加上不同的电压或通过不同的电流时, 其电阻值就不同(或者说电阻值不等于常数), 这类电阻称为非线性电阻, 其伏安特性曲线为一条曲线, 如图 1.11(b)所示, 该曲线为晶体二极管的正向伏安特性曲线(在晶体管电路中, 元件的伏安特性曲线习惯上仍以电压为横坐标, 以电流为纵坐标)。

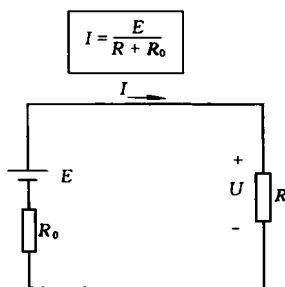


图 1.10 全电路欧姆定律电路图

七、电能、电功率

由式(1.4)可知, 电场力移动电荷 Q 通过负载 R 时所做的功, 即负载中有电流通过时消耗的电能 W 为

$$W = UQ = UI t = RI^2 t \quad (1.10)$$

把单位时间内负载所消耗的电能称为电功率, 用字母 P 表示, 单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

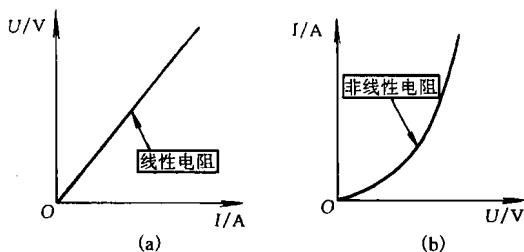


图 1.11 电阻的伏安特性曲线

$$P = \frac{W}{t} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1.11)$$

电能的单位除焦[耳](J)外, 常用千瓦时(kW·h)表示, 也称为度, $1\text{kW}\cdot\text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

例 1.4 有一只 $P = 40 \text{ W}$, $U = 220 \text{ V}$ 的白炽灯, 接在 220 V 的电源上, 求通过白炽灯的电流 I 。若该白炽灯每天使用 4 h , 求 30 天(d) 消耗的电能 W 。

解 $I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} \text{ A} = 0.18 \text{ A}$

$$W = Pt = 40 \times 10^{-3} \times 4 \times 30 \text{ kW}\cdot\text{h} = 4.8 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

第三节 电路模型和电路元件

一、电路模型

我们遇到的各种实际电路(如日光灯照明电路、电视机电路、各种电动机的控制电路等)均由许多实际的电工、电子元器件或设备组合而成。由于实际元器件或设备种类繁多, 特性及用途也各异, 给电路的分析及计算带来了许多困难及不便。为此在分析计算电路时, 可把实际电路中的各种元器件等都表征其物理性质的理想电路元件来代替, 这种用理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型。