



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工基础

第2版

主编 薛涛



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电 工 基 础

(第2版)

主	编	薛	涛
审	稿	刘	蕴陶

高等教育出版社

内容简介

本书参照教育部颁布的中等职业学校电类专业“电工基础教学大纲”,根据近几年中等职业学校生源的变化情况,贯彻落实“以服务为宗旨,以就业为导向,以能力为本位”的职业教育办学指导思想,在原中等职业教育国家规划教材《电工基础》基础上修订而成。

本书主要包括: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、互感耦合电路、谐振、非正弦周期波、磁路与铁心线圈。

本书参考了电气电子行业职业技能鉴定规范以及中级技术工人等级考核标准,突出知识的应用,体现“必需、够用”的原则。利用书后所附学习卡,登录高等教育出版社“<http://www.hep.com.cn>”4A网络教学平台,可获得网上教学资源。

本书采用模块加套简式编写方式,可供中等职业学校电类各专业使用,也可作为岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/薛涛主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2006.5

ISBN 7-04-019466-X

I 电 II 薛 III 电工学-专业学校-教材
IV TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第017619号

策划编辑 李刚 责任编辑 李葛平 封面设计 李卫青 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 宋克宇

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
印 刷 北京晨光印刷厂

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
2006年5月第2版
印 次 2006年5月第1次印刷
定 价 15.10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 19466-00

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中、初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均做了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为学校选用教材提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年五月

前 言

本书自2001年第1版出版已经5年了,在中等职业学校中被普遍采用并获得好评。近年来,中等职业教育培养目标和教学模式发生了变化,学生的具体情况也与以往不同。另外,电工领域不断出现新材料、新技术和新工艺,现代企业对中等职业学校学生也不断提出新的要求。目前的教材已经在许多方面不适应当前中等职业教育的发展,部分内容已经陈旧。

为了适应我国中等职业教育教学改革的需求,经过近5年的教学实践,在总结、提高的基础上,本书编者对第1版教材进行了修订,降低了理论的难度,重新筛选修改了习题,增加了新技术的内容,使教材更加贴近实际应用。修订努力体现以全面素质教育为基础、以就业为导向、以职业能力为本位、以学生为主体的教学理念。在教学内容上,不追求科学知识的系统性和完整性,强调教学内容的应用性与实践性。本书修订过程中参考了电气电子行业职业技能鉴定规范以及中级技术工人等级考核标准。

本书修订后仍然保持第1版的强电与弱电知识合一、模块化和重视实际应用的三大特色,主要特点有:

1. 将包括电和磁的基础知识、电路理论、变压器、电动机等实用技术方面的内容进行了优化、整合,兼顾强电与弱电,建立了自己的教材体系。教材内容能够满足中等职业学校电类相关专业的教学需要和实用技能培训的需要,并为学习后续课程打下基础。

2. 注意精选内容,较好地贯彻了“必需、够用”的原则。删去了部分比较艰深的理论分析方面的内容,例如,在“正弦交流电路”中删去了“正弦交流电路相量分析与计算”的内容,在选学模块中删去了“电路的瞬态过程”和“信号与系统概述”两章内容。这些修改使本书更加适合现在中等职业学校学生的实际水平。

3. 注重理论联系实际,突出内容的实践性。教材紧密结合各知识点的内容,尽可能多地介绍电工技术方面的实际使用知识和工程实际方面的应用实例,包括实际动手操作方面的训练。有助于学生对理论内容的深入理解,同时有利于对学生动手能力的培养和综合素质的提高。

4. 对有关理论与概念的引出注意从感性认识到理性认识的过程,语言通俗易懂,习题丰富。

修订后,本课程的教学时数应做相应的调整,具体建议见下表:

学时分配建议表

模块	内 容	课时分配				小计		
		讲课		习题课	辅导与讨论课			
		基础班	提高班			基础班	提高班	
基础模块	一、电路的基本概念和基本定律	10	10	2		12	12	
	二、直流电阻电路	6	10	4		10	14	
	三、电容和电感	10	10			10	10	
	四、正弦交流电路	16	16	6		22	22	
	五、三相交流电路	6	10	2		8	12	
	合 计	48	56	14		62	70	
选用模块	一、互感耦合电路	2	4			2	4	
	二、谐振	2	4			2	4	
	三、非正弦周期波	2	4			2	4	
	四、磁路与铁心线圈	4	6			4	6	
	合 计	10	18			10	18	
	本模块最少选用学时				4	12		
应用模块	本模块最少选用学时				基础班	提高班	6	10
					6	10		
机 动						4	4	
建议总学时						76	96	

教材中打“*”的内容为提高班选学。

本书修订工作主要由薛涛完成,由全国中等职业教育教材审定委员会专家、北京理工大学刘蕴陶教授主审,他对本书内容进行了仔细审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在这里表示诚挚的感谢。

限于编者水平,书中难免存在缺点与错误,敬请读者批评指正。

编 者
2005 年 10 月

第1版前言

本书根据2000年8月教育部颁发的中等职业学校电类专业三、四年制通用《电工基础教学大纲》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,本教材现被列为中等职业教育国家规划教材,供中等职业学校三、四年制电类各专业使用。

本教材主要特点有:

1. 为适应现代电气、电子技术强、弱电技术互相渗透、融合的发展趋势,有利于培养知识面宽、适应性强的复合型人才,本书采用强、弱电知识合一体系。把多年来主要根据学科特点,分别为电工、电力等强电类专业和电子通信等弱电类专业编写的两类传统的电工基础教材合二为一。这是一次有益的尝试,需要在教改实践中共同探索和总结。

2. 采用模块式加套简式结构,适应不同学校、不同专业、不同学制的办学需要,用打“*”区分三年制与四年制内容。教材整体分为基础篇和选用篇两大部分。基础篇是必学模块,其教学要求对于各类学校、不同学制、不同专业基本一致。在此平台上,各校可根据专业需要予以拓宽或加深。从教材的结构来说,它分为必学、选学、应用三大模块,必学模块是基础,选学模块是在必学模块基础上向专业方向进行的第一次拓展,而应用模块则是在此基础上向工程技术应用领域的第二次拓展。尽量使各模块之间、各章节之间、各知识点之间构成从易到难、循序渐进的逻辑体系。

3. 体现职业教育特色,重视实际应用。采用“阅读与应用”形式,将教学大纲中应用模块的内容分散到每章的后面,供学生自学。这些内容选用了工程实例并尽量以新技术、新材料、新器件作为典型例子,使学生在学了正文的理论知识后,马上就能体会到这些理论的应用,一方面扩大学生知识面,一方面培养学生工程意识,充分体现职业教育特色。

4. 以“必需、够用”为度,降低理论难度。本教材根据对中等职业学校学生的培养要求和课程教学目标,删去了一些较难的知识点,突出定性分析,减少定量计算,减少理论推导,尽量用实验或实例导出结论,介绍定理、定律注重于应用。教材采用初等数学作为运算、推导的基本工具,定量计算的电路形式也尽可能简单、实用。降低习题的难度,偏重于对概念、定理的理解、掌握,而不强求解题技巧。

5. 体现时代特征,更新教材内容。本教材注意删去老化的知识点,尽量多介绍电气、电子技术领域的有关新知识、新技术、新材料、新器件,使学生能学到有用的知识和技能,有利于培养学生创新精神。

6. 在每章前设计学习目标,有利于学生自学。

7. 文字、版面上力求深入浅出,通俗易懂,图文并茂。

本教材参考学时数见“学时分配建议表”,各校、各专业可根据自己的实际情况制定教学方案。

参加本书编写工作的有教育部中等职业教育文化基础课程教学指导委员会委员和全国中专电工基础课程组成员。他们在参加教育部颁发的电工基础教学大纲的调研、制订工作过程中,认

真学习了中央关于中等职业教育教材改革的指示精神,广泛听取中等职业学校各类学校广大教师、学生的意见和建议,为编写教材打下了良好的工作基础。编写工作的具体分工为:福建职业技术学院薛寿副教授编写第一、三章,上海电子技术学校周智文高级讲师编写第二章,山西太原冶金工业学校王鹰高级讲师编写第四、九章,安徽合肥电力学校王世才高级讲师编写第五、十章,北京信息职业技术学院王慧玲高级讲师编写第六、七、八、十一章,全书由薛寿统稿。

学时分配建议表

模块	内 容	小计		课 时 分 配				
				讲 课		习 题 课	辅 导 与 讨 论 课	
		三 年 制	四 年 制	三 年 制	四 年 制			
基础 模块	一、电路的基本概念和基本定律	12	12	10	10	2		
	二、直流电阻电路	14	14	10	10	4		
	三、电容和电感	10	10	10	10			
	四、正弦交流电路	22	28	16	22	6		
	五、三相交流电路	12	12	10	10	2		
	合 计	70	76	56	62	14		
选用 模块	一、互感耦合电路	4	4	4	4			
	二、谐振	4	8	4	8			
	三、非正弦周期波	4	6	4	6			
	四、电路的瞬态过程	6	10	6	10			
	五、磁路与铁心线圈	8	8	8	8			
	六、信号与系统概述	4	4	4	4			
	合 计	30	40	30	40			
	本模块最少选用学时	20	30					
应用 模块	本模块最少选用学时	6	10					三 年 制
							6	10
机 动		4	4					
建议总学时		100	120					

本教材经全国中等职业教育教材审定委员会审定,由上海大学吴锡龙教授任责任主审,上海交通大学程君实教授审稿,高等教育出版社楼史进编审、苏州高级工业学校周绍敏老师等参加了本书的编写大纲讨论会及审稿会,提出许多宝贵意见;许多中专、职高、技工学校老师为本书编写

热情提供资料及建议,使编者得到有益的启发;福建职业技术学院的刘炳辉、杨明华、吕金莲等为本书编写做了大量工作,在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免存在缺点与错误,敬请读者批评指正。

编 者
2001 年 3 月

目 录

◎ 基础模块

第一章 电路的基本概念和基本定律	1	习题三	69
第一节 电路和电路模型	1	第四章 正弦交流电路	71
第二节 电流、电压和电功率	2	第一节 正弦交流电的产生	71
第三节 电阻元件	5	第二节 正弦量	73
第四节 电压源和电流源	8	第三节 正弦量的有效值和平均值	75
第五节 基尔霍夫定律	9	第四节 正弦量的相位和相位差	77
阅读与应用一 电工识图知识	14	第五节 正弦量的旋转矢量表示法	79
阅读与应用二 电工材料	16	第六节 正弦交流电路中的电阻、电感、 电容	82
阅读与应用三 电阻器及应用	18	第七节 RL 和 RC 串联电路	88
阅读与应用四 电池	22	第八节 RLC 串联电路	94
习题一	24	第九节 正弦交流电路的功率	98
第二章 直流电阻电路	27	阅读与应用七 常用电光源	101
第一节 电阻串联、并联与混联	27	阅读与应用八 节能和提高功率因数	102
第二节 电压表和电流表量程的扩大	31	阅读与应用九 交流电路的实际器件	104
第三节 电路中各点电位的计算	33	阅读与应用十 移相电路	105
第四节 实际电源两种电路模型的等效 变换	35	习题四	106
* 第五节 叠加定理	38	第五章 三相交流电路	109
* 第六节 戴维宁定理	41	第一节 三相交流电的产生	109
习题二	46	第二节 三相电源和负载的连接	111
第三章 电容和电感	50	第三节 三相电路中的电压和电流	114
第一节 电场的基本知识	50	* 第四节 对称三相电路的计算	118
第二节 电容元件	52	* 第五节 三相电路的功率	121
第三节 电容器的串、并联	54	阅读与应用十一 对称三相负载的故障 分析	124
第四节 磁场的基本知识	57	阅读与应用十二 三相异步电动机	126
第五节 电磁感应定律	60	阅读与应用十三 安全用电常识	130
第六节 电感元件	62	习题五	133
阅读与应用五 电容器的应用	64		
阅读与应用六 电感器的应用	67		

◎ 选用模块

第六章 互感耦合电路	135	* 第二节 具有互感的线圈串联	139
第一节 互感	135	阅读与应用十四 互感线圈同名端实用	

判别法	141	和功率	166
阅读与应用十五 互感的应用	142	阅读与应用十八 滤波器	167
阅读与应用十六 变压器	143	习题八	168
习题六	148	第九章 磁路与铁心线圈	169
第七章 谐振	150	第一节 磁路与磁路定律	169
第一节 串联谐振电路	150	第二节 铁磁性物质的磁化	172
* 第二节 并联谐振电路	155	* 第三节 交流铁心线圈	174
阅读与应用十七 谐振的应用和防护	156	阅读与应用十九 常用磁性材料	177
习题七	160	阅读与应用二十 电磁铁	179
第八章 非正弦周期波	161	阅读与应用二十一 充磁与消磁技术	181
第一节 非正弦周期波	161	阅读与应用二十二 涡流的应用和 限制	183
第二节 非正弦周期波的分解	162	习题九	185
* 第三节 非正弦周期量的有效值、平均值			
参考文献	187		

基础模块

第一章 电路的基本概念和基本定律



学习目标

电路分析的对象是电路模型,而不是实际电路。电路模型由理想元件构成。本章介绍电阻、电压源、电流源三个理想元件。电路分析的任务是求解电路各部分的电压、电流或功率,电压、电流的参考方向是分析的前提,理想元件的电压与电流关系以及基尔霍夫定律是电路分析的理论依据。这些基本概念、基本定律和理想元件是后续内容的重要基础。在阅读与应用中还介绍了电工识图、电工材料的基本知识和电阻、电池的应用。通过本章学习,要求学生:

1. 了解电路与电路模型的概念;
2. 理解电流、电压、电位、电动势、电功率及电能的概念,掌握电流、电压的参考方向;
3. 掌握三个理想元件(电阻、电压源、电流源)的电压与电流关系;
4. 理解基尔霍夫两个定律,并能熟练应用基尔霍夫定律和欧姆定律,能应用支路法求解具有两个网孔的电路。

第一节 电路和电路模型

电路是各种电气器件按一定方式连接的总体,它可以提供电流流通的路径。现实生活中的电路式样非常多,如人们常见的家用电器、电话、电脑、电梯等,在它们内部有各种各样的电路,这些电器或设备就是依靠这些电路来实现各种功能的。若从电路的作用来看,主要有两类:一是传输、分配、使用电能。例如电力电路,发电机发出的电能,通过变压器、输电网传送到用户,用户的各种用电器把电能转变为机械能、光能、热能等;二是传递、处理电信号。例如收音机、电视机中的电路,它们能接收空中微弱的电磁信号,经过放大、变换等处理后,变为声音、图像。

电路中提供电能的设备称为电源,如电池、发电机、稳压电源等。用电设备称为负载,如电灯、电热器、电动机等。此外,电路中还有开关、导线。开关用来控制电路的通断,导线用来连接各个电气器件。图 1-1 所示电路是由一个电源

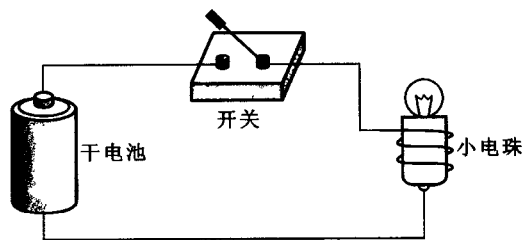


图 1-1 实际电路

(干电池)、一个负载(小电珠)、一个开关和若干条导线组成的最简单电路。当开关合上时称为**通路(闭路)**,此时电路有电流流通。当开关断开时称为**断路(开路)**,此时电路无电流。如果小电珠两端被一根导线短接,电流直接从导线流过,这种情况称为**短路**,此时将会损坏干电池。但是,一个电路出现局部短路或某个元件被短路,并不一定会损坏电源。

不同电路的几何尺寸有很大差别。如电力网、互联网,其尺寸达到几千平方千米甚至跨国界连接,而集成电路芯片却只有几平方厘米,这些芯片内部电路的尺寸就更小了。组成电路的各个电气器件在通电时所发生的电磁过程也各不相同。例如,电阻器在电流流过时因发热而消耗了电能,同时,电流流过时还会产生磁场,于是电能又会变成磁能。一个简单的电阻器,在通电时就有着这么复杂的电磁过程,可见,要研究电路,必须解决电路的这些差异性与复杂性。办法是:在一定条件下采用近似的方法来模拟实际的电路。首先,定义一些理想元件来表示电路器件的主要电磁性质。换句话说,这些**理想元件是由单一参数表示的电路器件**。例如:用电阻元件 R 表示电路器件消耗电能的电磁性质,于是,在一定条件下,当突出电灯、电阻器、电炉消耗电能这一主要性质、忽略其次要性质时,这些器件就可以用电阻元件来模拟。今后还要陆续介绍常用的电路理想元件,如电感元件、电容元件、电压源元件等。这些理想元件都有国家规定的标准图形符号,如图1-2所示。

有了理想元件,就可以用理想元件来模拟各种实际电路,这种电路称为**实际电路的电路模型**。如图1-3所示电路就是图1-1所示电路的模型。在图1-3中, U_s 表示干电池, R 表示小电珠, S 表示开关,各个理想元件之间用线段(理想导线)来连接。像图1-3这样,用图形符号绘制的**电路模型称为电路图**。电路图与实际电路的几何尺寸无关,复杂的电磁过程也被理想化了,人们在电路图上可以方便地进行分析研究,找出各种电路的工作规律。今后未加说明,所说的电路都是电路模型,所有的元件都是理想元件。

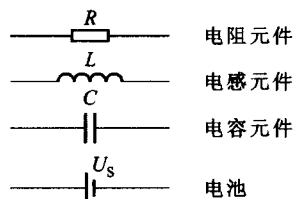


图1-2 理想元件符号

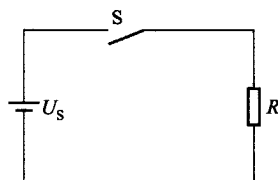


图1-3 电路模型

第二节 电流、电压和电功率

一、电流

电荷的定向运动形成了电流。不同物质在导电时,参与形成电流的带电粒子是不同的,如金属导体中是自由电子,电解液中是正、负离子,气体导电既有电子也有离子,半导体材料中则是电子与带正电的空穴。习惯上,人们把正电荷移动的方向规定为**电流的方向**。

大小与方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流,又称直流电流,用符号“ I ”表示;大小与方向都随时间变化的电流,称为交流电流,用符号“ i ”表示。

电流的大小是用单位时间内通过导体横截面的电荷量来定义。对于直流电流,在任一瞬间 t 通过电路的电荷量 q 都不变,其电流为

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

对于交流电流,由于通过电路的电荷量一直在变化,只能取一个非常小的时间间隔 Δt ,此时通过的电荷量为 Δq ,则此时电流为

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

在国际单位制(SI)中,电流的单位名称是安[培],符号为 A。在式(1-1)和式(1-2)中,若在 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C(库),则电流为 1 A。工程上还常用 kA(千安)、mA(毫安)或 μA (微安)作单位,其关系如下:

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}$$

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

二、电压

要使电路有电流流过必须具备两个条件:(1)电路为闭合路径;(2)电路中有电压。电压和电流是电路理论中两个基本的物理量。直流电压用符号“ U ”表示,交流电压用符号“ u ”表示。电压的大小是用电场力移动单位电荷做功来定义的。当电场力把正电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功为 W 时,a、b 两点间的电压

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

在国际单位制(SI)中,电压的单位名称是伏[特],符号为 V。式(1-3)中,当 W 为 1 J(焦)、 q 为 1 C 时, U 为 1 V。工程上还常用 kV(千伏)、mV(毫伏)、 μV (微伏)作单位,其关系如下:

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

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

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

电压的方向是电场力移动正电荷的方向。例如:当电场力把正电荷从 a 点移到 b 点做功时,电压的方向就是从 a 指向 b。由于正电荷运动方向也是电流的方向,所以在分析电路时,常把电压的方向与电流的方向取为一致。电压方向有两种表示方式:一种是符号 U 加双下标,如 U_{ab} 表示电压方向从 a 指向 b;也可以在电路的两点或元件两端标上极性,如图 1-4 所示。

要测量电路中某两点的电压,必须用电压表的两个测量笔接触这两个待测点。但是在很多电路中,尤其是在电子电路中,都有一个公共点。因此测量电压时,常把一个测量笔固定在公共点上,另一个测量笔



图 1-4 电压方向

接触电路中各点,这时测出来的电压,称为这些点的“电位”。工程中对电位是这样定义的:在电路中任取一点为参考点,则电路中其余各点相对参考点的电压称为该点的电位。电位用符号“ V ”表示,单位也是 V。例如 V_a 表示是 a 点的电位。参考点的电位定义为零,即 $V_0 = 0$ 。电路中某点电位高于参考点电位时,该点为正电位;低于参考点电位时,该点为负电位。若两点的电位

分别为 V_a 和 V_b , 则两点间的电压就是这两点的电位差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

电位在工程中是个很重要的概念, 它不仅给测量电压带来方便, 在分析电路时, 也常常要用到。例如在电子电路中, 常通过比较电子元件的各个端点电位, 来判定它的工作状态。但要注意, 在一个电路或一个系统中, 只允许有一个参考点, 若参考点改变, 各点的电位也会相应变化, 而两点间电压是固定不变的。

三、电功率

电功率是单位时间内电场力所做的功, 简称功率, 用符号 P 表示, 即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-5)$$

因为 $W = Uq$, 所以

$$P = \frac{Uq}{t} = UI \quad (1-6)$$

上式表明功率是某一电路(或元件)两端的电压与流过的电流的乘积。该式使用起来很方便, 在分析电路时应用非常广泛。

在国际单位制(SI)中, 电功率的单位名称是瓦[特], 符号为 W。在式(1-6)中, 当电压为 1 V、电流为 1 A 时, 功率为 1 W。工程上还常用 kW(千瓦)、mW(毫瓦)、 μ W(微瓦)作为功率的单位, 它们之间的关系是

$$\begin{aligned} 1 \text{ kW} &= 10^3 \text{ W} \\ 1 \text{ W} &= 10^3 \text{ mW} \\ 1 \text{ mW} &= 10^3 \mu\text{W} \end{aligned}$$

从式(1-5)和(1-6)可以推出电功为

$$W = Pt = UIt \quad (1-7)$$

电功 W 在工程上又称为电能。在国际单位制(SI)中, 电能的单位名称是焦[耳], 符号为 J。在式(1-7)中, 当 P 为 1 W、 t 为 1 s 时, 电能为 1 J。工程上用 kW·h(千瓦时)作为电能的单位, 俗称“度”。1 度电为

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} \quad (1-8)$$

四、电动势

电动势是用来衡量电源内部非电场力(化学力、电磁力、热力等)做功的一个物理量。即在电源内部, 非电场力将单位正电荷从电源一端移到另一端所做的功称为电源的电动势。用符号 E 表示, 单位也是 V(伏)。由于非电场力是将正电荷从电源负极移向正极, 克服电场力做功, 所以电动势的实际方向是从电源的负极指向正极, 而电源端电压的方向是从正极指向负极。电源开路时, 其电动势与端电压大小相等、方向相反。在图 1-5 所示方向下, 有 $U = E$ 。

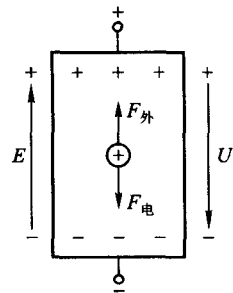


图 1-5 电源电动势与端电压

第三节 电阻元件

一、电阻

物体导电时带电粒子会和原子发生碰撞、摩擦,这种碰撞、摩擦一方面阻碍了带电粒子的定向移动,另一方面将电能转变为热能使物体发热,这种发热所消耗的电能是不可逆转的。因此,电阻是表示物体对电流阻碍作用的物理量,在国际单位制(SI)中,电阻的单位名称是欧[姆],符号为 Ω 。工程上还常用 $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧)做单位,它们之间的关系是

$$1\text{ M}\Omega = 10^3\text{ k}\Omega$$

$$1\text{ k}\Omega = 10^3\text{ }\Omega$$

对于导体来说,它的电阻是由导体的长短、粗细、材料和温度决定的。在保持温度($20\text{ }^\circ\text{C}$)不变条件下,电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,即

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{1-9}$$

式中, l 为导体的长度,单位为 m ; S 为导体的横截面积,单位为 m^2 ; ρ 为材料的电阻率,单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

几种常见材料的电阻率见表 1-1。

表 1-1 几种常见材料的电阻率与电阻温度系数

材料名称		电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$ 20 $^\circ\text{C}$ 时	平均电阻温度系数 $\alpha/^\circ\text{C}$ (0 ~ 100 $^\circ\text{C}$)
导体	银	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
	铜	1.69×10^{-8}	3.9×10^{-3}
	铝	2.65×10^{-8}	4.23×10^{-3}
	铁	9.78×10^{-8}	6.0×10^{-3}
	钨	5.48×10^{-8}	4.5×10^{-3}
	钢	$1.30 \times 10^{-7} \sim 2.50 \times 10^{-7}$	6.0×10^{-3}
	锡	1.14×10^{-7}	4.4×10^{-3}
	铂	1.05×10^{-7}	4.0×10^{-3}
	锰铜	$4.2 \times 10^{-7} \sim 4.8 \times 10^{-7}$	0.6×10^{-5}
	康铜	$4.8 \times 10^{-7} \sim 5.2 \times 10^{-7}$	0.5×10^{-5}
	镍铬合金	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$	15×10^{-5}
	铁铬铝合金	$1.3 \times 10^{-6} \sim 1.4 \times 10^{-6}$	28×10^{-5}
半导体	碳(纯)	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
	锗(纯)	0.60	
	硅(纯)	2.300	
绝缘体	塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	
	陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	
	云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	
	石英	75×10^{16}	
	玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	

例 1-1 有一捆铜芯电线,已知长度为 1 000 m,在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时测得电阻为 $6.76\text{ }\Omega$,问该电线的

截面积为多少?

解:查表 1-1 可知 20 °C 时铜的电阻率

$$\rho = 1.69 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

于是铜芯电线的截面积

$$S = \rho \frac{l}{R} = (1.69 \times 10^{-8} \times 1000 / 6.76) \text{ m}^2 = 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 2.5 \text{ mm}^2$$

材料的电阻率是反映材料导电性能的。电阻率越大,材料的导电性能越差。按电阻率大小可以把材料分为三类:电阻率小于 $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为**导体**,如各种金属材料;电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 的材料称为**绝缘体**,如塑料、陶瓷等;介于导体与绝缘体之间的材料,称为**半导体**,如锗、硅等。

在电气、信息工程中根据不同的用途,用不同的材料,制成各种形式的电阻器。当电流流过电阻器时,电阻器会发热,消耗电能。这是所有电阻器的共同特征。但是电路中使用电阻器,主要是利用它会阻碍电流的特性。有关电阻器的应用,可参看“阅读与应用三”。

电阻的倒数称为**电导**,它是表示材料导电能力的一个参数,用符号 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-10)$$

在国际单位制(SI)中,电导的单位名称是西[门子],符号为 S 。

二、电阻元件

在电路理论中,电灯、电热器、电阻器等以消耗电能作为其主要特征的电气器件,是用电阻元件作为它们的理想化模型。电阻元件的符号如图 1-6 所示,它是一个二端元件。当加在它两端的电压和流过它的电流方向如

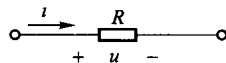


图 1-6 所示时,该元件的电压与电流成正比。即

图 1-6 电阻的电压与电流方向

$$u = Ri \quad (1-11)$$

式(1-11)称为**欧姆定律**,是德国科学家欧姆在 1827 年通过实验总结出来的。它在电路理论中具有重要的地位,并且应用广泛。从式(1-11)还可推出

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-12)$$

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-13)$$

$$p = ui = \frac{u^2}{R} = Ri^2 \quad (1-14)$$

例 1-2 某电阻元件阻值为 10Ω ,额定功率 $P_N = 10 \text{ W}$, (1)当加在电阻两端的电压为 20 V 时,该电阻能正常工作吗? (2)若要使该电阻正常工作,外加电压不能超过多少伏?

解: (1)根据式(1-12),流过电阻的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20}{10} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

此时电阻所消耗的功率

$$P = UI = (20 \times 2) \text{ W} = 40 \text{ W}$$

由于 P 大于 P_N ,该电阻将被烧毁。