



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

电工技术

主编 曹建林



高等教育出版社

高等教育出版社

中等职业教育工程技术基础国家规划教材及配套教学用书目录

电工技术	曾祥富
电工技术	曹建林
电子技术	石小法
电子技术	张友汉
电子技术	肖耀南
电子技术实验与实训	张友汉
电工与电子技术	文春帆
电工与电子技术	程 周
电工与电子技术实验与实训	程 周
机械基础	李世维
机械设计基础	黄森彬
机械设计基础选择题集	黄森彬
机械制图	冯秋官
机械制图习题集	冯秋官
机械工程力学	金贤铠
机械工程力学练习与实验	金贤铠
金属工艺学	司乃钧
金属工艺学实习、实验及综合练习	马中全

ISBN 7-04-009998-5



9 787040 099980 >

定价 13.30 元

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 技 术

主 编 曹建林
责任主审 刘蕴陶
审 稿 孙恪生 郭文安



高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材之一。

本书是根据教育部 2000 年 8 月颁发的中等职业学校电工技术教学大纲并参照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而编写的。

本书内容包括直流电路,正弦交流电路,磁路与变压器,电工仪表及测量,电机、电动机的控制,供电、用电与电能转换,实验与实训等八章。

本书适用于 3、4 年制中等职业学校对电类知识要求较高的非电类专业。也可以作为相关行业的职业技能鉴定和中级技术工人等级考核培训教材及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/曹建林主编. —北京:高等教育出版社,
2001. 7
职高用书
ISBN 7-04-009998-5

I. 电… II. 曹… III. 电工技术—职业高中—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 043056 号

电工技术
曹建林 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 7 月第 1 版

印 张 13.25

印 次 2001 年 7 月第 1 次印刷

字 数 310 000

定 价 13.30 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

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》(教成成[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作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，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

本书是“中等职业教育国家规划教材”之一，是根据教育部2000年8月颁发的中等职业学校电工技术教学大纲并参照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而编写的。适用于3、4年制对电类知识要求较高的非电类专业。

本课程是中等职业学校非电类相关专业的一门技术基础课程。其任务是使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必需的电工技术基本知识和基本技能，为学生学习专业知识和职业技能，提高全面素质，增强适应职业变化的能力和继续学习的能力打下一定的基础。在教材编写中，力求做到围绕一个目标，中等职业教育培养目标。注意两个吸收，吸收国外先进职教教材精髓，吸收现代职教理念，采用“宽基础，活模块”式教材结构，以能力为本位，着重培养学生的全面素质、创新精神和实践能力。体现三个特性，适应性：适应社会经济、生产技术发展的需要和适应各非电类专业实际应用的需要。实用性，教材内容以选取在生产技术中应用的实用知识和技术为主。综合性，以培养综合职业能力为主线，对内容相互关联而又交叉的部分进行综合化开发。突出四个特点，宽、新、精、活。宽，有较宽的基本知识和技能，着重对学生认知能力的培养；新，引入新知识、新技术、新产品；精，贯彻少而精的原则，降低理论难度，语言精练通俗；活，教材体例结构灵活新颖，做到图文并茂、形象生动。同时本书还配有按课程教学大纲要求的实验与实训14个，使理论教学与技能训练紧密结合，旨在培养学生理论联系实际的能力。

本教材参考教学时数为70学时，其中理论教学50学时，实验与实训20学时。其中打“*”部分为选学模块。

章 次	学 时	章 次	学 时
1	6	6	10
2	10	7	4
3	4	8	20
4	6	合计	70
5	10		

本书由无锡无线电工业学校曹建林高级讲师担任主编，无锡无线电工业学校周元兴讲师、戴红霞讲师参编。其中曹建林编写了第1章、第2章、第5章、实验1、实验2、实验5、实训2和实训4，并负责统稿；周元兴编写了第6章、第7章、实训3、实训5、实训6、实训7、实训8和实训9；戴红霞编写了第3章、第4章、实验3、实验4和实训1。全书经全国中等职业教育教材审定委员会审定，由刘蕴陶任责任主审，由孙恪生、郭文安审稿。另外，高等教育出版社聘请张安康、朱家建审阅了全稿。本书还得到了全国中专电工学与工业电子学课程组成员赵承荻副教授的具体指导，天津电子信息学校副校长张福强高级讲师、珠海工业学校校

长助理张中洲高级讲师参加了教材编写大纲的讨论并提出了许多宝贵建议。在此谨向所有为本书的编写、出版作过支持和帮助的同志表示诚挚的感谢。

由于时间仓促及编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大教师和读者不吝指教。

编 者

2001年2月

目 录

前言	1	* 2.3.3 串联谐振	46
第 1 章 直流电路	1	2.4 感性负载与电容并联电路	47
1.1 电路与电路物理量	1	2.4.1 功率因数的影响	47
1.1.1 电路及其组成	1	2.4.2 感性负载并联电容	
1.1.2 电路的基本物理量	2	——改善功率因数	47
1.1.3 电路的几种状态	5	* 2.4.3 并联谐振	49
1.2 电阻元件与欧姆定律	7	2.5 三相正弦交流电路	50
1.2.1 电阻元件	7	2.5.1 三相电源的连接	50
1.2.2 欧姆定律	10	2.5.2 三相负载的连接	52
1.2.3 电阻的连接	11	本章小结	56
* 1.3 电压源与电流源	14	习题与思考题	58
1.3.1 电压源	14		
1.3.2 电流源	14	第 3 章 磁路与变压器	62
1.4 基尔霍夫定律与支路电流法	15	* 3.1 磁路与铁磁性材料	62
1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	16	3.1.1 磁路及磁路欧姆定律	62
1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	16	3.1.2 铁磁性材料的基本性能及其	
1.4.3 支路电流法	17	应用	63
* 1.5 叠加定理与戴维宁定理	19	3.2 单相变压器	65
1.5.1 叠加定理	19	3.2.1 基本结构及其工作原理	65
1.5.2 戴维宁定理	20	3.2.2 同极性端及其判断	67
本章小结	22	3.2.3 外特性及电压调整率	69
习题与思考题	24	* 3.3 三相变压器	69
第 2 章 正弦交流电路	27	3.3.1 基本结构	69
2.1 正弦交流电	27	3.3.2 铭牌数据	71
2.1.1 正弦交流电的三要素	27	* 3.4 自耦变压器	72
2.1.2 正弦交流电的表示法	29	3.4.1 工作原理	72
2.2 单一元件正弦交流电路	31	3.4.2 应用举例	72
2.2.1 电感元件与电容元件	31	本章小结	73
2.2.2 单一元件电路	36	习题与思考题	74
2.3 正弦交流串联电路	40		
2.3.1 电阻与电感串联电路	40	第 4 章 电工仪表及测量	75
* 2.3.2 电阻、电感、电容串联电路	43	4.1 电工仪表的分类及选用	75
		4.1.1 分类	75

注：* 者为选用模块。

4.1.2 选用	75	6.1 常用低压电器	127
4.2 电流、电压的测量	77	6.1.1 开关类控制电器	127
4.2.1 直流电流、电压的测量	77	6.1.2 交流接触器	128
4.2.2 交流电流、电压的测量	79	6.1.3 熔断器	130
4.3 电阻的测量	80	6.1.4 热继电器	130
4.3.1 电阻表法	81	6.2 三相异步电动机单向运转与 正反向运转控制电路	131
4.3.2 兆欧表法	82	6.2.1 单向运转控制电路	131
4.3.3 伏安法	83	6.2.2 正反向运转控制电路	133
4.3.4 电桥法	83	6.3 三相异步电动机降压启动 控制电路	136
4.4 单相交流电能的测量	85	6.3.1 定子绕组串接电阻降压 启动控制电路	136
4.4.1 单相交流电度表的结构	85	6.3.2 星形-三角形(Y- Δ)降压启动 控制电路	136
4.4.2 单相交流电度表的使用方法	85	6.3.3 自耦变压器降压启动控制 电路	137
4.5 万用表	87	6.4 三相异步电动机的调速	138
4.5.1 指针式万用表	87	6.4.1 变频调速	138
4.5.2 数字式万用表	88	6.4.2 变极调速	138
本章小结	90	6.4.3 改变转差率调速	139
习题与思考题	90	6.5 三相异步电动机的制动	139
第5章 电机	92	6.5.1 反接制动	139
5.1 三相异步电动机	92	6.5.2 能耗制动	140
5.1.1 基本结构	92	6.6 单相异步电动机控制电路实例	141
5.1.2 工作原理	94	6.6.1 电扇调速电路	141
5.1.3 电磁转矩与机械特性	96	6.6.2 电冰箱电路	141
5.1.4 铭牌数据、使用与维护	100	6.6.3 洗衣机电路	142
5.2 单相异步电动机	104	6.6.4 空调器电路	143
5.2.1 基本结构	104	* 6.7 常用生产机械控制电路	144
5.2.2 工作原理	105	6.7.1 C620-1 车床控制电路	144
5.2.3 使用与维护	107	6.7.2 Z3040 摇臂钻床控制电路	144
* 5.3 直流电动机	107	6.7.3 X62W 万能铣床控制电路	146
5.3.1 基本结构	107	本章小结	148
5.3.2 工作原理及励磁方式	108	习题与思考题	149
5.3.3 并励电动机与串励电动 机的机械特性	111	第7章 供电、用电与电能转换	152
5.3.4 调速与反转	112	7.1 电能的产生、输送与分配	152
5.3.5 铭牌数据与使用	113	7.1.1 电能的产生	152
5.4 常用控制电机	115	7.1.2 电能的输送	152
5.4.1 伺服电动机	116	7.1.3 工厂配电	153
5.4.2 步进电动机	120	7.1.4 照明线路	154
本章小结	122		
习题与思考题	124		
第6章 电动机的控制	127		

7.2 用电常识	156	* 实验 5 步进电动机控制电路	179
7.2.1 安全用电	156	实训 1 万用表原理电路	181
7.2.2 节约用电	159	实训 2 荧光灯电路的安装与功率因数的提高	184
7.3 电能转换	159	* 实训 3 常用单相交流电源板的制作	185
7.3.1 电热转换	160	* 实训 4 三相异步电动机的简单测试	187
7.3.2 电光转换	162	实训 5 三相异步电动机的单向运转控制电路	190
7.3.3 电声转换	164	* 实训 6 三相异步电动机 Y- Δ 降压起动控制电路	192
7.3.4 电化学转换	165	实训 7 单相异步电动机的控制电路	193
本章小结	168	* 实训 8 单缸洗衣机模拟控制电路	195
习题与思考题	169	* 实训 9 C620-1 型车床控制电路的模拟安装	197
第 8 章 实验与实训	171	参考文献	200
实验 1 基尔霍夫定律及电位的测量	171		
实验 2 三相负载的连接	172		
* 实验 3 单相变压器及自耦变压器的使用	174		
* 实验 4 实用交流调压电路	176		

第1章 直流电路

“电工技术”主要是讲述电能 in 电力工程技术领域中的应用知识和培养有关技能的课程。它的内容非常广泛,主要有电工技术理论基础(如直流电路、交流电路),电工仪表及其测量,电机、电器的构造及其应用,电机控制,电能的产生、输送及其转换技术等。直流电路是电工技术中重要的基础。

1.1 电路与电路物理量

1.1.1 电路及其组成

简单地说,电路就是电流流通的路径。例如,把灯泡用导线、开关与电源接通,则有电流通过灯泡,使灯泡发光。图 1.1 (a)是最常见、最简单、最基本的电路——手电筒电路。如果把电动机用导线、开关与电源接通,则有电流通过电动机,使电动机旋转起来,如图 1.2 (a)所示。这种使电流获得通路,把各种电气设备和元器件按一定方式连接而成的总体,叫作电路。电气设备和元器件包括电灯、电炉、变压器、电动机、发电机、电视机、电阻、电容、电感、二极管、三极管、集成电路等。

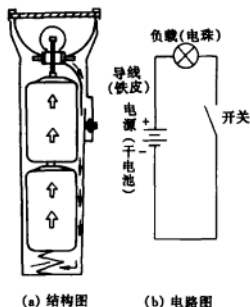


图 1.1 手电筒电路

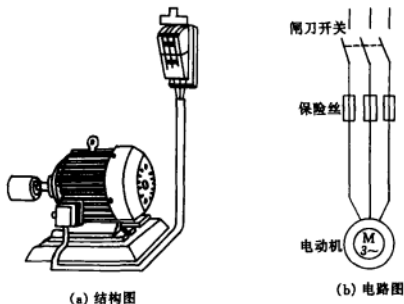


图 1.2 电动机电路

从图 1.1 和 1.2 所示的手电筒电路和电动机电路可知,电路主要由电源、负载(如灯泡、电动机)、导线和开关等四部分组成。

电源:供给电路电能的设备,它将化学能、光能、机械能等非电能转换为电能。如干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等。

负载:各种用电设备,它将电能转换成其他形式的能量。如电灯、电炉、电动机、电视机等。

导线：把电源和负载构成通路的连接导体，并用来传输、分配电能。

开关：控制电路接通与断开的各种控制电器，闸刀开关、组合开关，如继电器等。

在实际生活中，有各种各样的电路如电力电路、照明电路、通信电路、仪表电路、机床电路、计算机电路等。电路主要有两类功能：一类是传输、分配和转换电能，如前所述的手电筒电路和电动机电路等；另一类是传递、处理信号，如电视机电路、计算机电路等。

在工程中常采用电路模型来对实际电路进行分析和计算。电路模型就是由理想元件构成的电路，图 1.1 (b)、1.2 (b) 分别为手电筒电路和电动机电路的电路模型。实际电路中的元件种类繁多，在分析中通常是将实际的元件理想化，即在一定的条件下忽略元件的次要性质，用足以表征其主要电磁性质的“理想模型”来表示。如电灯、电炉、电烙铁、电阻器等各种消耗电能的实际元件，都用“理想电阻”来表示，干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等各种提供电能的实际元件都用“理想电源”来表示。

表 1.1 常用电路元件符号

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_p		电流源		电压表	
电感 L		电灯 EL		电流表	

1.1.2 电路的基本物理量

如何分析图 1.1 和 1.2 所示电路的性能？通常应用电流、电压和功率这三个基本物理量。

1. 电流

电荷的有规则运动形成电流。在导体中，带负电的自由电子在电场力的作用下，逆电场方向运动而形成电流。电流的方向规定为正电荷的运动方向，如图 1.3 所示。

表征电流大小的物理量为电流强度（简称电流）。电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，也称直流电，用 I 表示。大小和方向随时间变化的电流称为交变电流，简称交流电，用 i 表示。直流电流定义为

$$I = q/t \quad (1.1)$$

式中 q 是时间 t 内通过导体横截面保持恒定的电荷量。电流的单位是安[培](A)，还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等。

表 1.2 单位换算

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

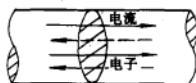


图 1.3 导体中的电子与电流

在分析电路时，电流的实际方向有时很难立即判定，有时电流还在变化，因此在电路中很难标明电流的实际方向。我们借助“参考方向”来解决这一问题。所谓电流参考方向，就是在电路中假定电流的正方向来作为分析和计算电路的参考。如在图 1.4 (a) 中，假定电流参考方向由 a 指向 b，并且电流 $I > 0$ ，则电流的实际方向与参考方向一致，由 a 流向 b；在图 1.4 (b) 中，电流参考方向由 a 指向 b，但电流 $I < 0$ ，则电流的实际方向与参考方向相反，由 b 流向 a。

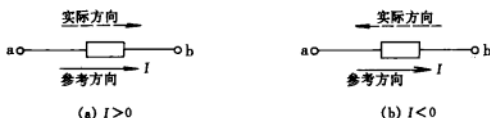


图 1.4 电流的参考方向

2. 电压

图 1.1 手电筒电路中，灯泡的发光是因为灯泡中有电流通过，其两端存在电压，也即灯泡两端的电位不同，而这正是由电源(干电池)的电动势所引起的。

(1) 电压

由电场知识知道，电场力能够移动电荷做功。在图 1.5 中，极板 a 带正电，极板 b 带负

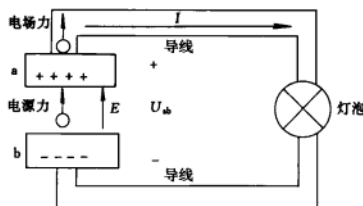


图 1.5 电源电压与电动势

电，a、b 间存在电场。极板 a 上的正电荷在电场力的作用下将从 a 经过导线和灯泡移到极板 b，从而形成了电流，使灯泡发光。单位正电荷从 a 点移动到 b 点的电场力所作的功称为上述电路中 a 点到 b 点的电压 U_{ab} ，记为

$$U_{ab} = W_{ab}/q \quad (1.2)$$

它代表电场力做功的能力。电压单位是伏[特](V)，还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

(2) 电位

在图 1.5 中，当电场力移动正电荷从 a 经过灯泡到 b 时，就将电能转换为热能(其中一部分转换为光能)，所以正电荷在 a 点具有比 b 点更大的能量。我们把单位正电荷在电路中某点所具有的能量称为该点的电位，用 V 表示，如 a 点的电位为 V_a ，b 点的电位为 V_b 。由此可见，电路中两点之间的电压就是该两点的电位之差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.3)$$

为便于分析，在电路中常任选一点为参考点，其参考电位为零，则电路中某点与参考点之

间的电压就是该点的电位。电压方向规定为由高电位指向低电位，即电位降方向。在电路分析中，也常选取电压的参考方向，当电压的实际方向与参考方向一致时，电压为正，即 $U_{ab} > 0$ ；反之，电压为负，即 $U_{ab} < 0$ ，如图 1.6 (a)、(b) 所示。电压参考方向通常还用参考极性 (+, -) 表示。应用中，常将某一元件上的电流参考方向和电压参考方向选取一致，此时称为关联参考方向，如图 1.6 (c) 所示。

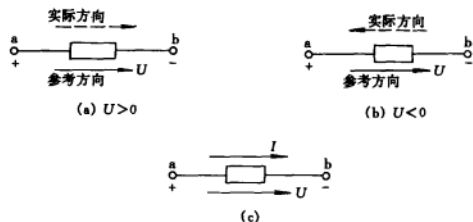


图 1.6 电压的参考方向及电流与电压的关联参考方向

(3) 电动势

在图 1.5 中，为维持电路中的电流流通而使灯泡不断发光，则必须保持电路两端 a、b 间的电压 U_{ab} 恒定，这就需要电源 (非电场力) 源源不断地把正电荷由负极 b 移向正极 a。维持 U_{ab} 不变的这一装置称为电源。电源力克服电场力移动正电荷从负极到正极所做的功，用物理量电动势来衡量。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从负极 b 经电源内部移到正极 a 所作的功，用 E 表示，即

$$E = W_{ba}/q \quad (1.4)$$

电动势的方向由负极指向正极，即电位升方向，其单位也是伏 [特] (V)。

例 1.1 电路如图 1.7 所示，电源电压 $U_{S1} = 10 \text{ V}$ ， $U_{S2} = 5 \text{ V}$ ，电阻上的电压 $U_1 = 3 \text{ V}$ ， $U_2 = 2 \text{ V}$ 。分别取 c 点和 d 点为参考点，求各点电位及电压 U_{ab} 、 U_{bc} 和 U_{da} 。

解：(1) 选取 c 点为参考点，则 $V_c = 0 \text{ V}$ 。

$$V_a = U_{S1} = 10 \text{ V}, V_b = U_1 + U_{S1} = 7 \text{ V}, V_d = U_2 = 2 \text{ V};$$

$$U_{ab} = U_1 = V_a - V_b = 3 \text{ V}, U_{bc} = U_{S2} + U_2 = V_b = 7 \text{ V},$$

$$U_{da} = U_2 - U_{S1} = V_d - V_a = -8 \text{ V}.$$

(2) 选取 d 点为参考点，则 $V_d = 0 \text{ V}$ 。

$$V_a = U_{S1} - U_2 = 8 \text{ V}, V_b = U_{S2} = 5 \text{ V}, V_c = -U_2 = -2 \text{ V};$$

$$U_{ab} = U_1 = V_a - V_b = 3 \text{ V}, U_{bc} = U_{S2} + U_2 = V_b - V_c = 7 \text{ V},$$

$$U_{da} = U_2 - U_{S1} = -V_a = -8 \text{ V}.$$

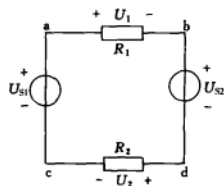


图 1.7 电路电压和电位的计算

由该题可知，电路中某点的电位等于该点到参考点之间的电压，电位的大小与参考点的选择有关；电路中某两点间的电压等于该两点的电位之差，电压的大小与参考点的选择无关。

3. 功率

由图 1.5 电路可知,在电流流通的同时,电路内发生了能量的转换。在电源内部,电源不断地克服电场力对正电荷做功,将非电能转换成电能。在外电路(电源外的电路部分)中,正电荷在电场力的作用下,不断地通过负载(灯泡)把电能转换为非电能。

由式(1.2)可知,电场力所做的功 $W_{ab} = U_{ab}q$,将单位时间内电场力所做的功定义为功率,即

$$P = W/t \quad (1.5)$$

功率的单位为瓦[特](W),应用中还有兆瓦(MW)、千瓦(kW)、毫瓦(mW)、微瓦(μ W)等。

在电力工程中,常常需要计算电能($W = Pt$),电能的单位为焦耳(J),有时也用千瓦时($\text{kW}\cdot\text{h}$)表示。一千瓦时就是指一千瓦功率的设备,使用一小时所消耗的电能,一千瓦小时俗称一度电。例如一台 1 kW 的电热水器,使用 1 小时,耗电 1 度。

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

1.1.3 电路的几种状态

电路的状态有三种:负载、开路和短路。

1. 负载状态

将图 1.8 中的开关 S 闭合,电路中就有电流和能量的输送与转换。电路处于有载工作状态,电路形成通路。图中 U_S 为电源电压, R_O 为电源内阻, R_L 为负载电阻。其中

$$\text{电路电流} \quad I = \frac{U_S}{R_O + R_L} \quad (1.6)$$

$$\text{负载电压} \quad U_L = R_L I \quad (1.7)$$

$$\text{负载消耗功率} \quad P = R_L I^2 \quad (1.8)$$

各种电气设备在工作时,其电流、电压和功率都有一定的限额,这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力,称为电气设备的额定值。额定值主要有额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。额定电流是指电气设备在长期运行时所允许通过的最大电流,额定电压是指电气设备在正常运行时所加电压,额定功率是指电气设备在 U_N 、 I_N 下的输入功率或输出功率。额定值通常标明在铭牌上,如灯泡“220 V, 40 W”、电阻器“500 k Ω , 1/4 W”等,使用时必须注意不使其实际值超过额定值。如果实际值超过额定值,将会引起电气设备的损坏或降低使用寿命,如灯泡会因电压过高或电流过大而烧毁灯丝。如果实际值低于额定值,就不能充分利用电气设备的能力或得不到正常合理的工作,如灯泡会因电压过低或电流过小而发暗。电气设备在额定值下工作称为“满载”工作状态,超过额定值称为“超载(或过载)”工作状态,低于额定值称为“轻载(或欠载)”工作状态。用电设备在额定工作状态时是最经济合理和安全可靠的,并能保证有效使用寿命。

例 1.2 一只标有“220 V, 60 W”的灯泡,试分析在下列三种情况下的工作状态:

(1) 电源电压为 220 V;

(2) 电源电压为 380 V;

(3) 电源电压为 110 V。

解: 灯泡的额定电压是 220 V,额定功率是 60 W,额定电流则为

$$I_N = P_N / U_N = 60 / 220 \text{ A} = 0.273 \text{ A} = 273 \text{ mA}$$

灯泡在额定状态下的电阻为 $R = U_N^2 / P_N = 220^2 / 60 \Omega = 807 \Omega$

- (1) 工作值与额定值一致，满载运行，发光正常，使用安全，保证有效使用寿命；
- (2) 灯泡的工作电流、消耗功率为

$$I = U/R = 380/807 \text{ A} = 0.471 \text{ A} = 471 \text{ mA}$$

$$P = U^2/R = 380^2/807 \text{ W} = 179 \text{ W}$$

工作值超过额定值，超载运行，发光过亮，寿命大大缩短，甚至烧断钨丝而损坏；

- (3) 灯泡的工作电流、消耗功率为

$$I = U/R = 110/807 \text{ A} = 0.136 \text{ A} = 136 \text{ mA}$$

$$P = U^2/R = 110^2/807 \text{ W} = 15 \text{ W}$$

工作值低于额定值，欠载运行，发光过暗，效能不能充分发挥。

2. 开路状态

将图 1.8 中的开关 S 断开，电路中没有电流流通，电源处于空载状态，电路形成开路(断路)。此时负载上的电流、电压和功率均为零。

3. 短路状态

当电源的两个输出端由于某种原因直接接触时，电源就被短路，电路处于短路运行状态，如图 1.9 所示。此时电路电流为

$$I = U_S/R_0 \quad (1.9)$$

I 称为短路电流，一般电源内阻 R_0 很小，故 I 很大。短路时，负载上电压、功率均为零，电源所产生的功率全部消耗在内阻上。因此，电源短路会造成严重后果，烧坏用电设备和引发火灾。为此应力求避免电源短路，在电路中接入熔断器等短路保护装置。

在低压电路中，保护电路的最简单经济的办法就是在电路中串接熔断器(俗称保险丝)。熔断器起到保护电路安全运行的作用，如果电流在额定电流范围内，电路畅通；如果发生短路故障，熔断器内的熔丝最先熔断，起到迅速自动切断电源的目的。常用的熔丝是由低熔点的铅锡合金组成，温度在 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 时就能熔化，熔丝的种类很多，每种熔丝都有一定的额定电流，实际电流超过额定电流的倍数越大，熔断越快。熔丝选用的最基本原则为：

- (1) 电灯与电热线路(如电炉、电烙铁、电热器具等)，熔丝的额定电流应为用电设备额定电流的 1.1 倍。

- (2) 一台电动机线路，熔丝的额定电流应为电动机额定电流的 $(1.5 \sim 3)$ 倍。

- (3) 多台电动机线路，熔丝的额定电流应为 $(1.5 \sim 3)$ 倍功率最大的一台电动机的额定电流与工作中同时运行的数台电动机额定电流之和。

- (4) 当家庭的用电设备总功率之和不超过 2200 W 时，可以选用 10 A 的熔丝，一旦通过它的电流超过 14 A 时，熔丝就会在 1 min 内自动熔断，达到保护家庭用电设备的目的。

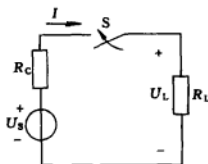


图 1.8 电路的通路状态

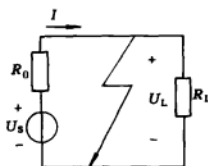


图 1.9 电路的短路状态

1.2 电阻元件与欧姆定律

1.2.1 电阻元件

1. 导体的电阻

实验证明, 导体对电流的通过具有一定的阻碍作用, 称为导体的电阻, 用 R 表示, 单位为欧〔姆〕(Ω)。不同的导体有不同的电阻, 导体电阻的计算公式为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.10)$$

式中 l 为导体的长度, 单位为米(m); S 为导体的截面积, 单位为平方米(m^2); ρ 为导体的电阻率, 单位为欧·米($\Omega \cdot \text{m}$)。

物质按导电能力可分为三类: 导体、半导体和绝缘体, 如图 1.10 所示。在外电场的作用

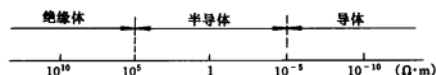


图 1.10 物质的电阻率

下, 能很好地传导电流的材料叫导体, 电阻率 $\rho < 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$, 如金属、酸碱盐类的水溶液等。在外电场的作用下, 不容易传导电流的材料叫绝缘体, 电阻率 $\rho > 10^5 \Omega \cdot \text{m}$, 如塑料、陶瓷、橡胶、玻璃等。导电能力介于导体和绝缘体之间, 电阻率会随着所含杂质和外界条件(如压力、温度、光照等)的改变而发生显著变化的材料叫半导体, 如硅、锗、砷化镓及一些金属氧化物等。

半导体是组成晶体管、集成电路的主要材料, 并以此为核心形成微电子技术, 成为当今电子信息技术的高点。迄今为止, 集成电路已经历了五代, 达到了超大规模(ULSI), 在一块指甲大小的芯片上集成有千万个晶体管那样的基本元件。美国英特尔公司近期推出的“奔腾 4”芯片含有 4200 万个晶体管, 最新问世的 30 nm (纳米) 晶体管技术使芯片可以容纳 4 亿个晶体管。现在, 集成电路已深入到人们的生活、学习、工作等各个方面, 如智能化家用电器的自动控制部件、电视机和移动电话(手机)的信号处理芯片、计算机的中央处理部件(CPU)和动态存储器芯片(DRAM)等。集成电路的出现, 使人类键步进入了信息时代。

导体中, 银的电阻率最小, 是最好的导电材料, 铜和铝次之。但由于银的价格昂贵, 较少应用, 工程中普通采用的是铜和铝。

表 1.3 几种常见材料的电阻率(20℃)

材料名称	电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)	用途
银	1.59×10^{-8}	导线镀银
铜	1.69×10^{-8}	导线
铝	2.65×10^{-8}	导线