



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电工学

(第2版)

曹建林 主 编
孙 玲 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教育)

电 工 学

Diangong Xue

(第2版)

曹建林 主 编

孙 玲 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是探索基于职业岗位要求、工作过程导向和理论实践一体化教学改革的实用型教材,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)。本书体现职业岗位的知识 and 能力要求,以培养技能型实用人才为目标。教学内容理论难度小,简洁浅显,突出实用性和针对性。

本书主要内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、电动机及其控制、常用半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大电路、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、集成 555 定时器以及实验与技能训练。

本书适用于高职高专院校机电类或非电类专业使用,也可供从事相关行业、专业的工程技术人员、技术工人学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学 / 曹建林主编. —2 版. —北京: 高等教育出版社, 2010.6

ISBN 978-7-04-029097-4

I. ①电… II. ①曹… III. ①电工学-高等学校: 技术学校-教育 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 070336 号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 唐笑慧 封面设计 张志奇
版式设计 王艳红 责任校对 胡晓琪 责任印制 朱学忠

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 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭传印刷有限公司

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 15.5
字 数 370 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版
2010 年 6 月第 2 版
印 次 2010 年 6 月第 1 次印刷
定 价 25.00 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 29097-00

前 言

本书是探索基于职业岗位要求、工作过程导向和理论实践一体化教学改革的实用型教材,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),供高职高专院校机电类或非电类专业使用。

本课程是高职高专院校非电类专业一门重要的专业技术基础课,其任务是使学生具备高素质技能型人才所必需的电工和电子基本知识和基本技能,为学生学习后续课程、适应职业岗位要求打下扎实的基础。本书编写力求体现实用性、适应性、先进性和通俗性。实用性:本书尽量选用生产、技术中实用性的教学内容;适应性:适应职业岗位培养要求,在知识点、能力点上基于工作过程导向,以岗位能力分析为依据;先进性:引入新知识、新技术、新工艺和新产品;通俗性:教学内容理论难度小、深度浅,语言精练简洁,通俗易懂,逻辑性强。

本书参考教学时数为 80~96 学时。

本书由无锡职业技术学院曹建林教授担任主编并统稿,江苏信息职业技术学院孙玲担任副主编,江苏信息职业技术学院周元兴、王琦华参编。其中曹建林编写了第 1、2 章,王琦华编写了第 3、4 章,周元兴编写了第 5、6、7、11 章,孙玲编写了第 8、9、10 章。

本书由东南大学教授张安康、无锡职业技术学院副教授郭再泉审阅。

由于时间仓促和编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请使用本书的教师同仁、学生和读者不吝指正。

编 者
2010 年 4 月

目 录

第 1 章 直流电路	1	2.5.2 三相负载的连接	46
1.1 电路概述	1	2.5.3 三相电路的功率	50
1.1.1 电路及其组成	1	2.6 安全用电	51
1.1.2 电路的主要物理量	3	2.6.1 安全用电常识	51
1.1.3 电路的 3 种工作状态	5	2.6.2 防触电的安全技术	52
1.2 电路元件及其伏安关系	7	2.6.3 安全用电的注意事项	53
1.2.1 电阻	7	2.6.4 触电急救	54
1.2.2 欧姆定律	9	小结	55
1.2.3 电源	13	习题	56
1.3 基尔霍夫定律	15	第 3 章 磁路与变压器	61
1.3.1 基尔霍夫电流定律	15	3.1 磁路	61
1.3.2 基尔霍夫电压定律	16	3.1.1 磁性材料的磁性能	62
1.4 支路电流法	16	3.1.2 磁路的概念	62
1.5 电路定理	18	3.2 变压器	63
1.5.1 叠加定理	18	3.2.1 电压与电流变换	63
1.5.2 戴维宁定理	19	3.2.2 阻抗变换	65
小结	22	3.2.3 额定值	66
习题	23	3.2.4 特殊变压器	67
第 2 章 正弦交流电路	26	小结	69
2.1 正弦交流电的基本概念	26	习题	69
2.1.1 正弦量的三要素	26	第 4 章 电动机及其控制	71
2.1.2 正弦量的有效值	28	4.1 常用低压电器	71
2.1.3 正弦量的相量图表示法	29	4.1.1 开关类控制电器	71
2.2 单一元件正弦交流电路	30	4.1.2 按钮	72
2.2.1 电阻电路	30	4.1.3 交流接触器和继电器	72
2.2.2 电感电路	31	4.1.4 热继电器	74
2.2.3 电容电路	34	4.1.5 熔断器	74
2.3 正弦交流串联电路	37	4.1.6 空气断路器	75
2.3.1 $R-L$ 串联电路	37	4.2 三相异步电动机	76
2.3.2 $R-L-C$ 串联电路	40	4.2.1 结构与工作原理	76
2.4 提高功率因数	42	4.2.2 机械特性	80
2.4.1 功率因数的提高	42	4.2.3 铭牌、选择与使用	81
2.4.2 提高功率因数的方法	43	4.3 三相异步电动机控制电路	84
2.5 三相交流电路	44	4.3.1 单向运转控制电路	84
2.5.1 三相电源的连接	44	4.3.2 可逆运转控制电路	85

4.3.3 C620-1 型普通车床控制电路	88	7.2.2 反馈的分类	128
4.4 单相异步电动机	89	7.2.3 反馈类型的判别	129
4.4.1 工作原理	89	7.3 基本运算电路	131
4.4.2 控制电路	91	7.3.1 反相比例运算电路	131
4.5 常用特殊电动机	92	7.3.2 同相比例运算电路	132
4.5.1 伺服电动机	92	7.3.3 加法、减法运算电路	133
4.5.2 步进电动机	93	小结	135
小结	95	习题	136
习题	96	第8章 门电路与组合逻辑电路	139
第5章 常用半导体器件	99	8.1 概述	139
5.1 二极管	99	8.1.1 数字电路的基本概念	139
5.1.1 PN 结及其特性	99	8.1.2 数制与码制	140
5.1.2 二极管的结构与伏安特性	101	8.2 门电路	141
5.1.3 二极管的主要参数与应用	102	8.2.1 基本门电路与复合门电路	141
5.1.4 特殊二极管及其应用	103	8.2.2 逻辑代数的基本定律和常用 公式	145
5.2 晶体管	104	8.2.3 逻辑函数的代数化简法	146
5.2.1 晶体管的结构与特性曲线	104	8.2.4 集成电路	146
5.2.2 晶体管的主要参数	108	8.3 组合逻辑电路	147
5.3 晶闸管	108	8.3.1 组合逻辑电路的分析与设计	148
5.3.1 晶闸管的结构	108	8.3.2 编码器	149
5.3.2 晶闸管的工作原理	109	8.3.3 译码器	152
小结	110	8.3.4 加法器	156
习题	111	8.3.5 数据选择器	158
第6章 晶体管放大电路	113	小结	160
6.1 放大电路的组成	113	习题	160
6.2 放大电路的分析	114	第9章 触发器与时序逻辑电路	163
6.2.1 静态分析	115	9.1 集成触发器	163
6.2.2 动态分析	116	9.1.1 RS 触发器	163
6.3 放大电路的性能指标	118	9.1.2 D 触发器	166
6.3.1 电压放大倍数	118	9.1.3 JK 触发器	168
6.3.2 输入电阻	119	9.2 计数器	170
6.3.3 输出电阻	120	9.2.1 二进制计数器	170
小结	121	9.2.2 二-十进制计数器	173
习题	121	9.2.3 N 进制计数器	174
第7章 集成运算放大电路	124	9.3 寄存器	175
7.1 集成运算放大器概述	124	9.3.1 数码寄存器	175
7.1.1 集成运算放大器的组成	124	9.3.2 移位寄存器	176
7.1.2 集成运算放大器的主要参数	125	9.3.3 集成寄存器	177
7.1.3 电压传输特性	126	小结	178
7.2 放大电路中的反馈	127	习题	179
7.2.1 反馈的基本概念	127		

第 10 章 集成 555 定时器	182
10.1 集成 555 定时器概述	182
10.1.1 电路结构	182
10.1.2 工作原理	183
10.2 集成 555 定时器的应用	184
10.2.1 构成施密特触发器	184
10.2.2 构成多谐振荡器	186
10.2.3 构成单稳态触发器	187
10.3 数模和模数转换	189
10.3.1 D/A 转换	190
10.3.2 A/D 转换	191
小结	193
习题	193
第 11 章 实验与技能训练	196
11.1 常用电工仪表的使用	196
11.1.1 训练目的	196
11.1.2 训练设施和常用仪表介绍	196
11.1.3 训练设备与器材	202
11.1.4 训练内容与步骤	202
11.1.5 分析与思考	203
11.2 电路中电位的测量	204
11.2.1 训练目的	204
11.2.2 训练原理	204
11.2.3 训练设备与器材	204
11.2.4 训练内容与步骤	204
11.2.5 分析与思考	205
11.3 用双掷开关控制的日光灯电路的 装接	205
11.3.1 训练目的	205
11.3.2 训练电路与原理	205
11.3.3 训练设备与器材	206
11.3.4 训练内容与步骤	206
11.3.5 注意事项	207
11.3.6 分析与思考	208
11.4 三相异步电动机可逆运转控制电路的 装接	208
11.4.1 训练目的	208
11.4.2 训练电路	208
11.4.3 训练设备与器材	208
11.4.4 装接步骤	209
11.4.5 注意事项	209
11.4.6 分析与思考	209
11.5 二极管、晶体管的简易测试	210
11.5.1 训练目的	210
11.5.2 训练原理	211
11.5.3 训练设备与器材	212
11.5.4 训练内容与步骤	212
11.5.5 分析与思考	213
11.6 常用电子仪器的使用	213
11.6.1 训练目的	213
11.6.2 训练仪器介绍	213
11.6.3 训练仪器	219
11.6.4 训练内容与步骤	219
11.7 单管放大电路的制作与测量	220
11.7.1 训练目的	220
11.7.2 训练电路与原理	220
11.7.3 训练设备与器材	221
11.7.4 训练内容与步骤	221
11.7.5 注意事项	223
11.7.6 分析与思考	223
11.8 集成运算放大器运算电路的测量	223
11.8.1 训练目的	223
11.8.2 训练原理	223
11.8.3 训练设备与器材	224
11.8.4 训练内容与步骤	224
11.8.5 注意事项	226
11.8.6 分析与思考	226
11.9 译码显示电路	227
11.9.1 训练目的	227
11.9.2 训练电路与原理	227
11.9.3 训练设备与器材	228
11.9.4 训练内容与步骤	228
11.9.5 分析与思考	229
11.10 加法计数器	229
11.10.1 训练目的	229
11.10.2 训练原理	229
11.10.3 训练设备与器材	230
11.10.4 训练内容与步骤	230
11.10.5 分析与思考	232
11.11 555 定时器的应用	233
11.11.1 训练目的	233
11.11.2 训练电路与原理	233
11.11.3 训练设备与器材	235

11.11.4	训练内容与步骤	235
11.11.5	分析与思考	237

参考文献	238
-------------------	------------

第1章 直流电路

直流电路是电工与电子技术中最重要的基础。电工与电子技术主要研究电能和电信号在工程技术领域中的应用。本章主要介绍电路的理论基础,包括电路、电路的组成及其作用、电路的基本物理量、电路元件的伏安关系以及电路的基本定律和定理。

1.1 电路概述

1.1.1 电路及其组成

1. 电路

电路是为了完成某种功能,将电气元件或设备按一定方式连接起来而形成的系统,通常用以构成电流的通路。从广义上说,从日常生活中使用的用电设备到工农业生产中用到的各种生产机械的电气控制部分及计算机、各种测试仪表等,都是实际的电路。最简单的电路如图 1.1.1 (a)所示的手电筒电路。

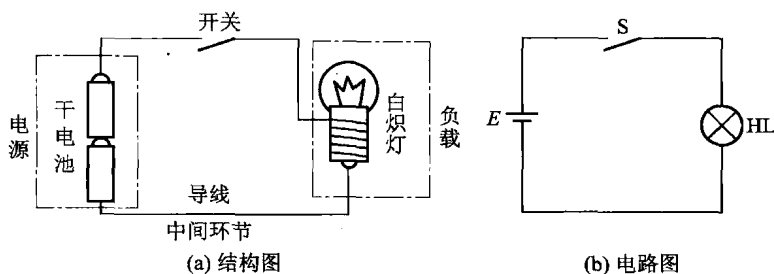


图 1.1.1 手电筒电路

2. 电路的组成

从图 1.1.1 所示的手电筒电路可知,电路主要由电源(如干电池)、负载(如白炽灯)、中间环节(导线、开关)三个部分组成。

① 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。

② 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、电炉等。

③ 中间环节 它把电源和负载连接起来,起传输和分配电能或对电信号进行传递和处理的

作用,如导线、开关、熔断器等。

3. 电路的作用

实际电路的种类繁多,但就其功能来说,可以概括为两个方面:

(1) 电能的传输、分配与转换

典型例子是电力系统中的输配电线路及用户负载构成的系统。在这一系统中,由发电机将其他形式的能量转换成电能,再通过变压器、输电线送到负载,负载将电能转换成光能、机械能、热能等(如电灯、电动机、电炉等),如图 1.1.2(a) 所示。对于这类电路,一般要求在传输和转换过程中,尽可能地减少能量损耗以提高效率。

(2) 信息的传递与处理

典型的例子有电话、收音机、电视机、扩音机等,它们将输入电信号处理、放大后送到负载,负载将电信号转换成声音或图像等,如图 1.1.2(b) 所示。这类电路,虽然也有能量的传输和转换问题,但其数值很小,一般关心的是信号传递的质量,如要求不失真、准确、灵敏、快速等。

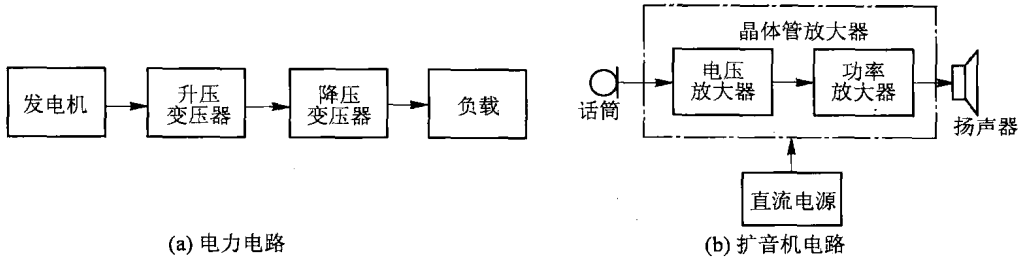


图 1.1.2 电路的功能

4. 电路模型

在工程应用的实际电路中,元件种类繁多。在进行分析和计算时不可能因物而异,通常将实际的元件理想化,得到电路模型,如图 1.1.1(b) 所示为手电筒电路的电路模型。在一定的条件下忽略元件的次要电磁性质,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器件,都用“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器件,都用“电源”来表示。常用电路元件的符号见表 1.1.1。

表 1.1.1 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 U_s		熔断器 FU	
可变电阻 R_p		电流源 I_s		电压表	
电感 L		电灯 EL		电流表	

1.1.2 电路的主要物理量

如何分析图 1.1.1 所示电路的性能? 通常采用电流、电压和功率这 3 个主要物理量。

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 1.1.3 所示。

表征电流大小的物理量称为电流。电流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

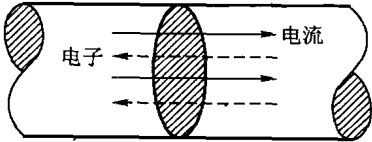


图 1.1.3 导体中的电子与电流

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.1.1)$$

式中, q 是时间 t 内通过导体横截面保持恒定的电荷量。电流的单位为 A(安[培]), 还有 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安)等。倍数单位词头见表 1.1.2。

表 1.1.2 倍数单位词头

中文名称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	皮
符号	G	M	k	h	da	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}

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,通常借助“参考方向”来解决这一问题。所谓电流参考方向,就是在电路中以假定的电流方向作为分析和计算电路的参考。如在图 1.1.4(a)中,假定电流参考方向由 a 指向 b,因电流的实际方向与参考方向一致,由 a 流向 b,则表示 $I > 0$; 在图 1.1.4(b)中,电流参考方向由 a 指向 b,因电流的实际方向与参考方向相反,由 b 流向 a,则表示 $I < 0$ 。



图 1.1.4 电流的参考方向

2. 电压

图 1.1.1 所示手电筒电路中,白炽灯的发光是因为白炽灯中有电流通过,其两端存在电压,即白炽灯两端的电位不同,而这正是由电源(干电池)所引起的。

(1) 电压

由电场知识可知,电场力能够移动电荷做功。在图 1.1.5 中,极板 a 带正电,极板 b 带负电, a、b 间存在电场。极板 a 上的正电荷在电场力的作用下从 a 经过白炽灯移到极板 b,从而形成了

电流,使白炽灯发光。这说明电场力作功产生了电流。

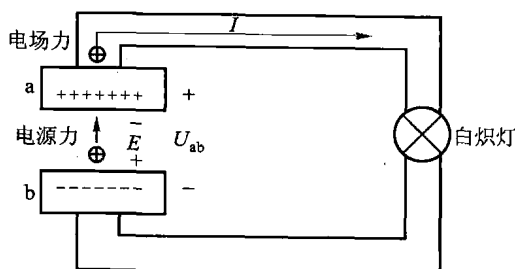


图 1.1.5 电源电压与电动势

用物理量电压来衡量电场力作功的能力,其定义为:单位正电荷 q 从 a 点移动到 b 点电场力所作的功 W_{ab} ,记为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1.1.2)$$

电压单位为 V(伏[特]),还有 kV(千伏)、mV(毫伏)、 μ V(微伏)等。

(2) 电位

在图 1.1.5 中,当电场力移动正电荷从 a 经过白炽灯到 b 时,就将电能转换为光能,所以正电荷在 a 点具有比 b 点更大的能量。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这两点的电位之差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.1.3)$$

为便于分析,在电路中通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,也通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 1.1.6(a)、(b)所示。为方便应用与计算,通常将某一元件上的电流参考方向和电压参考方向选为一致,即选取成关联参考方向,如图 1.1.6(c)所示。

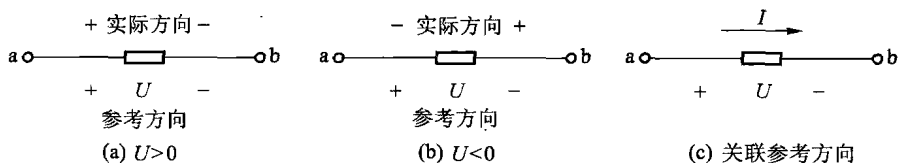


图 1.1.6 电压的参考方向与关联参考方向

(3) 电动势

在图 1.1.5 中,为维持电路中的电流流通而使白炽灯持续发光,则必须保持电路两端 a 、 b 间的电压 U_{ab} 恒定不变,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作的功,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

$$E = \frac{W_{ba}}{q} \quad (1.1.4)$$

电动势的方向由负极指向正极,即电位升方向,其单位也是 V。

例 1.1.1 电路如图 1.1.7 所示,电源电压 $U_{S1}=10\text{ V}$, $U_{S2}=5\text{ V}$,电阻电压 $U_1=3\text{ V}$, $U_2=2\text{ V}$ 。分别取 c 点和 d 点作为参考点,求各点电位及电压 U_{ab} 、 U_{bc} 和 U_{da} 。

解: ① 当选取 c 点为参考点,则 $V_c=0\text{ V}$ 。

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

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

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

② 当选取 d 点为参考点,则 $V_d=0\text{ V}$ 。

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

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

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

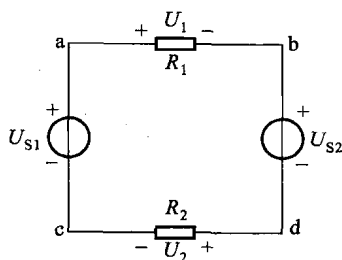


图 1.1.7 电路电压和电位的计算

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这两点的电位之差,电压的大小与参考点的选择无关。

3. 功率

由图 1.1.5 所示电路可知,在电流流通的同时,电路内发生了能量的转换。在电源内部,电源力不断地克服电场力对正电荷做功,正电荷在电源内获得了能量,由非电能转换成电能。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(白炽灯)把电能转换为非电能。

由式(1.1.2)可知,电场力所作的功为 $W_{ab} = U_{ab}q$,将单位时间内电场力所作的功定义为功率,即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.1.5)$$

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

在电力工程中,常常需要计算电能($W=Pt$),电能的单位为 J(焦[耳]),有时也用 kW·h(千瓦时)表示。1 kW·h 就是指 1 kW 功率的设备,使用 1 h 所消耗的电能,1 kW·h 俗称 1 度电。例如一台 1 kW 的电热水器,使用 1 h,耗电 1 度。

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

1.1.3 电路的 3 种工作状态

电路的工作状态有 3 种:通路、开路和短路。

1. 通路

将图 1.1.8 中的开关 S 闭合,电路中就有电流和能量的传输与转换。电源处于有载工作状态,电路形成通路。图中 U_s 为电源电压, R_0 为电源内阻, R_L 为负载电阻。其中

$$\text{电路电流} \quad I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad (1.1.6)$$

$$\text{负载电压} \quad U_L = R_L I \quad (1.1.7)$$

$$\text{负载消耗功率} \quad P = R_L I^2 \quad (1.1.8)$$

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长期运行时所允许承受的最高

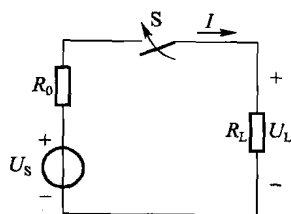


图 1.1.8 电路的通路状态

电压,额定功率是指电气设备正常运行时的输入功率或输出功率。额定值通常标明在铭牌上,如白炽灯“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。如白炽灯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,如白炽灯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时称为“满载”工作状态,超过额定值时称为“超载(或过载)”工作状态,低于额定值时称为“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 1.1.2 一只标有“220 V,60 W”的白炽灯,试分析接在下列 3 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: 白炽灯的额定电压是 220 V,额定功率是 60 W,额定电流则为

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

$$\text{白炽灯电阻为 } R = \frac{U^2}{P_N} = \frac{220^2}{60} \Omega = 807 \Omega$$

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 白炽灯的工作电流、损耗功率为

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

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

工作值超过额定值,过载运行,发光过亮,寿命大大缩短,甚至烧断钨丝而损坏。

③ 白炽灯的工作电流、损耗功率为

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

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

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

将图 1.1.9 中的开关 S 断开,电路中没有电流流通,电源处于空载运行状态,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

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,电路处于短路状态,如图 1.1.10 所示。此时电路电流为

$$I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad (1.1.9)$$

I_s 称为短路电流,一般电源内阻 R_0 很小,故 I_s 很大。短路时,负载中的电流和负载上的电压、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,烧坏供电设备和引发火灾。为此应力求避免电源短路,在电路中常接入熔断器等短路保护装置。

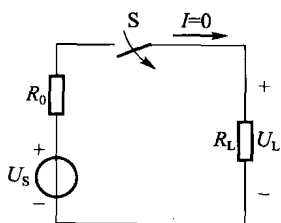


图 1.1.9 电路的开路状态

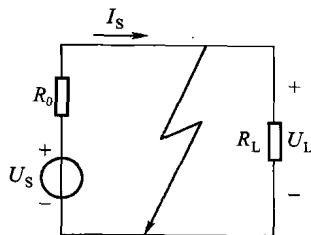


图 1.1.10 电路的短路状态

在低压电路中,保护电路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,如果电流在允许的额定电流范围内,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作用。常用的熔丝是由低熔点的铅锡合金组成,温度在 $200 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时就能熔化,熔断电流等于额定电流的 $1.3 \sim 2.1$ 倍。熔丝的种类很多,每种熔丝都有一定的额定电流,必须正确加以选用。熔丝选用的基本原则为:

- ① 对于电灯与电热线路(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 对于一台电动机线路,熔丝的额定电流应为电动机额定电流的 $1.5 \sim 3$ 倍。
- ③ 对于多台电动机线路,熔丝的额定电流应为功率最大的一台电动机的额定电流的 $1.5 \sim 3$ 倍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 $2\text{ }200\text{ W}$ 时,可以选用 10 A 的熔丝,一旦通过它的电流超过 14 A 时,熔丝就会在一分钟内自动熔断,达到保护家庭用电设备的目的。

1.2 电路元件及其伏安关系

本节讨论电阻与电源两种电路元件。

1.2.1 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 Ω (欧[姆])。不同的导体有不同的电阻,导体电阻的计算公式为

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1.2.1)$$

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

物质按导电能力可分为 3 类: 导体、半导体和绝缘体, 如图 1.2.1 所示。在外电场的作用下, 能很好地传导电流的材料称为导体, 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称为绝缘体, 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称为半导体, 如硅、锗、砷化镓及一些金属氧化物等。

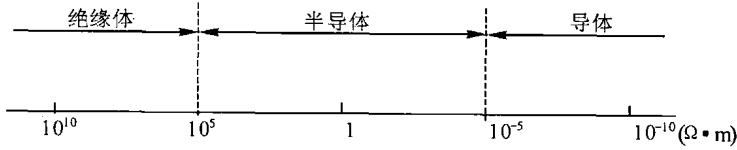


图 1.2.1 物质的电阻率

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制高点。迄今为止, 集成电路已经历了五代, 达到了超大规模 (VLSI), 在一块几十平方毫米到几百平方毫米的芯片上集成有千万个到 10 亿个晶体管那样的基本元件。美国英特尔公司推出的“奔腾 4”芯片含有 4 200 万个晶体管, 最新问世的 30 nm 晶体管技术使芯片可以容纳 4 亿个晶体管。现在, 集成电路已渗透到人们生活、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 (DSP) 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, 工程中普遍采用的是铜和铝。几种常见材料的电阻率见表 1.2.1。

表 1.2.1 几种常见材料的电阻率 (20 °C)

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
铂	1.05×10^{-7}	热电偶或电阻温度计
钨	5.48×10^{-8}	灯丝
碳	10×10^{-6}	电刷
康铜	$(4.8 \sim 5.2) \times 10^{-7}$	标准电阻
锰铜	$(4.2 \sim 4.8) \times 10^{-7}$	标准电阻
黄铜	$(7 \sim 8) \times 10^{-8}$	标准电阻
镍铬合金	$(1.0 \sim 1.2) \times 10^{-6}$	电炉丝
铁铬铝合金	1.4×10^{-6}	电炉丝

续表

材料名称	电阻率/ $(\Omega \cdot \text{m})$	用 途
纯净锗	0.6	半导体材料
纯净硅	2 300	半导体材料
塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	绝缘体材料
陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	绝缘体材料
云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	绝缘体材料
玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	绝缘体材料
熔融石英	75×10^{16}	绝缘体材料
琥珀	5×10^{14}	绝缘体材料

导体的电阻还与温度有关,金属导体的电阻随温度的升高而增加,半导体的电阻随温度的升高而减小。有些金属和合金,在温度降低到 4.2K ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) 时,电阻会突然消失,这种现象称为超导现象。处于超导状态的导体称为超导体。超导体完全排斥磁场,这一特征称为抗磁性。零电阻和抗磁性成为超导体应用的两个基本特性。超导现象的应用原来一直受到低温的限制。随着高温超导材料的不断发现,超导技术越来越广泛地得到应用。例如:

① 超导电缆 目前电缆输电过程中约损耗 10% 的电,如果改用超导电缆,损耗将降为零。

② 超导电动机 它比常规电动机体积缩小 90%,而且节能好、噪声小、功率大。

③ 超导储能 用超导电缆绕组构成的超导磁体储能系统,可以在夜间用电低谷时充电,在白天用电高峰时放电,几乎无损耗,能充分发挥发电设备的生产能力。

④ 磁悬浮列车 在超导状态下,可用细导线通过大电流,产生强大的电磁斥力将列车与钢轨分离,即“磁悬浮”,列车只要克服空气阻力就能高速运行(时速可达 500 km/h 以上)。磁悬浮列车不仅速度快,而且安全舒适、噪声低、污染少、不燃油等,是理想的交通工具。我国上海从浦东国际机场到市区的磁悬浮列车就是典型的例子。

超导现象的应用还有许多,如超导变压器、超导发电机、超导核磁共振仪等,不胜枚举,它必将在工业、能源、交通、医疗等领域得到广泛应用,引起一场新的技术革命,产生划时代的影响。

1.2.2 欧姆定律

1. 电阻元件的欧姆定律

1826 年德国科学家欧姆通过科学实验得出:电阻上的电压与通过的电流成正比。这一关系称为欧姆定律,也是电阻元件上的伏安关系,如图 1.2.2 所示。在电阻上,当电压与电流为关联参考方向时,欧姆定律表示为

$$U=RI \quad (1.2.2)$$

如果把电阻上电压和电流的关系用坐标曲线表示,可画出电阻元件的伏安特性曲线,如图 1.2.3 所示。由图可知,该特性曲线为一条通过原点的直线,其相应的电阻称为线性电阻。

当电流通过电阻时,电阻消耗的功率为