

中等职业教育电类专业规划系列教材

电工技术基础

彭克发 辜小兵 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

前 言

根据 2006 年全国职业教育工作会议和电类专业教学大纲要求,我们组织在教学一线工作多年、具有丰富教学经验的老师们编写了这套中等职业教育电类专业系列教材。本系列教材在知识、技能要求的深度和广度上,以国家技能鉴定中心颁发的相关专业中级技能鉴定要求为依据,突出这部分知识的掌握和专业技能的训练,力求使学生在获取毕业证的同时,又能取得本专业的初、中级技术等级证书。

本书是电工技术部分的基础理论学习用书,与之配套的有《电工技术基础学习点拨与练习》和《电工技能与训练》。全书共有八章,内容包括电路的基本知识、直流电阻电路、磁场与电流的作用、电磁感应、电容器及瞬态过程、正弦交流电及其电路、三相交流电路、变压器等。每章都给出了本章小结及思考与练习,并在书中穿插了伏安法测电阻、电源电动势和内阻的测定、验证基尔霍夫定律、单一参数交流电路相位关系的测量和 $R-L-C$ 串联谐振等 5 个实验内容。

根据当前及今后较长时间内中等职业学校学生情况及国外教材编写经验,本教材删去了较深的理论推导和繁难的数学运算,叙述深入浅出,利于学生接受。书中“*”部分为选修内容,供条件较好的地区和学校选用。

本课程教学学时数为 140 学时左右,建议各章课时安排如下:

教学课时分配建议表

章 序	课时数	章 序	课时数
1	14	6	28
2	16	7	14
3	14	8	10
4	12		
5	12	机动	20
总 课 时		140	

本书由重庆电子工程职业学院研究员彭克发和重庆工商学校高级教师辜小兵任主编,重庆市第十八中学彭丽娟老师、重庆市石柱一职中胡萍老师和重庆工艺美术学校先力老师任副主编,参加本书编写的还有重庆文理学院许思康老师、重庆市江南职业中学林红老师、重庆市忠县马灌职中邱堂清老师、重庆工商学校苏敏、刘钟和李志贵老师、重庆梁平职教中心丁汝玲老师、重庆市綦江县职业高级中学梅福莲老师、重庆电子工程职业学院黄芸老师和张铁力老师、重庆铜梁职业中学童光发老师。全书由彭克发制订编写大纲并负责编写的组织、统稿及编审工作。

本书在编写过程中得到重庆工商学校、重庆垫江职业教育中心、重庆梁平职业教育中心、重庆市第二财贸学校、重庆工艺美术学校、重庆荣昌职业教育中心、重庆铜梁职业高级中学、重

庆江南职业学校、重庆綦江职业高级中学、重庆忠县马灌职中、重庆忠县新生职业中学、重庆石柱一职中、重庆垫江一职中、重庆第 18 中学、重庆电子工程职业学院、重庆黔江民族职教中心、重庆市彭水郁山职业中学等单位领导的大力支持和指导,使该教材得以顺利完成。本书在交稿以前,特别请重庆教育科学研究院特级教师、研究员唐果南对本书进行了认真细致地审阅,并提出了许多修改意见。在此一并致以诚挚的谢意!

由于作者水平有限,对新大纲领会不够深入,因此本书难免存在不足之处,恳请读者多提宝贵意见,以便进一步修改。

编 者

目 录

前言

第1章 电路的基本知识	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路组成及种类	1
1.1.2 电路模型(电路图)	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 电位	5
1.2.4 电动势	5
1.3 电阻及电阻定律	6
1.3.1 电阻	6
1.3.2 电阻定律	6
1.3.3 电阻与温度的关系	7
1.3.4 物质的分类	7
1.4 欧姆定律	8
1.4.1 部分电路的欧姆定律	8
1.4.2 全电路的欧姆定律	8
1.5 电功与电功率	10
1.5.1 电功和电能	10
1.5.2 电功率	10
1.5.3 电流的热效应	11
1.6 负载获得最大功率的条件及应用	11
1.6.1 负载获得最大功率的条件	11
1.6.2 负载获得最大功率条件的应用	12
本章小结	12
思考与练习	13
实验一 伏安法测电阻	17
实验二 电源电动势和内阻的测定	18
第2章 直流电路	20
2.1 电阻串联电路	20
2.1.1 电阻串联电路特点	20
2.1.2 电阻串联电路的应用	21
2.2 电阻并联电路	23

2.2.1 电阻并联电路的特点	23
2.2.2 电阻并联电路的应用	24
2.3 电阻混联电路	24
2.3.1 电路的分析与计算	24
2.3.2 解题举例	25
2.4 电池的连接	25
2.4.1 电池的种类	25
2.4.2 电池的连接	26
2.5 电路中各点电位的计算	27
2.5.1 电路中各点的电位	27
2.5.2 电路中各点电位计算的一般方法	27
2.6 基尔霍夫定律及其应用	28
2.6.1 基尔霍夫第一定律(节点电流定律)	28
2.6.2 基尔霍夫第二定律(回路电压定律)	30
*2.7 电压源与电流源及其等效变换	32
2.7.1 电压源	32
2.7.2 电流源	32
2.7.3 电压源与电流源等效互换	33
*2.8 戴维宁定理	34
2.8.1 二端网络	34
2.8.2 戴维宁定理	34
*2.9 叠加定理	35
2.9.1 叠加定理的内容	35
2.9.2 应用叠加定理理解复杂电路的步骤	35
2.9.3 使用叠加定理分析计算电路应注意的问题	36
2.10 电桥电路	37
2.10.1 直流电桥平衡的条件	37
2.10.2 直流电桥平衡的应用	37
本章小结	38
思考与练习	40
实验三 验证基尔霍夫定律	46
第3章 磁场与电流的作用	48
3.1 电流的磁效应	48
3.1.1 磁场	48
3.1.2 磁感线	49
3.1.3 电流的磁场	49
3.2 磁场的基本物理量	50
3.2.1 磁感应强度 B	50
3.2.2 磁通 Φ	51

3.2.3 磁导率 μ	52
3.2.4 磁场强度 H	52
3.3 铁磁性物质的磁化	53
3.3.1 铁磁性物质的磁化	53
3.3.2 磁化曲线	53
3.4 磁场对电流的作用力	55
3.4.1 磁场对通电直导体的作用力	55
3.4.2 磁场对通电线圈的作用力矩	56
3.5 磁场对运动电荷的作用	57
3.5.1 洛仑兹力的大小	57
3.5.2 洛仑兹力的方向	58
*3.6 磁路的基本概念	58
3.6.1 磁路	58
3.6.2 磁路的欧姆定律	59
本章小结	60
思考与练习	61
第4章 电磁感应	65
4.1 电磁感应现象	65
4.1.1 感应电流的产生	65
4.1.2 感应电流的方向	67
4.2 楞次定律	67
4.3 电磁感应定律	69
4.3.1 感应电动势	69
4.3.2 电磁感应定律	70
*4.4 自感现象	72
4.4.1 自感现象	72
4.4.2 自感系数和自感电动势	72
4.4.3 自感现象的应用	73
*4.5 互感现象	74
4.5.1 互感现象	74
4.5.2 互感电动势	74
4.5.3 互感线圈的同名端	75
4.6 电感线圈及其磁场能	75
4.6.1 电感线圈及其种类	75
4.6.2 电感线圈的磁场能	76
*4.7 涡流及磁屏蔽	77
4.7.1 涡流	77
4.7.2 磁屏蔽	78
本章小结	78

思考与练习	80
第5章 电容器	85
5.1 电场和电场强度	85
5.1.1 电场	85
5.1.2 电场强度	85
5.2 电力线	86
5.3 电容器和电容	87
5.3.1 电容器和电容	87
5.3.2 平行板电容器	87
5.4 电容器的参数和种类	89
5.4.1 电容器的参数	89
5.4.2 电容器的常见种类和电路符号	89
5.5 电容器的串联	90
5.5.1 串联的方法	90
5.5.2 电容器串联的特点	90
5.6 电容器的并联	92
5.6.1 并联的方法	92
5.6.2 电容器并联的特点	92
5.6.3 电容器的混联	93
5.7 电容器的充放电及电场能量	93
5.7.1 电容器的充电和放电	93
5.7.2 电容器中的电场能	95
*5.8 瞬态过程的基本概念	95
5.8.1 稳态与瞬态	95
5.8.2 发生瞬态过程的原因	96
5.8.3 换路定律	96
*5.9 RC 电路的瞬态过程	97
5.9.1 电容器的充电规律	97
5.9.2 电容器的放电规律	98
*5.10 RL 电路的瞬态过程	99
5.10.1 电感 L 的储能过程	99
5.10.2 电感 L 对 R 放能过程	100
本章小结	100
思考与练习	102
第6章 正弦交流电及其电路	106
6.1 正弦交流电及基本概念	106
6.1.1 正弦交流电的产生	106
6.1.2 正弦交流电的三要素	107
6.2 交流电的表示法	110

6.2.1 解析式表示法	110
6.2.2 波形图表示法	110
6.2.3 相量图表示法	110
6.3 纯电阻电路	111
6.3.1 电压、电流的瞬时值关系	111
6.3.2 电压、电流的有效值关系	111
6.3.3 相位关系	111
6.4 纯电感电路	112
6.4.1 电感对交流电的阻碍作用	112
6.4.2 电感电流与电压的关系	112
6.5 纯电容电路	113
6.5.1 电容对交流电的阻碍作用	113
6.5.2 电流与电压的关系	113
*6.6 电阻、电感、电容的串联电路	114
6.6.1 $R-L-C$ 串联电路的电压关系	114
6.6.2 $R-L-C$ 串联电路的阻抗和功率	114
6.6.3 $R-L-C$ 串联电路的性质	115
6.6.4 $R-L$ 串联与 $R-C$ 串联电路	116
6.7 串联谐振电路	117
6.7.1 谐振频率与特性阻抗	117
6.7.2 串联谐振电路的特点	118
6.7.3 串联谐振的应用	118
本章小结	119
思考与练习	121
实验四 单一参数交流电路相位关系的测量	124
实验五 $R-L-C$ 串联谐振实验	125
第7章 三相交流电路	127
7.1 三相交流电源	127
7.1.1 三相交流电的产生	127
7.1.2 三相电源的连接	128
7.2 三相负载的接法	130
7.2.1 三相负载的星形接法(Y)	130
7.2.2 三相负载的三角形接法(Δ)	133
7.3 三相交流电路的功率	134
7.3.1 有功功率(或平均功率)	134
7.3.2 无功功率	135
7.3.3 视在功率	135
7.4 保护接零与保护接地	136
7.4.1 保护接零	136

7.4.2 保护接地	136
7.4.3 重复保护	137
本章小结	137
思考与练习	138
第8章 变压器	141
8.1 变压器的种类、构造及工作原理	141
8.1.1 变压器的分类	141
8.1.2 变压器的构造	141
8.1.3 额定值及使用注意事项	143
8.1.4 变压器的工作原理	143
8.2 变压器的功率和效率	145
8.2.1 变压器的功率	145
8.2.2 变压器的效率	145
8.3 几种常用变压器	146
8.3.1 自耦变压器	146
8.3.2 小型电源变压器	147
8.3.3 互感器	147
8.3.4 三相变压器	149
8.4 变压器的同名端	149
本章小结	150
思考与练习	151
参考文献	154

第1章 电路的基本知识

本章从电流、电压、电阻、电动势、电能和电功率等物理量出发,以欧姆定律、电阻定律、焦耳定律为核心,研究电路的一些最基本的性质。

学习目标

- (1) 理解电场、电流、电压、电位、电动势、电阻、电功、电功率等电路的基本概念。
- (2) 掌握电阻定律、欧姆定律、焦耳定律和最大功率输出定理等基本定律(定理)。
- (3) 能比较电位与电压、电压与电动势、电能与电功率,具有计算电路基本物理量的能力。
- (4) 会应用电阻定律、欧姆定律、焦耳定律和最大值功率输出定理,分析和解决生产、生活中的实际问题。
- (5) 会使用仪表测量电流、电压、电阻、电能等物理量。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路组成及种类

1. 电路的组成

电流流经的闭合路径称为电路。电路的作用是实现电能的传输和转换。

电路是由一些电器设备或元器件按一定方式组合起来的。最简单的电路由电源、负载、连接导线、控制和保护装置组成。

(1) 电源。电源是供给电能的设备,其主要作用是向电路提供电能。如干电池、光电池、蓄电池、发电机等。

(2) 负载。负载又称为用电器,是各种用电设备的总称,其主要作用是将电能转变成其他形式的能量。如电灯将电能转换为光能,电动机将电能转换为机械能,扬声器将电能转换为声音,电炉将电能转换为热能。

(3) 连接导线。连接导线是连接负载和电源的导体,起着输送和分配电能的作用。最常用的导线有铜线和铝线,一般在规格相同的条件下,铜线电阻小,价格贵;铝线电阻大,价格便宜。

(4) 控制和保护装置。用于控制电路的通断,以保证电路安全而可靠地工作,使其自动完成某些特定的功能。如开关可以把负载与电源接通与断开,熔断器可以保证电路安全运行等。

2. 电路的种类

电路的形式很多——按使用的电源不同,可分为直流电路和交流电路。其中,直流电路又分为简单直流电路和复杂直流电路;交流电路又分为单相交流电路和三相交流电路。按电流流过的路径不同,分为外电路和内电路。按作用来分,有实现电能转换及传输的电力电路和实现信号传递及处理的电子电路。

3. 电路的状态

(1) 通路(闭路)。电源与负载接通,电路中有电流通过,电气设备或元器件获得一定的电压和电功率,进行能量转换,如图1-1(a)所示。

(2) 开路(断路)。电路中没有电流通过,又称为空载状态,如图 1-1(c)所示。

(3) 短路(捷路)。电源两端的导线直接相连接,输出电流过大,如图 1-1(b)所示。短路对电源来说属于严重过载,如没有保护措施,电源或电器会被烧毁或引发火灾,所以,通常要在电路或电气设备中安装熔断器、熔丝等保险装置,以避免发生短路时出现不良的后果。

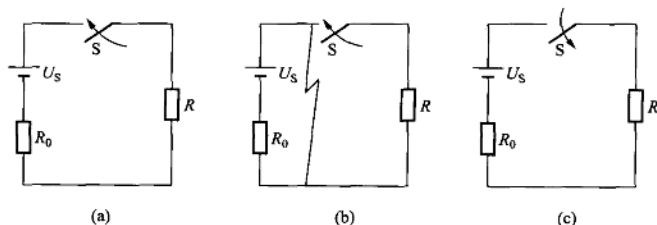


图 1-1 电路的状态

(a) 有载状态 (b) 短路状态 (c) 开路状态

1.1.2 电路模型(电路图)

电路是根据人们的需要,将电路元件或器件搭接起来,以完成人们的预想要求。如:发电机、变压器、电动机、电阻器及电容器等。

实际元器件的电磁特性十分复杂。为便于对电路的分析和数学描述,通常是将实际元器件理想化处理(即模型化)。在一定条件下,把电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征其主要电磁特性的理想元件(模型)来代替,而对它实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。

由理想电路元件组成的电路,就是电路的电路模型。理想电路元件的符号是由国家统一规定的,常用理想元件及符号见表 1-1。用电路元件图形符号代替实际电路器件所绘制的电路模型,称为电路图。

如图 1-2 所示为手电筒电路实物示意图与电路原理图。

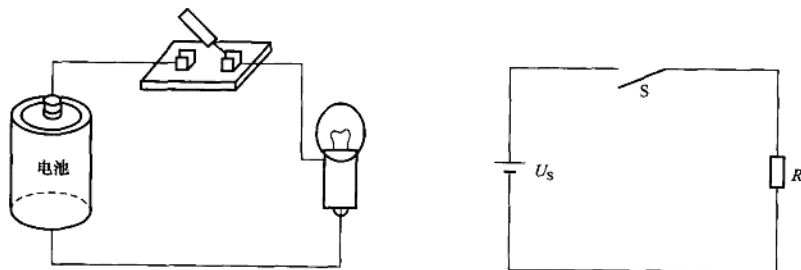


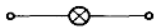
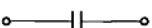
图 1-2 手电筒电路实物示意图与电路原理图

表 1-1

常用理想元件及符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	

续表

名称	符号	名称	符号
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流

在电路中,电荷沿着导体定向运动称为电流。导体中的电流是由于导体内部自由电子在电场力作用下有规则地移动而形成的,电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量的多少。在相同时间内通过导体横截面的电荷量越多,流过该导体的电流就越强;反之,则越弱。

电流的大小等于在单位时间内通过导体横截面的电荷量,用字母 I 表示。若在 t 秒内通过导体横截面的电荷量为 q 库仑,则电流 I 可用公式表示为

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

式中 I ——电流,电流的国际单位制为安培,单位为安培(A);

t ——通过电荷量所用的时间,单位是秒(s);

q ——通过导体横截面的电荷量,单位是库仑(C);

如果在1s内,通过导体横截面的电量是1C,则流过导体的电流就是1A。

常用的电流单位还有毫安(mA),微安(μ A),千安(kA)等,其单位换算关系为

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A} \quad 1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

2. 电流的方向

电流的方向习惯上规定为正电荷定向移动的方向。在金属导体中,电流的方向与自由电子定向移动的方向相反。

在电路计算时,我们有时很难确定电流的真实方向,为了计算简便,常常先假设一个电流方向,称为参考方向,用箭头在电路图中标明。如果计算结果为正值,则表明电流的实际方向与参考方向一致;如果计算结果为负值,就表明电流的实际方向与参考方向相反。

电路中电流的实际方向是客观存在的,而参考方向是为分析电路人为假设的,离开电流的参考方向,电流的正负号是无意义的。

虽然电流既有大小又有方向,但它仍然是一个标量,因为电流方向只表明电荷的定向移动方向。

如果电流的大小及方向都不随时间变化,这样的电流叫直流电流或稳恒电流,如图1-3(a)所示;如果电流的大小随时间变化,但方向不随时间变化叫脉动电流,如图1-3(b)所示。对电路分析来说,一种最为重要的变动电流是正弦交流电流,其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化,这样的电流叫交流电流,交流电流的瞬时值用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示,

如图1-3(c)所示。

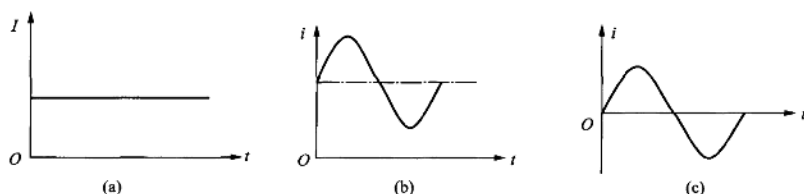


图 1-3 直流电流、脉动电流、交流电流

(a) 直流电流 (b) 脉动电流 (c) 交流电流

例题 1-1 某导体在 0.5min 的时间内通过导体横截面的电荷量是 90C, 求导体中的电流是多少?

分析: $t = 0.5\text{min} = 30\text{s}$

解: 由公式可得 $I = \frac{q}{t} = \frac{90}{30} = 3\text{A}$

1.2.2 电压

1. 电压的基本概念

电荷在电场力作用下会做功。电压, 就是衡量电场力做功本领的物理量。

在电场中, a、b 两点间电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功 W_{ab} 与被移动电荷电量 q 的比值, 即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q}$$

式中 U_{ab} ——a、b 两点间的电压, 单位为伏特(V)。

电压的国际单位制为伏特(V), 常用的单位还有毫伏(mV)、微伏(μV)、千伏(kV)等, 它们与伏特的换算关系为

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V} \quad 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V} \quad 1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

若电场力将 1C 的电荷从 a 点移到 b 点, 所做的功是 1J, 则 a、b 两点间的电压就是 1V。

电压和电流一样, 不仅有大小, 而且有方向, 即有正负。电压是标量, 其方向只能表示电位的高低。电压的方向规定为从高电位(正极)指向低电位(负极)的方向。

在分析电路时, 往往难以确定电压的实际方向。此时, 可先假设电压的参考方向, 再根据计算所得值的正、负, 来确定电压的实际方向。

参考方向的标注方法如图 1-4 所示。其中, 如图 1-4(a) 所示的标注方法, 是用箭头表示; 如图 1-4(b) 所示的标注方法, 是用“+”号表示参考高电位端(正极), “-”号表示参考低电位端(负极); 第三种标注方法是用双下标来表示, 如图 1-4(c) 所示的参考方向是由 A 点指向 B 点。

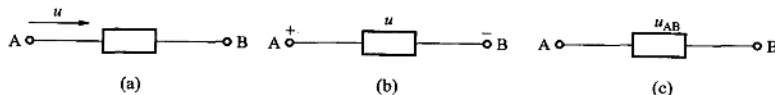


图 1-4 电压参考方向的标注方法

2. 直流电压与交流电压

如果电压的大小及方向都不随时间变化,则称之为稳恒电压或恒定电压,简称为直流电压,用大写字母 U 表示。

如果电压的大小及方向随时间变化,则称为变动电压。对电路分析来说,一种最为重要的变动电压是正弦交流电压(简称交流电压),其大小及方向均随时按正弦规律作周期性变化。交流电压的瞬时值要用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。

1.2.3 电位

电压就是电场中某两点间的电位之差。在电场中,A、B 两点间电压等于 A、B 点的电位之差,即

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

在分析计算电路中各点的电位时,一般先选择电路中某一点作为参考点,并规定参考点电位为 0V,然后其他各点的电位在数值上就等于该点和参考点之间的电压。原则上参考点是可以任意选择的,但习惯上通常选择大地为参考点。在实际电路中常常选取公共点或机壳作为参考点,一个电路只能选一个参考点。

在电路分析时,我们用电流的方向来判定电路中各点电位的高低。

1.2.4 电动势

在电源外部电路中,电场力把正电荷由高电位经过负载移动到低电位,那么,在电源内部电路中,也必定有一种力能够把正电荷从低电位移到高电位,我们把这种力叫做电源力,也叫非静电力。

在电源内部,电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位,如图 1-5 所示。在这个过程中,电源力要反抗电场力做功,这个做功过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。电源的种类有很多,对于不同的电源,电源力做功的性质和大小不同,我们把这种衡量电源力做功本领大小的物理量叫做电源电动势。

在电源内部,电源力把正电荷从低电位(负极)移到高电位(正极),反抗电场力所做的功 W 与被移动电荷的电荷量 q 的比值就是电源电动势。用公式表示为

$$E = \frac{W}{q}$$

式中 E ——电源电动势,单位是伏特(V);

W ——电源力移动正电荷做的功,单位是焦耳(J);

q ——被移动电荷的电量,单位是库仑(C)。

电源电动势是由电源本身性质决定的,与外电路的情况无关。如干电池的电动势为 1.5V,单个蓄电池的电动势为 2V。

电动势的方向规定为在电源内部由负极指向电源的正极。

对于闭合电路来说,在电源内部的电路中,电源力移动正电荷形成电流,电流的方向是从电源负极指向正极;在电源的外电路中,电场力移动正电荷形成电流,电流方向是从电源的正

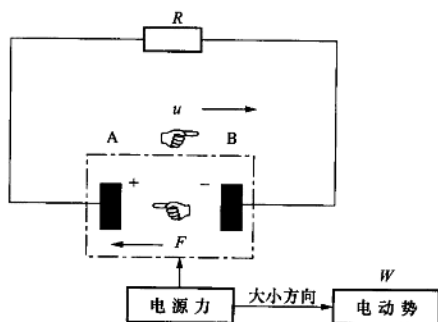


图 1-5 电源力与电动势示意图

极指向负极。

1.3 电阻及电阻定律

1.3.1 电阻

在导体两端加上电压,导体中的自由电子在电场力作用下定向运动,由于电荷间的碰撞作用,使得导体对电荷的定向运动有阻碍作用,即表现为对电流的阻碍作用。导体对电流的阻碍作用称为电阻。

任何物体都有电阻,当有电流通过时,电阻器会发热,都要消耗一定的电能,这是所有电阻的共同特征。电阻越大,导体的导电能力越弱;电阻越小,导体的导电越强。

电阻用字母 R 表示,国际单位制为欧姆(Ω)。经常用的电阻单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$),它们间的换算关系为

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 10^6\Omega$$

如图 1-6 所示,电阻根据阻值是否可变,分为可变电阻和固定电阻两类;按制造材料可分为膜式(碳膜、金属膜等)和线绕式两类。膜式电阻的阻值范围大,功率一般为几瓦,金属线绕式电阻器正好与其相反。

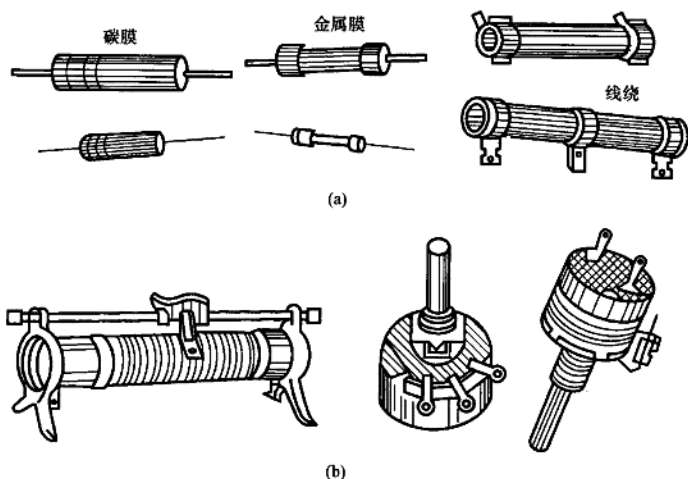


图 1-6 电阻器的分类
(a) 固定式电阻器 (b) 可变式电阻器

选择电阻时,主要根据电阻值和额定功率来选择。即电阻值应与电路要求相符,额定功率要大于电阻在电路中实际消耗的功率,以免电阻过热而损坏。

电阻还有线性电阻和非线性电阻之分。线性电阻的阻值不随电压、电流的变化而变化。非线性电阻的阻值随电压、电流的变化而变化,如热敏电阻、压敏电阻等。通常所说的“电阻”,如不作特殊说明,均指线性电阻。

1.3.2 电阻定律

导体电阻的大小,由导体本身的尺寸和材料性质来决定。实验证明:对于一段均匀导体,在一定温度的条件下,导体电阻的大小与它的长度成正比,与它的横截面积成反比,这就是电

阻定律,用公式表达为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ ——制造电阻的材料电阻率,国际单位制为欧姆·米($\Omega \cdot \text{m}$);

l ——绕制成电阻的导线长度,国际单位制为米(m);

S ——绕制成电阻的导线横截面积,国际单位制为平方米(m^2);

R ——电阻值,国际单位制为欧姆(Ω)。

导体电阻的大小还与导体材料的性质有关,常用材料在 20°C 时的电阻率如表 1-2 所示。

表 1-2 常用材料在 20°C 时的电阻率

用 途	材料名称	$\rho/\Omega \cdot \text{m}$
导 电 材 料	银	1.65×10^{-8}
	铜	1.75×10^{-8}
	铝	2.83×10^{-8}
	低碳钢	1.3×10^{-7}
电 阻 材 料	铂	1.06×10^{-7}
	钨	5.3×10^{-8}
	锰铜	4.4×10^{-7}
	康铜	5.0×10^{-7}
	镍铬铜	1.0×10^{-6}
	碳	1.0×10^{-6}

1.3.3 电阻与温度的关系

电阻的电阻值一般与温度有关。衡量电阻受温度影响大小的物理量是温度系数。

温度每升高 1°C 时电阻值的变化率定义为温度系数,用 α 表示。

如果设任一电阻元件在温度 t_1 时的电阻值为 R_1 ,当温度升高到 t_2 时电阻值为 R_2 ,则该电阻在 $t_1 \sim t_2$ 温度范围内的(平均)温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

或者

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

如果 $R_2 > R_1$,则 $\alpha > 0$,将 R 称为正温度系数电阻,即电阻值随着温度的升高而增大;如果 $R_2 < R_1$,则 $\alpha < 0$,将 R 称为负温度系数电阻,即电阻值随着温度的升高而减小。显然 α 的绝对值越大,表明电阻受温度的影响也越大。

在一般情况下,若电阻值受温度变化的影响不太大,则可不去考虑其温度影响。

1.3.4 物质的分类

根据物质导电能力的强弱,我们把自然界的物质分为导体、半导体和绝缘体。

导体是能良好地传导电流的物质,其主要作用是输送和传递电流。各种金属材料都是导体,导体常用来制作导电材料、电阻材料。

绝缘体是基本不能传导电流的物质,其主要作用是将带电体与不带电体隔离,以确保电流的流向或人身安全,在某些场合,还起支撑、固定、灭弧、防电晕、防潮湿等作用。常用的绝缘体

有玻璃、胶木、陶瓷、云母、橡胶等。

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。半导体具有光敏、热敏、和掺杂特性，主要材料有硅、锗等。半导体常用来制作二极管、三极管和集成电路。

1.4 欧姆定律

1.4.1 部分电路的欧姆定律

导体两端加上电压后，导体中都有持续的电流，那么电压与电流的关系是什么？

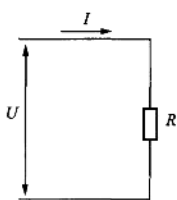


图 1-7 部分电路

如图 1-7 所示为不含电源的部分电路。当在电阻 R 两端加上电压 U 时，电阻中就有电流流过。实验证明，流过导体的电流 I 与这段导体两端的电压 U 成正比，与这段导体的电阻成反比。表达式为

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR$$

式中 I ——电流，单位为安培(A)；

U ——导体两端的电压，单位为伏特(V)；

R ——导体电阻，单位为欧姆(Ω)。

这个从实验中得到的结论，称为部分电路的欧姆定律。欧姆定律揭示了电路中电流、电压、电阻三者之间的关系，是电路的基本定律之一，应用非常广泛。

例题 1-2 已知导体两端电压为 6V，通过导体的电流为 3A，求导体的电阻是多大？当导体两端电压为 16V 时，电阻又为多大？此时的电流是多少？

分析：导体电阻的大小与电压和电流无关，利用公式 $R = U/I$ 可以求出电阻的大小，但电阻的值不由电压和电流决定。

解：由部分电路的欧姆定律可得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{3} = 2\Omega$$

当电压改变为 16V 时，电阻不变， $R = 2\Omega$ 。

此时电流 $I = \frac{U}{R} = \frac{16}{2} = 8\text{A}$ 。

1.4.2 全电路的欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1-8(a) 所示。图中点画线框为电源的内部电路，叫内电路。电源内部的电阻叫内阻，用字母 r 表示。内电阻也可以不单独画出，只在电源旁边予以注明，如图 1-8(b) 所示。电源外部的电路叫外电路。

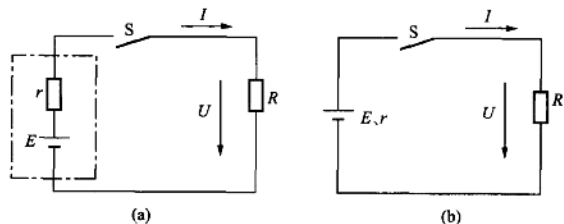


图 1-8 全电路

全电路欧姆定律的内容是：闭合电路的电流与电源电动势成正比，与整个电路的电阻（内电阻和外电阻之和）成反比。其数学表达式为

$$I = \frac{E}{R + r} \text{ 或 } E = IR + Ir$$

式中 I ——电流，单位为安培(A)；