

新编中级电工

王肇中 主编

北京科学技术出版社

新 编 中 级 电 工

主 编 王 擎 忠
副主编 于 克 景 郑 连 华 陶 兴 顺

北京科学技术出版社

(京)新登字 207 号

图书在版编目 (CIP) 数据

新编中级电工/王擎忠主编. —北京:北京科学技术出版社, 1995. 11

ISBN 7-5304-1776-2/T·397

I. 新… II. 王… III. 电工, 中级—基本知识 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 09650 号

北京科学技术出版社出版

(北京西直门内大街 16 号)

邮政编码: 100035

各地新华书店经销

北京市建华印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 580 千字

1995 年 11 月第一版 1995 年 11 月第一次印刷

印数 0001—1200 册

定价 30.00 元

前 言

随着生产技术的不断发展和用电的普及，人们对用电技术提出了新的要求。为了满足人们学习电工知识及技术的渴求，我们组织工作在教学、生产第一线的既有扎实理论知识，又有丰富实践经验的人员，编著了这本《新编中级电工》。

本书以我国中级电工技术等级标准为依据，同时又注意了初、中级技术知识的衔接性。力求做到难易适度，详略恰当，主次分明，既注意理论的阐述，又注重联系实际，把操作技能和处理应急问题的具体措施提到了突出地位。同时，还介绍了近几年来出现的新技术、新工艺。

本书不但是专业电工和技术培训的必备教材，而且是中专、技校、职业中学电工专业师生及电气维修人员的必读参考书。

本书由王擎忠主编，于克景、郑连华、陶兴顺副主编，王擎忠、于克景、郑连华、陶兴顺编著。参加本书编写的还有董中慧、宋化章、徐庆刚、黄小兵等。全书由王擎忠统稿并审定。

在整个编写过程中，曾得到主管部门领导毕新会和有关专家王永现及编者所在单位领导和同志们的大力支持和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

由于编著水平所限，时间仓促，书中不足甚至错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

一九九五年九月

目 录

第一章 电工基本知识	1
第一节 电路和电路图.....	1
第二节 电流和电流密度.....	2
第三节 电位、电压和电动势.....	3
第四节 电阻和欧姆定律.....	4
第五节 电功和电功率.....	8
第六节 电磁现象和磁通.....	9
第七节 交流电.....	13
第二章 电工工具及其正确使用	18
第一节 电工常用工具及其使用方法.....	18
第二节 电工专用工具及其使用方法.....	27
第三章 电工仪表	37
第一节 常用电工仪表的分类、型号和标志.....	37
第二节 钳形电流表.....	39
第三节 万用表.....	40
第四节 兆欧表.....	41
第五节 功率表.....	43
第六节 功率因数表.....	46
第七节 电度表.....	47
第八节 直流电桥.....	50
第四章 低压绝缘布线及其常用低压电器	53
第一节 照明线路和动力线路的组成.....	53
第二节 绝缘导线的种类及选择.....	54
第三节 绝缘导线的连接.....	58
第四节 布线施工.....	60
第五节 导线绝缘层的恢复.....	68
第六节 常用照明设备.....	69
第七节 照明线路的常见故障.....	80
第八节 常用低压电器.....	80
第五章 直流电动机	99
第一节 直流电动机的用途及结构.....	99
第二节 直流电动机的工作原理.....	102
第三节 直流电动机的铭牌和额定值.....	103
第四节 直流电动机的启动与调速.....	104
第五节 直流电动机的旋转方向与制动.....	106

第六节	直流电动机的启动和运行中的监视	108
第七节	直流电动机故障的检查与修理	109
第六章	交流电动机	127
第一节	三相异步电动机的结构及其分类	127
第二节	三相异步电动机的工作原理	130
第三节	转差率及其与转子各量之间的关系	134
第四节	三相异步电动机的能量损耗和效率	136
第五节	电动机的电磁转矩	136
第六节	交流电动机的铭牌值	138
第七节	交流电动机的启动方法及其控制电路	140
第八节	交流电动机的正、反转及其制动电路	146
第九节	交流电动机的调速方法及其控制电路	148
第十节	电磁调速异步电动机	150
第十一节	电动机的安装与运行	152
第十二节	单相电动机	159
第七章	发电机	164
第一节	三相同步发电机	164
第二节	异步发电机	170
第三节	发电机的运行及其维护	174
第四节	发电机的一般检修	183
第八章	异步电动机的维修	185
第一节	三相异步电动机的拆卸与装配	185
第二节	三相异步电动机的故障排除	188
第三节	三相异步电动机的定子绕组	195
第四节	三相异步电动机定子绕组的重绕	207
第五节	台风扇电动机的检修	216
第九章	电力拖动与自动控制	220
第一节	电气制图国家标准简介	220
第二节	电气控制电路的基本知识	222
第三节	三相异步电动机的正转控制电路	223
第四节	三相异步电动机的正反转控制电路	228
第五节	生产机械的位置控制与自动往返控制电路	236
第六节	顺序控制与多地控制电路	238
第七节	三相异步电动机降压启动控制电路	244
第八节	三相异步电动机的调速控制电路	256
第九节	三相异步电动机制动控制电路	262
第十节	并励直流电动机的控制电路	268
第十一节	串励直流电动机的控制电路	272
第十二节	他励直流电动机的控制电路	274
第十章	变压器	279

第一节	概述	279
第二节	变压器的基本知识	280
第三节	自耦变压器	296
第四节	仪用互感器	297
第五节	电焊变压器	300
第六节	变压器的维护与保养	301
第七节	小型变压器的修理	303
第十一章	电力系统	311
第一节	对电力系统的初步认识	311
第二节	短路电流及其计算	315
第三节	变配电的任务和类型	319
第四节	电力线路的结构和敷设	322
第五节	电力线路的运行维护	332
第六节	供电系统的保护装置	334
第七节	防雷、接地和电气安全	336
第十二章	安全用电常识	341
第一节	基本知识	341
第二节	防护技术	348
第三节	电工作业的安全技术与安全组织措施	361
第四节	电气设备及线路的安全技术	363
附录		
表 1	Y 系列 (IP44) 封闭式三相异步电动机技术数据	365
表 2	常用低压电器图形及符号	367

第一章 电工基本知识

第一节 电路和电路图

一、电路

电流经过的路径叫做电路。图 1-1 所示为手电筒的结构简图，也是一个简单的电路。两节电池串联，电池的正极与灯泡的一个电极相接，电池的负极通过导线、开关与灯泡的另一个电极相接。分析图 1-1 可知，电路通常有三种状态：

1. 通路状态 当开关闭合，电流从电池的正极流出，经灯泡、开关，回到电池的负极，灯泡发亮。此时电路形成了通路，显然通路中有电流通过，负载（灯泡）正常工作。

负载又有满载、轻载和过载三种情况。负载在额定功率下的工作状态叫满载；低于额定功率的工作状态叫轻载；高于额定功率的工作状态叫过载或超载。过载如同小马拉大车，易于损坏电器，一般不允许过载；轻载如同大马拉小车，所以轻载太多也不好。

2. 开路状态 当开关断开或电路某处断开时，电路不再闭合，就无电流通过，电路的这种状态叫做开路或断路。

3. 短路状态 短路是指电路中电位不同的两点直接相碰或被电阻很小的导体接通，电流走了“近路”。短路时电流非常大，且电源端电压为 0。短路也称捷路，一般属于电路故障，它可能给我们带来非常严重的后果，必须避免发生。

电路有内电路和外电路之分。电源内部的通路称为内电路，如图 1-1 中，电池正极和负极之间的电路，这部分电路是将其它能转化为电能；外电路是指从电源一极通过负载再回到另一极的电路，如图 1-1 中从正极经过灯泡、开关再回到负极的电路。

电路中如灯泡、电铃、电炉、电动机等利用电流来工作的器件或设备，统称负载或用电器。

二、电路图

图 1-1 所示的电路，是一个实物接线图。在实际中，这样画法非常麻烦，而且也没必要。因此，把这种电路改为用各种符号和图线连接起来，按照规定画在图纸上就是电路图。

图 1-2 为手电筒的电路图。电路图又称电源原理图，它详细地表达了电路的原理和组成以及电路与元件、器件的连接关系。电路图的绘制应严格遵照国家标准。电路图中使用的图形符号很多，常用符号如附录 2 所列。

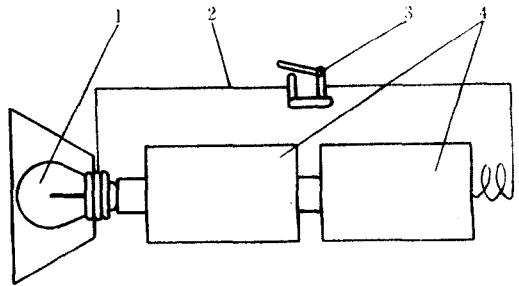


图 1-1 手电筒结构简图

1—灯泡 2—导线 3—开关 4—电池

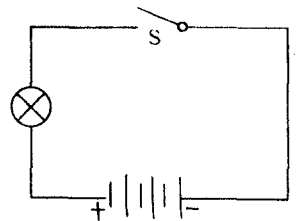


图 1-2 手电筒的电路图

第二节 电流和电流密度

一、电流

电流不但有方向，而且有大小。那么，电流的方向是如何规定的？电流的大小又如何来衡量？因为电荷的有规则运动形成电流，所以要知道电流的方向和大小，必要先知道电荷的一些特性。

摩擦起电的现象早已被人们熟知，物体有了吸引轻小物体的性质，我们说物体带了电，或者说带了电荷。电荷是物质的固有属性之一，自然界中只存有两种电荷，一种是正电荷，另一种是负电荷。电荷之间存在着相互的作用，同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。习惯规定，正电荷运动的方向为电流的方向，即电流从电源正极流向负极。在金属导体中，与此正好相反。

电荷的多少叫电量，电量的单位是库仑 (C)。

电流的大小用电流强度来衡量。一秒钟内通过导体横截面的电量叫做电流强度。它是表示电流大小的物理量，习惯上简称电流。如果在时间 t 秒钟内通过导体横截面的电量是 Q 库仑，则电流强度 I 可用下式表示：

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

式中：电流强度 I 的单位是安培 (A)。如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量为 1 库仑，则导体中的电流强度就是 1 安培。即：

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}} \quad (1-2)$$

安培简称安，符号是 A，是电流强度的基本单位。其他常用单位还有 kA, mA, μ A。它们之间的换算关系是：

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

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

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

电流分为直流电流和交流电流两种，二者的根本区别在于：直流电流的方向是始终不变的，而交流电流的方向和大小则是变化的。

电路中电流强度的大小，是使用电流表测量的，电流表通常也叫安培表。其测量方法见第三章有关内容。

二、电流密度

在工程电路中，有时需要确定导线的粗细，这就用到了电流密度的概念。通过导线单位截面的电流，称为电流密度，用 J 表示。电流密度的单位为安/毫米²，单位符号是 A/mm²，若导线截面的面积用 S 表示。则电流密度 J 、面积 S 和电流强度 I 三者的关系可用下式表示：

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-3)$$

$$\text{或} \quad S = \frac{I}{J} \quad (1-4)$$

式中： I ——导线中的电流，单位 A；

S ——导线截面积，单位 mm^2 。

导线允许的电流密度随导体截面的不同而不同。工程计算中，导体中通过的电流绝不能超过允许电流。由经验知：裸电线和电磁线允许电流密度 J 为：

铜导线： $J=5\sim 8\text{A}/\text{mm}^2$ ；

铝导线： $J=3\sim 5\text{A}/\text{mm}^2$ 。

读者在实际工作中，要根据敷设方式、环境条件等合理选用。条件好的可取较大值；差则取较小值。

例 1-1 某照明电路中需要通过 21 A 的电流，问应选用多粗的铜线。

解：选取

$$J=6\text{A}/\text{mm}^2$$

$$S = \frac{I}{J} = \frac{21\text{A}}{6\text{A}/\text{mm}^2} = 3.5\text{mm}^2$$

第三节 电位、电压和电动势

一、电位

电荷有规则的定向运动形成电流。当电场力使电荷移动时，电场力对电荷做了功。电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功，称为该点的电位，用字母 φ 表示，单位为伏特，单位符号用 V 表示。其计算公式为：

$$\varphi = \frac{A}{Q} \quad (1-5)$$

式中： A ——移动电荷所做的功，单位焦耳；

Q ——被移动电荷的电量，单位库仑。

在电场中 a 点的电位用 φ_a 表示， b 点的电位用 φ_b 表示……。工程上常以大地作为参考点，并规定参考点的电位为零，高于参考点的电位为正电位，低于参考点的电位为负电位。不同的电位在数值上是不相等的。电场力移动单位正电荷所做功愈多，表明正电荷所处点的电位愈高；反之，电位则低。

二、电压和电动势

由电位的概念知，在电路中，不同两点间的电位在数值上是不相等的，任何两点间电位的差值称为电位差，电位差又叫电压，用字母 U 表示，单位伏特 (V)，用公式表示为：

$$U = \varphi_a - \varphi_b$$

若在电路中移动电荷电量 Q 从 a 点移动到 b 点所做的功为 A ，那么 a 点与 b 的电压为：

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \frac{A_a}{Q} - \frac{A_b}{Q} = \frac{A_a - A_b}{Q} = \frac{A}{Q}$$

即任意两点间的电压计算公式是

$$U = \frac{A}{Q} \quad (1-6)$$

电压是电路产生电流的外因，它不但有大小，而且有方向。电压的方向是从电源的正极通过负载指向电源的负极。即电场力能够在外电路中，把正电荷从高电位点移向低电位点。

电动势 电动势是指在电源的内部所产生的推动电流的力，如电池内部的化学作用力，

发电机内的电磁作用力等。电动势的方向是从电源的负极，通过电源内部指向电源的正极，即电源力能够把电源内部的正电荷从低电位点移向高电位点。电动势用字母 E 表示。

正是由于电动势使电源内部电流从负极流向正极，而电压是使电源外部电路中的电流从正极通过负载流向负极，这样，电流才能持续不断地通过负载流动做功。

在断路情况下，电源两端的电压在数值上等于电源的电动势，而在负载通过电流的情况下，则电源的端电压略低于电源电动势。

三、特别指出的几个问题

1. 电位与电路中零电位（接地点电位）的选择有关，而电压则是电路中任意两点间的电位差，与零电位的选择无关。

2. 电压与电动势具有不同的物理意义，电动势表示非电场力（外力）做功的本领，电压则表示电场力做功的本领。

3. 电动势与电压的方向不同。电动势是低电位指向高电位，而电压则是高电位指向低电位。

4. 电动势仅存于电源内部，而电压不仅存在于电源两端，也存在于电源外部。

5. 电位、电压、电动势的单位都是伏特，常用单位还有千伏，用 kV 表示；毫伏，用 mV 表示；微伏，用 μV 表示，它们之间的换算关系是：

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

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

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

第四节 电阻和欧姆定律

一、电阻

由实验可知，物体有的导电，有的不导电，有的导电性能好，有的导电性能差。这主要是导体对电荷的定向运动有阻碍作用，或者说物体内部存有电阻。电阻是反映物体对电流起阻碍作用大小的一个物理量。电阻很大的物体，几乎难以导电或者不能导电，称之为绝缘体；电阻值很小的物体导电性能好，称为导体；介于导体与绝缘体之间的物体，称为半导体。

电阻用字母 R 表示。电阻的单位是欧姆，实用中常简称欧，单位符号用 Ω 表示。

当导体两端的电压为 1 伏特，导体内通过的电流是 1 安培，那么这段导体的电阻就是 1 欧姆。除欧姆外，常用的电阻单位还有千欧，单位符号用 $k\Omega$ 表示；兆欧，单位符号用 $M\Omega$ 表示，它们之间的换算关系是：

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

$$1\text{ M}\Omega=10^3\text{ k}\Omega=10^6\text{ }\Omega$$

物体的电阻是客观存在的，其值不随电压的大小而改变，但必须指出，任何东西都不是绝对的，各种绝缘材料由于其内部杂质或其它原因的存在，有时也会出现小电流通过，这种电流通常称为漏电电流。当绝缘体严重损坏，失去绝缘作用时，这种现象叫做绝缘体的击穿。

决定导体电阻大小的因素主要有三个：

1. 电阻的大小与其材料有关，导体的材料不同，其电阻的大小也不同，如铜、铝导电

性能较好，铁导电性能较差，塑料、陶瓷等则不导电。

各种材料导电性能的好坏，通常是用电阻率 ρ 表示的，电阻率数值越大，说明其导电性能越差；电阻率数值越小，说明其导电性能越好。电阻率是指在 20°C 时长 1m ，而横断面积是 1m^2 的某种材料的电阻值，单位符号为 $\Omega\cdot\text{m}$ 。用公式表示：

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L} \quad (1-7)$$

式中： ρ ——电阻率 (Ωm)；

R ——电阻 (Ω)；

S ——材料横截面积 (m^2)；

L ——材料长度 (m)。

几种常见材料的电阻率如表 1-1 所列，读者可根据需要选用。

表 1-1 几种常见材料的电阻率

材料名称	电阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	电阻温度系数 α ($1/^{\circ}\text{C}$)	材料名称	电阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	电阻温度系数 α ($1/^{\circ}\text{C}$)
银	1.6×10^{-8}	0.0036	铁	10×10^{-8}	0.006
铜	1.7×10^{-8}	0.004	碳	35×10^{-8}	-0.0005
铝	2.9×10^{-8}	0.004	锰铜	44×10^{-8}	0.000005
钨	5.3×10^{-8}	0.0028	康铜	50×10^{-8}	0.000005

2. 电阻与材料的横截面积 S 有关，同种材料的导体，截面积越大，导体的电阻越小；截面积越小，导体的电阻越大。即导体的电阻与导体的横截面积成反比。

3. 电阻的大小与导体的长度有关，同样材料、同样截面积的导体，导体越长电阻越大，导体越短电阻越小，即导体的电阻与其长度成正比。

4. 导体的电阻与温度有关，导体的电阻不仅与其自身的因素有关，而且与外界因素（如温度）有关。外界的温度越高，导体的电阻越大，我们把温度升高 1°C ，电阻所产生的变动值与原电阻值的比值，称为电阻温度系数，用字母 α 表示，单位是 $1/^{\circ}\text{C}$ 。一般金属材料的电阻温度系数如表 1-1 所列。一般条件下，在不考虑电阻的温度系数时，导体的电阻可用下式表示：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-8)$$

式中： L ——导体的长度单位 (m)；

S ——导体的横截面积 (m^2)；

ρ ——导体的电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)。

二、电阻的串、并联

在简单直流电路中，外电路常常是由许多电阻串联、并联或混联组成的。

1. 电阻的串联电路 在一段电路上，把几个电阻一个接着一个地连接起来，并使其中没有分岔支路，如图 1-3a

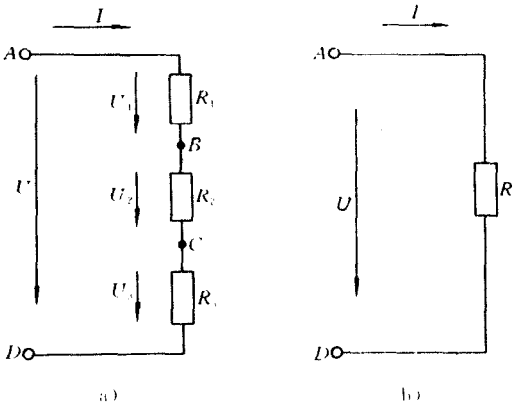


图 1-3 串联电路

所示, 这种联接方式称为电阻的串联。串联电路的特点有:

(1) 串联电路中的电流处处相同, 即流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流为同一电流。

(2) 根据能量守恒定律, 电路取用的总功率应等于各段电阻取用的功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1-9)$$

或

$$UI = U_1I + U_2I + U_3I$$

由此可得

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-10)$$

上式说明, 在串联电路中, 总电压等于各段电压之和。

(3) 几个电阻相串联, 可用一个等效的总电阻来代替。在串联电路中总电阻 R 等于各电阻之和, 如图 1-3b 所示。用公式表示, 即:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-11)$$

在直流电路中, 通过电阻的串联可以实现分压的目的, 电阻越大, 分配到的电压也越高。

2. 并联电路 如图 1-4 所示, 把几个电阻并列, 把它们的两端分别连接在一起使每一电阻两端都承受同一电压的作用。这种连接方式称为电阻的并联。并联电路的特点有:

(1) 加在各并联支路两端的电压相等。

(2) 电路内的总电流等于各分支电路的电流之和,

即:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-12)$$

(3) 在并联电路中, 总电阻的倒数等于各支路的电阻倒数之和, 即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-13)$$

由此可知, 并联的电阻愈多, 则总电阻愈小, 且其值小于任一支路的电阻值。在并联电路中, 可以通过电阻的并联达到分流的目的, 电阻越大, 分到的电流越小。

3. 混联电路 在一个电路中既有电阻的串联, 又有电阻的并联, 这种形式的电路称为混联电路, 如图 1-5 所示。

应该指出的是, 在计算混联电路时, 不一定要算出各部分电路的电阻值或总阻值, 可根据串联、并联电路的特点, 再结合欧姆定律加以灵活运用, 就能很好的计算混联电路。

三、电导

电导就是电阻的倒数, 电导用符号 G 表示, 即:

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-14)$$

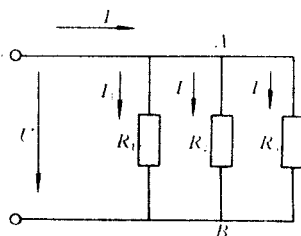


图 1-4 并联电路

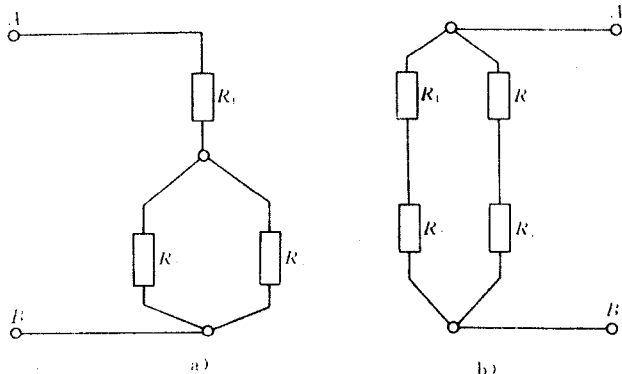


图 1-5 混联电路

电导与电阻是同一个现象的两种表示法, 并不是导体在本质上有什么变化。电导值愈

大,说明该导体导电性能愈好。相反,则说明导体导电性能愈差。

电导的单位是1/欧姆,单位符号用字母 $1/\Omega$ 表示,称为西门子,简称西。有些书中把电导的单位写成S,称为姆欧。

四、部分电路的欧姆定律

如图1-6所示,是一不含电源的部分电路。当在电阻 R 两端加上电压 U 时,电阻 R 中就有电流 I 通过。如果加在电阻 R 两端的电压 U 发生变化,通过电阻 R 的电流 I 也随之变化。实验知道,其变化规律为:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-15)$$

由于这一规律是德国物理学家欧姆最早发现的,故称为欧姆定律。欧姆定律揭示了电路中电流、电压、电阻三者之间的联系,即流过导体的电流强度 I 与这段导体两端的电压 U 成正比,与这段导体的电阻 R 成反比。由式1-15还可得到:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-16)$$

$$U = IR \quad (1-17)$$

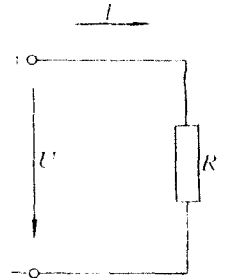


图1-6 部分电阻电路

由图1-6可以看出,电阻两端的电压方向是由高电位指向低电位,并且电位是逐点降落的。通常人们把电阻两端的电压称为“电压降”或“压降”,就指这个意思。

五、全电路欧姆定律

如图1-7所示是一个最简单的闭合电路, R 是负载电阻, R_0 是电源内的电阻,根据平衡方程可得: $E = IR + IR_0$ 即:

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-18)$$

此式则是全电路欧姆定律,其意义是:在一个闭合电路中,电路中的电流强度与电源的电动势成正比,与电路的全部电阻值成反比。在一般情况下,电源的电动势和内阻可认为是不变的,因此,外电路的电阻的改变是影响电流大小的唯一因素,当 R 减小时,全电路的电阻减小,电流增大。

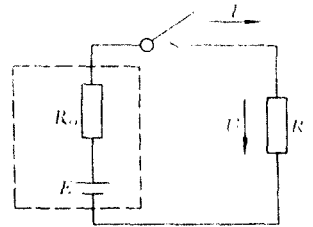


图1-7 最简单的闭合电路

由公式1-18可得; $U = E - IR_0$,当负载电阻 R 为无穷大即外电路开路时, $I = 0$,端电压最高且等于 E ;当负载电阻 R 变小时,电路中的电流 I 将增加,内电压降 IR_0 随之增加,端电压 U 将减小。反过来, R 增大时, I 减小 U 将增加。我们把这种电源端电压随负载电流变化的关系,称为电源的外特性。绘成曲线,则称做外特性曲线,如图1-8所示。通常人们把通过电流大的负载称为大负载,把通过电流小的负载称为小负载。这样,根据外特性曲线可以看出,当电路接大负载时,端电压下降;当电路接小负载时,端电压上升。若负载变化较大,而端电压变化较小,说明该电源外特性较好。反之,若负载变化不大,而端电压变化较多,说明该电源的外特性较差。在理想电源中,不计内阻,则端电压与电动势相等。

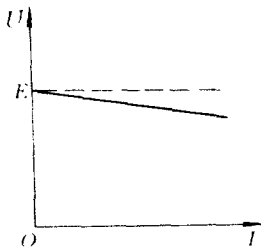


图1-8 电源外特性曲线

第五节 电功和电功率

一、电功

在电流通过电路时, 电路内发生了能量的转换。

在电源内, 局部外力不断克服电场力对正电荷做功, 从而使正电荷的电位升高, 正电荷在电源内获得了能量, 把非电能转换成电能。在外电路中, 正电荷在电场力作用下, 不断地通过负载, 从而使正电荷的电位降低, 正电荷在外电路中放出能量, 把电能转换成为其他形态的能。这种转化过程称为电场力做功, 简称电功, 用符号 A 表示, 在电路中, 电荷只是一种转换和传输能量的媒介物, 其本身并不产生或消耗任何能量。

根据公式 (1-1)、(1-6) 和 (1-16) 得:

$$A = UQ = IUt \quad (1-19)$$

或
$$A = I^2 R t \quad (1-20)$$

或
$$A = \frac{U^2}{R} t \quad (1-21)$$

上式中, 若电压的单位为 V, 电流的单位为 A, 电阻的单位为 Ω , 时间的单位为 s, 则电功的单位就是焦耳, 简称焦, 符号为 J。

二、电功率

电功不能表示电流做功的快慢, 因不知做这些功用多少时间。我们把单位时间内电流所做的功, 称为电功率, 用字母 P 表示, 即:

$$P = \frac{A}{t} \quad (1-22)$$

上式中, 若电功单位为 J, 时间单位为 s, 则电功率的单位是 J/s。J/s 又称瓦特, 简称瓦, 单位符号用字母 W 表示。电功率的常用单位还有千瓦, 单位符号为 kW, 它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

根据公式 (1-20)、(1-21)、(1-22) 还可得到最常见的电功率计算公式:

$$P = IU \quad (1-23)$$

或
$$P = I^2 R \quad (1-24)$$

或
$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-25)$$

式 (1-25) 表明, 当加在用电器两端的电压一定时, 电功率与电阻值成反比。比如家庭中用的电灯, 电压都是 220 V, 接上 40W 的灯泡要比 25 W 的亮, 而 40 W 灯泡的电阻是 1210 Ω , 25 W 灯泡的电阻却是 1936 Ω 。由公式 $E = IR + I r_0$ 可得:

$$EI = UI + U_0 I \quad (1-26)$$

式中: EI 是电源产生的功率, UI 是负载取用的功率, $U_0 I$ 是内电路损失的功率。它表明, 电源产生的电功率等于负载取用功率与内电路损失的电功率之和。这个关系式称为电路的功率平衡方程式。

在实际工作中, 电功的单位常用千瓦时, 也叫“度”, 单位符号 kW · h。我们平常所说的 1 度电就是 1 千瓦 · 小时。负载消耗的电功多少, 可以用电度表来测量。

第六节 电磁现象和磁通

一、电流的磁场

电流产生磁场, 磁场变化或运动又产生感应电动势, 这是电和磁紧密联系的两个方面许多电气设备都是根据电和磁之间的作用原理而工作的。

实验表明, 在载流导体或永久磁铁的周围有磁场存在, 磁场具有两种表现: 一是磁场对处在场内的另一载流导体或铁磁物质有力的作用, 并能在对磁场作相对运动的导体中产生感应电动势; 二是磁场内具有能量。

产生磁场的根本原因是电流, 电流和磁场有着不可分割的联系, 即磁场总是伴随着电流而存在, 而电流则永远被磁场包围着。

磁场的方向, 若在磁场中放一小磁针, 小磁针 N 极的指向即为该点的磁场的方向。

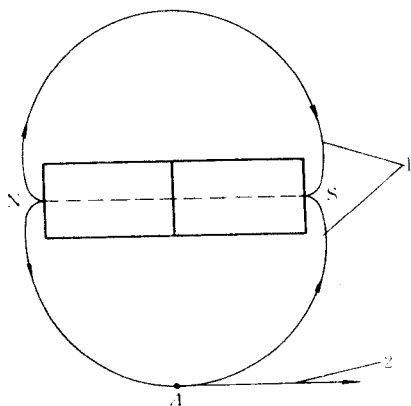


图 1-9 磁力线与磁场方向

1—磁力线方向 2—磁场方向

为了使磁场形象化, 可用图 1-9 所示的方法来描绘磁场, 磁力线都是些闭合的曲线, 曲线上任一点沿磁力线的切线方向即为该点的磁场方向。

载流导体周围的磁场方向与产生该磁场的电流方向有关。磁场方向与电流方向之间的关系, 可用右手螺旋定则来确定。对于载流直导体, 在运用这个定则时, 应把右手的大拇指指向电流方向, 而弯曲四指的指向则表示磁场方向, 如图 1-10 所示。如果载流导体绕成螺管形状, 则与载流直导体的情况相反, 此时弯曲四指的指向应表示电流方向, 而大拇指的指向则表示磁场方向, 如图 1-11 所示。

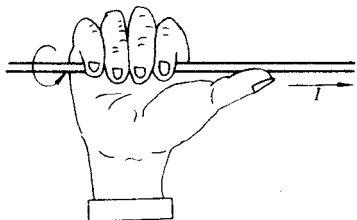


图 1-10 直线电流磁场的判定

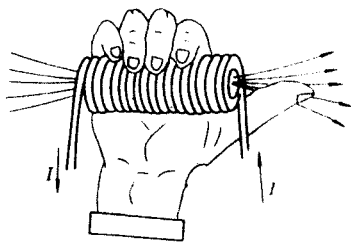


图 1-11 环形电流磁场的判定

二、磁场的基本物理量

1. 电磁力 磁场的重要特性之一是磁场对载流导体有力的作用, 即电磁力。电磁力的大小与通电导体处在磁场中的有效长度、通电电流的大小、磁感应强度三个因素有关, 并且都成正比, 其计算式为:

$$F = BLI \quad (1-27)$$

式中: F ——电磁力 (N);

B ——磁场强度 (T);

L ——通电导体的有效长度 (m);

I ——通入导体的电流强度 (A)。

电磁力的方向与导体中电流的方向和磁场中磁力线的方向都是垂直的, 并且三者的方向互为垂直, 其方向的判断可由左手定则来确定, 如图 1-12 所示。

左手定则: 伸开左手, 让磁力线垂直穿过手心, 四指指向导体的电流方向, 那么大拇指所指的方向就是导体受力的方向, 如图 1-12a 所示。

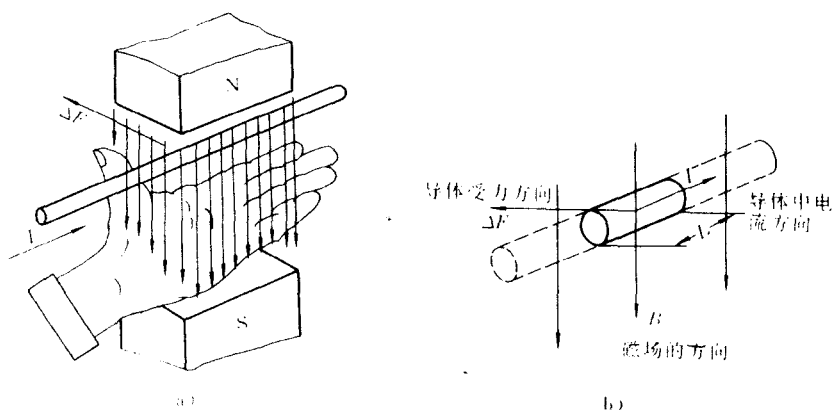


图 1-12 磁场对载流导体的作用力

a) 左手定则 b) 导体受到的作用力

2. 磁感应强度 若把同一载流导体, 按垂直于磁力线的方向放入不同的磁场中或放入同一磁场的不同位置上, 电磁力的大小不尽相同, 磁场愈强的地方电磁力愈大。磁场中各点的磁场强弱和方向通常用磁感应强度来描述, 磁感应强度用字母 B 表示, B 是一个矢量, 它的方向即为磁场中各点的磁场方向, 磁感应强度的大小由下列公式计算:

$$B = \frac{F}{IL} \quad (1-28)$$

若在磁场的各个点上, 载流导体受到的电磁力 F 大小相等, 方向相同, 这表明磁场中各点的强弱程度相同, 亦即磁感应强度相同。这样的磁场称为均匀磁场。对于均匀磁场可用疏密均匀、方向相同的磁力线来表示。如图 1-13 所示为一均匀磁场。它的截面积相等, 且相互平行。

在式 1-28 中, 若 F 的单位为 N; I 的单位为 A; L 的单位为 m, 则磁感应强度 B 的单位是韦/米², 1 韦/米² 称为 1 特斯拉, 单位符号为 T, 另外, 在工程上常采用高斯, 高斯的单位符号为 Gs, 它们之间的换算关系为:

$$1\text{Gs} = 10^{-4}\text{T}$$

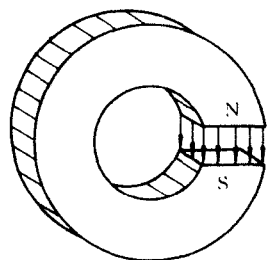


图 1-13 两平行截面间的磁场

3. 磁通 在匀强磁场中, 磁感应强度与垂直于磁感应强度 B 的某一面积的乘积称为磁通。如图 1-14 所示的均匀磁场中, 其磁通的大小为:

$$\Phi = B \cdot S \quad (1-29)$$