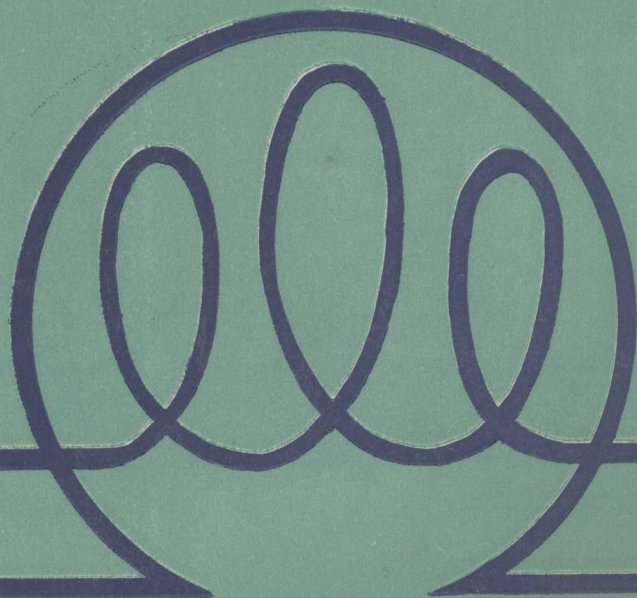


○ 中等职业技术教育用书

农村实用 电工技术

○ 贾铎 邓汝刚 杜德昌 编

○ 高等教育出版社



中等职业技术教育用书

号S11(京)

214659

农村实用电工技术

贾 铎 邓汝刚 杜德昌 编

高等教育出版社

100-100 9 1987
100-100 9 1987
100-100 9 1987

(京)112号

内 容 简 介

本书是中等职业技术教育用书之一，主要内容有：电工基础知识、电工基本操作、常用电工器材、村常用变压器及电机、农村低压配电线路及照明、安全用电等。

本书内容丰富、实用性较强，可作为农村中等职业技术学校电工、机电专业教材，也可作为农村电岗位培训教材或自学用书。

责任编辑 杨述先

中等职业技术教育用书

农村实用电工技术

贾 铎 邓汝刚 杜德昌 编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

重庆印制一厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 390 000

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

印数 0 001—14 735

ISBN7-04-004429-3/TM·224

定价 5.20 元

出版说明

当前职业技术教育方兴未艾，职业学校在校学生，各个技术岗位的在职职工和待业知识青年都盼望迅速掌握一种或多种专业技能。为了满足这种需要，我们敦请了富有实践经验和教学经验的专业技术人员和教师，编写了这套“中等职业技术教育用书”。

“用书”将陆续出版，主要有《国内外彩色电视机修理三百例及其资料汇编》、《复印机维修技术》、《微型计算机检修技术》、《空调制冷设备维修技术》、《农业机械使用与维修》、《农村实用电工技术》、《摩托车维修技术》、《汽车维修技术》、《拖拉机维修技术》、《照像机使用与维修》、《电梯维修技术》等，涉及家用电器、电子、汽车、计算机、建筑、机械等行业。

“用书”面对具有初中文化水平的广大读者，以国家部颁的有关中等技术工人等级标准为培养目标，力求做到深入浅出，突出应用技术，注意新技术、新机型的推广，以引导读者能掌握一门专业技能。

“用书”可作为中等职业技术学校教材，也可作为岗位培训教材，还可作为有关专业人员自学用书。

由于时间仓促，热忱希望广大读者对书中存在的问题提出宝贵意见。

高等教育出版社

1993年3月

前 言

随着农村电力事业的飞速发展，农村生产、生活用电范围的不断扩大，广大农村迫切需
要掌握电工基础知识和实际操作技能的电工，承担起农村用电设备的安装、使用、维修、管
理等项任务。为此，我们根据农村电工在应知、应会方面的实际需要，编写了这本中等职业
技术教育用书《农村实用电工技术》。本书包括电工基础知识、基本操作技能、常用电工器
材、变压器、电机的运行和检修、低压配电线路的施工和维护、农村安全用电和用电管理等
内容，比较详细地介绍了农村电工必须掌握的有关知识和技能。本书编写过程中，注意突出
实用性，密切联系农村实际；坚持学以致用，加强技能训练；力求内容的先进性和科学性，
积极吸收电工方面的新知识和新技术；讲解浅显易懂，尽量避免复杂的数学运算和公式推
导，适于农村具有初中以上文化水平的青年学习。

本书可作为农村中等职业技术学校电工、机电专业教材，也可作为农村电工岗位培训教
材。为便于教学，建议安排教学时间(包括实验实习)为110学时，各章所需学时见下表

课 程 内 容		教 学 时 数		
章	名 称	理论教学	实验实习	小 计
一	电工基础知识	12	8	20
二	电工基本操作	10	6	16
三	常用电工器材	6	4	10
四	变压器	8	4	12
五	农村常用电机	15	8	23
六	农村低压配电线路及照明	12	8	20
七	农村安全用电和用电管理	7	2	9
合 计		70	40	110

本书由贾铎、邓汝刚、杜德昌共同编写，孙立斌、寇建光等也参加了本书初稿的编写和
讨论。全书由北京市职业技术教育中心刘志平和湖北省教委职教教研室王铁工、王宏审稿。
在本书编写过程中，还得到了山东省教学研究室和潍坊市职教教研室的大力支持和帮助，在
此一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中难免有错误和不当之处，敬请读者批评指
正。

编 者

一九九二年十月

目 录

第一章 电工基础知识	1	第二节 三相异步电动机的工作原理	128
第一节 常用的基本物理量	1	第三节 三相异步电动机的选择和安	
第二节 直流电路	6	装	133
第三节 电路的连接	9	第四节 三相异步电动机的起动和控	
第四节 磁场	12	制	139
第五节 电磁感应	16	第五节 三相异步电动机的运行和维	
第六节 正弦交流电路	20	护	147
第七节 三相交流电路	31	第六节 三相异步电动机常见故障及	
复习思考题	34	其检修	149
第二章 电工基本操作	36	第七节 单相异步电动机	157
第一节 电工工具及其使用方法	36	第八节 潜水电泵	161
第二节 绝缘导线的连接方法	43	第九节 同步发电机	164
第三节 常用电工仪表使用常识	49	第十节 异步电动机改作发电机	168
第四节 电流表与电压表的使用	53	复习思考题	170
第五节 电阻测量仪表的使用	56	第六章 农村低压配电线路及照明	171
第六节 万用表的使用	59	第一节 低压架空配电线路的结构	171
第七节 电度表的安装和使用	61	第二节 低压架空配电线路的选择	175
复习思考题	65	第三节 低压架空配电线路的施工	186
第三章 常用电工器材	66	第四节 电缆线路施工	195
第一节 导电材料	66	第五节 低压配电盘的选择和安装	200
第二节 绝缘材料	76	第六节 低压架空接户线和进户线	204
第三节 手动低压电器	82	第七节 室内低压配线	206
第四节 自动控制电器	90	第八节 电气照明	212
第五节 低压电器的常见故障及维修	100	复习思考题	220
复习思考题	102	第七章 农村安全用电和用电管理	221
第四章 变压器	104	第一节 触电及其预防	221
第一节 变压器的工作原理及结构	104	第二节 触电急救	224
第二节 配电变压器的选择	107	第三节 保护接地和保护接零	226
第三节 配电变压器的安装	110	第四节 农村用电管理和节约用电	229
第四节 配电变压器的运行和故障处		复习思考题	233
理	113	实验	234
第五节 配电变压器的保护装置	116	1. 伏安法测量电阻	234
第六节 其他常用变压器	118	2. 直流电桥测量电阻	236
复习思考题	125	3. 日光灯的安装	237
第五章 农村常用电机	126	4. 三相负载的连接	238
第一节 三相异步电动机的构造	126	附录	241

一、国际单位制的基本单位.....	241
二、常用物理量及其法定计量单位.....	241

三、电气设备常用文字符号.....	242
四、常用电气图形符号.....	244

第一章 电工基础知识

本章的主要内容有：电工学中常用的基本物理量；直流电路的基本组成和欧姆定律；电与磁的一些基本定律；正弦交流电的基本知识等。通过学习，应能运用电和磁的基本物理量和基本定律，对简单的电路进行计算；掌握电路的连接方法和正弦交流电的基本概念；熟悉三种典型的交流电路和三相交流电的特征，为学习后续各章的内容打下基础。

第一节 常用的基本物理量

一、电流

任何物质都是由分子组成的，分子是由原子组成的，而原子又是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子组成的。在金属导体中，电子受到原子核的吸引，围绕原子核运转，但原子核对离核较远的电子的束缚较弱，这部分电子能够在金属中自由运动。这些自由运动的电子叫做自由电子。金属导体中的电流就是由这些自由电子在外电场作用下，有规律地定向运动形成的。通常规定，正电荷定向移动的方向为电流的方向。因此，在金属导体中，电流的方向跟自由电子实际移动的方向相反，如图1-1所示。在电解液中，电流则是正离子或负离子在外电场作用下有规则运动形成的，故电流的方向与正离子移动的方向相同，与负离子移动的方向相反。

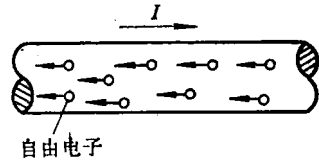


图1-1 电流的形成

电流有强弱之分，表示电流强弱程度的物理量叫做电流强度，简称电流，用符号 I 表示，单位是安培，简称安(A)。若在时间 t 内，通过导体横截面的电量(电荷量)为 Q ，那么电流强度的大小为

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

式中 I ——电流强度，单位为安(A)；

Q ——电量，单位为库(C)；

t ——时间，单位为秒(s)。

电流常用的单位除安培外，还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)，它们之间的关系是

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

电流分直流和交流两种。凡方向不随时间而变化的电流称为直流电流，用大写字母 I 表

示。直流电又分为稳恒直流和脉动直流。电流的大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒直流；电流的大小随时间变，但方向不随时间变化的电流称为脉动直流。干电池、蓄电池输出的电流是稳恒直流；直流发电机输出的电流是脉动直流。大小和方向均随时间而变化的电流称为交流电，用小写字母 i 表示，如生活中的电灯、电风扇、电冰箱等使用的电多数是交流电。

二、电位、电压和电动势

1. 电位和电压

为了理解电压的含义，这里用水作个比喻。水渠的水能够自然地流向农田，是因为水渠的水位高于农田地平面，两者之间存在着水位差。

物体带电以后具有一定的电位。一般说来，物体所带的正电荷越多，则电位越高；带负电荷越多，则电位越低。图1-2中，导体 a 带有正电荷，电位高；导体 b 带有负电荷，电位低。用导线连接 a 、 b 两导体，导线内就有电流从 a 流向 b 。这是因为 a 、 b 之间存在着电位差。电位差也叫电压，用字母 U 表示，单位为伏特，简称伏(V)。

电压也是衡量电场做功本领大小的物理量。电荷在电场中要受到电场力的作用发生位移而做功。设电场力把正电荷 Q 从 a 点移动到 b 点所做的功为 W_{ab} ，那么 a 、 b 之间的电压，在数值上等于单位正电荷在电场力的作用下，从 a 点移动到 b 点所做的功，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-2)$$

式中 U_{ab} —— a 、 b 两点间的电压，单位为伏(V)；

W_{ab} —— 电场力所做的功，单位为焦耳(J)；

Q —— 电荷的电量，单位为库仑(C)。

若电场力将1库仑的电荷量从 a 点移动到 b 点所做的功是1焦耳，则 a 、 b 间的电压就是1伏特。

电压常用的单位除伏特外，还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)，它们之间的关系是

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 毫伏(mV)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^3 \text{ 微伏}(\mu\text{V})$$

电压和电位是有区别的。电位具有相对性，它和选择的参考点有关，通常讲电位，都以大地为参考点，即以大地为零电位。电压则是绝对的，不管零电位如何选择，两点之间的电位差(即电压)是不变的。电压既有大小又有方向，电压的方向是从高电位端(+)指向低电位端(-)。对负载而言，电压的实际方向与电流的方向是一致的。

2. 电动势

电场力做功必须具备能量的来源，这个能量的源泉就是电源(如蓄电池、发电机等)。在蓄电池中，电极和电解液不断地进行化学反应产生“化学力”，又名为“电源力”。在“电源力”的作用下，蓄电池电解液中的正负离子分别向电源的两极移动(图1-3)，使电源的一端带正电(称电源的正极，用“+”表示)，另一端带负电(称电源的负极，用“-”表示)，两端出现了

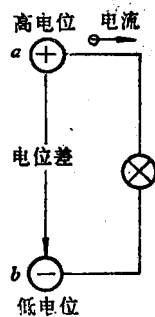


图1-2 电压

电位差(电压)。当在电源的外部接上负载时, 电源的电场力便把电源正极上的正电荷通过负载移向电源负极, 而电源内部的“电源力”则把正电荷从电源负极移向正极, 如此就形成了持续不断的电荷移动, 在负载中表现为有电流通过。

显然, 电源力在移动电荷的过程中也在做功。电源力将单位正电荷从负极经电源内部推向正极所做的功, 称为电源的电动势, 用字母 E 表示, 单位为伏特(V)。若电源力把1库仑的电量从电源的负极移到正极所做的功为1焦耳, 则电源的电动势是1伏特。

电动势仅存于电源的内部, 它的方向是从低电位端指向高电位端, 即从电源的负极指向正极。

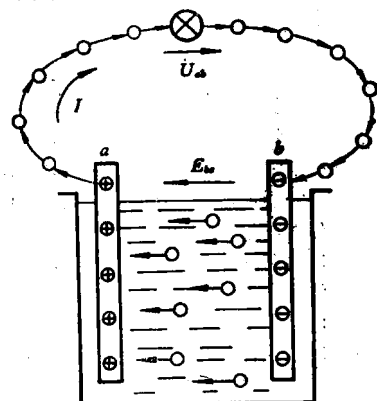


图1-3 电源电动势

三、电阻

自由电子流经金属导体时, 会与导体中的原子发生碰撞, 因此, 电流在导体中流动就会遇到一定的阻碍, 这种阻碍作用称为电阻, 用字母 R 表示, 单位是欧姆, 简称欧(Ω)。当导体两端的电压是1伏特, 导体中通过的电流为1安培时, 这段导体的电阻就是1欧姆。

电阻常用的单位除欧姆外, 还有千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$), 它们之间的关系是

$$1 \text{兆欧}(M\Omega) = 10^3 \text{千欧}(k\Omega)$$

$$1 \text{千欧}(k\Omega) = 10^3 \text{欧}(\Omega)$$

实验证明: 在一定温度下, 导体的电阻与导体的长度和导体的电阻率成正比, 与其横截面积成反比。用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-3)$$

式中 R ——导体的电阻, 单位为欧(Ω);

L ——导体的长度, 单位为米(m);

S ——导体的截面积, 单位为米²(m²);

ρ ——导体的电阻率, 单位为欧·米($\Omega \cdot m$)。

导体的电阻率是温度为20℃时, 长为1米, 横截面积为1米²的该导体的电阻值, 它取决于导体的材料, 不同的导体材料, 其电阻率也不相同。表1-1列出了几种常见材料在20℃时的电阻率。

例1-1 要修理一电炉, 已知原电炉丝的电阻为35.3欧, 现采用截面积为0.20毫米²的镍铬合金电热丝更换原电阻丝, 问需要多少米?

解 查表1-1可知: 镍铬合金的电阻率为 $\rho = 1.0 \times 10^{-6}$ 欧·米。

由公式 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得

$$L = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{35.3 \times 0.20 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-6}} = 7.06 \text{米}$$

表1-1 几种常见材料在20℃时的电阻率和温度系数

材料名称	电阻率(欧·米)	电阻温度系数	用 途
银	1.6×10^{-8}	4.1×10^{-3}	导线镀银
铜	1.7×10^{-8}	4.3×10^{-3}	导线(主要的导电材料)
铝	2.9×10^{-8}	4.2×10^{-3}	导线
钨	5.3×10^{-8}	4.6×10^{-3}	白炽灯的灯丝、电器触头
铁	1.0×10^{-7}	5×10^{-3}	
锰铜合金	4.4×10^{-7}	6×10^{-6}	标准电阻
康铜合金	5.0×10^{-7}	4×10^{-5}	标准电阻
镍铬合金	1.0×10^{-6}		电炉丝
电 木	$10^{10} \sim 10^{14}$		绝缘体(制作电器)
橡 胶	$10^{13} \sim 10^{16}$		

实验结果还表明,导体的电阻与温度有关。通常在0~100℃的范围内,可近似地认为:一般金属材料的电阻变化的相对值与其温度的变化量成正比,即

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

或 $R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$ (1-4)

式中 R_1 ——温度为 t_1 时的导体电阻,单位为欧(Ω);

R_2 ——温度为 t_2 时的导体电阻,单位为欧(Ω);

α ——导体材料的电阻温度系数,单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。

材料的电阻温度系数等于温度变化 1°C 时电阻变化的相对值。常用材料的电阻温度系数可从表1-1查得。

在生产实践中,可以利用金属电阻随温度变化的特性,测量电机绕组或其他电器中电磁线圈的平均温度,以了解它们的运行状况,及早发现其内部出现的某些故障,保证安全运行。

应当注意,式(1-4)成立的条件是在0~100℃范围内,如果温度超出此范围,就不能采用此公式计算。在极低温度(接近于绝对零度)的状态下,有些金属、合金或金属化合物的电阻会突然变为零,这种现象称为超导现象。处于超导状态的物体称为超导体。因受温度限制,目前,超导体尚未达到实用阶段。现在,世界各国正在寻找较高温度下的超导体。我国对超导体方面的研究在世界处于领先地位。

四、电功和电功率

1. 电功

灯泡通电后可以照明,是电流做功的结果。我们把电流所做的功称为电功,用字母 W 表示,单位是焦耳,简称焦(J)。电流在某一段电路上所做的功,与这段电路两端的电压、电路中的电流强度以及通电的时间成正比,即

$$W = UIt \quad (1-5)$$

式中 U ——电路两端的电压,单位为伏(V);

I ——电路中的电流,单位为安(A);

t ——通电时间, 单位为秒(s);

W ——电功, 单位为焦(J)。

当电路两端的电压为1伏特, 通过的电流为1安培时, 电流在1秒钟内所做的功为1焦耳。

工程上常以千瓦时(kWh)作为计量电功的实用单位。1千瓦时 = 3.6兆焦。1千瓦小时即通常所称的1度电。

电流通过用电器做功的结果, 实际上是电能转化为其他形式的能的过程。例如, 电动机使电能转化为机械能; 电炉使电能转化为热能等。电流做功所消耗的电能是由电源提供的。

2. 电功率

电流所做的功跟完成这些功所用的时间的比值, 称为电功率, 用字母 P 表示, 单位为瓦特, 简称瓦(W)。用公式表示为

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

式中 I ——电流强度, 单位为安(A);

U ——电压, 单位为伏(V);

W ——电流所做的功, 单位为焦(J);

P ——电功率, 单位为瓦(W)。

电功率常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等, 它们之间的关系是

$$1 \text{ 千瓦(kW)} = 10^3 \text{ 瓦(W)}$$

$$1 \text{ 瓦(W)} = 10^3 \text{ 毫瓦(mW)}$$

用电器上通常都标有电功率和电压, 这是该用电器的额定功率和额定电压。如果加在其上的电压值为额定电压值, 它在工作时的功率就等于额定功率, 此时用电器能正常工作, 否则, 就不能正常工作。

例1-2 一个功率为800瓦的电暖器, 连续取暖4小时, 耗电多少? 若每度电0.18元, 电费多少?

$$\text{解 } W = Pt = 0.8 \times 4 = 3.2 \text{ 度}$$

$$\text{电费} = 0.18 \times 3.2 = 0.576 \text{ 元}$$

3. 电流的热效应

由于导体本身具有电阻, 当电流通过导体时, 一部分电能将消耗在导体上转变为热量, 这种现象称为电流的热效应。实验证明: 电流通过导体产生的热量, 跟电流强度的平方、导体的电阻和通电的时间成正比, 这一结论称为焦耳定律。用公式表示为

$$Q = I^2 R t \quad (1-7)$$

式中 I ——电流强度, 单位为安(A);

R ——导体的电阻, 单位为欧(Ω);

t ——通电时间, 单位为秒(s);

Q ——热量, 单位为焦(J)。

在以往实际应用中, 也常以卡(cal)作为热量的单位, 它们之间的关系是

$$1 \text{ 焦耳} = 0.24 \text{ 卡}$$

因此, 式(1-7)还可写为

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

式中, Q 的单位为卡。

电流的热效应在实际生活中应用较广。许多家用电器都是根据电流的热效应原理制成的, 如电烙铁、电烤箱、电熨斗等。但电流的热效应也有其不利的一面, 如用电设备中的各种导线因其本身具有电阻, 在通电时会发热, 导致设备的温度升高, 既消耗了电能, 又加速了绝缘材料的老化变质, 引起漏电或造成短路, 严重时还会烧坏电器设备, 甚至引起火灾。因此, 在这些用电设备中, 应采取措施, 防止电流的热效应造成危害。

第二节 直流电路

一、电路概述

1. 电路的组成

电路是指电流所流经的路径。如把小灯泡、开关和干电池等用导线连接起来, 就构成一个简单的直流电路(图1-4a)。当接通开关时, 小灯泡发亮, 说明电路中有电流通过; 断开开关时, 小灯泡熄灭, 说明电路中没有电流通过。简单的电路一般由电源、负载、开关及连接导线等组成。

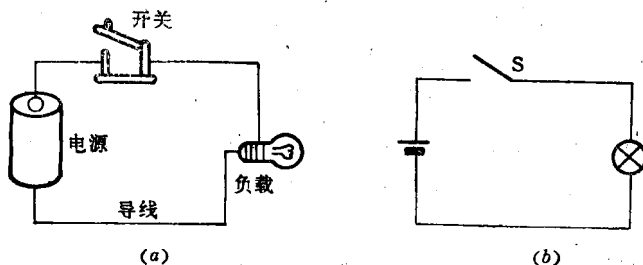


图1-4 简单的电路

电源 电源是一种将其他形式的能量(如化学能、机械能、光能等)转换成电能的装置, 其作用是向负载提供电能。常见的电源有蓄电池、发电机等。

负载 负载是消耗电能的装置, 通常又称为用电器, 其作用是将电能转化成其他形式的能。如电灯是将电能转化成光能, 电暖器是将电能转化为热能, 电动机是将电能转化为机械能。

开关 开关是控制电路的接通与断开的器件。

导线 导线是用来连接电路的金属线材, 在电路中承担电能的输送与分配任务。

电路可分为内电路和外电路, 电源以外的电路称为外电路; 电源内部的通路称为内电路。内外电路合称为闭合电路, 又称为全电路。

2. 电路的三种工作状态

通路 电路在正常工作的情况下, 电流从电源的一端流出, 经负载后回到电源的另一端, 构成闭合回路。在图1-4a中, 当开关接通时, 小灯泡发光的工作状态就是通路。

开路 又称为断路, 电路中的某处断开, 此时电路中没有电流通过。在图1-4a中, 开关断开, 小灯泡熄灭的状态就是开路。

短路 如果用导线直接将电源的两端连接起来,使电路中的电流不经负载而直接构成闭合回路,就称之为短路。此时电路中的电流比正常情况要大许多倍,很容易造成电气事故,一般不允许电路发生短路现象。

3. 电路图

电路可以用实物图来表示,但绘制时比较麻烦。因此,通常用电路图来表示。在电路图中,用国家统一规定的图形符号来表示电路的组成和连接情况。图1-4b就是一种最简单的电路图。电路图中常用的图形符号如表1-2所示。

表1-2 部分常用电工图形符号

	直流电		交流电		交直流电
	开关		电阻		接机壳
	电池		电位器		接地
	线圈		电容		联接导线
	铁心线圈		电流表		不联接导线
	抽头线圈		电压表		熔断器
	直流发电机		二极管		电灯
	交流发电机		直流电动机		交流电动机

二、欧姆定律

1. 部分电路的欧姆定律

在一个完整的电路中,只含有负载而不包含电源的支路,称为部分电路,如图1-5所示。

当在电阻 R 的两端加上电压 U 时,电阻中就有电流通过。实验证明:在部分电路中,导体中的电流强度,跟加在这段导体两端的电压成正比,跟这段导体的电阻成反比,这一结论称为部分电路的欧姆定律。用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

式中 I ——流经导体的电流强度,单位为安(A);

U ——导体两端的电压,单位为伏(V);

R ——导体的电阻,单位为欧(Ω)。

式(1-8)还可以写为

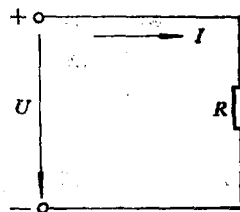


图1-5 只含有电阻的部分电路

$$U = IR \text{ 或 } R = \frac{U}{I}$$

根据欧姆定律, 如果已知电流、电压、电阻中任意两个量的数值, 就可以求出第三个量。

例1-3 如果某人体电阻的最小值为800欧, 当通过人体的电流达到50毫安时, 就有生命危险, 试求此人体的安全工作电压。

解 根据欧姆定律可知

$$U = IR = 50 \times 10^{-3} \times 800 = 40 \text{ 伏}$$

应当指出, 欧姆定律是在金属导电的基础上总结出来的。实验表明, 除金属以外, 欧姆定律对于电解液导电也是适用的, 但对于气体导电就不适用了。

2. 闭合电路的欧姆定律

闭合电路又称为全电路, 它包括内电路和外电路两部分。如图1-6所示, 虚线框内代表一个电源, E 代表电源电动势, 电源的内部一般都是有电阻的, 这个电阻称为内电阻, 用 r 表示。

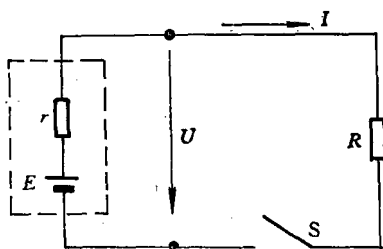


图1-6 简单的闭合电路

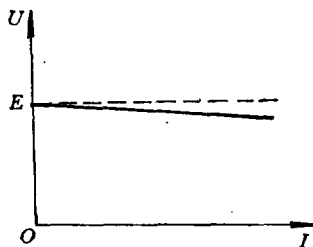


图1-7 电源的外特性曲线

闭合电路欧姆定律的具体内容是: 闭合电路的电流强度, 跟电源电动势成正比, 跟整个电路的电阻成反比。用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-9)$$

式中 I —— 闭合电路的电流强度, 单位为安(A);

E —— 电源电动势, 单位为伏(V);

R —— 外电路的电阻, 单位为欧(Ω);

r —— 内电路的电阻, 单位为欧(Ω)。

上式还可以写为

$$E = IR + Ir \quad (1-9a)$$

式中, IR 为外电路的电压降, 也是电源两端的电压, 简称端电压; Ir 为内电路的电压降。

由于 $U = IR$, 式(1-9a)还可以写为

$$E = U + Ir$$

或

$$U = E - Ir \quad (1-9b)$$

3. 电源的外特性

由闭合电路的欧姆定律 $I = E / (R + r)$ 可知, 当外电路的电阻 R 增大时, 电流强度 I 要减

小。由于路端电压 $U = E - Ir$ ，当 I 减小时，路端电压 U 就增大；反之，外电路的电阻 R 减小时，路端电压 U 也减小。这种端电压随负载中电流的变化而发生变化的关系，称为电源的外特性。依此绘成的曲线，称为电源的外特性曲线(图1-7)。

当外电路断开时， R 变为无限大， I 变为零，则 Ir 也变为零， U 等于 E ，此时的端电压最高。

当外电路短路时， R 趋近于零，这时电流强度的大小为 $I = E/r$ 。但由于电源的内阻 r 一般都很小，如铅蓄电池的内阻只有 $0.005 \sim 1$ 欧，所以，短路时的电流很大。电流过大不但会烧坏电源，还可能引起火灾，在实际应用中应防止此类现象的发生。

当内电阻 r 为零时，此时的电源称为理想电源，端电压不再随电流的变化而变化，始终等于电源的电动势(如图1-7中的虚线部分)。

第三节 电路的连接

一、串联电路

1. 电阻的串联

将几个电阻的首尾依次相接，使电流只有一条通路的连接方法，称为电阻的串联。图1-8是三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成的串联电路。

串联电阻电路具有以下几个特点：

(1) 电路中流经各电阻的电流相等，即

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

(2) 电路中的总电压等于各电阻上的电压降之和，即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

(3) 电路的总电阻(等效电阻)等于各分电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

(4) 电路中各个电阻两端的电压跟它的阻值成正比，即

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U_n}{R_n}$$

(5) 电路中各个电阻消耗的功率跟它的阻值成正比，即

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \dots = \frac{P_n}{R_n}$$

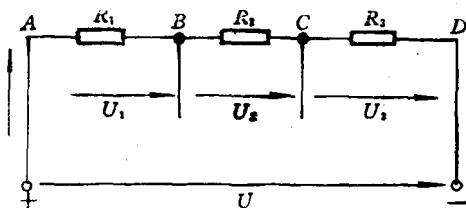


图1-8 电阻的串联电路

电阻的串联在实际工作中应用广泛。例如，利用电阻的串联可以获得较大阻值的电阻；利用串联电阻构成分压器，可使一个电源提供几种不同的电压；可以将额定电压较低的用电器与电阻串联，然后连接到较高的电路中使用；在电工测量中，还可以利用串联电阻的方法来扩大电压表的量程等。

2. 串联电池组

在许多实际应用中，常常需要有较高的电压或较大的电流，这就要求把几个相同的电池连在一起使用。连在一起使用的几个电池称为电池组。将前一个电池的负极与后一个电池的

正极依次连接起来, 就组成了串联电池组, 如图1-9所示。

串联电池组有以下几个特点:

(1) 总电动势等于各电池的电动势之和, 即

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

(2) 总内阻等于各电池的内阻之和, 即

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

(3) 含电池组的闭合电路的总电流为

$$I = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{R + r_1 + r_2 + \dots + r_n} = \frac{E}{R + r}$$

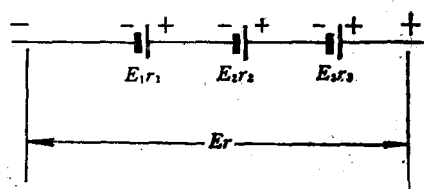


图1-9 电池组的串联电路

二、并联电路

1. 电阻的并联

将几个电阻并接在两个公共点之间, 使各电阻承受着同一个电压, 这种接法称为电阻的并联, 如图1-10所示。

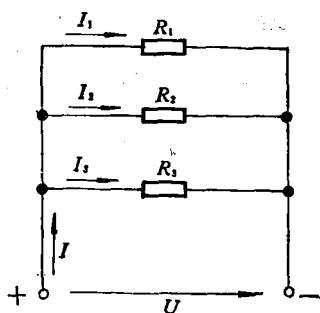


图1-10 电阻的并联电路

电阻的并联电路具有以下特点:

(1) 电路中各支路两端的电压相等, 即

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

(2) 电路的总电流强度等于各支路的电流强度之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

(3) 电路中的总电阻(等效电阻)的倒数等于各支路电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

(4) 电路中通过各支路的电流强度跟支路的阻值成反比, 即

$$IR = I_1 R_1 = I_2 R_2 = \dots = I_n R_n$$

(5) 电路中各电阻消耗的功率跟它的阻值成反比, 即

$$PR = P_1 R_1 = P_2 R_2 = \dots = P_n R_n$$

电阻的并联电路在实际应用中也很广泛。例如, 利用电阻的并联可以获得较小的阻值, 将工作电压相同的负载并联使用, 可使任何一个负载的工作情况都不会影响其他的负载, 如在家庭用电中, 电灯、电视机、电风扇等都是并联使用; 在电工测量中, 也可用并联电阻的办法来扩大电流表的量程。

2. 并联电池组

把相同电池的正极连接在一起, 作为电源的正极, 把电池的负极也连在一起, 作为电源的负极, 然后接到电路中, 这种接法称为电池组的并联。如图1-11所示。

电池的并联必须具备二个条件: 一是各个电池的电动势相等; 二是各个电池的内阻相同。